

Doktori (PhD) értekezés tervezet

Horváth Lilla tő. százados

2025

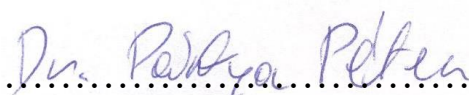
NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM
HADTUDOMÁNYI ÉS HONVÉDTISZTKÉPZŐ KAR
KATONAI MŰSZAKI DOKTORI ISKOLA

Horváth Lilla tű. százados

**A tűzoltó egyéni védőeszközök szerepének,
hatékonyságának, valamint védelmi-, és egyéb
képességeinek növelésére elérhető aktuális
lehetőségek kutatása**

Doktori (PhD) értekezés tervezet

Tudományos témavezető:


.....

Dr. habil. Pántya Péter tű. alezredes

BUDAPEST, 2025.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	5
A RELAVÁNS SZAKIRODALOM ÉRTÉKELÉSE.....	6
A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA.....	13
KUTATÁSI HIPOTÉZISEK	15
KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK	15
ALKALMAZOTT KUTATÁSI MÓDSZEREK	16
1. A TŰZOLTÓ EGYÉNI VÉDŐFELSZERELÉSEK HELYZETE ÉS FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI.....	20
1.1 A veszélyes környezet bemutatása tűzoltói munkavégzés során	21
1.2 Az általánosan használt tűzoltó egyéni védőeszközök ismertetése hazai viszonylatban ...	25
1.3 A hazai és nemzetközi szinten általánosan használt tűzoltó védőruházatok történeti áttekintése	35
1. 4. Ergonómiai szempontok vizsgálata a tűzoltó védőeszközök használata során	39
1.4.1 Ergonómiai követelmények a vonatkozó jogszabályok és szabványok alapján.....	41
1.4.2 Az ergonomia megjelenése hazai és nemzetközi szinten a védőruházatok alkalmazása során	44
1.5 Saját kérdőíves felmérés a tűzoltó védőruhák ergonómiai szempontjait illetően.....	46
1.6 Kiegészítő megoldások az egyéni védőeszközök terén.....	52
1.7 Részkövetkeztetések	56
2. A TŰZOLTÓ VÉDŐRUHÁZAT KARBANTARTÁSÁNAK FEJLESZTÉSE	58
2.1 A tűzoltó védőruházat tisztításának és karbantartásának általános folyamata és hátterének vizsgálata	59
2.2 Saját kérdőíves felmérés eredményei a tűzoltó védőruházat karbantartás témakörében	67
2.3 Az impregnálás szerepe a tűzoltó védőruházatok terén.....	73
2.4 Tűzoltó védőruházaton végzett impregnálási vizsgálatok	75
2.5 A tűzoltó védőruházat fertőtlenítése, a Skellefteå modell.....	78
2.6 Részkövetkeztetések	84
3. A TŰZOLTÓK VÉDŐESZKÖZEIT ÉRINTŐ DIGITÁLIS NYOMON KÖVETÉS FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI.....	87
3.1 Az egyéni védőeszközök rendszeresítési eljárásának fejlesztése	88
3.2 Az egyéni védőfelszerelések kockázatértékelése: Szükségesség, módszerek és fejlesztési lehetőségek	92
3.3 A tűzoltó védőruházat digitális nyomon követése	101
3.3.1 Digitális nyomon követés a nemzetközi gyakorlatban	102

3.3.2 Fejlesztési lehetőségek hazai viszonylatban a nemzetközi tapasztalatok tanulságai alapján	106
3.4 Részkövetkeztetések	114
4. A KIEGÉSZÍTŐ VÉDŐRUHÁZAT SZÜKSÉGESSÉGÉNEK ÉS HATÉKONYSÁGÁNAK VIZSGÁLATA A TŰZOLTÓK VÉDELME NEK NÖVELÉSE ÉRDEKÉBEN	116
4.1 A klímaváltozás és a tűzoltósági tevékenységek kihívásai	117
4.2 Magyarországi tűzoltói vonulások elemzése	121
4.3 Egy rendszeresíthető alöltözet vizsgálata	127
4.4 Részkövetkeztetések	135
ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK.....	137
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	141
AJÁNLÁSOK	142
KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI FELHASZNÁLHATÓSÁGA.....	143
HIVATKOZOTT IRODALOM.....	144
TÉMAKÖR BŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM.....	155
MELLÉKLETEK.....	157
1. számú melléklet: A kutatási témát érintő jogszabályok, szabványok és belső szabályozók jegyzéke	158
2. számú melléklet: Alkalmazott rövidítések jegyzéke.....	160
3. számú melléklet: Fogalomjegyzék.....	162
4. számú melléklet: Ábrák, diagramok, grafikonok, táblázatok jegyzéke	164
5. számú melléklet: Saját kérdőívek kérdései	166
6. számú melléklet: Mérési jegyzőkönyv (eredmények).....	172
7. számú melléklet: Alöltözetek táblázatos értékelési összefoglalói	173
8. számú melléklet: Az értekezés tervezet kohéziós táblázata	176

BEVEZETÉS

A tűzoltói munka a társadalom biztonságának egyik legfontosabb része, amely rendkívüli elhivatottságot és szakértelmet igényel. A beavatkozások során a csapatmunka, és a kommunikáció elengedhetetlen eleme a hatékony és biztonságos munkavégzésnek. Az állomány tűzoltási és műszaki mentési tevékenysége során nem lehet maradéktalanul biztosítani az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkakörnyezetet kollektív védelemmel, mivel számtalan mechanikai, biológiai és vegyi hatás (pl.: éles tárgy általi megvágás, állatok támadása, fertőzött mentett személyekkel való érintkezés, savak-lúgok által sérülés) érheti őket és mindez különböző, előre nem látható módon roncsolódott helyszíneken. Ilyen esetekben az egyéni védőeszköz alkalmazása biztosíthat megfelelő szintű védelmet a közvetlen behatásokkal szemben, bár hatékonysága a káreseti környezet súlyosságától, a felszerelés állapotától és az alkalmazott technológiától is függ. Kutatásom középpontjában a tűzoltói beavatkozások során felmerülő káreseti környezet biztonsági szempontú elemzése áll. A kutatás célja a jelenleg Magyarországon és nemzetközi szinten alkalmazott tűzoltó védőruházat védőképességi és ergonómiai jellemzőinek vizsgálata, valamint a védelmi szint és egyéb, a tűzoltói beavatkozásra pozitív hatással járó aspektusok fejlesztési lehetőségeinek feltárása.

Mivel a tartós fizikai megterhelés során az emberi test fokozott stressznek van kitéve, fontos, hogy a tűzoltók képesek legyenek a beavatkozásokat úgy végezni – akár rövid, de intenzív mozgást igénylő feladatokat is –, hogy elkerüljék a hosszú távú egészségkárosodást. A hosszan tartó, ismétlődő fizikai munka ízületi és izomtúlterheléshez, valamint sérülésekhez vezethet, ami növeli a balesetek kockázatát. A tűzoltás során viselt egyéni védőeszközök és szakszakszerek tömege és kialakítása jelentős hatással van a testre, így elengedhetetlen, hogy az ergonómiai tényezőket is figyelembe vegyünk és hangsúlyozzuk ezen a területen. A tűzoltók nap, mint nap ismeretlen és veszélyes környezetben dolgoznak, új kihívásokkal nézve szembe. A klímaváltozás, valamint a technológiai fejlődés – például a napelemek, lítium-ion akkumulátorokkal szerelt elektromos járművek és egyéb korszerű berendezések elterjedése – új típusú veszélyhelyzeteket teremt a beavatkozások során. Ennek következtében nemcsak a napi használat, hanem a védőfelszerelések karbantartása és a technológiai rendszerekből fakadó kockázatokra adott tűzoltói reakciók is fokozott figyelmet igényelnek. Az ilyen komplex káreseti környezetekben az egyéni védőeszközöknek, különösen a tűzoltó védőruházatnak, magas szintű védelmet kell biztosítaniuk – például hőhatásokkal, éles tárgyakkal, mérgező

gázokkal vagy elektromos árammal szemben –, ugyanakkor mindezt a viselhetőség és a mozgásszabadság megtartása mellett.

Az ergonómia kérdéskörének határán folytatva rövid kitekintést teszek a beavatkozó tűzoltókat ért pszichés terhelésekről is, hiszen a stressz hosszú távú hatása által az emberi szervezet ellenálló képessége is csökken. Számos kutatás bizonyítja a hő okozta stressz által kiváltott válaszokat az emberi testben [1]. Ezen kutatási eredményeket, tudományos elemzéseket azért is tartom lényegesnek, mivel egyértelművé válik, hogy egy külső tényező radikális és/vagy hosszú időn keresztül fennmaradó megváltozása hatást gyakorol az emberi szervezetre [2]. Ezen a téren a további innovatív eszközök, technikák bevezetése egészségvédelmi szempontból is indokolt, mivel a beavatkozó állomány egyéni védőeszközei a technológia fejlődésével képessé válnak a beavatkozások hatékonyságának növelésére (pl.: tovább bent tartózkodni a lángok környezetében). Amennyiben egy kialakult káresemény időben hamarabb felszámolható, akkor nemzetgazdasági szempontból is csökkenthető a veszteség, anyagi kár.

A kutatás célja, hogy feltérképezze a tűzoltói védőeszközök fejlesztési lehetőségeit, különös figyelmet fordítva az ergonómiai szempontokra, az anyaghasználatra és a karbantartási eljárásokra. A hipotéziseim alapján azt feltételezem, hogy a védőeszközök hatékonyságának növelése érdekében szükséges a megfelelő oktatás, karbantartás és a tisztítási előírások fejlesztése. A kutatás során elvégzett mérések kiterjednek az impregnálás hatásának vizsgálatára, ezen kívül az általam lefolytatott kérdőíves vizsgálat, amelyet több, mint 100 nemzetközi és 200 hazai tűzoltó töltött ki, értékes információkat nyújt a védőeszközökkel kapcsolatos tapasztalataikról és elvárásaikról. Mindemellett, a rendelkezésre álló vonulási adatok elemzése lehetővé teszi a tűzoltói beavatkozások során bekövetkezett események mélyebb megértését, ezzel is alátámasztva a kutatás fontosságát.

A RELAVÁNS SZAKIRODALOM ÉRTÉKELÉSE

A tűzoltói beavatkozások során számtalan, különféle, sok esetben veszélyes jellegű feladatot kell ellátnia a tűzoltóknak. A *munkavédelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény* (továbbiakban: Mvt.) 1. § (2) pont értelmében a magyarországi munkavállalók számára biztosítani kell a biztonságos és egészséges munkafeltételeket [3]. Az Mvt. célja, hogy biztosítsa a munkavégzés során felmerülő kockázatok minimalizálását és elősegítse a balesetek, valamint a munkavégzéshez kapcsolódó egészségkárosodás megelőzését. A tűzoltói munkavégzés sajátossága, hogy a veszélyek sok esetben nem előre láthatók vagy pontosan körülhatárolhatók,

így a klasszikus munkavédelmi szempontok csak korlátozottan alkalmazhatók. A beavatkozások során gyakran változó környezet, váratlan kockázati tényezők és extrém fizikai és mentális igénybevétel is jellemző, ezért speciális szabályozásra van szükség. *A tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról szóló 1996. évi XXXI. törvény* (továbbiakban: Tvt.) a tűzoltóságok szervezeti működését és a tűzoltók munkavégzésének feltételeit szabályozza, kiemelve a tűzoltók biztonságát és védelmét [4]. A jogszabályban nem szerepel az egyéni védőeszközök, védőruházatok kérdésköre, az erre vonatkozó előírások rendeletekben, belső szabályozókban jelennek meg.

Az egyéni védőeszközökről és a 89/686/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről szóló európai parlamenti és a tanács (eu) 2016/425 rendelete (továbbiakban: EU rendelet) definiálja első körben az egyéni védőeszköz fogalmát, azaz egyéni védőeszköznek olyan eszköz minősül, amelyet kifejezetten arra terveztek és gyártottak, hogy viselése vagy kézben tartása révén védelmet nyújtson a felhasználó számára egy vagy több egészséget vagy biztonságot fenyegető kockázattal szemben. Az egyéni védőeszköz fogalmába beletartoznak azok a cserélhető alkatrészek is, amelyek a védelmi funkció szempontjából elengedhetetlenek. Emellett ide sorolhatók azok a rögzítő rendszerek is, amelyek bár nem közvetlenül viseltek vagy kézben tartottak, az eszköz stabilitását biztosítják külső pontokhoz való ideiglenes csatlakoztatás útján, anélkül, hogy tartós rögzítést igényelnének [5]. Az EU rendelet a tovább fogalom-meghatározásokon kívül általános körben karolja át a témát, így szolgáltatva alapot a hazai jogszabályoknak, szabványoknak, belső szabályozóknak.

Mindenképp fontosnak találom megjeleníteni *a munkavállalók munkahelyen történő egyéni védőeszköz használatának minimális biztonsági és egészségvédelmi követelményeiről szóló 65/1999. (XII. 22.) EüM rendeletet* (továbbiakban: EüM rendelet), mely 2. § (2) bekezdés c) pont alapján ugyan a Magyar Honvédség, a rendvédelmi szervek, és az Országgyűlési Őrség által használt védőeszközök nem tartoznak a védőeszközök kategóriájába, viszont az értekezés tervezet meghatározó szerepét betöltő ergonómia fogalmának magyarázata és a nem kizárólagosan rendvédelmi állományban lévő tűzoltók (létesítményi és önkormányzati tűzoltóságok, önkéntes egyesületek) okán szükséges feltüntetni [6]. Az EüM rendelet 4. § (1) bekezdés c) pont szerint határozza meg az egyéni védőeszköz ergonómiai feltételeit, azaz a munkáltató feladata, hogy a védőeszköz megfeleljen az ergonómiai szempontoknak, továbbá a munkavállaló egészségi állapotának [6]. Az EüM rendeletben, habár csak egyszer került

feltüntetésre az ergonómiai megfelelés, de egy munkáltató által elkészített belső szabályozó számára kiváló alapnak felelhet meg.

A belügyminiszter irányítása alá tartozó rendvédelmi szervek munkavédelmi feladatai, valamint foglalkozás-egészségügyi tevékenysége ellátásának szabályairól szóló 70/2011. (XII. 30.) BM rendelet (továbbiakban: BM rendelet) 1. § a) -d) pontjaiban részletezi, hogy hatálya mely szervekre, személyekre terjed ki [7]. A BM rendelet ennek megfelelően szabályozza a szükséges egyéni védőeszközök használatát, de nem tartalmaz részletes műszaki előírásokat. Ezeket (pl.: karbantartás, csere és egyéb szervezési jellegű információ) a munkáltató saját hatáskörben létrehozott és alkalmazott, úgynevezett belső szabályozója tartalmazza. A BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóságra (továbbiakban: BM OKF), az irányítása alatt álló területi jogállású szervekre (vármegyei igazgatóságok) és a helyi szervekre (katasztrófavédelmi kirendeltségek, hivatásos tűzoltó-parancsnokságok, katasztrófavédelmi őrsők), valamint az ezeknél foglalkoztatott személyi állományra kiterjedő, *a személyi állomány egyéni védőeszközzel történő ellátásáról szóló 34/2021. számú Főigazgatói Intézkedés* rendelkezik az egyéni védőeszközök beszerzéséről, használatáról, cseréjéről és karbantartásáról is [8].

A hazai szabályozási környezet tehát rögzíti az egyéni védőeszközök használatának kereteit, ugyanakkor a konkrét szervezési jellegű részletek meghatározása jellemzően a munkáltatói belső szabályozók hatáskörébe tartozik. Ezzel szemben a nemzetközi gyakorlatban számos példát találunk a védőeszközök fejlesztésével, ergonómiai szempontjaival, illetve használat közbeni értékelésével foglalkozó szakirodalmi munkákra. A hazai szakirodalom azonban meglehetősen korlátozott e téren, így kutatásom során elsősorban nemzetközi forrásokra támaszkodtam.

Az egyéni védőruházatok fejlesztésével kapcsolatban számos kutatás készült, jellemzően nemzetközi viszonylatban. Su-Young tanulmányában a tűzoltók egyenruhájának különböző anyagait és kialakításait vizsgálta, kiemelten a mozgásszabadságra és az izomtevékenységre gyakorolt hatásukat. Az eredmények szerint a rugalmas és a kompressziós ruházat kis mértékben növelte a mozgásszabadságot a szabványos egyenruhához képest, mely elsősorban a szélesebb karöltőkre és ujjakra (szabás) volt visszavezethető. Bár az izomteljesítmény javulására nem találtak egyértelmű bizonyítékot, a kompressziós ruházatot a résztvevők kényelmesebbnek érezték, ami hozzájárulhat a nagyobb mobilitáshoz és hatékonyabb mozgáshoz. Véleményem szerint a tanulmány hasznos alapot adott azoknak a későbbi

kutatásoknak, amelyek már éles környezetben vizsgálták a tűzoltók mozgásszabadságát és ruházati komfortját. Bár a jelen vizsgálat nem szimulált valós beavatkozási körülményeket, eredményei megerősítették, hogy a ruházat ergonómiai kialakítása (pl.: a mozgástartományt befolyásoló szabásvonalak és bőségértékek) kulcsfontosságú a beavatkozók fizikai teljesítményének támogatásában [9].

Wu kutatása a tűzoltók védőruházatának fejlesztésére fókuszált, különösen a polifenilén-szulfid¹ szövetek alkalmazására, melyeket vegyi és hővédelmi tulajdonságaik miatt vizsgáltak. Az eredmények szerint a szövet sűrűsége befolyásolja a szakítószilárdságot, és a lánc- és vetületsűrűség különbségének csökkentése javíthatja az anyag mechanikai teljesítményét. A kutatás egyik hasznos eredménye egy olyan védőruházat kialakítása, mely növelheti a tűzoltók biztonságát a beavatkozások során. A tanulmány ugyanakkor nem vizsgálta éles környezetben az anyagok viselkedését, így a valós tűzoltási és mentési körülmények közötti teljesítményük további kutatásokat igényel. Az eredmények mégis fontos kiindulópontként szolgálhatnak a jövőbeli fejlesztésekhez [10].

Már több mint két évtizeddel ezelőtt is folytak kutatások a tűzoltók hőstresszének² csökkentésére, ahogyan azt Smolander 2004-es tanulmánya is bizonyítja. Bár a vizsgált 1 kg-os jégmellény kezdetleges megoldásnak tekinthető, az eredmények azt mutatták, hogy viselése csökkentette a pulzusszámot, mérsékelte az izzadást és javította a hőérzetet, ami megerősítette, hogy a hűtéssel kapcsolatos megoldások már akkor is fontos szerepet kaptak. Annak ellenére, hogy a kutatás nem szimulált valós körülményeket, hasznos alapot biztosított a későbbi vizsgálatokhoz, melyek tovább fejlesztették a testhűtési technológiákat. A tanulmány rávilágított arra, hogy a bőr közvetlen hűtése csökkentheti a szubjektív terhelést, továbbá a védőruházat rétegezése befolyásolhatja a hőleadás hatékonyságát [11].

Urbán-Restás tanulmánya olyan hűtőruházati megoldásokat mutat be, melyek a tűzoltók hőterhelésének csökkentését célozzák, ezáltal támogatva a biztonságosabb és hatékonyabb munkavégzést. A publikáció ugyan 2017-ben készült, és a bemutatott technológiák mára kevésbé aktuálisak, mégis értékes alapot jelentett a későbbi tanulmányok elkészítéséhez. A vizsgált rendszerek mind hozzájárulhatnak a hőstressz csökkentéséhez, viszont hátrányként

¹ Polifenilén-szulfid: Hőre lágyuló műanyag, mely ellenáll a magas hőmérsékletnek

² Hőstressz: Olyan fiziológiai állapot, amikor az emberi szervezet nem képes hatékonyan leadni a belső hőtermelésből és a környezetből származó hőterhelést, ennek következtében a testhőmérséklet veszélyes mértékben megemelkedik

említhető, hogy ezek a megoldások plusz ruházati rétegeket igényelnek, ami befolyásolhatja a mozgásszabadságot és a kényelmet. A tanulmány emellett nem tér ki arra, hogy ezek a rendszerek hosszú távon mennyire viselhetők ergonomikus szempontból, pedig ez kulcsfontosságú tényező a gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából [12].

A védőruházat fejlesztése mellett számos kutatás foglalkozik a kiegészítő mérőeszközök használatával, melyek képesek az emberi test többféle típusú jeleit (pl. pulzus, légzésszám, hőmérséklet) mérni, így a kapott adatok által értékes, fiziológiai alapú információhoz lehet jutni [13]. Ezen kutatások eredményei nemcsak a beavatkozó tűzoltók fizikai terhelésének pontosabb nyomon követését teszik lehetővé, hanem alapot szolgáltathatnak az egyéni védőfelszerelések fejlesztéséhez (pl.: hőterhelés csökkentése, komfortérzet növelése).

Restás, kutatásában az erdő-, és vegetációtüzek intenzitásának változását írja le a globális klímaváltozás tükrében. Megállapítása szerint a globális felmelegedést tudományos kutatások támasztják alá, ennek következtében pedig az aszályos időszakok száma és hossza növekedni fog. A csapadék rövidebb időszakok alatt, viszont nagyobb mennyiségben és esetlegesen csak adott területeken fog lehullani. A szárazabb periódusok hosszabbá válása a növényzet fokozott kiszáradásához vezethet, ami kedvezőbbé teszi a meggyulladás, az égési és a tűz terjedési feltételeinek körülményeit [14]. A téma közvetetten ugyan, de mindenképp kapcsolódik az értekezés tervezetem területéhez, mivel az erdőtüzek számának növekedése által a tűzoltói beavatkozások és a felmerülő kockázati kitettség mértéke is expanzív tendenciát fog mutatni. Ennek következtében a tűzoltók védőruházatának teljesítményével szembeni elvárások is növekednek, így a védőruha anyagának és kialakításának továbbfejlesztése elengedhetetlen a tűzoltók testi épségének biztosítása érdekében.

Bodnár-Bérczi tanulmányában ugyancsak az erdőtüzek témaköre jelenik meg a beavatkozói biztonság szempontjából. Röviden említést tesznek a védőeszközökből és védőruházatokból adódó veszélyforrásokra is, hiszen ezeknek az emberi szervezetre gyakorolt hatása (hőstressz) meghatározó szerepet tölt be. Mindamelllett, hogy biztosítják az elvárható és szükséges védelmet a használója számára, többlet terhet is jelenthet a tömege vagy a kialakítása által [15]. A tanulmányban ugyan csak említésszerűen tértek ki a szerzők a védőruhák tulajdonságainak fontosságára, de mindenképp érdemes megjegyezni, hogy a környezeti tényezők változása, mint az erdőtüzek számának és kiterjedésének növekedése, magával vonja a szükséges fejlesztési irányvonalakat. Az értekezés tervezetem ugyancsak tárgyalja a hazai tűzoltói

beavatkozások számát és típusait, aminek része az erdő-, és vegetációtüzek rövid jellemzése, valamint a védőruhákkal való kapcsolatuk is.

Kerekes-Kővágó a tanulmányukban magas igénybevételű védőruha anyagok rétegvizsgálatainak eredményeit ismertették. Az eredmények alapján a teljes védelem eléréséhez kizárólag nem éghető rétegek alkalmazása szükséges, mivel csak így teljesíthetők a szükséges védelmi előírások. A korszerű védőruházatok több funkciót is ellátnak, mint a légáteresztés, kopásállóság és vízhatlanság, miközben megőrzik a tűzzel szembeni védelmüket. Ezen kívül a rétegekombinációk helyes elhelyezése kulcsfontosságú, mivel az éghető és nem éghető anyagok elrendezése meghatározza a rendszer éghetőségét és befolyásolja a védőruha hatékonyságát [16]. A kutatás témája valós, jelenleg is aktuális hiányosságra keresi a választ, mely az értekezés tervezetem részét is képezi. Véleményem szerint is mindenképpen hasznos lenne a beavatkozó állomány számára olyan kiegészítő ruházat (aláöltözet), mely a munkavégzésük során növelné a védelmi képességet. Erre irányuló részkutatásaimmal, a 2. fejezetben empirikus vizsgálattal alátámasztom, majd az eredményeket ismertetem.

Polanczyk és társai tanulmányában a tűzoltók védőruházatának biológiai szennyeződésekkel szembeni fertőtlenítésének hatékonyságát vizsgálta, különös tekintettel a különböző dekontaminációs³ módszerek összehasonlítására. A kutatás során kétféle védőruhát elemeztek, a NOMEX[®] (továbbiakban: Nomex) anyagból készült speciális bevetési ruházatot és egy nehéz, gáztömör, A típusú vegyvédelmi ruhát. A mintavételt különböző testtájokról végezték, mint a mellkas, comb, hónalj, térdhajlat és ágyék, majd a mikrobiális szennyezettséget vizsgálták. A ruházatok dekontaminálására két módszert alkalmaztak: mechanikai tisztítást mosószerrel és 98%-os alkohollal történő fertőtlenítést. Az eredmények azt mutatták, hogy mindkét fertőtlenítőszer csökkentette a mikroorganizmusok jelenlétét, azonban hatékonyságuk eltérő volt. A Nomex ruházat esetében a mosószer hatékonyabbnak bizonyult, különösen a mellkason és a comb területén, míg a gáztömör védőruhánál az alkohol érte el a jobb eredményeket, mivel annak sima, PVC-alapú felülete lehetővé tette a hatékonyabb eltávolítást. A nehezen hozzáférhető területeken, mint a hónalj vagy a könyökhajlat, a mosószer a Nomex ruhánál, míg az alkohol a vegyvédelmi ruházatnál volt hatékonyabb. A kutatás rávilágított arra, hogy egyik fertőtlenítőszer sem képes teljes mértékben eltávolítani a biológiai szennyeződések, azonban a mosószeresek habzó hatása jobban behatolt a szövetekbe, míg az alkohol antibakteriális tulajdonságai a sima felületeken bizonyultak előnyösebbnek. Véleményem alapján a kísérlet

³ Dekontamináció: fertőtlenítés, szennyeződés-mentesítés

eredményei kiváló alapot nyújtottak és jelenleg is nyújtanak a további védőruha típusok vizsgálataihoz [17].

Lovén és társai kutatásuk során a tűzoltók és a tüzesetek környezetében dolgozó munkavállalók levegőben található szennyező anyagokkal való érintkezését vizsgálta. Céljuk a füsttel való munkahelyi expozíció jellemzése volt, valamint a különböző kémiai anyagok, például policiklusos aromás szénhidrogének (PAH) jelenlétének kimutatása a vizeletben. A kutatás során három munkacsoportot vizsgáltak: tűzoltókat, megfigyelőket és a tűz utáni munkát végzőket (post-fire worker). A PAH-expozíció szintjét vizeletminták elemzésével mérték a munkavégzés előtt és után. Az eredmények szerint a tűzoltók és a megfigyelők vizeletében magasabb PAH-metabolitszintek⁴ voltak kimutathatók, mint a tűz utáni munkát végzők esetében. A kutatásuk rávilágít arra, hogy az égésből származó szennyező anyagok expozíciója nemcsak a közvetlen tűzoltási műveletek során fordul elő, hanem azok környezetében is jelentős lehet [18].

Wingfors és társai gyakorlati vizsgálatok által mutatták ki, hogy a bőrön keresztül történő felszívódás az egyik fő expozíciós útvonal, amely jelentős mértékben hozzájárulhat a szervezetbe jutó káros anyagok mennyiségéhez. A vizeletminták elemzése alapján az expozíció utáni időszakban a szervezet bizonyos metabolitokat lassabban ürít ki, ami hosszabb távú egészségügyi kockázatot is jelenthet. A kutatás megállapította, hogy a tűzoltók védelme érdekében érdemes lenne továbbfejleszteni a védőruházatot, csökkenteni a szennyeződés felhalmozódását és nagyobb hangsúlyt fektetni a megfelelő dekontaminációs eljárásokra [19].

Pántya tanulmányában kiemeli, hogy a beépíthető kiegészítők (pl.: hőkamera) jelentősen növelhetik a beavatkozások biztonságát és hatékonyságát. A mozdulatlanságérzékelők, a beépített kijelzők szintén fontos szerepet játszanak a tűzoltók védelmében. A tanulmány gyakorlati példákkal támasztja alá a fejlesztési irányok szükségességét, melyek véleményem szerint is hozzájárulhatnak a tűzoltó védőeszközök és alátöltőzetek hatékonyságának további növeléséhez. A témához kapcsolódóan a tervezetben bemutatok gyakorlati példákat és empirikus eredményeket, melyek alátámasztják ezen eszközök létjogosultságát [20].

Az ismertetett tanulmányok, illetve a gyakorlati tapasztalatok egyaránt rámutatnak a tisztítási és dekontaminációs eljárások növekvő jelentőségére, hangsúlyozva a tűzoltók

⁴ Metabolit: A szervezet anyagcseréjében részt vevő vagy a folyamatban keletkező anyag

szennyeződésének minimalizálását. Ezzel a témakörrel részletesen az értekezés tervezet 3. fejezetében foglalkozom.

Kutatásom első szakaszában a tűzoltó laktanya kialakítását vizsgáltam, melynek eredményeit tudományos formában is közzétettem. A vizsgálat során kitértem mindazon munkavédelmi szempontokra, amelyek elengedhetetlenek az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzési feltételek megteremtéséhez [21]. Megállapítottam, hogy a laktanyák és az egyéni védőfelszerelések tekintetében fontos alkalmazkodni a környezeti és technológiai változásokhoz, annak érdekében, hogy a beavatkozó állomány munkavégzéssel összefüggő egészségkárosodásának megelőzése minden körülmények között biztosított legyen. A későbbiekben áttekintettem az egyéni védőeszközök fejlődését, majd ismertettem az emberi szervezet működését, kiemelve a mozgásszervi megbetegedéseket, az ergonómia fontosságát [22]. A különböző kutatások áttanulmányozását követően egyértelművé vált számomra, hogy a tűzoltó védőruha kialakítása nagymértékben befolyásolja a beavatkozó tűzoltó munka hatékonyságát [23]. Ezen túlmenően a tisztítás és impregnálás témakörét is vizsgáltam, mivel a ruházat megfelelő karbantartása elengedhetetlen eleme a védőképesség megtartásának, továbbá az emberi szervezet egészségmegőrzésében is meghatározó szerepe van [24]. Ennek okán mindenképp fontosnak találom a védőruhák többszintű vizsgálatát és fejlesztését a jövőben.

Kutatásom alatt kérdőíveket állítottam össze tűzoltók részére – külön hazai és nemzetközi viszonylatban is -, így a felhasználói visszajelzések kiváló kiegészítésként szolgálnak a korábbi megállapításokhoz. Az anyagvizsgálatok mérési eredményei által empirikus úton is vizsgáltam az impregnálás hatását.

A kutatásom során kapott eredményeim új lehetőségeket nyithatnak meg a tűzoltó védőruhák fejlesztésének témakörében, különös tekintettel az impregnálási technológiák terén. Ezen adatok és tapasztalatok alapján további fejlesztési irányok lehetségesek az anyagfelhasználás területén, melyek hozzájárulhatnak a tűzoltó védőruhák védelmi képességének és ergonómiai jellemzőinek növeléséhez.

A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

A tűzoltók munkavégzési körülményei és a tűzoltás során fellépő kockázatok folyamatosan változnak, így szükség van a meglévő egyéni védőeszközök fejlesztésére, hogy azok megfeleljenek a modern világ igényeinek. A kutatásom célja a tűzoltó egyéni védőeszközök

jelenlegi állapotának, hatékonyságának és a potenciális fejlesztési irányok feltérképezése, különös figyelmet fordítva az anyaghasználatra, a funkcionalitásra és az ergonómiai szempontokra.

1. Tudományos probléma: A tűzoltók munkája során tapasztalt fizikai megterhelés és a hosszú távú egészségkárosodások kockázata összefügg a nem megfelelő ergonómiai kialakítású egyéni védőeszközökkel. A meglévő felszerelések nem mindig felelnek meg az ergonómiai elveknek, ami szükségessé teszi olyan új védőeszközök és kiegészítők kifejlesztését, melyek jobban illeszkednek a tűzoltók igényeihez és csökkentik a fizikai megterhelésből adódó egészségügyi problémákat.

2. Tudományos probléma: A tűzoltók védőruházatának hatékonysága és élettartama nagymértékben függ a megfelelő tisztítási és karbantartási eljárásoktól. Jelenleg az előírások változatosak és gyakran nem következetesek, ami a védőeszközök teljesítményének csökkenéséhez vezethet. A tisztítási gyakorlatok hiányosságai és az előírások betartásának elmaradása hozzájárulhat a tűzoltók bizalmának csökkenéséhez a védőeszközök megbízhatóságával kapcsolatban, ezáltal növelve a munkavégzés közbeni kockázatokat.

3. Tudományos probléma: A tűzoltók biztonsága és védőfelszerelésük hatékonysága nagymértékben függ azok megfelelő nyilvántartásától, karbantartásától és időben történő cseréjétől. A jelenlegi nyomon követési rendszerek gyakran manuális adminisztrációra épülnek, ami adatvesztést, nyilvántartási pontatlanságokat és a védőfelszerelések állapotának nehézkes ellenőrzését eredményezheti. A digitális nyomon követési technológiák alkalmazása lehetőséget biztosíthat a védőfelszerelések használati ciklusának pontos rögzítésére, a karbantartások és tisztítások ütemezésére, valamint a selejtezési folyamatok optimalizálására.

4. Tudományos probléma: A tűzoltói védőruházatnak nemcsak mechanikai és hővédelmi szempontból kell megfelelnie a biztonsági követelményeknek, hanem alkalmazkodnia kell a változó klimatikus viszonyokhoz is. A szélsőséges időjárási körülmények (pl.: intenzív csapadék) komfortcsökkenést eredményezhetnek, melyek hátrányosan befolyásolják a tűzoltók teljesítményét és egészségét. A jelenleg használt védőruházatok nem minden esetben biztosítanak megfelelő szellőzést, hőszabályozást és nedvességkezelést, ezért szükségessé válik olyan kiegészítő védőruházat fejlesztése, mely hatékonyabban alkalmazkodik a klimatikus kihívásokhoz, ezáltal növelve a tűzoltók komfortérzetét és beavatkozási hatékonyságát.

KUTATÁSI HIPOTÉZISEK

1. Feltételezésem szerint olyan új, ergonómiai szempontokat magasabb szinten figyelembe vevő egyéni védőeszközök és kiegészítők fejleszthetők, melyek csökkentik a tűzoltók fizikai megterhelését és hosszú távon hozzájárulnak az egészségkárosodások megelőzéséhez.
2. Vélelmezem, hogy a védőruházat karbantartási és tisztítási előírásainak fejlesztése és egységesítése növeli a védőeszközök hatékonyságát, meghosszabbítja élettartamukat és fokozza a tűzoltók bizalmát azok védelmi képessége iránt.
3. Feltételezem, hogy a digitális nyomon követési rendszerek alkalmazása a tűzoltók egyéni védőfelszereléseinek nyilvántartásában, karbantartásában és cseréjében javítja az eszközök állapotának ellenőrizhetőségét, csökkenti a nyilvántartási hibákat, és növeli a beavatkozók biztonságát. Mindemellett a digitális nyomon követési rendszerek, integrálhatók más, már meglévő beavatkozási adatbázisokkal, lehetővé téve a hosszú távú következtetések levonását a beavatkozások hatékonyságának és a védőfelszerelések használatának elemzése során.
4. Feltételezésem szerint a ruházati jellegű egyéni védőeszközök anyagainak és kialakításának több szempontú vizsgálata (anyagminőség, védőképesség, ergonómia, stb.) lehetőséget teremt olyan kiegészítő védőruházatok fejlesztésére, amelyek hatékonyabban alkalmazkodnak a klimatikus kihívásokhoz, ezáltal javítva a tűzoltók komfortérzetét és teljesítményét.

KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

1. A jelenleg használatban lévő tűzoltói védőruhák ergonómiai, védelmi és műszaki jellemzőinek elemzése, a nemzetközi és hazai kutatások összevetése, a hiányosságok azonosítása, valamint olyan fejlesztési lehetőségek megfogalmazása, amelyek hozzájárulhatnak a tűzoltók munkavégzésének hatékonyabbá és biztonságosabbá tételéhez.
2. A tűzoltó védőruházat tisztítására és karbantartására vonatkozó előírások és gyakorlatok vizsgálata, azok hatékonyságának elemzése, valamint a védőképesség fenntartását és a biztonság növelését célzó fejlesztési lehetőségek meghatározása.
3. A tűzoltók egyéni védőfelszereléseinek karbantartási és nyilvántartási gyakorlatának elemzése, valamint a digitális nyomon követési rendszerek alkalmazási lehetőségeinek feltárása a védőfelszerelések állapotának ellenőrzésére és a tűzoltók biztonságának növelésére.

4. A tűzoltók ruházati jellegű védőeszközeinek és kiegészítő elemeinek anyagminőségi, védelmi és ergonómiai szempontú vizsgálata, különös tekintettel a klimatikus kihívásokhoz való alkalmazkodás lehetőségeire és a hőkomfort optimalizálására.

ALKALMAZOTT KUTATÁSI MÓDSZEREK

1. A hazai és nemzetközi jogszabályok, szabványok és szakirodalom áttanulmányozása
2. A nemzetközi műszaki megoldások áttanulmányozása és összevetése a hazai gyakorlatokkal
3. A BM OKF által létrehozott és üzemeltetett adatbázisokból, mind a hivatásos, mind a más szervezetben működő tűzoltókat érintően a 2018. január 1. és a 2024. december 31. közötti időszakra vonatkozóan információk rendszerezése és osztályozása a vonulások számára és megoszlására vonatkozóan
4. A kutatás részeként felmérés (kérdőív) elvégzése az egyéni védőeszközöket használó állomány tapasztalatairól, azok ergonómiai fejleszthetőségének érdekében hazai és nemzetközi viszonylatban
6. A kutatási eredmények alátámasztása és szemléltetése céljából matematikai számítások elvégzése
7. Műszeres alapú, az impregnálás hatékonyságára irányuló vizsgálatok megvalósítása tűzoltó védőruházaton
8. Az aláöltözetek ergonómiai szempontú empirikus vizsgálatának elvégzése
9. Mesterséges intelligencián alapuló OpenAI ChatGPT-4o nyelvi modell alkalmazása összetett számítások elvégzéséhez és ábrák generálásához

A doktori képzés során megszerzett ismeretek hozzájárultak a kompetenciáim fejlődéséhez. Szakmai kérdésekben hazai és külföldi szakértők véleményét is figyelembe vettem, hogy szélesebb perspektívát nyerjek. Eredményeimet hazai és nemzetközi konferenciákon mutattam be, valamint számos folyóiratban publikáltam. A konferenciák során kapott visszajelzések jelentős hatással voltak az értekezés tervezetem végső formájára.

A doktori értekezés tervezetem szerkezete:

Az 1. fejezetben a jelenleg használatban lévő tűzoltói védőruhák ergonómiai, műszaki és védelmi jellemzőit vizsgálom, különös tekintettel azok hosszú távú hatásaira a beavatkozó állomány fizikai megterhelésére és egészségére. A fejezetben bemutatom a védőruhák fejlődési folyamatát és a jogszabályi háttérrel, valamint elemzem azokat az ergonómiai és komfortszempontokat, amelyek befolyásolják a tűzoltók mozgékonyaságát és teljesítményét. A kutatás során nemzetközi és hazai példákat is vizsgálok, feltérképezve a védőfelszerelések továbbfejlesztésének lehetőségeit. A cél olyan ergonómiai megoldások azonosítása, amelyek csökkenthetik a tűzoltók fizikai megterhelését, ezáltal növelve munkavégzésük hatékonyságát és biztonságát.

A 2. fejezetben elemzem a magyar és nemzetközi tűzoltók védőruházatának tisztítási és szárítási gyakorlatait, valamint összehasonlítom az eltérő mosási gyakoriságokat, szennyeződéstípusokat és impregnálási eljárásokat. Kiemelt szerepet kap a Skellefteå modell által alkalmazott tisztítási protokoll, mely a beavatkozás utáni szennyeződés-eltávolítás és logisztikai folyamatok együttes kezelésével komplex megközelítést kínál, valamint a tisztítókendők használatának vizsgálata, melyeket szakirodalmi források és gyakorlati tesztek alapján értékelek. A fejezet részét képezi az impregnálás hatékonyságának laboratóriumi mérése, melynek célja annak meghatározása, hogy a különböző karbantartási eljárások milyen mértékben befolyásolják a védőruházat vízlepergető képességét és élettartamát. Az eredmények alapján javaslatokat teszek a karbantartási és tisztítási folyamatok optimalizálására.

A 3. fejezetben a tűzoltók egyéni védőfelszereléseinek karbantartási és nyilvántartási gyakorlatát vizsgálom, különös tekintettel a manuális adminisztráció kihívásaira és a digitális nyomon követési rendszerek alkalmazási lehetőségeire. Elemzem a védőeszközök életciklusának dokumentálási folyamatait, valamint feltárom a rendszeresítési eljárások működését és fejlesztési lehetőségeit. Végül meghatározom, miként járulhatnak hozzá a digitális rendszerek az egyéni védőfelszerelések állapotának folyamatos monitorozásához, a karbantartási folyamatok hatékonyabb ütemezéséhez és a szükséges cserék időben történő végrehajtásához.

A 4. fejezetben a tűzoltói védőruházat anyagminőségi, hőkomfort és védelmi szempontjait vizsgálom, különös figyelmet fordítva a klimatikus kihívásokhoz való alkalmazkodás lehetőségeire. A kutatás során értékelem a szélsőséges időjárási körülmények hatását a védőruhák funkcionalitására, valamint a tűzoltók munkavégzési komfortjára. Az elemzéshez kérdőíves felmérést és nemzetközi tanulmányok összehasonlítását alkalmazom, hogy

azonosítsam azokat a fejlesztési lehetőségeket, melyek javíthatják a védőfelszerelések hatékonyságát és kényelmét különböző időjárási viszonyok között. A fejezet célja olyan kiegészítő védőruházati megoldások feltérképezése, melyek jobban alkalmazkodnak a beavatkozó állomány igényeihez, ezáltal csökkentve a klímaváltozás okozta kihívásokat.

Elhatárolási szempontok az értekezés tervezetben:

Védőeszközök fejlesztésének határai:

A kutatás során a tűzoltó védőruházat fejlesztésével kapcsolatban elsősorban az ergonómikus kialakításra és a szélsőséges környezeti hatásokra összpontosítottam. Nem foglalkoztam a vegyi és biológiai kockázatokkal, továbbá a légzőkészülékek, védőcsizmák, mászóövek és védősisakok elemzése sem képezte a kutatás részét, mivel ezek speciális védelmi rendszereket és eltérő biztonsági követelményeket igényelnek, melyek túlmutatnak a kutatásom fő fókuszán.

Fenntarthatóság vizsgálata:

A kutatásom a tűzoltói védőruházatok fejlesztésére, ergonómiai és karbantartási szempontjaira összpontosított, ezért nem tértem ki részletesen a fenntarthatósági és újrahasznosítási kérdésekre. A védőfelszerelések élettartamának végén történő kezelése rendkívül összetett és több tudományterületet érintő témakör, amely külön kutatást igényelne.

Kérdőíves kutatás:

A kutatás során az egyéni védőfelszerelések használatát és karbantartását érintő kérdőíves adatgyűjtést végeztem az érintett tűzoltók körében, amely online és anonim módon zajlott. Mivel a válaszadók hitelességét nem volt lehetőségem személyesen ellenőrizni, a kérdőív eredményei irányadó támpontként szolgálnak, de nem tekinthetők teljeskörűen validált vagy statisztikailag reprezentatív adatoknak. Az eredmények értékelése során ezt a korlátot figyelembe vettem.

Védőruhák jellemzése:

A védőruhák vizsgálata során nem végeztem összehasonlítást különböző márkák vagy modellek között. A kutatás célja a védőruhák általános műszaki és ergonómiai jellemzőinek vizsgálata volt, tehát az elemzés inkább összességében és nem specifikus márkák, típusok

szintjén történt. Az eredmények a különböző gyártók közötti eltéréseket nem veszik figyelembe.

Laboratóriumi mérés:

A laboratóriumi méréseket használt védőruhákon végeztem, melyek kontaminációs előzményei nem ismertek. A mérés kizárólag víztaszító tulajdonságokra vonatkozott, így a védőruhák egyéb műszaki jellemzői, mint például a mechanikai ellenállás vagy a hőszigetelés, vegyi anyagoknak való ellenállás nem kerültek vizsgálatra. Az adatok tehát csak a vízáteresztés-, taszítás szempontjából értelmezhetők.

Aláöltözetek empirikus tesztelése:

A kutatásom során az aláöltözetek empirikus vizsgálatát egy meghatározott időszakban végeztem, így az évszakok közötti különbségek teljes körű vizsgálatára nem volt lehetőség. A hosszabb távú tesztelés – különösen a nyári és téli szélsőséges hőmérsékleti viszonyok között – további kutatási lehetőséget jelentene, azonban a rendelkezésre álló időszak nem tette lehetővé a teljes éves időjárási környezetben történő vizsgálatot. Az időbeli korlátok mellett az aláöltözetek tesztelése során korlátozott számú tűzoltó vett részt, így a visszajelzések egy adott időszak és célcsoport tapasztalatait tükrözik.

Kutatásomat 2025.04.22-én zártam le

1. A TŰZOLTÓ EGYÉNI VÉDŐFELSZERELÉSEK HELYZETE ÉS FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI

Ebben a fejezetben a tűzoltókat ért veszélyforrásokat, a tűzoltó egyéni védőfelszereléseket, a védőruházatok történeti áttekintését mutatom be, majd a jelenleg használt eszközök problémáit ismertetem rövid kitérőt téve az ergonómia területén. A tűzoltói védőfelszerelések fejlődése szorosan összefügg a tűzoltás történetével és a technológiai jellegű változásokkal. Az első tűzoltók védelme csupán vastagabb ruházatra és alapvető sisakokra korlátozódott, míg a modern tűzoltó felszerelések már speciális anyagokból készülnek, melyek hőállóságuk mellett képesek minimalizálni az egyéb káros anyagok behatolását is. A fejlődés mögött álló egyik legfontosabb hajtóerő a technológiai innovációk mellett a biztonsági előírások és szabványok folyamatos szigorodása volt, melyek egyre magasabb követelményeket támasztanak a védőeszközökkel szemben.

A jogszabályi háttér változása szintén jelentős szerepet játszik a tűzoltók felszerelésének alakulásában. Hazai és nemzetközi szinten is számos szabvány határozza meg a védőfelszerelések minimális követelményeit, biztosítva ezzel az egységes és minimálisan elvárt védelmi szintet. Magyarországon is folyamatosan zajlik a vonatkozó előírások korszerűsítése, figyelembe véve az újonnan megjelenő anyagokat és gyártási technológiákat, ennek ellenére még mindig tapasztalhatóak hiányosságok, különösen az ergonómiai szempontok terén, melyek negatívan befolyásolhatják a tűzoltók mozgékonyágát, komfortérzetét, ezáltal a beavatkozások hatékonyságát is. A fejezetben az alábbi célokat tűztem ki:

- Meghatározom a témakört illető hazai és nemzetközi kutatások hiányosságait, fejlesztési területeit
- Bemutassam a védőfelszerelések ergonómikus kialakításának fontosságát a jelenlegi tűzoltói gyakorlatban.

Kutatásom célja, hogy hozzájáruljak a tűzoltók védőfelszereléseinek fejlődéséhez azáltal, hogy feltérképezem a jelenlegi eszközök gyakorlati alkalmazásával kapcsolatos tapasztalatokat és kihívásokat. Az ergonómiai szempontok vizsgálata és a védőruházat rendszeresítésének folyamata egyaránt fontos tényezők, melyek közvetlen hatással vannak a tűzoltók munkakörülményeire és biztonságára. A kérdőíves kutatás eredményei és a szakirodalmi áttekintés segítségével olyan javaslatokat fogalmazok meg, melyek hozzájárulhatnak a védőruházat fejlesztéséhez és hatékonyságának növeléséhez.

1.1 A veszélyes környezet bemutatása tűzoltói munkavégzés során

A tűzoltók munkájuk során folyamatosan extrém fizikai és környezeti hatásoknak vannak kitéve, melyek jelentős kockázatot jelentenek mind a rövid-, mind a hosszú távú egészségi állapotukra. A beavatkozások során fellépő intenzív terhelés, a magas hőmérséklet, a füst és egyéb veszélyes anyagok belélegzése, valamint a fizikailag megterhelő mozdulatok együttesen teszik a tűzoltói munkát az egyik legveszélyesebb hivatássá. Az ezekből adódó sérülések típusai sokfélék lehetnek, az akut traumás esetektől kezdve a hosszú távú mozgásszervi károsodásig vagy légzőszervi megbetegedésekig.

Az égési sérülés a tűzoltási beavatkozások során az egyik legnagyobb kockázatot jelentő sérüléstípus, amelyet a rendkívül magas hőmérséklet, a nyílt lángok és a forró felületekkel való közvetlen érintkezés okozhat. Az ilyen sérülések súlyossága az enyhe felületi bőrpírtól a mély szöveti károsodásig terjedhet, mely tartós munkaképtelenséget vagy maradandó károsodást eredményezhet [25]. A megfelelő védőfelszerelés viselése önmagában nem elegendő az égési sérülések elkerüléséhez, ezért kiemelten fontos az előzetes és ismétlődő jellegű elméleti és gyakorlati oktatás. A tűzoltóknak készségszinten kell elsajátítaniuk, hogyan mérhetik fel a hőhatás kockázatait, milyen távolságból biztonságos megközelíteni a hőforrásokat, továbbá milyen időtartamig tartózkodhatnak egy extrém hőmérsékletű környezetben. A képzések során meg kell tanulniuk az anyagok hővezetési tulajdonságait, illetve mely felületek jelenthetnek közvetlen veszélyt az érintkezés révén.

A légzési sérülések közé tartozik a füst és a toxikus gázok okozta légutakat érintő károsodás. A zárt terekben kialakuló tüzesetek során a tűzoltók magas koncentrációjú füsttel és oxigénhiányos környezettel találkoznak, mely súlyos tüdőirritációt, légzési nehézséget és légzőszervi károsodást okozhat [26]. Az ilyen sérülések elkerülése érdekében kiemelten fontos a megfelelő légzőkészülék használata, mely nemcsak az azonnali védelmet biztosítja, hanem csökkenti a krónikus tüdőbetegségek kialakulásának kockázatát is.

A fizikai megterhelésből adódó sérülések közé tartoznak a mozgásszervi károsodások, melyek az izom-, ín- és ízületi struktúrákat érintik. A tűzoltók gyakran emelnek nehéz felszereléseket, dolgoznak kényszertesthelyzetben, melyek hosszú távon gerinc- és ízületi károsodást okozhatnak. Az esések és zuhanások kockázata kiemelkedő a tűzoltási és mentési feladatok során. Az instabil szerkezetek, csúszós felületek vagy rossz láthatósági viszonyok sérüléseket, töréseket okozhatnak [27].

A tűzoltók számára a különböző katasztrófahelyzetek eltérő kihívásokat jelentenek, melyek speciális beavatkozási és védelmi intézkedéseket igényelnek. A katasztrófák típusa és intenzitása meghatározza a tűzoltói műveletek jellegét, legyen szó mentési, oltási vagy kárelhárítási feladatokról. A katasztrófák az alábbi fő csoportokba sorolhatók:

Természeti katasztrófák: földrengés, eső, vihar, jég stb.

Mesterséges civilizációs katasztrófák: háború

Szociológiai katasztrófák: nukleáris tevékenységek, járványok, robbanás stb. [28]

A természeti katasztrófák esetében különösen fontos figyelembe venni az éghajlatváltozás hatásait, melyek napjainkban egyre nagyobb jelentőséggel bírnak. A klímaváltozás következtében gyakoribbá és intenzívebbé válnak az olyan szélsőséges időjárási jelenségek, mint a hőhullámok, árvizek vagy viharok, melyek közvetlenül befolyásolják a tűzoltói beavatkozások körülményeit és gyakoriságát. Az emelkedő tengerszint, a hőmérsékleti szélsőségek és az atmoszférikus instabilitás nemcsak az infrastruktúrát veszélyeztetik, hanem megnehezítik a műveletek időbeni és hatékony végrehajtását is. Emellett a természeti katasztrófák nyomán fellépő humanitárius krízisek – mint például az ivóvízhez való hozzáférés romlása vagy az élelmiszerellátási nehézségek – közvetetten is fokozzák a beavatkozási igényt [29] [30].

A tűzoltók számára a természeti csapások utáni helyreállítási és mentési munkálatok jelentik az egyik legfőbb kihívást. A gyakran előforduló szélviharok kidöntött fákat, megrongálódott épületeket és veszélyes helyzeteket hagynak maguk után, amelyek felszámolásához a tűzoltók beavatkozására van szükség. Az esőzések által létrehozott csúszós felületek különösen a magasban végzett munkák során jelentenek kockázatot, ezért a megfelelő leesés elleni védelem elengedhetetlen. Ezen kívül az esőzések miatt keletkező gödrök és árkok megtelhetnek vízzel, amelyek rejtett veszélyt jelenthetnek, és könnyen vezethetnek boka sérülésekhez a beavatkozás során. A globális átlaghőmérséklet növekedése okán Magyarország időjárása is eltérést mutat a korábbi, megszokott viszonyokhoz képest. Gyakoribbá váltak a szárazabb időszakok, aminek köszönhetően az erdőtüzek gyakorisága és hatásának erőssége is növekedést mutat [14]. Ennek következtében a beavatkozások száma és időtartama egyre nagyobb kihívás elé állítja a tűzoltókat, mind fizikai, mind pszichikai szempontból. Az ilyen beavatkozások során kiemelten fontos a megfelelő hővédelem biztosítása, mely nemcsak a túlzott hőterhelés mérséklését

szolgálja, hanem hozzájárul a beavatkozók fizikai teljesítőképességének fenntartásához is. Ezt egyrészt a rendszeresített egyéni védőeszközök garantálják, másrészt a tűzoltási taktikai eljárások, mint a megfelelő távolságtartás, az optimális tartózkodási idő, a váltások időzítése és a beavatkozók közötti hatékony kommunikáció.

A biológiai és kémiai veszélyekkel szembeni védelem esetén – amennyiben szükséges és elvárt - speciális védőruházatot vesznek fel a tűzoltók, így biztosítva a külső környezettől való izolációt. A gáztömör vegyvédelmi védőruha kialakításából adódóan a kisebb tárgyak felvétele, a finom mozgások nehézkessé válnak, emellett a védőruhából történő kilátás korlátozottabb, így a tűzoltóra pszichés szempontból nagyobb nyomás nehezedik, ami befolyásolhatja az adott tevékenység elvégzésének hatékonyságát. A védőruházat és a légzőkészülék viselése során a beavatkozások időtartama korlátozott, az ebből fakadó időkényszer pedig – különösen toxikus anyagok jelenlétében – fokozott pszichés megterhelést jelenthet a beavatkozó állomány számára, ahogyan azt a súlyos ipari balesetek egészségügyi következményeiről szóló elemzések is alátámasztják [31]. A beavatkozás végeztével a megfelelő dekontaminációs eljárások betartása kulcsfontosságú a vegyi anyagokkal való szennyeződés megelőzése érdekében [32].

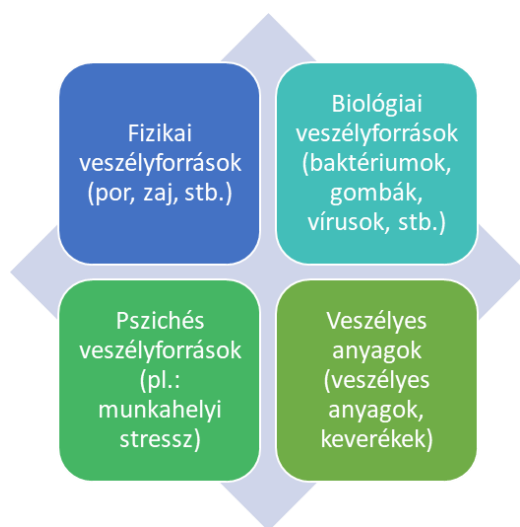
Munkavédelmi szempontú megközelítésben vizsgáltam a tűzvizsgálati tevékenységet és a közben fellépő veszélyeket. A Tvt. 4. § f.) pont szerint a tűzvizsgálat célja a tűz keletkezési időpontjának, helyének és okának feltárása, továbbá olyan tapasztalatok gyűjtése a tűz megelőzés és tűzoltás területén, amelyek a mentési feltételek fejlesztésére és a megelőzési módszerek tökéletesítésére alkalmazhatók [4]. Mindezekhez elengedhetetlen a helyszín alapos átvizsgálása, aminek során az érintett állomány számára a meghatározott egyéni védőfelszerelések viselése kötelező. Egy tűzesetet követően az érintett ingatlan szerkezeti stabilitása nem tekinthető megfelelőnek, ezért az épület bejárása fokozott körültekintést igényel. Nem zárható ki annak lehetősége sem, hogy a tűzvizsgálat során egy szerkezeti elem, például egy gerenda, a vizsgálatot végző személyre hulljon. A botlásveszély ilyen esetekben magas kockázati tényezővel bír, hisz a romok rejthetnek magukban olyan fehér foltokat, amik rálépés esetén beesnek, ezzel okozva boka-, illetve lábsérülést. A vizsgálatot végző személyek jelentős mértékben ki vannak téve különféle szennyeződéseknek, például koromnak, égéstermék-maradványoknak és veszélyes vegyületeknek (pl.: PAH), melyek belélegzése vagy bőrrel való érintkezése hosszú távú egészségügyi kockázatokat hordozhat, ahogyan arra a Wingfors és munkatársai által végzett kutatás is rámutatott [19].

Az utóbbi évek ugrásszerű technológiai fejlődésének köszönhetően számos olyan új eszköz, berendezés került a piacra, ami tűzvédelmi és tűzoltási szempontból is kihívás elé állította az embereket. Példaként szolgálhatnak a napelemes, fotovoltaiikus rendszerek⁵ vagy az egyre inkább népszerűvé váló hibrid/elektromos hajtású gépjárművek [33]. A balesetmentes és hatékony tűzoltási, valamint műszaki mentési tevékenység érdekében az alkalmazott eszközök és berendezések működési elvének alapos, elméleti és gyakorlati szintű ismerete napjainkban elengedhetetlen követelmény a beavatkozó állomány körében. Különös körülménnyel kell eljárni napelemekkel felszerelt épületek esetében, különösen akkor, ha a tetőszerkezet, illetve az arra telepített napelemes rendszer is meggyulladt. Az áramütés veszélye ugyanis ebben az esetben akkor is fennállhat, ha a tulajdonos tájékoztatása szerint a napelemek nincsenek bekötve az elektromos hálózatba – a panelek ugyanis a fény hatására továbbra is feszültséget termelhetnek [34].

A fizikai és környezeti veszélyek mellett a pszichés terhelés kezelése kulcsfontosságú a tűzoltók hosszú távú egészségmegőrzésében és bevetési hatékonyságuk fenntartásában. Tűzeset, műszaki mentés során a tűzoltók kapcsolatba kerülnek az áldozatokkal és szembesülnek a holttestekkel. Az adott rendkívüli eseményt követően az érintett személyek viselkedése az általános viselkedéshez képest megváltozhat, pl.: mozdulatlanság, szellemi bénultság, agresszivitás stb. [35]. Ilyen esetekben a tűzoltóknak megfelelő módon és szakszerűen szükséges segítségnyújtást biztosítani az áldozatok részére, elkerülvén, hogy az illetők magukon vagy más személyeken esetleg sérülést okozzanak. A halott személyek látványa néhány tűzoltó számára pszichés szempontból megterhelő lehet. Ezen megélt tapasztalatok nem megfelelő feldolgozása a későbbiek során, a mindennapi életre negatív hatással bír, a testi és lelki egyensúly felborulását előidéző állapothoz, azaz traumához is vezethetnek [36]. Ennek elkerülése végett kiemelten fontos szerephez jut az egészséges mentális állapot elérése és megtartása. Ehhez segítséget nyújthat a bajtársakkal való rendszeres kommunikáció, hiszen ők is hasonló eseményeken mentek és mennek keresztül, így megértik a másik személy problémáit. Mindemellett hatékony lehet a rendszeres sporttevékenység végzése vagy akár a munkahelyen belül a különböző szerepek (vezető, beosztott) egyértelműsége a stresszel való megküzdésben [37].

⁵ Fotovoltaiikus rendszer: Napsugárzásból származó energia elektromos energiává történő átalakítására képes rendszer

A korábban bemutatott veszélyforrások rendszerezését az 1. ábra szemlélteti, mely segít az egyes tényezők átlátható kategorizálásában:



1. ábra: Veszélyforrások csoportosítása, készítette a szerző, forrás: [38]

Az ábra a tűzoltók munkáját érintő veszélyforrások négy fő kategóriáját jeleníti meg. A különböző tényezők eltérő módon jelenthetnek kockázatot, így ezek azonosítása és kezelése kulcsfontosságú a beavatkozások biztonságának növelése érdekében.

1.2 Az általánosan használt tűzoltó egyéni védőeszközök ismertetése hazai viszonylatban

A történeti áttekintés előtt ismertetem a magyarországi és jellemzően nemzetközileg is beavatkozó tűzoltók által használt egyéni védőfelszereléseket, felsorolom és röviden jellemzem azokat, így átfogó képet nyújtok az eszközökről. A beavatkozó tűzoltók által viselt egyéni védőeszközöket, pontosabban ruházatot a védendő területek szerint lehet csoportosítani:

Tűzoltó védősisak

A védősisak elsődleges célja, hogy megóvja a tűzoltó fejét a beavatkozások során fellépő mechanikai behatásoktól, hőhatásoktól, leeső tárgyaktól és egyéb veszélyforrásoktól, a kinetikus energiát eloszlassa anélkül, hogy a viselője számára kárt okozzon. A rendszeresített tűzoltó védősisakok esetén lényeges, hogy megfelelően illeszkedjen viselője fejéhez. A sisakon található pántok, szíjak vagy gombok segítségével még tűzoltó védőkesztyűben sem okozhat gondot a használójának a beállítása. A megfelelő, adott fejmérethez és formához történő állítást követően, a hosszú időn keresztül történő viselés sem okoz kényelmetlenséget és fájdalmat a

tűzoltó számára. Anyagtulajdonságainak köszönhetően ellenáll a magas hőmérsékletnek is, így védve a tűzoltó fejét. Mindemellett természetesen biztosítja azt is, hogy egy magasból érkező tárgy fejre történő esés ne okozzon fejsérülést használójának. A tűzoltói sisak fő elemei a külső héj és a párnázó betét, amely mechanikai energiaelnyelőként funkcionál. Régebben a héjak laminált anyagból készültek, melyeket kémiaiilag keményített gyantákból és különféle szálak anyagokból – például üvegszálból vagy aramidszálak szövetből – állítottak elő. Az újabb sisaktervezési megoldásokban ezt a gyártási módszert az injekciós öntési technológia váltotta fel, amely során plaszticizált⁶ termoplasztikus⁷ anyagot, finomra aprított szálakat tartalmazó kompozitot fecskendeznek a formába. A héj, mint a sisak külső része, elnyeli az ütközéseket, szétesztja az energiát egy nagyobb felületen, elnyeli annak egy részét, emellett védi a viselő fejét az éles tárgyak behatolásától. A párnázó betét – vagyis az energiaelnyelő réteg – a mechanikai ütések energiájának jelentős részét képes felvenni, elsősorban a hosszabb ideig tartó deformáció révén. Ez a mechanizmus hatékonyabban oszlatja szét az ütközési energiát és növeli a deformáció által végzett munkát. Míg korábban az energiaelnyelők expandált poliészterből készültek, napjainkban a gyártók különböző típusú poliuretán habot alkalmaznak, amely jobb teljesítményt nyújt ezen a téren [39]. A mechanikai védelem mellett, a sisakok fejlesztése során egyre nagyobb hangsúlyt kapnak az ergonómiai jellemzők, így figyelembe kell venni a testalkati paramétereket, különösen a nemek közötti anatómiai eltéréseket. A hagyományos, egységes kialakítású sisakok nem minden esetben biztosítanak megfelelő illeszkedést, ami csökkentheti a védelmi képességet és növelheti a biomechanikai⁸ terhelést. A korszerű tervezési folyamatokban a fentebb is leírt tényezők mellett az antropometriai⁹ szempontok integrálása is elengedhetetlenné válik [40].

A tűzoltó védősisakokra több szabvány is vonatkozik, melyek meghatározzák a biztonsági követelményeket és a vizsgálati eljárásokat. A *Védősisakok épületekben és más szerkezetekben végzett tűzoltáshoz szóló MSZ EN 443:2008 szabvány* meghatározza a hő-, láng-, vagy ütésállósági kritériumokat, kitér az elektromos és vegyi hatásokkal szembeni ellenállásra, továbbá a látómezőre, mechanikai stabilitásra is. A szabvány C melléklete részben ajánlásokat fogalmaz meg a sisak és más védőfelszerelések (pl.: arcvédők, légzőkészülékek) együttes használatának vizsgálatára. A kompatibilitás értékelése során figyelembe kell venni a kényelmi

⁶ Plaszticizált: Lágyított, rugalmasabbá tett

⁷ Termoplasztikus: Hőre lágyuló és újraformázható műanyag

⁸ Biomechanika: Az emberi test mozgásával és a rá ható fizikai erőkkel foglalkozó terület

⁹ Antropometria: Az emberi test méreteinek és arányainak mérésével foglalkozó tudomány

szempontokat, a párasodás kialakulását, a kommunikációt, a látómezőt vagy akár a mozgáskorlátozottságot [41].

A Tűzoltósisakok. Terepi tűzoltásra alkalmas sisakokról szóló MSZ EN 16471:2015 szabvány célja, hogy meghatározza a tűzoltósisak anyaghasználatának feltételeit, mechanikai ellenállását, hőállóságát és ergonomikus kialakítását. A szabvány által leírt gyakorlati tesztek biztosítják a sisak későbbi megfelelő illeszkedését, mozgás közbeni stabilitását és gyors eltávolíthatóságát. A szabvány előírja a sisakok jelölési követelményeit és a gyártó által biztosított információkat is, garantálva, hogy a felhasználók pontosan ismerjék a sisak védelmi képességeit és használati korlátaikat [42].

A Tűzoltósisakok. Műszaki mentésre alkalmas sisakokról szóló MSZ EN 16473:2015 szabvány a műszaki mentésekhez használt tűzoltósisakok követelményeit és tesztelési módszereit határozza meg. A szabvány célja, hogy biztosítsa a sisakok mechanikai, hőállósági, vegyi és ergonomiai teljesítményét olyan környezetben, ahol a tűzveszély nem elsődleges kockázat [43]. Ezek a sisakok alkalmasak közlekedési baleseteknél végzett műszaki mentések, erdőtüzek oltása, magasból és vízből történő mentések során.

A tűzoltósisakok kiegészítőit is érdemes megemlíteni, mivel ezek jelentősen hozzájárulnak a beavatkozások hatékonyságához. A kepi a tarkó és a nyak védelmét szolgálja, elsősorban a felülről érkező mechanikai hatások, továbbá a hő-, és láng ellen. A kialakítása révén elvezeti a felülről érkező folyadékokat is. További kiegészítő eszközök a sisaklámpák is, melyek akár robbanásveszélyes környezetben is alkalmazhatók az ATEX¹⁰ tanúsításnak köszönhetően [44]. A lámpák elhelyezése lényeges tervezési szempont, mivel közvetlen hatással van a sisak súlyeloszlására, így a viselő komfortérzetére. Az oldalra rögzíthető lámpák hosszú távon a nyak aszimmetrikus megterhelését okozzák. A kiegyensúlyozás érdekében a sisak ellenkező oldalára kamera is felszerelhető (pl.: Fire Cam Mini®) [45]. Az előre szerelt világítótestek szélesebb látómezőt, továbbá megfelelő súlyeloszlást biztosítanak [46]. A sisakokhoz integrált vagy azokkal kompatibilis hőkamerák alkalmazása további előnyt jelenthet a beavatkozások során, mivel a látómezőbe épített kijelzőn jelenik meg a hőkép, így a használójának nem kell kézben tartania az eszközt [47]. A korszerűbb megoldások már nemcsak a hőképet jelenítik meg,

¹⁰ ATEX: Atmosphères Explosibles – Robbanásveszélyes környezet (Forrás: Európai Parlament és a Tanács 2014/34/EU irányelve). A robbanásveszélyes környezetben alkalmazott berendezések és védelmi rendszerek gyártóinak kötelező feltüntetniük, hogy termékeik mely veszélyességi zónákban történő használatra alkalmasak

hanem kiegészítő információk is (pl.: távolságok) feltüntetésre kerülnek, különösen a LIDAR¹¹ alapú rendszerek esetén [20]. A vizuális támogatás területén nemcsak a hőkamerák fejlődése figyelhető meg, hanem olyan innovatív kijelző technológiák is megjelentek, mint a Dräger FPS 7000 Head-Up Display rendszere, mely közvetlenül a légzőálarc látómezőjébe integrálva jeleníti meg a légzőpalack aktuális nyomását. A szinkódolt LED-ek révén a tűzoltó folyamatos visszajelzést kap az ellátottságáról anélkül, hogy ez elvonná a figyelmét, ezáltal növelve a művelet biztonságát és hatékonyságát [48].

A tűzoltósisakokra vonatkozó szabványok egységes követelményrendszere biztosítja a megfelelő fejtvédelmet különböző beavatkozási környezetekben. Közös jellemzőjük a mechanikai hatásokkal, áthatoló sérülésekkel és hőhatásokkal szembeni ellenállás, valamint az ergonomikus kialakítás, amely a viselő mozgásszabadságát és perifériás látómezőjét is figyelembe veszi. Kiemelendő pozitívum, hogy a szabványok megkülönböztetik a különböző tűzoltói tevékenységek sajátosságait, lehetővé téve a célzott védelem kialakítását.

Javasolt fejlesztési irányként indokolt lenne a karbantartási és ellenőrzési előírások részletesebb szabályozása, mivel ezek jelenleg elsősorban a gyártói ajánlásokra épülnek.

Tűzoltó védőkámzsa

A tűzoltók szélsőséges időjárással vagy a fokozott hőszugárzással szembeni védelme a tűzoltó védőkámzsával fokozható. A megfelelő anyagtulajdonságoknak (vízelvezetés, többretegű) köszönhetően biztosítja a beavatkozó tűzoltók fokozott védelmét. A rétegek száma és az anyagtulajdonságok nagyban meghatározzák egy védőkámzsa fejlesztési irányait. További szempontot jelentek az ergonómiai jellemzőknek való megfelelés is, hiszen a beavatkozás közbeni komfortérzés, a könnyű mozgás, a minőségi anyagválasztás segíti a hatékony munkavégzést. A kényelmi szempontok mellett a ruházat varrása, kialakítása a külső környezetből származó szennyező elemeket is távol tartja, így biztosítva a terület minimális védelmi funkcióját [49].

A védőruházat tűzoltók részére. A tűzoltók kámzsáinak követelményei és vizsgálati módszereiről szóló MSZ EN 13911:2018 szabvány a tűzoltók által viselt védőkámzsákra vonatkozó követelményeket és vizsgálati módszereket határozza meg, emellett részletesen szabályozza az

¹¹ LIDAR: Light Detection and Ranging – Fényérzékelés és Távolságmérés. Távérzékelési módszer, mely pulzáló lézernyaláb formájában kibocsátott fényt használ a távolságok méréséhez

anyagválasztást, így garantálva a bőrrel való érintkezés biztonságát. A hővédelmi képességre és lángállóságra vonatkozó, továbbá a mechanikai behatások elleni követelmények biztosítják a megfelelő védelmi képesség elérését és megtartását szélsőséges környezetben is. A szabvány előírásai meghatározzák, hogy a védőkármzsa légzőálarccal való együttes viselése esetén biztosítani kell a kompatibilitást, hasonlóan a tűzoltó védősisakok esetében alkalmazott követelményekhez. A megjelenített tisztítási ajánlás (öt mosási ciklus) pozitívumként értékelhető a szabványban, mivel ez elősegíti a védőkármzsák megfelelő karbantartását, ezáltal a hosszabb minőségi élettartamát. A részletes mosási és szárítási előírásokat a gyártók határozzák meg, ami rugalmasságot biztosít az anyagok és technológiák fejlődéséhez igazodó egyedi követelmények kialakításában [50].

Tűzoltó védőruha

A tűzoltó bevetési védőruházatok a nadrág és kabátrészből állnak, melyek a nagyobb védelem biztosítása miatt deréktájon jelentősen átfedik egymást. Az anyagösszetételének köszönhetően biztosítják a szükséges vízhatlanságot, továbbá a megfelelő hő, láng és mechanikai védelmet használójuk részére. A tűzoltók védőruházatában általában magas teljesítményű szálakat, például para-aramidot, meta-aramidot, aramid kopolimereket, polibenzimidazolt (továbbiakban: PBI)¹² és polibenzoxazolt (továbbiakban: PBO)¹³ használnak. Ezek a szálak kiváló hő- és lángállóságot, valamint mechanikai szilárdságot biztosítanak, ami főként a polimereket alkotó aromás szerkezetnek köszönhető [51]. A legtöbb tűzoltó védőruha külső alapanya a Nomex, melyet a Dupont cég szabadalmaztatott. A rostok már eredendően lángálló tulajdonsággal rendelkeznek, aminek az oka a polimer kémia területén található meg. A meta-fenilén-diamin és az izoftaloil-klorid, amid oldószerben történő reakciójával állítják elő a Nomex meta-aramidot, poli(meta-fenilén-izoftalamid). A hosszúláncú poliamid esetén az amid kapcsolatok legalább 85%-a közvetlenül kapcsolódik két aromás gyűrűhöz. A meta-helyzetben lévő fenilén – a Kevlar[®] para-aramiddal szemben – a polimer láncba hajlik be, ezzel csökkentve a lánc rigiditását¹⁴. Az aromás gyűrűk és a konjugált¹⁵ amid kötések összekapcsolódásával jön létre egy rendkívül erős és a kémiai behatásokkal szemben ellenálló kapcsolat. A tűzoltók védőruházata tehát több rétegből áll, ami egyszerre biztosítja a megfelelő védelmet és a kényelmi szempontok teljesülését. Csapadékos időjárás esetén a ruházat vízállóságot nyújt,

¹² PBI: Polibenzimidazol – Rendkívül hő-, és lángálló, mechanikailag erős műanyag

¹³ PBO: polibenzoxazol – Nagy teljesítményű, hőálló aromás polimer

¹⁴ Rigid: merev

¹⁵ Konjugált: hozzátartozó, összetartozó, kapcsolt

megakadályozva a ruházat átnedvesedését, míg meleg környezetben és izzadás során képes elvezetni a keletkező párárt és nedvességet. Ezek az innovatív tulajdonságok hozzájárulnak ahhoz, hogy a tűzoltók huzamosabb ideig hőkimerülés nélkül, biztonságosan végezhesék feladataikat munkavégzésük során [52].

A védőruházat tűzoltók részéről szóló MSZ EN 469:2020 szabvány definiálja a tűzoltók védőruházatára vonatkozó minimális teljesítménykövetelményeket, különösen a hő-, láng-, és mechanikai védelemre, vízállóságra, vegyszerekkel szembeni ellenállásra, láthatóságra és komfortra vonatkozó szempontok alapján. A szabvány kockázatértékelés alapján két teljesítményszintet különböztet meg:

1. szint: Specifikációk a kültéri beavatkozásokhoz szükséges minimumfeltételekhez
2. szint: Specifikációk a zárt téri beavatkozásokhoz szükséges minimumfeltételekhez

A két szint közötti különbség a hő- és láng elleni védelmi előírásokban jelenik meg, mivel a 2. szint szigorúbb elvárásokat követel meg. A szabvány néhány területre nem tér ki, úgymint a fej, kéz és láb védelmét szolgáló egyéni védőeszközökre.

A szabvány B melléklete a tűzoltó védőruhák szennyeződésével és annak kezelésével foglalkozik. Említésre kerül, hogy a rétegek illesztései és a záróelemek (cipzár) jelentik ezen a területen a legnagyobb kockázatot. Tűzoltást követő beavatkozást követően a tisztítási műveleteket a gyártói utasítások alapján kell elvégezni. A szabvány néhány megelőző intézkedést is ajánl:

- megelőző szemlélet,
- teljes védőöltözet viselése a beavatkozás során,
- szennyezett védőruhában nem szabad a gépjárműfcskendőbe beülni,
- a szennyezett ruházatot a helyszínen jól zárható zsákba kell helyezni, majd egy tisztát kell utána felvenni,
- szennyezett ruházat megfelelő tisztítási procedúrájának kialakítása,
- beavatkozást követően, a laktanyába történő visszaérkezés után azonnali zuhanyzás
- életkori, nemi és családi kórtörténeten alapuló rendszeres egészségügyi szűrővizsgálatok

A B melléklet ennek kapcsán hivatkozik a Skellefteå modellre, amelynek részletesen elemzésére az értekezés tervezet 2. fejezetében kerül sor.

A szabvány C melléklete szabályozott keretek közé helyezi az egyéni védőeszköz kiválasztását, használatát, kezelését és karbantartását, elősegítve ezzel a tűzoltók egészségmegőrzését és a biztonságos munkavégzését.

Tűzoltó védőkesztyű

A tűzoltó védőkesztyű magas szintű védelmet nyújt az azt viselő beavatkozó tűzoltónak. A speciális anyagtulajdonságoknak köszönhetően kiváló hő (kontakt és sugárzó) védelemmel rendelkezik. Gyártásuk során különböző anyagokat használnak, például a tenyér részén az első réteg aramidszálak (meta-aramid vagy para-aramid) kombinációjából áll, amelyhez egy második rugalmas réteg csatlakozik a megfelelő védelem érdekében, továbbá a kesztyű hátsó részén meta-aramid szálak kombinációja található, amelyet egy második rugalmas réteg egészít ki [53]. Kialakításuk során számottevő szerephez jutnak mindazon ergonómiai szempontok, melyek megkönnyítik a bennük való munkavégzést. A kényelmes viselet, a kisebb tárgyak magabiztosan történő megfogása és a csúszásmentes belső bélés mindazon tényezőkhöz tartozik, mely a szükséges és elvárható védelem mellett hozzáadott értéket képvisel a beavatkozások során.

Az MSZ EN 659:2003+A1 szabvány a védőkesztyűk tűzoltók részére követelményeket és vizsgálati módszereket határoz meg. A speciális szempontoktól eltekintve a tűzoltó védőkesztyűk az MSZ EN ISO 21420 (Védőkesztyűk. Általános követelmények és vizsgálati módszerek) szabvány szerinti általános követelményeknek kell alapvetően megfelelniük [54]. A szabvány kiemelt hangsúlyt fektet a hőállóságra (konvektív, sugárzó, és kontakt), továbbá az MSZ EN 388:2016+A1 szabvány (Védőkesztyűk mechanikai kockázatok ellen) szerinti minimális teljesítményszinteknek történő megfelelésre [55]. A szabvány kiter a mozgásképessegre és a kesztyűk levetési idejére vonatkozó vizsgálatokra, így a védőkesztyű nemcsak megfelelő védelmi képességgel rendelkezik, hanem ergonomikus kialakításának köszönhetően nem korlátozza a kéz mozgását és szükség esetén gyorsan és biztonságosan eltávolítható [56].

Tűzoltó védőcsizma

A rendszeresített tűzoltó védőcsizmák mindegyike rendelkezik mindazon védelemmel, melyek a beavatkozó tűzoltók épségének megőrzéséhez szükségesek. Első körben megemlítendő a hősugárzás elleni védelem, továbbá a vegyi és mechanikai hatásokkal (pl.: átszúrás, vágás)

szembeni állékonyság. Mindemellett a viselője számára csökkenti annak a kockázatát, hogy egy egyenetlen terepen történő elbotlás során nagyobb sérülés (pl.: bokatörés) következzen be. Tömege és kialakítása nagymértékben befolyást gyakorol a tűzoltói munkavégzés minőségére. Egy merevebb kialakítás nehezebbé teheti a lépéseket, csökkenti a reakcióidőt, elvonhatja a figyelmet a tényleges munkavégzésről, ami balesethez, majd munkanap kieséshez vezethet [57]. Mindemellett egy ergonómiai szempontból nem megfelelő lábbeli hosszútávon a váz-izomrendszerre is hatással lehet, számos megbetegedés kiváltó oka lehet. A védelmi funkciók ellátása mellett tehát a kialakítás is meghatározó szerepet tölt be, ahogy a korábban felsorolt védőruháknál is látható volt. A védőcsizmáknak számos típusa ismert a felvételi mód alapján, kapható fűzős, „belebújós” vagy egyéb, speciális (pl.: gyorsfűző) megoldású is.

A tűzoltólábbeliről szóló MSZ EN 15090:2012 szabványban megjelenő szakkifejezések és meghatározások alapját az egyéni védőeszközök. Biztonsági lábbeliről szóló MSZ EN ISO 20345:2021 szabvány képezi¹⁶ [58]. Típus szerinti felosztás esetén három kategóriát különböztet meg:

1. típus: Nem rendelkezik behatolás elleni védelemmel, orr-rész védelemmel és veszélyes vegyszerekkel szemben sem nyújt védelmet. Szabadtéri beavatkozásokhoz és tűz-, és avartüz oltáshoz tervezték.
2. Behatolás elleni és orr-rész védelem szükség esetén van, veszélyes vegyszerekkel szemben továbbra sem véd. Tűzoltáshoz és mentési beavatkozáshoz tervezték.
3. Behatolás elleni és orr-rész védelem, továbbá veszélyes vegyszerekkel szembeni védelem szükség esetén van. Tűzoltáshoz és mentési beavatkozáshoz tervezték.

A szabvány típusonként részletesen meghatározza a követelményeket, továbbá kifejti a vizsgálati módszereket. Az A melléklete kiváló mintaként szolgálhat a tűzoltó egyéni védőfelszerelések kockázatértékelésének elkészítéséhez, továbbá a C mellékletben a lábbeli viselője általi minősítés kritériumai olvashatók, melyek a kockázatértékelés és a digitális nyomon követés alapjául szolgálhatnak. Ezt részletesen a 3. fejezetben fogom tárgyalni [59].

¹⁶ A tűzoltólábbeliről szóló MSZ EN 15090:2012 szabványban EN ISO 20345:2011 szerepel, ami már visszavonásra került.

További eszközök:

Mechanikai hatások ellen védő kesztyű

A tűzoltók a beavatkozások során olyan feladatokat is ellátnak, amelyek nem igénylik a tűzoltó védőkesztyű használatát, azonban a kéz védelme továbbra is elengedhetetlen, melyet a mechanikai hatások ellen védelmet nyújtó kesztyű biztosít. A védőkesztyűk tekintetében a *Védőkesztyűk mechanikai kockázatok ellen - MSZ EN 388:2016 szabvány* többféle, mechanikai veszélyre vonatkozó követelményt határoz meg, melyek az alábbiak: kopás, vágás, szakadás, átlukasztás, ütés és penge vágás. A szabvány alapján a védelmi szintek 1-5 között változnak, ahol 1 a legkisebb, 5 pedig a legnagyobb védelmi szintet jelölni¹⁷ [56]. A megfelelő védőkesztyűnek nemcsak optimális védelmet kell nyújtania, hanem biztosítani kell a stabil fogást is, megakadályozva a megcsúszást és elősegítve a precíz munkavégzést.

A magasból történő leesés, vagy az esés hatásának megelőzésére szolgáló egyéni védőeszköz

Magyarországon a tűzoltó mászóöv vagy más néven munkahelyzet beállító öv biztosítja a beavatkozó tűzoltónak a magasban történő munkavégzés során a leesés elleni védelmet. Az *Egyéni védőeszközök munkahelyzetekhez és magasból való lezuhanás megelőzésére. Övek és szíjak a munkahelyzet beállítására vagy fékezésére – MSZ EN 358 szabvány* határozza meg az erre vonatkozó alapelveket. A védőeszköz elsődleges funkciója a felhasználó tömegének megfelelő elosztása a derék és a lábak között, elősegítve a hatékony és biztonságos munkavégzést. A szabvány nem ajánlja ezek használatát olyan munkakörnyezetben, ahol csúszásveszély áll fenn, mivel nem várt (hirtelen) terhelést eredményezhetnek a viselője számára. Az öveknek állíthatónak kell lenniük a megfelelő illeszkedés és kényelem érdekében, továbbá az élek és a felületek kialakításánál kiemelt szempont a sérülések elkerülése. A biztonságos és ergonomikus használat érdekében a minimális szélesség követelménye is szabályozott. A rögzítő elemek szakszerű használat esetén legalább két különálló mozdulattal legyenek kioldhatók, ezáltal biztosítva a stabil rögzítést. Lényeges szempont, hogy a gyártó által meghatározott időközönkénti időszakos biztonsági felülvizsgálat és a munkavégzés előtti szemrevételezés megtörténjen [60] [61]. A *tűzoltómászóöv – MSZ 1027:2016 szabvány* az övre vonatkozó Itt kerül megjelenítésre, hogy az öv bal oldalán a tűzoltó bontóbalta-tok rögzítésére szolgáló csatos hevedertartó, továbbá a tömlőtartókötel-rögzítő elhelyezését biztosítani kell. A

¹⁷ Védelmi szint: A védelmi képesség, fokozat és osztály együttes figyelembevétel

szabvány egyértelműen szabályozza a karbantartásra, megjelölésre és időszakos felülvizsgálatokra vonatkozó előírásokat [62].

Zajvédő fülldugó

A gépjárműfecskendőkön alap máthatartozék és a tűzoltó egyéni védőeszközeinek része a zajvédő fülldugó, melyet a tűzoltók hallásuk védelme érdekében használnak olyan munkakörnyezetben, ahol a relatív hosszú időn keresztül végzett nagy zajterheléssel járó tevékenység halláskárosodáshoz vezethet, pl.: benzines láncfűrész vagy korongos roncsvágó használatakor.¹⁸ A fülldugókra vonatkozó általános követelményeket a *Hallásvédők. Általános követelmények. 2. rész: Fülldugók - MSZ EN 352-2:2020+A1 szabvány* alapján a fülldugó anyaga nem okozhat bőrirritációt vagy egyéb egészségkárosító hatást, továbbá a fülben található bármilyen anyag (pl.: fülzsír) az érintkezés során nem módosíthatja azt olyan mértékben, hogy a védelemre vonatkozó tulajdonságok jelentősen megváltoznának [63].

Légző álarc és sűrített levegős palack

A légzésvédő eszközöket két csoportra lehet osztani:

1. Környezeti levegőtől függő
2. Környezeti levegőtől független

Az 1. csoportban található eszközök másik elnevezése szűrő típusú eszközök. A használó a levegőt a környezetből kapja, így az egy szűrőn halad keresztül, hogy a megtisztított levegő kerüljön belélegzésre [64]. A 2. csoportban lévő eszközök, más néven izolációs eszközök használata esetén a lélegzéshez szükséges gázhoz zárt rendszeren át, tüdőautomata segítségével jut a felhasználó [65].

A tűzoltósági légzésvédelem világszerte, így Magyarországon is sűrített levegős (zárt) rendszereken alapul. Ennek elsődleges oka a kialakításában keresendő, továbbá gazdaságosan készenlétben tartható. A légzőálarcok 1-4 mbar túlnyomáson működnek, így egy esetleges tömítetlenségnél a szennyezett levegő nem képes az álarc belső részébe jutni, így a felhasználó nem lélegzi be azt. A légzőkészülékeken kialakított speciális csatlakozók lehetővé teszik a mentőálarc csatlakozását, melyeken keresztül egy másik (mentendő) személy is friss levegőhöz

¹⁸ A zajexpozícióra vonatkozó értékeket a munkavállalókat érő zajexpozícióra vonatkozó minimális egészségi és biztonsági követelményekről szóló 66/2005. (XII. 22.) EüM rendelet tárgyalja.

juthat. A tűzoltósági használatban elterjedt sűrített levegős védőeszközök 300 bar nyomáson működnek [20].

A sűrített levegős légzésvédő készülék egységei az alábbiak:

- sűrített levegős palack
- hord szerkezet
- tüdőautomata
- álarc
- nyomáscsökkentő
- biztonsági egységek (jelző, akusztikus figyelmeztető, nyomásirányító)
- további kiegészítő egységek [66]

1.3 A hazai és nemzetközi szinten általánosan használt tűzoltó védőruházatok történeti áttekintése

Hazai viszonylatban említést érdemel Kőszeghy Mártony Károly találmánya, mely 1830-ban került bemutatásra, s amit a jelen korban használt sűrített levegős légzőkészülékek őseinek tekintenek. Szakirodalmi adatok alapján a készülék 20-30 percig üzemelt, eredetileg mélyművelésű bányákban történő munkavégzésre tervezték [67].

Magyarországon 1834-ben a Helytartótanács küldött szét a városoknak és megyéknek olyan új tűzoltó egyéni védőfelszereléseket és felszereléseket, melyek az addigiaknál magasabb szintű védelmet nyújtottak a tűz oltásában részt vevő személyek részére. Emellett számos javaslattal is éltek, mint például a ruházat hamuzsírba mártása, lángmentesítés céljából [68].

A 19. század végén jelent meg a nyakvédőbőr, mely egy 30 cm hosszú és 25 cm széles bőrdarabot jelentett, közepén pedig gumiszalag volt, mely összekötötte a két egységet. A tényleges alkalmazásra nagyon kevés korabeli példa áll rendelkezésre. A jelenleg használatban levő védősisakokon az úgynevezett kepi látja el ezt a funkciót, mely a különböző szilárd vagy folyékony halmazállapotú anyagok, az emberi test nyaki részére történő ráesését, csepegését akadályozza meg. A 20. század kezdetekor a tűzoltóknak kizárólag a védősisak és a mászóöv állt rendelkezésre, mint védőeszköz. A sisak eleinte lakkbőrből készült, amit később a 35M/B típusú acéllemezes kialakítás váltott ki [69]. A mászóöv pontos kialakítását már a Magyar Tűzoltó Szövetség 1898-as megjelenésű Tűzoltó Felszerelési Szabályzata is taglalja, miszerint

az két vörös és három fekete színű csíkozottságú 110 mm széles kenderöv, melynek mindkét végén átfogó varrás található, levartt bőr beszegéssel. Kialakítása lehetővé tette a tömlő-, és csőkötélt beakasztását, továbbá a csákány tokjának felcsatolását [70].

Az egyéni védőfelszerelések, köztük a védőruházat rövid jellemzését a Magyar Tűzoltó Szövetség 1940-ben kiadott Tűzrendészeti Szervek egyenruházata, öltözködése és tiszteletadása című szabályzata is tartalmazza. A „vízmentes kabát” vízhatlan anyagú (impregnált) lenvászon volt, lehajtott gallérral, hossza combközépig ért. A gallér alá a kabát anyagával megegyező csuklyát kellett felgombolni. A „vízhatlan nadrágszár” viaszosvászomból készült [71].

A 2. ábrán jól látható, milyen jelentős fejlődésen ment keresztül a tűzoltók egyéni védőfelszerelése az évtizedek során. A bal oldali fekete-fehér felvételen korabeli fővárosi tűzoltók láthatók vízhatlan ruhában, bőrsisakban és akkumulátoros lámpával felszerelve. A jobb oldalon a mai modern védőfelszerelés jelenik meg: hő- és lángálló ruha, sisak, kesztyű, valamint zárt rendszerű légzőkészülék és fényvisszaverő csíkok biztosítják a tűzoltók biztonságát. A kontraszt jól mutatja a technológiai fejlődés, az ergonómia és a védelem területén bekövetkezett előrelépéseket.



2. ábra: Fővárosi tűzoltók vízhatlan ruhában, akkumulátoros lámpával, oxigénes légzővel és címeres bőrsisakban – a korszakra jellemző felszerelés és a mai kor védőfelszerelései, forrás: [72], [73]

A későbbiek során ezeket a védőfelszereléseket folyamatosan tovább fejlesztették, hogy mindinkább ellenállhassanak a tűz okozta káros hatásoknak. Ezzel együtt természetesen a szakfelszerelések terén is végbementek változások, ezzel biztosítva a hatékonyabb beavatkozást és védelmet. Még ha nem is definiálták az ergonómiát, mint fogalmat, de egyre nagyobb szerepet kapott a kényelem, a viselhetőség. A védőruházat tömegének és kialakításának folyamatos fejlesztésével a tűzoltó képes huzamosabb ideig részt venni a tűz oltásában, továbbá jobban meg tudja közelíteni a tüzet.

Nemzetközi viszonylatban érdemes említést tenni az Amerikai Egyesült Államok tűzoltó védőfelszereléseiről, mégpedig a tűzoltó védősisak történetéről. Egy Jacobus Turck nevezetű férfi volt az, aki az 1700-as évek elején kifejlesztette a tűzoltó védősisakot, aminek az alapanyaga nem más volt, mint bőr. A későbbi években, egész pontosan 1836-ban Henry T. Gratacap tervezte meg azt a sisakot, amihez hasonlót a mai napig is láthatunk az Amerikai Egyesült Államokban lévő tűzoltókon [74]. Az Amerikai Egyesült Államok kiváló környezetet biztosított a tűzoltósisakok tervezéséhez, mivel a szabványok kizárólag teljesítménykritériumokra épültek. A gyártók szabadon választhatták meg a sisak formáját és anyagát, amennyiben azok megfeleltek az előírásoknak. A sisakok egyik jellegzetes eleme a bőr előlap volt (3. ábra), mely európai szemmel nézve igen érdekesnek hatottak. A később megjelent műanyag sisakok héját azonban az elektromos vezetőképességből fakadó aggályok miatt nem lehetett átfúrni, átlukasztani, így egyre több tűzoltóság tért át az öntapadó matricákra a hagyományos elülső elemek helyettesítése céljából [75].



3. ábra: Bőr és polikarbonát tűzoltó védősisak, USA, forrás: [75]

Emellett természetesen a többi védőruházat is fejlődésen ment keresztül. Az addig főleg gyapjú és pamut alapanyagot a gumigyártás ugrásszerű emelkedésének köszönhetően, egyre inkább kiváltotta a gumi, mint alapanyag. Az 1900-as évek közepétől már egyre nagyobb szerephez jutott a tűzállóság, ezáltal a felhasznált anyag minősége is. Az előírásokat szabványokba foglalták, ami így egységesíteni tudta az előírásokat [76]. Az Amerikai Egyesült Államokban a tűzoltók védőruházata fejlett anyagtechnológiára épül, mely jelentős különbségeket mutat a Magyarországon és az Európai Unióban alkalmazott megoldásokhoz képest. Az általuk is alkalmazott PBI egy kiváló hő- és vegyszerállósággal rendelkező polimer, melyet először az 1960-as években fejlesztettek ki, kifejezetten az úrkutatás és katonai védőfelszerelések számára [77]. A PBI önmagában viszonylag alacsony fizikai szilárdsággal rendelkezik, ezért gyakran keverik más anyagokkal, például para-aramid szálakkal, melynek eredményeként egy 60/40 arányú keverék prémium kategóriás tűzoltó védőruházati anyaggá vált [78].

A tűzoltó védőfelszerelések fejlődése során számos technikai újítás történt, melyek jelentős hatással bírtak a tűzoltók biztonságára és munkavégzésére. Az eddig bekövetkezett változások, fejlesztések ellenére a védőfelszerelések műszaki, védelmi képességet biztosító jellemzőinek javítása továbbra is kulcsfontosságú szerepet tölt be a szakma területén.

A védőfelszerelések fejlődése során számos olyan technikai újítás jelent meg, amelyek közvetlenül hozzájárultak a tűzoltók biztonságosabb és hatékonyabb munkavégzéséhez. Az elmúlt évtizedekben azonban a fejlesztések mögött egyre inkább szemléletváltás is kirajzolódott. Míg korábban a védőruházattal szembeni elvárások főként a hő elleni védelemre korlátozódtak, napjainkban egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a viselhetőségi, kényelmi és élettani szempontok is. A korszerű védőruházatok esetében nemcsak a tűz és hőhatás elleni védelem biztosítása a cél, hanem a túlmelegedés, a fizikai túlterhelés és a szennyező anyagok hosszú távú egészségkárosító hatásainak csökkentése is. A fejlesztések során egyre több figyelem irányul a könnyebb, mégis nagy védelmi képességgel rendelkező anyagok alkalmazására, a megfelelő hőkomfort elérésére, valamint a beavatkozás utáni regenerációs idő optimalizálására.

Hazai és nemzetközi szinten is megfigyelhető az a tendencia, hogy a jövő tűzoltó védőruházatát olyan megoldások formálják, mint a speciális textíliák, a beépített érzékelők vagy az intelligens anyagszerkezetek. Mindez azt mutatja, hogy a védőruházat fejlődése nem zárult le, hanem egy folyamatosan alakuló, több szakterület együttműködésén alapuló irányvonal, amely a

beavatkozó állomány fizikai védelme mellett a munkavégzés hatékonyságát és fenntarthatóságát is hosszú távon befolyásolja.

1. 4. Ergonómiai szempontok vizsgálata a tűzoltó védőeszközök használata során

A beavatkozó tűzoltók munkája az egyik legmegterhelőbb fizikai tevékenység, ennél fogva hosszú távon igen gyakran jelennek meg az érintetteknek különböző mozgásszervi megbetegedések. A védőfelszerelések viselése, a veszélyes munkakörnyezet és az extrém fizikai igénybevétel mind hozzájárul a felmerülő panaszokhoz. Ebben az alfejezetben az ergonómia fogalmát és jelentőségét ismertetem, majd kiemelem a mozgásszervi megbetegedések és a tűzoltói munkavégzés kapcsolatán keresztül a jogszabályi háttérét, a téma időszerűségét és fontosságát. Emellett röviden kitérek a pszichikai tényezőkre is, mivel az ergonómiailag nem megfelelően tervezett védőeszköz nemcsak a fizikai komfortérzetet befolyásolja, hanem a munkavégzés során jelentkező mentális terheket is növelheti, ami hosszú távon negatívan befolyásolja a tűzoltók teljesítményét és általános jóllétét.

Az ergonómia kifejezés két görög szó (ergos – munka és nomos - törvények) egyesítéséből keletkezett, mely kezdetben a munkavégzés törvényszerűségeivel foglalkozott, később viszont szélesebb körben lett értelmezhető a fogalom, így létrejött az ember- gép-környezet gyakorlata, mely nem csupán a munka világára és a munkahelyekre vonatkozik, hanem az ezeken kívüli területekre is kiterjed [79].

A tűzoltói munkával kapcsolatban kialakuló váz- és izomrendszeri megbetegedések a munkavégzés különleges, máshol elő nem forduló terheléseiből eredően alakulhatnak ki, vagy a munka természetéből fakadóan súlyosbított állapotot idézhetnek elő. Orvosi területen ezeket az állapotokat reumás, valamint szkeletomuszkuláris¹⁹ megbetegedéseknek hívják. Az ergonómia térhódítása a tűzoltóságok tekintetében még nem kellő mértékben zajlott le, pedig alkalmazásával a munkavégzést érintő részfolyamatok már a tervezés, a tűzoltó technikák ötlet szintjén történő megvalósítása során is megannyi előnyös tulajdonsággal tudnák segíteni a későbbi megvalósulás során a beavatkozó tűzoltói állomány egészségvédelmét. A reumatikus betegségek és degeneratív²⁰ állapotok, mint az osteoarthritis²¹ vagy az osteoporosis²² az emberi

¹⁹ Szkeletomuszkuláris: Váz-izomrendszeri

²⁰ Degeneratív: Olyan folyamat, mely során valami elveszti funkcióját, állapotromlás lép fel

²¹ Osteoarthritis: Porckopás

²² Osteoporosis: Csontritkulás

szervezet előregedésével jelennek meg, esetleg genetikai hajlamnak, megbetegedésnek köszönhetően alakulhatnak ki, ám számtalan esetben vezethetők vissza a kényszerhelyzetben végzett, vagy egyoldalú terhelés okozta sérülések e betegségek kiváltó okaira [22]. Az ergonómiai alapokon nyugvó védőruha tervezés jelentősen hozzájárulhat az emberi testet érő terhelések és külső negatív hatások csökkentéséhez, ezzel hozzájárulva a teljesítmény fenntartásához vagy növeléséhez.

A gyártók arra törekednek, hogy minél inkább olyan védőruházatokat fejlesszenek és bocsájtsanak a piacra, mely eleget tesz a szabványkövetelmények minimumfeltételeinek, ezen felül további, magasabb szintű elvárásoknak is megfeleljenek. Ahhoz, hogy egy szövet alapú öltözet a mechanikai behatásokkal és a hőterheléssel szemben ellenállóbb legyen, logikusnak tűnhet, hogy a vastagságát kell megnövelni, amennyiben az anyagtulajdonságok állandóak maradnak. Ebben az esetben viszont megnő a tömeg is, viszont egyes tanulmányok eredményét felhasználva, a tűzoltói visszajelzések alapján már a jelenlegi védőruhákban is korlátozott a mozgás, továbbá igény lenne a könnyebb és komfortosabb ruhák használatára [9]. A feladat a gyártók számára tehát az, hogy könnyebb, de egyúttal ellenállóbb ruhákat gyártsanak [52].

A tűzoltó a bevetés során találkozhat olyan szituációval, amikor a biztos szakmai tudása ellenére is pánikba esik, és helytelen döntést hoz. Ennek részletesebb ismertetéséhez először a szerző röviden ismerteti a stressz fogalmát. A stressz kifejezés Selye János óta ismert, aki kísérletei által bizonyította, hogy a tartós, azaz krónikus stressz olyan mértékben terheli le a szervezet védekezőképességét, hogy az a későbbiekben megbetegedéshez, majd halálhoz vezet [80]. A stressz eredetileg hasznos célt szolgált az emberek számára, mivel menekülés esetén hirtelen megemelkedett mindazon hormonok szintje (pl.: adrenalin), melyek a rövid ideig tartó, de fokozott erő kifejtéshez voltak szükségesek. A mai urbanizált világban ilyen típusú hatások (támadások) rendkívül ritkán következnek be az emberek életében. Az évszázadok során folyamatosan formálódott a társadalmi szerkezet, majd az utóbbi évtizedekben alakultak ki a munkahelyek, ami az emberek életét fiatal felnőtt koruktól egészen a nyugdíjas éveik megkezdéséig végig kísérik. Ezen időszak alatt viszont számos problémával/megoldandó helyzettel szembesül szinte mindenki, hiszen ebben az időintervallumban realizálódik a családalapítás és ingatlan vásárlás is, amihez megfelelő anyagi tőke szükséges. Ennek fedezetét biztosítja az állandó munkahely megléte, ami sok esetben bizonytalan, és/vagy alacsony jövedelemmel jár, így az érintett személy vállára nehéz teherként helyezkedik rá a mindennapi megélhetés kérdése. Ez a fajta nyomás és félelem kezdetben rejtve marad, nem foglalkozunk

vele, hiszen megszoktuk, hogy ez a normális vagy, ahogy szokták mondani „teher alatt nő a pálma” [23].

Az átélt események mindenképp hatással vannak a tűzoltóra, és ezek feldolgozása nagymértékben függ a személyiségtípustól és/vagy a magánéleti és munkahelyi helyzettől. Ha egy adott baleset annak ellenére következik be, hogy a tűzoltó viselte az egyéni védőöltözetet, kialakulhat egy fals félelemérzés vagy negatív vélemény is az adott védőeszközzel, ami a későbbiekben nemcsak az egyén hibázási valószínűségét növeli, hanem az adott csoportét is, hiszen elterjed nagyobb körben az eset, így a csoport több tagjában is kialakulhat torzult kép az adott eszközről. Ezek hatásának mértéke természetesen függ az egyén személyiségétől, hangulatától vagy akár a munkára képes állapotától is. A ruházat anyaga, illeszkedése és minősége nagymértékben kihat a tűzoltó pszichéjére, hiszen, ha egy veszélyes környezetben, eleve fokozottabb állapotban a védőeszköz pl.: bevetési védőkesztyű, a vártnál korábban átmelegszik, akkor befolyással van az adott személy testi reakciójára (pl.: izzadás, pulzusszám) és a döntéshozatali képességeire is. Ez sok esetben a társak számára láthatatlan, így gyorsan bekövetkezhet a baj, ha időben nem kerül sor a probléma felismerésére [23] [35].

1.4.1 Ergonómiai követelmények a vonatkozó jogszabályok és szabványok alapján

Az ergonómia fogalmának tisztázását követően hazai jogszabályokat vizsgáltam meg az ergonómia szerepének és a védőruházatokkal való kapcsolatának oldaláról. A védőeszközök általános ergonómiai követelményeit az EU rendelet II. Mellékletnek 1.1.1. pontja rögzíti [5].

Az EU rendelet további pontjaiban ismerteti az alapanyagokra, kényelemre, hatékonyságra és kialakításra vonatkozó minimális elvárásokat. Az ergonómia fogalma és jelentősége már ezen a szinten is megjelenik, ami kiváló útmutatást nyújthat a tagországok jogalkotóinak a témakört illetően.

Hazai viszonylatban szűkös azon jogszabályok köre, melyek közvetlen említést tesznek vagy akár jobban aláhúznák az ergonómiai szempontok fontosságát a munkavégzés során.

Magyarország Alaptörvényének XVII. cikkének (3) bekezdésében szerepel, hogy minden munkavállalót megillet a méltóságát, egészségét és biztonságát tiszteletben tartó munkafeltétel [81].

Közvetetten tehát szabályozásra került, hogy a munkavállalók számára olyan munkakörülményeket szükséges megteremteni, amik nem veszélyeztetik sem az egészségüket, sem a biztonságukat, sem pedig a méltóságukat. Ez esetben közvetlen módon nem kaptunk meghatározást az ergonómiai jellemzőkre, de tágabb értelemben biztosította a jogalkotó a minimális jogszabályi kereteket. Törvényi szinten, első körben, az Mvt-t említeném meg, mely röviden szerepelteti a szóban forgó kifejezést a létesítés követelményei és a fogalom meghatározások címsorok alatt. Az előbbi esetén olvasható, hogy a munka megszervezése, továbbá munkaeszköz és munkahely kialakítása és telepítése esetén ergonómiai aspektusokat is szem előtt kell tartani [3].

Az egyéni védőeszközökre vonatkozóan az Mvt. 18. § (1) bekezdése tesz említést arról, hogy ezen eszközöknek az előállításuktól kezdve az üzemeltetésükig meg kell felelniük a munkavédelmi szabályokban meghatározott, illetve a tudományos ismeretek által meghatározott követelményeknek [3]. Az ergonómia kifejezés tehát általános jelleggel jelenik meg először a jogszabályban, részletesebb, akár pontokba szedett előírási rendszer nem olvasható. Az egyéni védőeszközöket illetően hasonlóan járt el a jogalkotó, nem határozott meg konkrét elvárásokat, ahogy az EU rendeletben látható volt.

A korábban említésre került EüM rendeletben is hasonló, egyszerűsített pontba szedték az egyéni védőeszközökre vonatkozó ergonómiai követelményeknek való megfelelést. Előírás tehát létezik, fogalmi szinten megjelenik a kifejezés, de pontosabb, konkrétabb előírások, utasítások nem találhatók meg a jogszabályi hierarchia ezen szintjén. Amennyiben specifikusabb szabályok lennének szükségesek, akkor a szabványok adnak lehetőséget ezek eléréséhez.

A tűzoltó védőruhák tekintetében a legjelentősebb szabvány a korábban is részletezésre került *MSZ EN 469:2020 (Védőruházat tűzoltók részére. Tűzoltási tevékenységek védőruházatának teljesítménykövetelményei)*. A dokumentum a tűzoltó védőruhák tervezéséről, gyártásáról, teszteléséről és tanúsításáról rendelkezik. Fokozottabb figyelem jut a védőeszközök füst és a tűz során keletkező gázok általi kontaminációját illetően, továbbá a dekontamináció fogalma is megjelenik. A szabványban több helyen is említésre kerülnek olyan egyéb kiegészítő szabványok, melyek együttes alkalmazásával teljesíthetők a követelmények. Kétrészes ruházat esetén a gyártónak biztosítani kell, hogy a ruhadarabok átfedésben legyenek, kiemelten a fej lehajtása és guggolás során. A ruházat azon részeinek, melyek két különböző ruhadarabot egyesítenek vagy zárnak össze (pl.: cipzár, gomb, stb.) a védelmi képessége nem lehet

alacsonyabb a ruházat többi elemétől. Amennyiben a védőruha külső felületén zsebek lettek kialakítva, úgy biztosítani kell a zárhatóságukat és a véletlen kinyitás elleni védelmet is [82].

Az *MSZ EN ISO 13688:2013 (Védőruházat. Általános követelmények)* szabvány a védőruházatok általános követelményeit határozza meg, biztosítva az alapvető kritériumokat a különböző védőruházati rendszerek számára. Annak ellenére, hogy önálló védelmi funkciókat nem rögzít, elengedhetetlen alapját képezi a speciális védőruházati szabványoknak, mivel olyan követelményeket fogalmaz meg, mint a méretezés, az anyaghasználat, a kopásállóság, valamint a megfelelő illeszkedés biztosítása. A szabvány egyik lényeges eleme az ergonómiai szempontok figyelembevétele, mely külön mellékletben kapott helyet. Ez a kiegészítés jelentős előrelépés a korábbi változathoz képest, mivel lehetőséget biztosít a védőruházat használhatóságának szubjektív értékelésére. Az ergonómiai vizsgálatok során tapasztalt szakemberek elemzik a ruházat illeszkedését, kényelmét és kompatibilitását más egyéni védőeszközökkel. A gyakorlati tesztek révén azonosíthatók az olyan problémák, mint a nem megfelelő szabás, a mozgás korlátozása vagy az egyéb védőeszközökkel való összeegyeztethetlenség, amelyek mind növelhetik a felhasználót érő kockázatokat. Ezek az ergonómiai vizsgálatok kulcsszerepet töltenek be a védőruházatok továbbfejlesztésében, hiszen a kapott eredmények alapján célzott módosítások végezhetők a tervezés és a gyártás során. A szabvány jelenlegi formája igazolja, hogy az ergonómiai szempontok egyre nagyobb jelentőséget kapnak a védőruházat fejlesztésében, hiszen a megfelelő kialakítás nem csupán a kényelmet növeli, hanem hozzájárul a védelem hatékonyságához is [83].

Az *MSZ ISO/TR 21808:2024 (A tűzoltók védelmére tervezett egyéni védőeszközök kiválasztásának és használatának legjobb gyakorlatai)* szabvány a tűzoltók számára tervezett egyéni védőeszközök kiválasztásának és használatának legjobb gyakorlatait foglalja össze. Ergonómiai szempontból meghatározó, mivel hangsúlyozza a védőeszközök és a felhasználók közötti optimális illeszkedés fontosságát, ami elengedhetetlen a megfelelő védelem és a komfort biztosításához.

A szabvány kiemeli, hogy a kiválasztás során figyelembe kell venni az ergonómiai tényezőket, mivel ezek közvetlenül befolyásolják a tűzoltók teljesítményét és biztonságát a beavatkozások során. A nem megfelelően illeszkedő vagy kényelmetlen védőeszközök növelhetik a balesetek bekövetkezésének kockázatát és csökkenthetik a munkavégző képességet. A kiválasztás folyamatának alapja a kockázatelemzés. Ez magában foglalja a tevékenység és a környezet alapos felmérését, azonosítva azon lehetséges veszélyeket, melyek sérülést okozhatnak. Az

elemzés alapján határozhatók meg a szükséges védelmi szintek és az ezeknek megfelelő egyéni védőeszközök. A kockázatelemzés részleteit a 3. fejezetben fogom bővebben kifejteni [84].

A jogszabályi háttér elemzését követően elmondható, hogy törvényi, rendeleti szinten általánosságban, közvetett módon kerülnek meghatározásra az ergonómiai szempontok. Konkrétabb előírásrendszer releváns szabványokban található a speciális szakterületre vonatkozóan, főként gyártók és tanúsítók részére. Felhasználói körben a munkáltató saját hatáskörében megalkotott belső szabályozói adhatnak részletesebb útmutatást.

Véleményem szerint célszerű lenne megfontolni az egyéni védőeszközökre vonatkozó jogszabályi előírások bővítését az ergonómiai követelmények részletesebb meghatározásával. Bár a szabványok egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek az ergonómiai tényezőkre, ezek elérhetősége korlátozott, mivel nem minden munkáltató rendelkezik hozzáféréssel, illetve az alkalmazásuk sok esetben nem kötelező. A jogszabályi keretek bővítésével biztosítható lenne, hogy az ergonómiai szempontok az általános ajánlásokon túl konkrét követelményként is megjelenjenek a munkavédelmi előírásokban, ezáltal csökkentve a nem megfelelő tervezésből és kialakításból eredő ergonómiai kockázatokat.

1.4.2 Az ergonómia megjelenése hazai és nemzetközi szinten a védőruházatok alkalmazása során

Az eddigiek alapján láthatóvá vált, hogy az ergonómia egyre nagyobb szerephez jut a tűzoltó egyéni védőruházatok illetően is. Míg a korai szakaszban kizárólag a (minimális) védelmi képességek ellátása határozta meg egy védőruházat kialakítását, a technológiai fejlődésnek köszönhetően egyre több funkció, szempont került előtérbe már a tervezés folyamata során. A tűzoltó védőruházatok több szempontú anyagvizsgálata és fejlesztése kiemelt területét képezi a nemzetközi kutatásoknak

A védőruha többrétegűsége biztosítja, hogy a megfelelő védelmi képesség ellátása mellett az ergonómiai igények is kielégítésére kerüljenek. Csapadékosabb időjárás esetén biztosítja a szabvány által előírt ideig tartó vízhatlanságot, továbbá melegebb környezetben, a szervezet izzadásakor képes a keletkezett nedvességet felvenni és a párát elvezetni. Mindezek által elkerülhető, hogy a tűzoltónál hőkimerülés következtében rosszullét következzen be beavatkozás közben. Számos kutatás foglalkozik az anyagösszetétellel, továbbá a rétegek számának variálásával, annak érdekében, hogy megvizsgálják milyen módon érhető el magasabb védelemmel rendelkező, és egyúttal ergonomikusabb védőruha.

Selin Hanife Eryülük és társai tanulmányának megállapításai szerint minél több rétegből áll a védőruha, annál magasabb a hővel szembeni védelmi képesség, viszont a termikus komfort ²³ mértéke annál kisebb. A rétegek vastagsága és száma kulcsfontosságú tényezőnek bizonyult a mérések alapján, különös tekintettel a hővédelmi és páraáteresztő képességekre. Megállapították, hogy az aláöltözet anyagának jellemzői jelentősen befolyásolják az általános komfortérzetet, mivel közvetlenül érintkezésbe kerül a testtel, továbbá az izzadság elvezetésének fő feladata ezen rétegre hárul [52] [85].

Abu Shaid és társai publikációjában az aerogél²⁴ és a fázisváltó anyag egyidejűleg történő használatát vizsgálatát lehet áttekinteni. A gél általában egy rendkívül könnyű nanoporózus szerkezetű anyag²⁵, melynek folyékony összetevőjét gázzal helyettesítik. Számos különböző típusú aerogél közül a szilika aerogél tűnt a legbiztatóbbnak, mivel nem éghető és a hővezető képessége jóval kisebb, mint a levegőé hasonló körülmények között. A tűzoltó védőruházatot úgy módosították, hogy a hővédelmet biztosító anyag mellé aerogélt is helyeztek. Ezek után azt tapasztalták, hogy a ruházat védelmi képessége megnőtt, viszont a pára kevésbé tudott távozni, így a termikus komfort mértéke jelentősen csökkent. Ennek a problémának a megoldásához jut egyre nagyobb reflektorfénybe egy fázisváltó anyag. A tanulmány részleteinek mélyebb megismerése nélkül is egyértelműen kitűnik az, hogy a kísérlet célul tűzte ki a tűzoltó védőruha anyagának módosítását a védelmi képességek megtartása és az ergonómiai szempontok kielégítése mellett [52] [86].

Az öltözetek anyagának módosításán túlmenően elérhetővé válhat további, kiegészítő eszközök igénybevétele. Ennek megfelelően lehetőség nyílik a mellénybe vagy akár egy egyszerű övbe egy mérőműszert integrálni, mely folyamatosan monitorozza a szív működésének elektromos jelenségeit. Emellett ezek a mérőeszközök képesek lehetnek az emberi test más jeleit is mérni, úgymint pulzus, légzésszám vagy testhőmérséklet, ahogy Ezgi Ismar és társai publikációjában volt olvasható [13]. Ezen kiegészítők rendkívül hasznosak lehetnek a tűzoltói munkavégzés során, mivel egyrészt az egyén számára jelez a rendszer, amennyiben a normális értékektől eltéréseket mér, másrészt a felhasznált adatok alapján lehetségessé válik a beavatkozások

²³ Termikus komfort az az állapot, amely a termikus környezettel való elégedettséget fejezi ki és szubjektív értékelés alapján mérhető (Forrás: Noorazimah Mat Alias et al: Analysis of Thermal Comfort Among Workshop Users: At TVET Technical Institution, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, (2024), 114.2. 206, fordította: szerző).

²⁴ Aerogél: Rendkívül könnyű és porózus anyag, melyet gélekből készítenek úgy, hogy a benne lévő folyadékot eltávolítják, de a szerkezetét megtartják

²⁵ Nanoporózus szerkezetű anyag: Olyan anyag, melynek szerkezetében nanométeres méretű pórusok találhatók

fiziológiai szempontú megismerése és a védőöltözetek specifikusabb fejlesztése. A korábbi kutatási projektek sikereinek köszönhetően egyes termékek már kereskedelmi forgalomban is megjelentek.

Megállapításom szerint szükséges lenne magyar vonatkozású tanulmányokat is elindítani a témakörre vonatkozóan, mivel nemzetközi vonatkozásban is egyértelműen kitűnik, hogy a terület fejlesztése szükségszerű. Az ergonómiát érintő nemzetközi publikációk áttekintését és a saját kérdőíves felmérésem releváns szakaszainak ismertetését követően azokat a kiegészítő megoldásokat említem meg röviden, melyek ugyan nem a védőruházat tartozékai, de funkciójuknak köszönhetően nagymértékben segíthetik a tűzoltók munkáját.

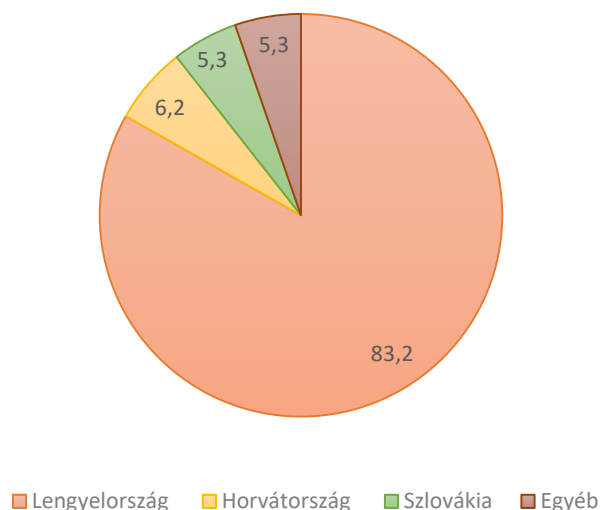
1.5 Saját kérdőíves felmérés a tűzoltó védőruhák ergonómiai szempontjait illetően

Magyar és külföldi tűzoltók számára egy kérdőívet állítottam össze, majd eljuttattam online módon számukra annak érdekében, hogy pontosabb képet kapjak a jelenlegi védőruha használatával kapcsolatban. Hazai viszonylatban összesen 204, nemzetközi vonalon pedig 113 válasz érkezett. A válaszadókkal kapcsolatos információkat az adott fejezethez tartozó témánál fejtem ki. A kérdőív teljes mértékben anonim volt, kizárólag a kutatási területhez szükséges adatok kerültek begyűjtésre. Összesen 14 kérdésre kellett választ adniuk, melyek közül 12 felelt-választós, 2 pedig kifejtős volt. A fejezethez kapcsolódóan a beavatkozás közben történő hűtésre és a kifejtős kérdésekre adott válaszokat elemezném ki, mivel az ergonómia témaköréhez ezek kapcsolódnak. A kérdőív további válaszait a következő fejezetekben tárgyalom.

A válaszadók száma nem egyenlő a két csoport tekintetében, ezért a továbbiakban bemutatott adatok százalékos eloszlásban kerülnek feltüntetésre. A külföldi tűzoltók részére angol nyelvű kérdőív került megküldésre, melyek esetén a kérdések tartalmilag megegyeztek a magyar nyelvűvel.

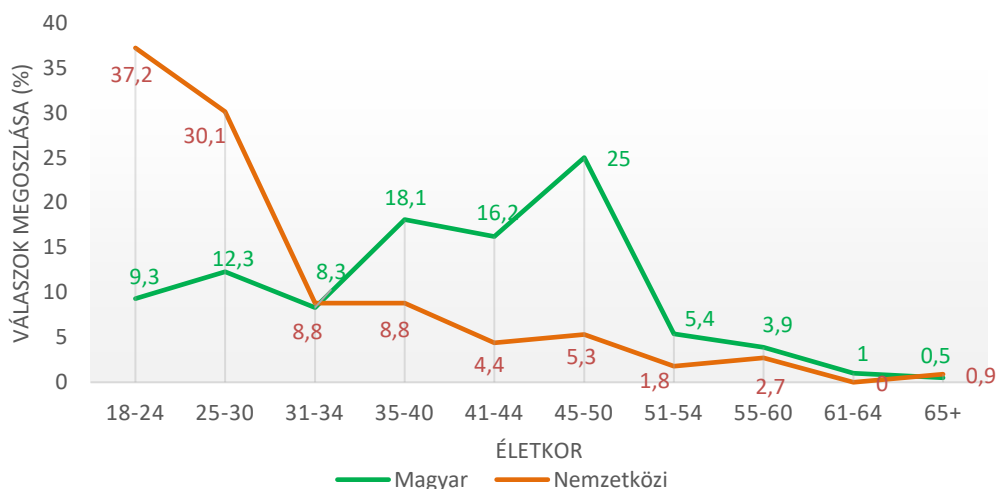
A nemzetközi források megoszlását az 1. diagram mutatja be:

1. diagram: Nemzetközi válaszok országokénti megoszlása (%), készítette a szerző



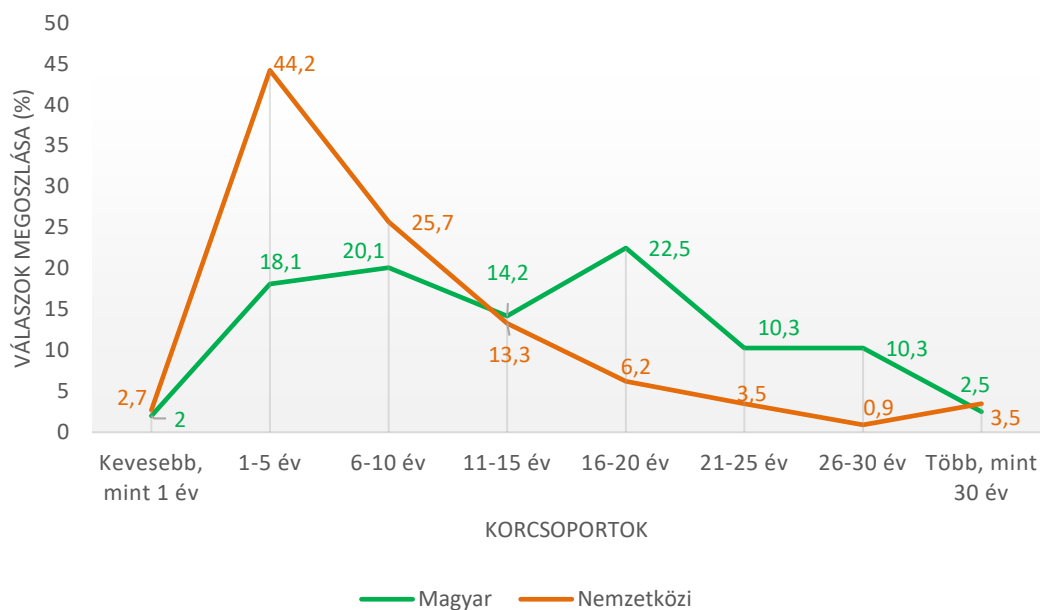
A válaszadók meghatározó többsége (83,2%) Lengyelországban teljesít szolgálatot, így lényegében elmondható, hogy az összehasonlítás magyar és főleg lengyel tűzoltók között történt. A további két feltüntetett ország (Horvátország és Szlovákia) részéről kevesebb válasz érkezett, de mindenképp szükségesnek véltem feltüntetni a diagramon. Az Egyéb kategóriába négy további ország tartozik (Németország, Ausztria, Spanyolország és Csehország), melyek az eredményeket kevésbé meghatározó (<2%) válaszsámokat szolgáltatottak.

1. grafikon: Válaszadó tűzoltók életkori eloszlása (%), készítette a szerző



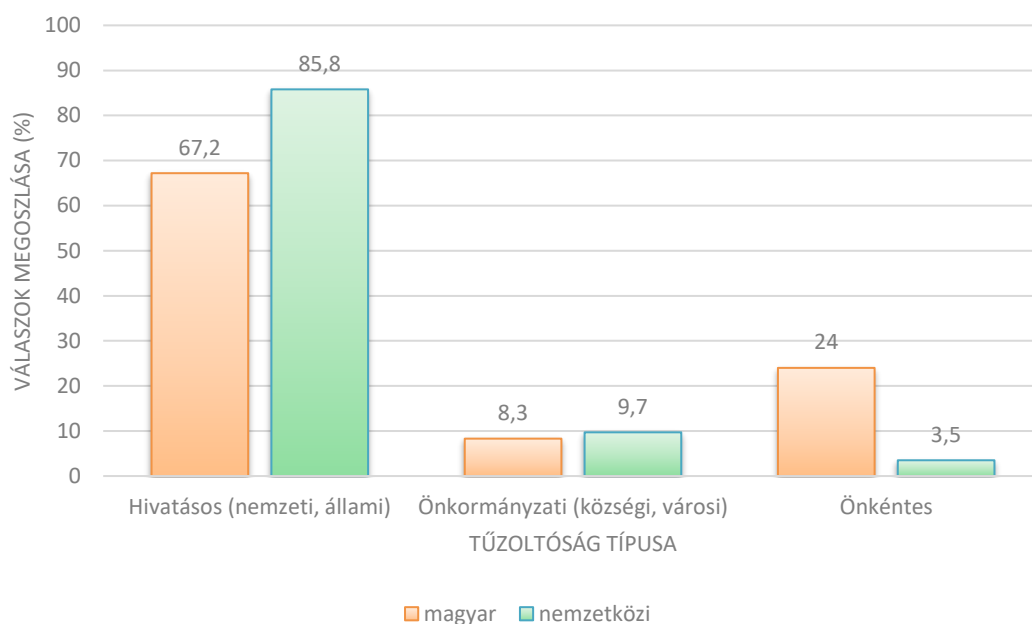
Az 1. grafikon egymás mellett ábrázolja a magyar és a nemzetközi tűzoltók koreloszlását, így látható, hogy a magyar válaszadók többsége a 45-50 éves kor között volt, a külföldi tűzoltók esetén pedig a 18-24 éves korosztály volt meghatározó. Az életkorra vonatkozó adatok kizárólag a kérdőívben szereplő válaszok miatt tölthetnek be meghatározó szerepet, egyéb, más területeket jellemző szerepük nincsen.

2. Grafikon: A válaszadók szakmai tapasztalata, készítette a szerző



Az 1. és 2. grafikon adatai összhangban vannak egymással, ami arra utal, hogy mind a magyar mind pedig a nemzetközi tűzoltók általában a húszas évek elején kezdik meg a pályafutásukat. Az életkorra és munkatapasztalatra vonatkozó adatok az értekezés tervezet további részeiben is kiemelt szerepet kapnak, mivel a védőruha karbantartásával és egyéb ergonómiai jellemzőkkel kapcsolatos válaszok, javaslatok alapján meghatározhatók a fejlesztési irányok.

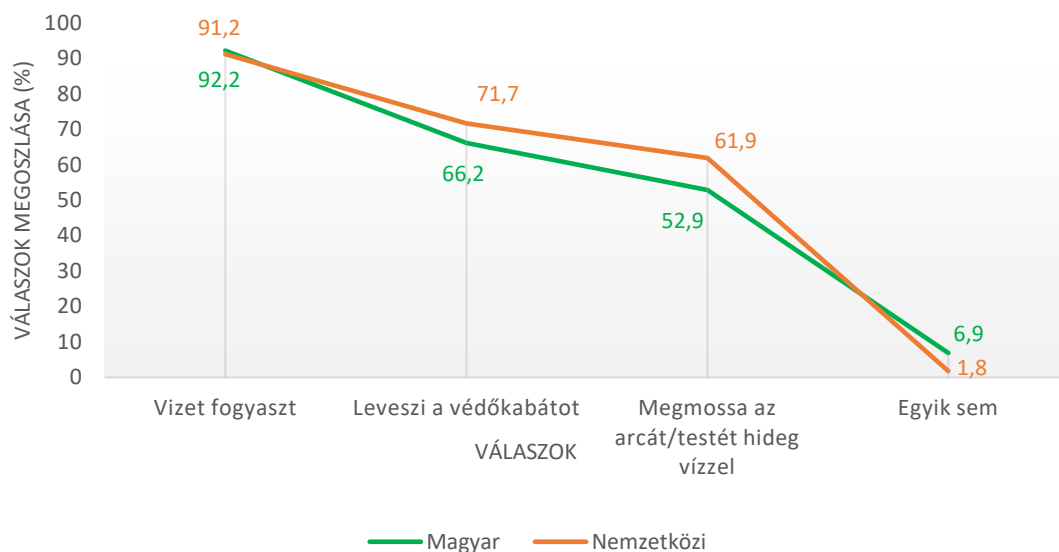
2. diagram: Tűzoltóság típusok magyar-nemzetközi viszonylatban, készítette a szerző



A válaszadók többsége mindkét csoport esetén hivatásos (állami, nemzeti) tűzoltóságon dolgozik, a magyar válaszadók 67,2%-a, míg a nemzetközi válaszadók 85,8%-a. A létesítményi tűzoltóságot a nemzetközi válaszadók közül senki sem jelölte meg, és a magyar válaszadók közül is csupán egy fő választotta, ezért ez a kategória nem szerepel a diagramon. A külföldi válaszadók közül egy fő egyedi kategóriát, a kooperáló megjelölést választotta, amely szintén nincs feltüntetve az alacsony előfordulás miatt. A tűzoltóság típusa meghatározhatja a védőfelszerelések használatának jellegét, mivel eltérő igények merülhetnek fel a különböző tűzoltóságok esetén.

A válaszadók releváns jellemzőinek bemutatását és összehasonlítását követően ismertetem a kérdőív első olyan kérdését, mely kapcsolódik az ergonómia témaköréhez. A kérdés az alábbi volt: „Beavatkozás közben, amikor túlzottan melege van, hogyan hűti magát? – több is megjelölhető”.

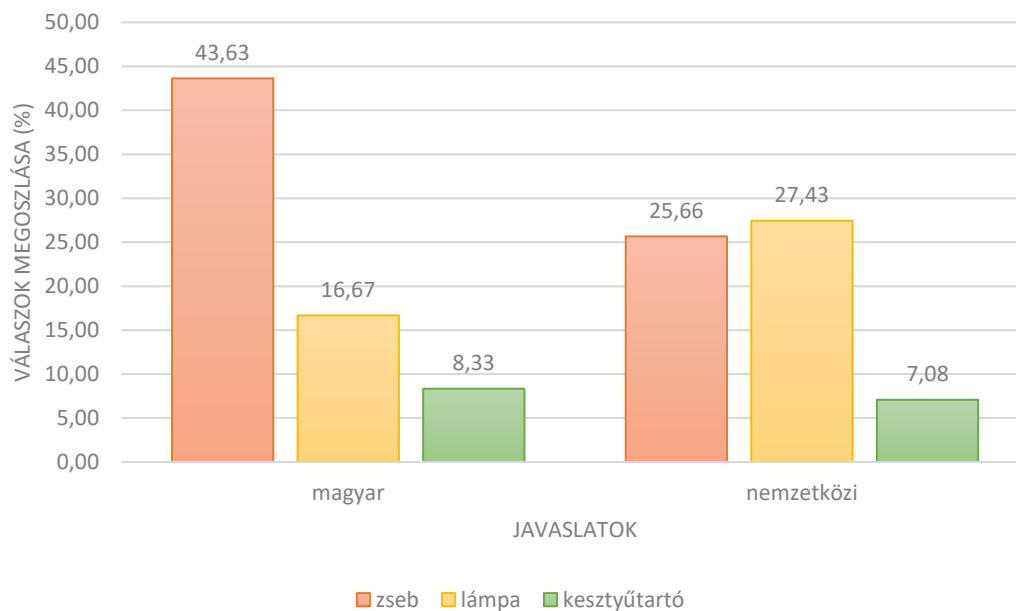
3. grafikon: Hűtésre vonatkozó válaszok eloszlása (%), készítette a szerző



A 3. grafikon alapján a magyar és a nemzetközi válaszadók által választott hűtési módszerek eloszlása nagy hasonlóságot mutat. A leggyakoribb módszer mindkét csoport esetén a víz fogyasztása volt, melyet a válaszadók több, mint 90%-a jelölt meg. A védőkabát levétele és a hideg vízzel való arc/testhűtés aránya is közel áll egymáshoz, a különbség nem szignifikáns. A két csoport közötti kismértékű eltérés arra utalhat, hogy a szakmai feltételek biztosítása és a tűzoltók képzése ezen a területen egységes alapelveken nyugszik.

A kérdőívben két kifejtős kérdés volt, melyek esetén az első kérdés az alábbi volt: „*Milyen kiegészítőt (pl.: plusz zseb, pánt, lámpa stb.) tartana még szükségesnek az adott védőfelszerelésen?*” Mivel egyedileg megfogalmazott szavak, mondatok alapján kellett csoportosítanom a válaszokat, így többségében teljes vagy részegyezéseket vizsgáltam, míg egyes esetekben, tartalmilag azonosítottam azokat.

3. diagram: Magyar és nemzetközi tűzoltók egyéni védőeszközök fejlesztési javaslatai, készítette a szerző



A 3. diagramon az első három leggyakrabban előforduló javaslatot hasonlítottam össze. A magyar válaszadók körében a további zsebek hozzáadása emelkedik ki, különösen a nadrágrészen való elhelyezés igénye, amit sokan megjelöltek. Nemzetközi vonalon egységesebb eredmények születtek, mivel a plusz zsebek (pontosabb meghatározás nélkül) és a lámpák közel azonos számban szerepeltek. A műszaki kesztyűtartó kialakítás védőruhához való hozzáadása mindkét csoportban hasonló arányban került megjelölésre, jelentős eltérés nélkül. A nadrágrészen lévő zsebek praktikusak, mert nem akadályozzák a tűzoltó szabad mozgását, guggoló helyzetben is hozzáférhetők a bennük tárolt eszközök, továbbá nagyobb tárolókapacitást biztosítanak. Bár csak egy válaszadó fejtette ki bővebben, de igen gyakorlatias észrevétel, a nadrágon elhelyezett további zseb elhelyezése, mivel azt a mászóöv nem tudja leszorítani, így lezárni azt, mint a védőkabát esetén.

A második kifejtős kérdésben javaslatokat kértem a kitöltőktől, mivel úgy vélem, hogy a felhasználói visszajelzések nagymértékben segíthetik a védőruházattal kapcsolatos beszerzési, karbantartási és fejlesztési irányokat. A kérdés az alábbi volt: *„Milyen további javaslatokat tenne (típustól/márkától függetlenül) az egyéni védőfelszerelések fejlesztésére vonatkozóan?”* A válaszok mind magyar, mind pedig nemzetközi vonatkozásban sok hasonlóságot mutattak. Ennek ismertetését vázlatosan szemléltetem a válaszok megfogalmazásának sokszínűsége miatt.

1. Kényelem, ergonómia

- a kitöltők meghatározó számban írták, hogy előnyösebb lenne, ha a védőruházat tömege kisebb és az anyaga vékonyabb lenne
- sok válaszadó használta a komfort kifejezést
- néhány esetben megjelent a védőnadrág térd részén a párnázottság iránti igény

2. Évszakokhoz történő igazodás

- a válaszadók többsége jelezte, hogy a jelenlegi védőruhákban nyáron melegük van
- javasolták a kitöltők, hogy legyen rendszeresítve nyári és téli védőruha
- problémaként említette néhány tűzoltó, hogy nem megfelelő a szellőzése a ruhának
- kis számú válaszadó javasolta az aláöltözet bevezetését

A válaszadók – mind magyar, mind pedig nemzetközi vonalon – hasonló fejlesztési igényeket fogalmaztak meg a védőruházat kapcsán. Kiemelték a kényelem, komfort fontosságát, különösen a könnyebb, ergonomikusabb kialakítást, valamint a jobb szellőzés biztosítását. Az évszakokhoz történő alkalmazkodás szintén gyakran említett szempont volt, a nyári és téli védőruhák elkülönítésének igényével. Mindezen elvárások együttesen mutatják, hogy a jelenlegi megoldások nem minden esetben felelnek meg a mindennapi használat kihívásainak.

1.6 Kiegészítő megoldások az egyéni védőeszközök terén

Az emberi testen hordható technológia fejlődése az utóbbi években egyre nagyobb teret nyert az egészségügyi és munkavédelmi területen egyaránt. Zovko és társai tanulmányában egy olyan rendszert mutat be, melyben az adott személyek testfelszínére rögzített érzékelők képesek valós időben mérni különféle élettani paramétereket (pl.: testhőmérséklet, szívfrekvencia). Az adatok automatikusan továbbításra kerülnek egy központi egységhez, ahol számítógépes algoritmusok segítségével elemzik azokat és szükség esetén figyelmeztetést is küldhetnek. A rendszer az úgynevezett IoT (Dolgok internete - Internet of Things) alapelvein működik, azaz olyan szenzorhálózatot alkalmaz, melyben a különböző eszközök összekapcsolva, adatcserével működnek együtt. Ez a technológia releváns lehet a beavatkozó tűzoltók számára is, akik szélsőséges körülmények között dolgoznak, mivel ezáltal időben felismerhetővé válhatnak a túlterheltségre, rosszullétre utaló jelek, ezáltal csökkentve a balesetek bekövetkezésének valószínűségét. Az összegyűjtött adatok hosszú távon a műveletek tervezésének optimalizálásához is hozzájárulhatnak [87].

A következőkben két olyan nemzetközi vállalat által fejlesztett eszközt mutatok be, melyek már most is alkalmazzák ezt a technológiai szemléletet a gyakorlatban.

A SlateSafety céget 2016-ban alapították, elsődleges céljuk az elsősegélynyújtás szakterületen dolgozók munkájának támogatása volt. Eleinte a vállalat FireHUD néven működött, és csak később, a kezdeti sikerek és a termékkínálat bővítése után vette fel a jelenlegi megnevezést. Termékeik együtt segítik a valós idejű döntéstámogatást a vitális jelek és a pontos pozíció folyamatos adatrögzítésével és okos eszközökre való megküldésével. Az általuk kínált műszaki megoldás egy karkötő, mely optimális elhelyezése a felkaron történik meg. A rögzítést egy tépőzáras szíjjal lehet biztosítani. A karkötő (Band V2) az alábbi adatokat monitorozza a gyártó honlapján feltüntetett információk alapján:

- fáradtság²⁶
- szívfrekvencia
- testhőmérséklet
- maximális pulzus
- GPS ²⁷ alapú pozíció meghatározás
- tétlenség jelzése

Emellett van vészhelyzeti jelzés leadására is lehetőség, továbbá a honlap tájékoztatása szerint leesés észlelés funkció is várható a jövőben. A specifikációban található leírás alapján a karkötő akkumulátora a feltöltést követően 24-100 óra üzemidőt ígér, beállításoktól függően. IP68 ²⁸ védettségi osztályú védelemmel rendelkezik, ami a kategóriákban a legmagasabb foknak felel meg. A karkötő mellett lehetőség van egy jeladót is vásárolni (BEACON V2), amely az alábbi adatokat gyűjti:

- hőség index²⁹
- páratartalom

²⁶ A honlap az RPE, azaz Rating of Perceived Exerction mérőszámra utal az egyszerűbb megfogalmazás alatt. Ez egy olyan érték, mely meghatározza, hogy az adott személy szívritmusa és testhőmérséklete mennyivel magasabb a nyugalmi állapotban mért értékekhez képest (Forrás: SlateSafety: What is exertion?, Online: <https://support.slatesafety.com/article/21-what-is-exertion> , Letöltés ideje: 2025.01.15.)

²⁷ GPS: Global Positioning System. A GPS (Globális Helymeghatározó Rendszer) egy műholdakból kialakított hálózat, melyek a Föld körül keringenek, és olyan jeleket sugároznak, amelyeket a GPS vevők képesek észlelni. (Forrás: Rudolf Ádám: GPS rendszer működése és alkalmazása a biztonságtechnikában, *Hadmérnök*, (2012), VII.1. 21.).

²⁸ IP: Ingress Protection. Idegen tárgyak és víz elleni védelem (Forrás: TÜV SÜD, online: <https://www.tuvsud.com/en-us/services/testing/climatic-testing/ingress-protection-testing>, letöltés ideje: 2025.01.15.)

²⁹ Heat index: Főleg az Egyesült Állomban használt változó, mely a léghőmérséklet és a relatív páratartalom értékéből áll össze, árnyékos területen méri (Forrás: Kovács Tamás: Különböző bioklíma indexek összehasonlító vizsgálata, Diplomamunka ELTE TTK, (2010), 19., Online: https://nimbus.elte.hu/tanszek/docs/KovacsTamas_2010.pdf , Letöltés ideje: 2025.01.15.)

- léghőmérséklet
- pozíció
- becsült nedves gömb hőmérséklet³⁰

A kapott adatok egyéb, a csomaghoz tartozó műszaki eszközök segítségével tableten vagy okos telefonon is megjelennek a cég által biztosított szoftver által valós időben, így a beavatkozást irányítók, megfigyelők azonnal értesülnek a tűzoltók életjeleinek változásairól. Az adatok felhő alapú tárolását biztosítja a vállalat.

Az általam választott másik cég a Bodytrak, melynek a terméke hasonlóan a SlateSafety karkötőjéhez, vitális jeleket rögzítik, melyek az alábbiak:

- testhőmérséklet
- szívfrekvencia
- szívfrekvencia-variabilitás³¹
- fiziológiai terhelési index³²
- fáradtság, kimerülés
- elesés
- zajexpozíció
- pozíció

A készülék két részből áll, egyrészről egy vezetékes, fülre rögzíthető szenzorból és egy CommPack elnevezésű adatfeldolgozóból. A tájékoztató alapján több, mint 8 óra üzemidőt garantálnak, igénybevételtől függően. Az adatok megjelenítése ugyancsak okos telefonon vagy tableten is történhet, továbbá az adattárolás formája is felhő alapú.

Véleményem szerint a technológia megjelenése a piacon szükségzerű volt, mivel az értékes adatok gyűjtését és elemzését követően lehetőség nyílna célzott egészség-, és balesetvédelmi intézkedéseket bevezetni. Célja első körben kiemelten kutatási célokat szolgálna, mivel az

³⁰ WBGT: Wet Bulb Globe Temperature: Közvetlen napsütésben fellépő hőstressz mérésére szolgál. A mérés alapját képezi a mért hőmérséklet, páratartalom, szélsebesség, a nap sugarainak beesési szöge és a felhőzet. (Forrás: National Weather Service: Wet Bulb Globe Temperature. Online: <https://www.weather.gov/car/WBGT> Letöltés: 2025.01.15.)

³¹ HRV: Heart Rate Variability: Az egymást követő szívverések közötti időintervallumok változásai. (Forrás: Fred Shaffer, J.P. Ginsberg: An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms (2017), 5, 1.doi: [10.3389/fpubh.2017.00258](https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258))

³² PSI: Physiological Strain Index: A rektális testhőmérséklet és a szívfrekvencia alapján veszi figyelembe és értékeli a hőterhelést valós időben 0-10-es skálán. (Forrás: Daniel S. Moran, Avraham Shitzer, és Kent B. Pandolf: A physiological strain index to evaluate heat stress (1998), 275.1., 129.

adatok kiértékelése hosszabb időt (minimum 1 év) venne igénybe a megalapozott következtetések érdekében. Rövidtávon akut eseteknél, azaz vészhelyzet során ugyancsak jutna szerephez, hiszen egy műszeresen érzékelt rosszullét esetén azonnal biztosított lenne a segítségnyújtás, életmentés.

A SlateSafety karkötője a Bodytrak készülékéhez képest kényelmesebb viseletet biztosít, nincsenek akadályt képező kábelek a test körül, továbbá a testhez van rögzítve, nem függ a megtartást szolgáló védőkabát belső zsebtől. Hátránya lehet, hogy a tépőzár szalag anyaga idővel elfárad, így lecsúszhat a karról vagy maga a tépőzár enged el. További problémát jelenthet az izzadás is, mivel abban az esetben egy erősebb szorítás ellenére is eltávolodhat az optimális pozíciótól. Mindkét esetben torz adatmérés következhet be, ami fals pozitív vészjelzéshez vagy hosszabb távon téves következtetések levonásához vezethet.

A felhő alapú információ tárolás egyrésről előnyös, mert fizikailag nem veszhetnek el az adatok, folyamatosan hozzáférhető, viszont számomra kérdőjelesen jelenik meg a harmadik fél (SlaveSafety/Bodytrak) miatt az adatvédelem és a kibertámadások elleni védelem biztosítása. Semleges pontnak mondanám az internetkapcsolat szükségességét, mivel anélkül nem működik a rendszer, viszont napjainkban a vállalatok többsége rendelkezik internet hozzáféréssel.

A SlaveSafety honlapján található három tanulmány, melyek igazolni hivatottak a karkötő hitelességét és megbízhatóságát [88] [89] [90]. Ezek alapján összesen 35 személy tesztelte az eszközöket a 2023-as év folyamán, melyek közül csak 5 volt tűzoltó. A kísérletek helyszínei kerültek a szélsőséges időjárási és egyéb katasztrófhelyzeteket, így véleményem szerint hosszabb távon és rendkívüli helyzetekben merülhetnek fel a viseléssel vagy a méréssel kapcsolatos problémák. A Bodytrak honlapján négy tanulmány érhető el, viszont egyik sem részletesen kifejtett írás, csupán rövid, egy oldalas összefoglaló ismertető.

Véleményem szerint az általam bemutatott és a többi piacon elérhető termék is rendkívül hasznos segítséget nyújthat a beavatkozó tűzoltók munkavégzésének elemzéséhez. Mivel a jelenleg megvásárolható eszközök hatékonyságáról és megtérüléséről még nincsenek tényleges felhasználói adatok, így első sorban kutatói céllal lehet érdemes ezeket kipróbálni.

1.7 Részkövetkeztetések

A tűzoltó védőruhák ergonómiai szempontú áttekintését követően meghatároztam, hogy nemzetközi viszonylatban több kutatás is folyt a védőruhák fejlesztésének témakörében. Az elemzésem alapján arra a következtetésre jutottam, hogy e széleskörű kutatások eredményei ígéretesek és egyben szükségszerűek is, viszont jelenleg a kevésbé korszerű védőruhák vannak használatban több tűzoltóságon is, így megállapítható, hogy a területen vannak hiányosságok, ezért a fejlesztések mielőbbi megvalósítása időszerű. Mindezek alapján meghatározom az I. fejezet részkövetkeztetéseit, valamint azon feltárt hiányosságokat, melyek az értekezés tervezet későbbi fejezeteit megalapozzák.

Első körben a veszélyes környezetben történő tűzoltói munkavégzést mutattam be röviden, melynek során megállapítottam, hogy a technikai fejlődésnek és a társadalmi változások hatására már számos olyan veszélyforrás azonosítására van szükség, melyek korábban nem léteztek. A fotovoltaiikus rendszerek vagy akár az akkumulátorral működtetett eszközök megjelenése a szakmai képzések átalakítását és az egyéni védőeszközök használatának változását is megköveteli. Ahogy a mindennapi élet komplexszebb kihívások elé állít minden embert, úgy a tűzoltókat is. A munkahelyi és a magánéleti problémák nagymértékű pszichés megterhelést okozhatnak, ami rontja a munkavégzés minőségét és akár balesethez is vezethet. Mindezek alapján csoportosítottam azokat a veszélyforrásokat, melyek a beavatkozó tűzoltókat érhetik, s melyek azonosítása kiindulási pontját képezi az oktatási tematika összeállításának, továbbá az egyéni védőeszközök beszerzésének és fejlesztésének.

A következő szakaszban a tűzoltók egyéni védőfelszereléseit mutattam be, azzal a céllal, hogy átfogó képet mutassak a fogalmakról, a szabványi háttérrel és egyéb jellemzőkről. Részletesen elemeztem a védőeszközök történelmi háttérét és fejlődési folyamatát, mivel véleményem szerint a jelen kor eszközeinek bemutatása csak a múlt áttekintésével együtt lehetséges. Ez a folyamatos fejlődés is alátámasztja, hogy az elmúlt évszázadokhoz hasonlóan napjainkban is és a jövőben is kiemelt jelentőségű a hiányosságok feltárása, azok megszüntetése és a szükséges fejlesztések megvalósítása. Az ergonómia fogalomkörének és a témakörhöz tartozó jogszabályi háttér ismertetését követően megállapítottam, hogy az ergonómiai követelmények elsősorban szabványokban jelennek meg, míg a jogszabályi háttér inkább általános elveket fogalmaz meg, ezért indokolt lenne a vonatkozó munkavédelmi előírások bővítése, hogy az ergonómiai szempontok konkrét követelményként is megjelenjenek. Ezután olyan nemzetközi tanulmányok kísérleteit mutattam be, melyek a védőruházat ergonómiai szempontú

vizsgálataival foglalkoznak. Megállapítottam, hogy hazai vonatkozásban hiányoznak az erre irányuló publikációk, ezért kiemelten fontosnak tartom a magyar szakirodalom bővítését. Ezt követően olyan kiegészítő megoldásokat mutattam be, melyek magasabb szintű technikai hátteret biztosítanak a beavatkozó tűzoltók számára. Arra a következtetésre jutottam, hogy a bemutatott eszközök hosszútávon elsősorban kutatási célokat szolgálnának, de rövidtávon is hozzájárulnának a baleset-, és életvédelem biztosításához.

A kutatásom során egy kérdőívet állítottam össze, melyet hazai (204) és nemzetközi (113) tűzoltók töltöttek ki. A kérdőív célja az volt, hogy átfogó képet nyújtson a jelenleg használatban lévő egyéni védőruhák ergonómiai és funkcionális szempontjairól. A válaszok kiértékelése során megállapítottam, hogy mind hazai, mind nemzetközi szinten hasonló hiányosságok és fejlesztési igények merültek fel. Különösen hangsúlyosnak bizonyult a könnyebb és komfortosabb védőruházat, valamint az évszakokra – kiemelten nyárra és télre – optimalizált megoldások iránti igény. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a válaszadók által megfogalmazott javaslatok kulcsszerepet játszhatnak a jövőbeli fejlesztések irányának meghatározásában. Mindezek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a védőruhák használatával kapcsolatban nincsenek írásos, logikai rendszeren alapuló visszajelzések, ezért erre egy lehetséges megoldást fogok bemutatni.

2. A TŰZOLTÓ VÉDŐRUHÁZAT KARBANTARTÁSÁNAK FEJLESZTÉSE

A beavatkozás befejezését követően, és a kárhelyszín elhagyása után is maradnak a tűzoltók számára olyan teendők, melyek elhagyása károsan hatna a tűzoltók testi épségére, egészségére. A szakfelszerelések ellenőrzésén, az eset utólagos szakmai elemzésén túl az egyéni védőfelszerelések megfelelő kezelése, tisztítása kiemelkedő szerepet kap, hiszen számos, az emberi szervezetre káros hatású szennyeződés kerülhet annak felszínére vagy juthat be a szövetek közé. A beszerzést követően mindenképpen szükséges a teljes állomány tájékoztatása az adott ruházat használatával, tisztításával – karbantartásával és tárolásával kapcsolatban. Mivel a gyártó minden esetben készít használati útmutatót, így ennek tartalmát bele lehet integrálni az oktatási anyag tematikájába (az általános gyakorlati tapasztalatok ismertetése mellett). Bár ez első körben nem tűnhet számottevőnek, mégis szükséges feltétele a mindennapoknak, hiszen bármilyen használati tárgy esetén igaz az, hogy a rendszeres karbantartás, a szakszerű használat növeli a minőségi életidejét, egyéni védőfelszerelés esetén pedig, az tovább tartja meg a védelmi képességét, ami gazdasági szempontból sem elhanyagolható [91].

A fejezetben a korábban bemutatott kérdőív eredményeinek e témakörre vonatkozó részét ismertetem, továbbá az impregnálás kérdését vizsgálom, majd mutatom be egy mérésen keresztül.

A karbantartással és tisztítással kapcsolatos kutatási célkitűzéseim az alábbiak:

- A tűzoltó védőruházatokat érintő jelenlegi mosási gyakorlatokat ismertetni és javaslatot adni a hatékonyabb elvégzésére
- Az impregnálás kérdéskörét ismertetni és gyakorlati hasznát bemutatni mérésen keresztül

A kutatási céljaim megvalósításának érdekében áttanulmányoztam a releváns hazai és nemzetközi publikációkat. Részt vettem több hazai és külföldi tanulmányúton is, ahol lehetőségem volt megismerni több gyakorlati módszert is, továbbá kérdőív segítségével részletesebb betekintést nyertem az aktuális módszerek működésébe. Az eredmények ismertetéséhez táblázatokat és diagramokat használtam.

2.1 A tűzoltó védőruházat tisztításának és karbantartásának általános folyamata és hátterének vizsgálata

A tűzoltó felszerelések tisztítása és karbantartása mindig kiemelt jelentőséggel bírt, függetlenül attól, hogy milyen korszakról beszélünk. Már a 19. század végén is világosan megfogalmazták a tűzoltók ruházatának és felszereléseinek gondozására vonatkozó előírásokat, hiszen a megfelelő állapotban tartott eszközök nemcsak a hatékony munkavégzéshez, hanem a tűzoltók biztonságához is elengedhetetlenek voltak. A Magyar Országos Tűzoltó- Szövetség 1898-ban kiadott Tűzoltó Felszerelési Szabályzata részletesen foglalkozott a különböző anyagok tisztításával, legyen szó egyenruháról, bőrből készült felszerelésekről vagy fém alkatrészekről. A szabályzat szerint a nyári vászonzubbonyt langyos szappanos vízben kellett kimosni, majd alapos öblítés után kicsavarva, árnyékos helyen szárítani. A téli posztóruházat esetében a szennyeződések eltávolítására inkább kefélest és portalanítást alkalmaztak, mivel a nedves tisztítás károsíthatta az anyagot. Fontos kikötés volt, hogy a tisztítás során maró anyagokat és durva keféket nem szabadott használni. A fém és bőr felszerelések tisztítására szintén nagy figyelmet fordítottak. A sisakok és egyéb bőrből készült elemek rendszeres száraz ronggyal történő áttörlesztését javasolták, míg az időszakos tisztítás során fekete bőrkencével való kezelést írtak elő. A sárgaréz tárgyak, azaz a gombok vagy egyes felszerelési elemek tisztítására speciális tisztítóporokat és szappanos ronggyal történő dörzsölést ajánlottak. Mindezek a gondosan kidolgozott előírások azt mutatják, hogy a tűzoltó felszerelések megfelelő eljárásrend szerinti tisztántartása már több mint egy évszázaddal ezelőtt is elengedhetetlen része volt a szakmának [70].

Jelenleg is számos nemzetközi irodalom foglalkozik a tűzoltókat ért olyan szennyeződésekkel, melyek karcinogén tulajdonságuk révén, hosszútávon megbetegedést okozhatnak. Az egyik ilyen csoport a PAH, melyek leginkább a szerves anyagok tökéletlen égésekor keletkeznek. Természetes keletkezési forrásaik pl. az erdőtüzek égésekor, de megtalálhatók a dohányfüstben, kipufogógázban, továbbá húskészítmények grillezése során is bekerülhetnek az emberi szervezetbe [92]. Számos tanulmány számolt be a tűzoltó egyéni védőeszközök kapcsán PAH és egyéb szennyezők jelenétére az egyéni védőöltözeten, amik a későbbiekben inhalálva vagy a bőrrel való érintkezés során a szervezetbe kerülnek. Ezért is kiemelten fontos, hogy a ruházatok megfelelő tisztítására és fertőtlenítésére kellő figyelmet fordítsanak. Mayer és társai kísérletükben azt vizsgálták, hogy mosás esetén milyen hatást gyakorol a PAH koncentrációra az adott ruházaton. Eredményeik alapján a mosás hatékonyan mérsékelte a szennyezést,

ugyanakkor azt is kimutatták, hogy új, korábban nem használt védőruházaton is megjelentek PAH-maradványok a mosást követően, ami a keresztszennyeződés lehetőségére utal [24] [91].

A hétköznapiakban több tűzoltóságon is a háztartási és az ipari mosógép használata terjedt el, ha tűzoltó bevetési védőruha tisztításáról van szó. A háztartási mosógép a kisebb kapacitás miatt egyszerre maximum csak egy ruhaneműt (nadrág vagy kabát) képes átmosni, ami az igénybe vett idő és felhasznált vízmennyiség szempontjából nem feltétlenül a legjobb megoldás, de a kisebb mértékű, nem fertőző típusú szennyeződések eltávolításához elegendő lehet. Az ipari mosógépek már képesek több ruhadarab befogadására is, továbbá a robosztus szerkezetnek köszönhetően a várható hibamentes élettartam is hosszabb lehet. Mindemellett néhány gyártó kínál olyan lehetőséget a felhasználók részére, melyek segítségével az adott öltözetre speciálisan választható ki a megfelelő mosási program. Ez különösen előnyös a tűzoltó védőruhák számára, hiszen a védelmi képesség minél tovább tartó megőrzése rendkívül jelentős szerepet tölt be [91]. A háztartási vagy ipari mosást követően többféle lehetőség adódik a tűzoltóságok számára a szárítást illetően. Megfelelő időjárási körülmények és tartalékruházat rendelkezésre állása esetén kiváló döntés lehet a szabadban történő teregetés, illetve kiterítés. Ilyenkor azonban figyelembe kell venni a magas UV-sugárzás hatását, amely a színvesztés mellett a szövet szerkezeti integritását is ronthatja – csökkenhet az anyag szakítószilárdsága, rugalmassága, valamint UV- és hőállósága [93]. Zárt helyiségben ez a kockázat nem számottevő, ugyanakkor a száradási idő jelentősen megnőhet, és a levegő megnövekedett páratartalma is hátrányosan befolyásolhatja a folyamatot. Az egyik elterjedt megoldás a szárítógép használata, amely ezen hátrányokat részben vagy egészében kiküszöböli.

Egyre több tűzoltóságban jelenik meg a szárítószekrény (4. ábra) vagy a szabadon álló/falra rögzíthető nyitott szárító, melyek esetén a szárítás meleg levegő áramoltatásával/fújásával működik, melyek működtetése elektromos árammal történik.



4. ábra: Szárítószekrény működés közben, a képet készítette a szerző (Fire University - Tűzoltóegyetem, Varsó, Lengyelország, 2025.)

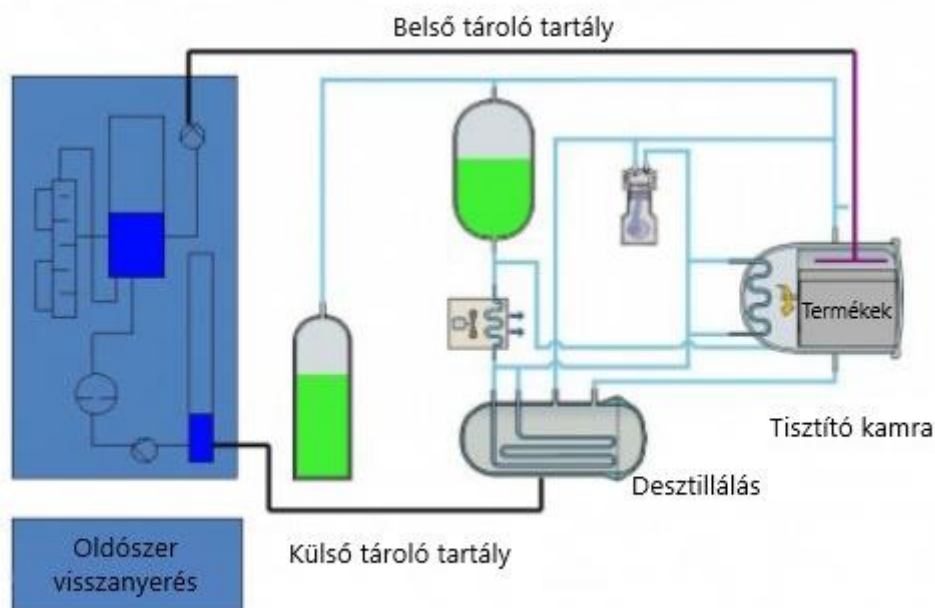
Mindkét technológiai kivitelezés gyorsabb és kíméletesebb szárítást kínál, mely segítséget nyújthat olyan tűzoltóságok részére, ahol nem adottak a feltételek (kisebb hely, párás környezet, stb.) hagyományos szárításra, viszont szükség van adott idő alatt több védőruházat szárítására.

Az eddig bemutatott hagyományos tisztítási és szárítási eljárások után egy innovatív technológia, a száraz tisztítás kerül a fejezet fókuszába, mely új megközelítést jelent a tűzoltó védőruházatok karbantartásában. A száraz tisztítás egy olyan folyamat, amely magában foglalja a ruhák és szövetek víz felhasználása nélküli tisztítását. Ezt a tisztítási módszert előnyben részesítik olyan anyagoknál, amelyek kevésbé bírják a hagyományos mosógépi mosást. Az eljárás meghosszabbíthatja ezeknek a ruháknak az élettartamát azáltal, hogy megakadályozza a rendszeres mosás során előforduló zsugorodást, fakulást vagy sérülést. A száraz tisztítás története évszázadokra nyúlik vissza. Míg a modern vegytisztítási eljárást csak a 19. században találták fel, addig a víz nélküli ruhák tisztításának koncepciója már jóval régebb óta létezik. Eredete az ókori rómaiakra vezethető vissza, akik vizeletből kivont ammóniát használtak ruháik tisztítására. A vegytisztítás gyakorlata a középkorban és a reneszánszban is folytatódott, különféle anyagokat, például agyagot, hamut, sőt fűrészport is használtak a szövetek tisztítására. A legjelentősebb forradalom a 19. század elején következett be, amikor 1825-ben egy szobalány véletlenül felborított egy lámpát, és terpentin ömlött egy szennyezett felületre. A francia Jean Baptiste Jolly figyelt fel arra, hogy a terpentin elpárolgása után a keletkezett foltok eltűntek az asztalterítőről. Ezt követően kísérletezni kezdett a terpentinrel, amellyel beáztatta a terítőt, majd a száradást követően azt tisztának találta. A száraz tisztítás hamarosan

népszerűvé vált Európában és az Egyesült Államokban is, mivel hatékony módszer volt azon kényes anyagok tisztítására, amelyek nem bírták a hagyományos mosási módszereket. Az eljárás során a ruhákat gépbe helyezték, majd oldószert adagoltak mellé a szennyeződések feloldására víz nélkül. Az évek során a technológia fejlődött, így az hatékonyabbá és környezetbaráttá vált. Új, a környezetre kevésbé káros oldószereket fejlesztettek ki, a gépeket pedig úgy alakították ki, hogy kevesebb energiát használjanak fel, és kevesebb károsanyag-kibocsátást termeljenek [91] [94].

A hagyományos száraztisztítás során leggyakrabban a perklór-etilént (továbbiakban: PER) használják. A kiváló tisztítási teljesítménye ellenére a PER-nek számos hátránya van, mint például az emberi szervezetre gyakorolt toxikus hatás. Ennek elkerülése érdekében számos alternatív oldószer van használatban a textil-száraztisztításhoz: szénhidrogén oldószerek, szilícium alapú oldószerek és szén-dioxid (CO₂) [91] [95].

A folyékony szén-dioxidos száraztisztítás környezetkímélőbb alternatívája a hagyományos vegytisztítási módszereknek, mivel a módszer magában foglalja a folyékony szén-dioxid oldószerként való használatát a ruhák tisztításához, ahelyett, hogy toxikus vegyszereket, például PER használna. A szén-dioxid színtelen, szagtalan, nem mérgező és nem gyúlékony gáz. A folyékony szén-dioxidos száraz tisztítás folyamata esetén a folyékony szén-dioxidot szuperkritikus állapotában használják fel, ami azt jelenti, hogy ilyenkor ez egyben folyadék és gáz is. A folyékony szén-dioxidot kis mennyiségű detergenssel kombinálják, majd egy kamrába pumpálják, ahol a ruhák tisztítására használják (5. ábra). Az oldószer képes behatolni a szövet rostjaiba, eltávolítva a szennyeződések és a foltokat anélkül, hogy károsítaná az anyagot. Az eljárás nem okoz zsugorodást, fakulást vagy sérülést az anyagon, így a ruhák megőrzik alakjukat és színüket [91] [96].



5. ábra: Szén-dioxidos száraztisztítás működési elve, fordította a szerző, forrás: [97]

Nemzetközi viszonylatban már számos tanulmány foglalkozott a tűzoltó védőruhák szén-dioxidos száraz tisztításának hatékonyságával, mivel a hagyományos mosások esetén maradhatnak olyan szennyeződések a ruhán – akár a korábban is említett keresztszennyezéssel -, melyek a tűzoltók egészségére hosszútávon károsan hatnak. Arjunsing és társai a cikkükben a tűzoltó védőruhák vonatkozásában összehasonlító kísérletet végeztek a hagyományos mosás és a szén-dioxidos száraz tisztítás között, majd erről számoltak be. Az eredmények azt mutatták, hogy a hagyományos mosási eljárás esetén a nagyobb molekulatömegű PAH és ftalátok³³ eltávolítása már nem volt olyan hatékony, mint például a fenolok esetén. A szén-dioxidos száraz tisztítás esetén a hatékonyság minden esetben magas értéket ért el (átlagosan 95.36%). Az elvégzett kísérlethez kizárólag folyékony halmazállapotú szennyező anyagokat használtak fel, így általános megállapítás ezek alapján nem állapítható meg, hiszen a tűzoltókat munkavégzésük során szilárd halmazállapotú szennyeződések is érik, de támpontot adhat további vizsgálatok elvégzéséhez [91] [98].

A közelmúltban végzett vizsgálatok alapján egyre nagyobb figyelmet kapnak azok az új típusú tüzesetek (pl.: elektromos járművek akkumulátorainak és napelemeknek az égése), melyek során agresszív és nehezen eltávolítható szennyező anyagok keletkeznek. Szymtke és társai kutatásukban pilot tesztek is végeztek, melyek során kimutatták, hogy a tűzoltói

³³ Szerves vegyületek, ipari lágyítószerként alkalmazzák

beavatkozások után vett védőruházatok mintáiban több esetben a megengedett határértéket többszörösen meghaladó szennyeződés volt jelen, úgymint kobalt vagy PAH-vegyületek formájában. A vizsgálat rávilágított arra is, hogy a hagyományos vízalapú tisztítás nem képes megfelelően eltávolítani ezeket a szennyeződések, így alternatív eljárások bevezetése indokolt. Az egyik leghatékonyabbnak bizonyuló módszer a folyékony szén-dioxidos tisztítás, mely zárt rendszerben működik, oldószermentes, és képes behatolni a védőruha szövetszerkezetébe anélkül, hogy károsítaná az anyagot [99].

A folyékony szén-dioxidos technológia egyik ismert európai alkalmazója a Decontext nevű vállalat, mely már több országban kínál professzionális dekontaminációs szolgáltatásokat tűzoltóságok számára. A vállalat hivatalos tájékoztatója szerint az egyéni védőruházat tisztítása során alkalmazott szén-dioxidos száraz tisztítási eljárás hatékonyabb lehet a hagyományos mosási módszereknél, mivel a szennyeződések nemcsak a külső rétegekből, hanem a köztes membrán anyagából is eltávolíthatók. Bár a Decontext tapasztalatai fontos támpontot nyújtanak a technológia gyakorlati hasznosságának megítéléséhez, a jelen dolgozatban egy másik szolgáltató, a CO2DEX megoldásait vizsgáltam részletesebben, mivel e vállalat együttműködése révén lehetőségem nyílt közvetlen információszerzésre és adatfeldolgozásra [91].

A folyékony szén-dioxidos tisztítás gyakorlati alkalmazásának mélyebb megértése érdekében felvettem a kapcsolatot a CO2DEX vállalattal, mely ezen eljárás egyik meghatározó szereplője. A cég részletes információt szolgáltatott a technológia működéséről, költségeiről és hatékonyságáról [100]. A tisztítás hatékonysága 90-99%, ami elsősorban a szennyeződés típusától függ. Az eljárás kiválóan alkalmas olajos, zsíros, valamint szerves és ipari eredetű szennyeződések eltávolítására, ugyanakkor a vizes- és proteinbázisú szennyeződésekkel szemben korlátozott hatékonyságot mutat. Ez a gyakorlati tapasztalat megerősíti, hogy a technológia alkalmazása előnyös lehet speciális szennyeződések esetében, azonban bizonyos típusú szennyeződéseknel további tisztítási módszerek kombinálása lehet indokolt.

A folyékony szén-dioxidos tisztítás egy ígéretes technológia a tűzoltó védőruházatok karbantartásában, mivel olyan szennyeződések is képes eltávolítani, melyek korábban csak részben vagy egyáltalán nem voltak eltüntethetők a hagyományos mosási eljárásokkal. Ez különösen lényeges a környezetvédelmi és gazdasági szempontok figyelembevételével, hiszen egy hatékonyabb tisztítási eljárás révén elkerülhetővé válhat a védőruházatok idő előtti cseréje, így csökkentve a beszerzési és hulladékkezelési költségeket. A technológia ugyan biztató

eredményeket mutat, jelenleg főként gyártói adatok állnak rendelkezésre a tisztítás hatékonyságáról, míg felhasználói oldalról kevés objektív mérés történt. A gyakorlati alkalmazás optimalizálása érdekében szükséges lenne laboratóriumi vizsgálatok elvégzése, melyek kvantitatív módon meghatároznák, hogy a szén-dioxidos tisztítás milyen típusú szennyeződések milyen hatékonysággal távolít el. Egy ilyen kutatás eredménye nemcsak a tűzoltók számára nyújtana értékes információt a védőruhák tisztításának lehetőségeiről, hanem a gyártók részére is iránymutatásként szolgálhatna. A tisztítási hatékonyság tudományos vizsgálata egyértelműen hozzájárulhatna a tűzoltók egészségének védelméhez is, hiszen pontosabb adatok birtokában jobban meghatározható lenne, hogy a különböző szennyeződések mennyire távolíthatók el és szükség van-e kiegészítő eljárások alkalmazására.

A különféle tisztítási eljárások ismertetése után indokoltá válik azok módszeres összevetése is, hiszen a technológiák között jelentős eltérések mutatkoznak a védőruhák kapacitáskezelésében, valamint a szennyeződések típusára adott hatékonyságukban. A hagyományos háztartási és ipari mosási megoldások mellett a folyékony szén-dioxidos eljárás egy speciális, célzott alkalmazásra alkalmas módszert képvisel, melyet nem napi használatra, hanem kiegészítő jelleggel, bizonyos típusú (pl.: ipari eredetű vagy makacs szennyeződések) eltávolítására alkalmaznak. Mivel a tűzoltó védőruhák különösen nagy terhelésnek vannak kitéve, a tisztítás módjának kiválasztása nemcsak higiéniai, hanem gazdasági és élettartam-megőrzési szempontból is meghatározó. Az 1. táblázat a három tisztítási eljárás áttekintő összehasonlítását tartalmazza, elsősorban a gyakorlatban jellemző szennyeződések eltávolításának hatékonysága, valamint a berendezések vagy szolgáltatások kapacitása alapján.

1. táblázat: Tisztítási eljárások összehasonlítása, készítette a szerző

Szempont	Háztartási mosógép	Ipari mosógép	Folyékony szén-dioxidos tisztítás
Töltet mérete (védőruhák száma)	Legfeljebb 2 db teljes védőruha (10 kg kapacitás mellett)	5–10 db védőruha, géptípustól és kapacitástól függően (max. 27 db 120 kg-os gépnél)	Nincs fix ruhadarabszám, mivel szolgáltató végzi
Korom eltávolítása	Korlátozottan hatékony	Korlátozottan hatékony	Hatékony
Olaj eltávolítása	Korlátozottan hatékony	Korlátozottan hatékony	Hatékony
Állati fehérje eredetű szennyeződés (pl. vér, izzadság)	Korlátozottan hatékony (kapacitás és töltet függvényében)	Speciális programmal eltávolítható	Proteinbázisú szennyeződésekkel szemben korlátozott hatékonyság

Az 1. táblázat jól szemlélteti, hogy a háztartási mosógépek korlátozott kapacitásuk és a védőruhák speciális szerkezete miatt kevésbé alkalmasak azok hatékony tisztítására. Egy teljes védőruha-együttes (védőkabát, védőnadrág és védőkámezsa) tömege vízmentesen átlagosan 4,4 kg, így egy 10 kg kapacitású háztartási gépbe legfeljebb két ruhahelyezhető el – azonban ilyen terhelés mellett a mosás egyenletessége és hatékonysága jelentősen csökken [101]. Az ipari mosógépek ezzel szemben már lehetőséget biztosítanak nagyobb mennyiségű ruha egyidejű kezelésére. A folyékony szén-dioxidos eljárás nem a mindennapi használatra szolgál, hanem olyan speciális, ipari eredetű szennyeződések eltávolítására, amelyeket a hagyományos módszerek nem képesek hatékonyan kezelni. Mivel ez a technológia szolgáltatáson alapul, a tisztítandó ruhák mennyisége rugalmasan alakítható. A módszerek közötti eltérések nemcsak a kapacitás és a működtetés módjában, hanem a szennyeződések típusára adott hatékonyságban is megfigyelhetők, ami különösen fontossá teszi a megfelelő eljárás kiválasztását.

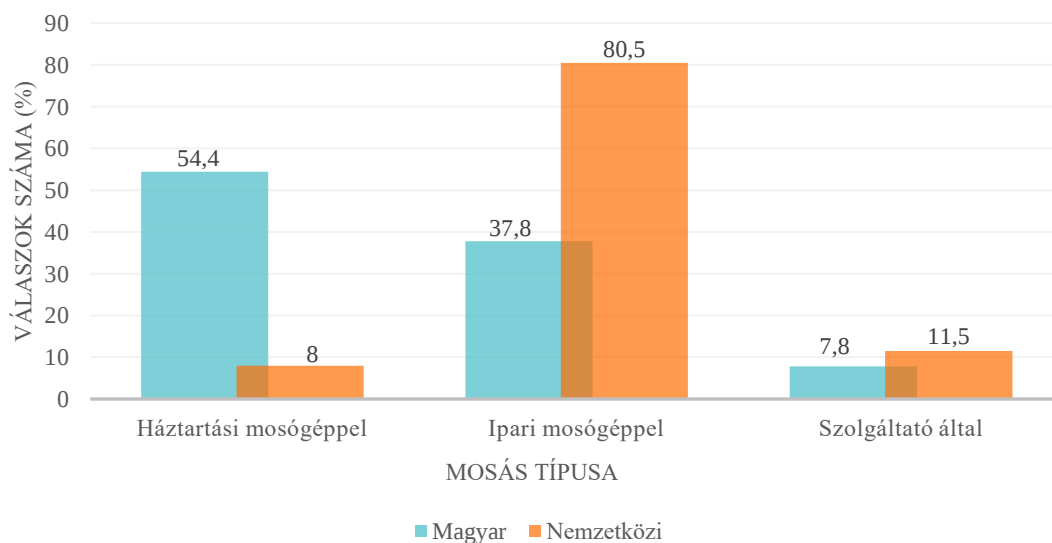
A továbbiakban a tűzoltó védőruhák tisztításával, szárításával és impregnálásával kapcsolatos kérdőív eredményeit ismertetem, majd a korábban elemzett publikációkkal összevetve tudományos alapú következtetéseket vonok le.

2.2 Saját kérdőíves felmérés eredményei a tűzoltó védőruházat karbantartás témakörében

Az 1.4.1 fejezetben ismertetett kérdőív válaszait a védőruha tisztításával kapcsolatban most részletesen bemutatom. A válaszok, mint a korábbi szakaszban is, csak iránymutatást adnak, hiszen a kérdőív anonim volt és nem reprezentatív. A kapott eredmények támpontként szolgálhatnak a kutatási irányok és célok meghatározásához.

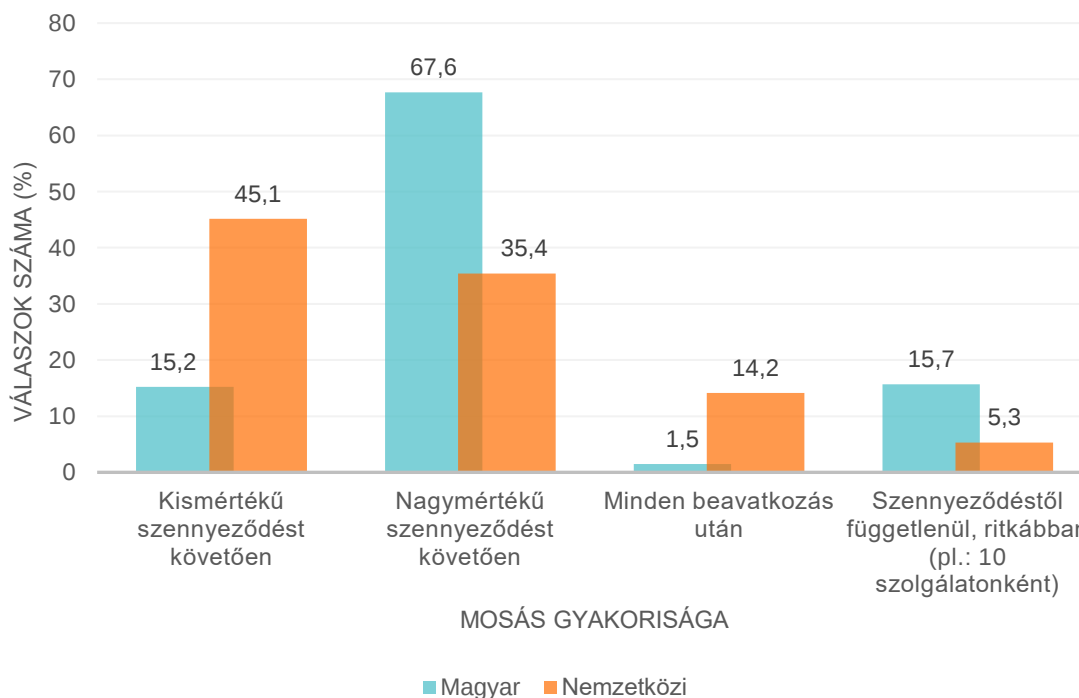
A mosási gyakoriságokra vonatkozó eredményeket (4. diagram) összehasonlítom Sylwia Maria Krzemińska és Małgorzata Szewczyńska szerzők *Hazard of chemical substances contamination of protective clothing for firefighters – a survey on use and maintenance* című publikáció kérdőívének (továbbiakban: lengyel kérdőív) adataival. A kutatásuk során 688 lengyel tűzoltó válaszát dolgozták fel és értékelték ki a védőruha tisztítással, karbantartással kapcsolatban. Mivel az általam készített kérdőív nemzetközi vonatkozásában 83,2%-a lengyel adatokból került begyűjtésre, így a megállapításaimat a lengyel kérdőív megerősíti vagy árnyalja, így lehetőséget biztosít az eredmények mélyebb, nemzetközi kontextusban történő elemzésére. Krzemińska szerzővel korábban már felvettem a kapcsolatot az eredeti kérdőív megismerése érdekében, így a publikációban szereplő kiértékelések mellett a feltett kérdések is rendelkezésemre álltak az elemzéshez [102].

4. diagram: Magyar és nemzetközi tűzoltók védőruházat mosási szokásainak összehasonlítása, készítette a szerző



A 4. diagram a magyar és nemzetközi tűzoltók védőruházatának mosási szokásait hasonlítja össze három kategóriában: háztartási mosógép, ipari mosógép, és szolgáltató által végzett mosás. A magyar tűzoltók 54,4%-a háztartási mosógépet használ, míg ugyanez az arány a nemzetközi tűzoltóknál mindössze 8%. Az ipari mosógépek használata fordított képet mutat: a nemzetközi tűzoltók körében ez a leggyakoribb megoldás (80,5%), szemben a magyarok 37,8%-ával. A szolgáltató által végzett mosás mindkét csoportban ritkább, a nemzetközi tűzoltók 11,5%-a, míg a magyarok 7,8%-a veszi igénybe. A különbségek mögött valószínűleg az infrastruktúra eltérései, a költségek, valamint a mosási gyakorlatokhoz és elvárásokhoz kapcsolódó intézményi különbségek állhatnak. A nemzetközi tűzoltók előnyben részesítik az ipari gépek használatát, ami valószínűleg hatékonyabb tisztítást biztosít. Ezzel szemben Magyarországon a háztartási mosógépek népszerűsége költséghatékonyságot jelenthet, bár a tisztítás eredményessége esetleg nem éri el ugyanazt a szintet.

5. diagram: Mosási gyakoriságok összehasonlítása magyar és nemzetközi tűzoltók körében, készítette a szerző

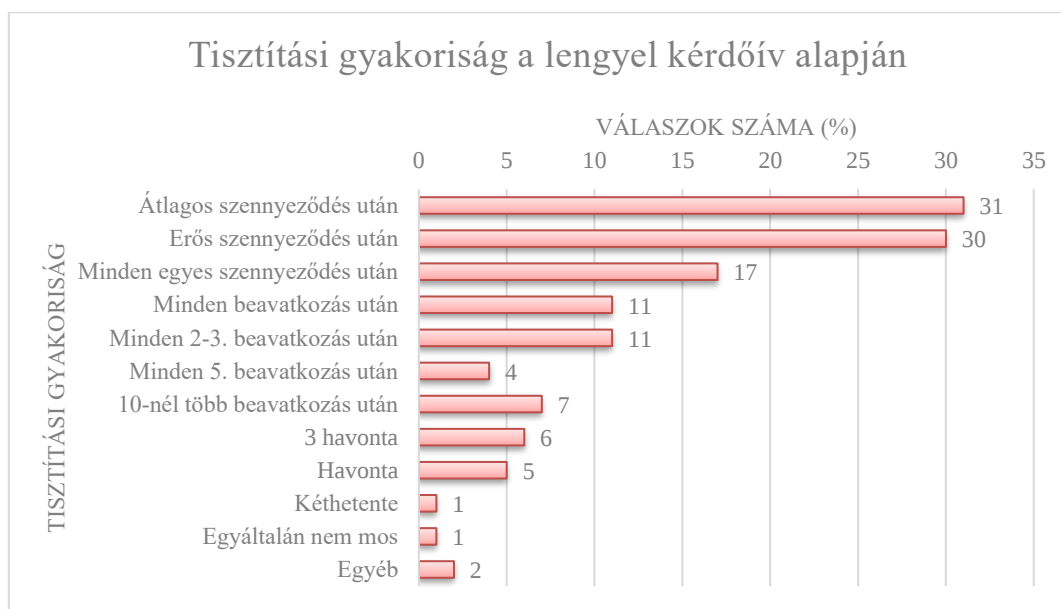


Az 5. diagram értékei rámutatnak, hogy a Nemzetközi tűzoltók sokkal nagyobb arányban (45,1%) mosnak ruhát kisebb szennyeződések után, mint a magyar tűzoltók (15,2%). A különbség oka feltételezhetően abból ered, hogy a nemzetközi gyakorlatban valószínűbb, hogy kisebb szennyeződések után is előírják a tisztítást, ami a higiénia és a védelem hosszú távú fenntartására helyezi a hangsúlyt, továbbá azon tűzoltóságok esetleg jobban felszereltek professzionális mosási rendszerekkel, ami megkönnyíti a gyakoribb tisztítást. A magyar tűzoltók (67,6%) körében sokkal elterjedtebb a mosás nagymértékű szennyeződés után, szemben a nemzetközi tűzoltók (35,4%) arányával. A nemzetközi tűzoltók (14,2%) gyakrabban tisztítanak ruházatot minden egyes beavatkozás után, mint a magyar tűzoltók (1,5%). Ez a különbség arra mutathat rá, hogy a nemzetközi protokollokban erősebben jelen van az egységes tisztítási eljárás, ami független a beavatkozás jellegétől. A magyar tűzoltók alacsony aránya (1,5%) arra utalhat, hogy a tisztítás gyakoriságát a szennyeződés mértéke határozza meg, ami költséghatékonyabb, de nem biztos, hogy ugyanolyan hatékonyan óvja a ruházatot és az egészséget. A nemzetközi tűzoltók (15,7%) körében gyakoribb a szennyeződéstől független típusú tisztítás, mint a magyar tűzoltók (5,3%) körében. Ez arra utalhat, hogy a nemzetközi gyakorlatban időszakos, tisztítást is végeznek, függetlenül attól, hogy a ruházat szennyezett-e vagy sem. Ebben az esetben csökkenhet a ruha elhasználódásának mértéke, továbbá a látszólag

tiszta ruha fiktív szennyeződésmentes hatása is kizárható, ami egészségvédelmi szempontból kiemelt jelentőséggel bír.

Az általam készített kérdőív válaszainak jelentős része (83.2%) lengyel forrásokból származik, így a kérdőívem eredményeinek értékelésekor kiemelten fontos a lengyel kérdőív adatainak összehasonlítása. Nem célom a százalékos adatok közvetlen összevetése, hanem inkább a trendek és arányok vizsgálata. A két kérdőív nem teljesen azonos felépítésű, azonban az általam vizsgált négy fő kategóriára vonatkozóan hasonló trendek figyelhetők meg. A 6. diagram további kategóriái a vizsgálatom szempontjából kevésbé relevánsak, mert az ott szereplő válaszok száma alacsonyabb és a tisztítási szokások szempontjából nem számottevőek.

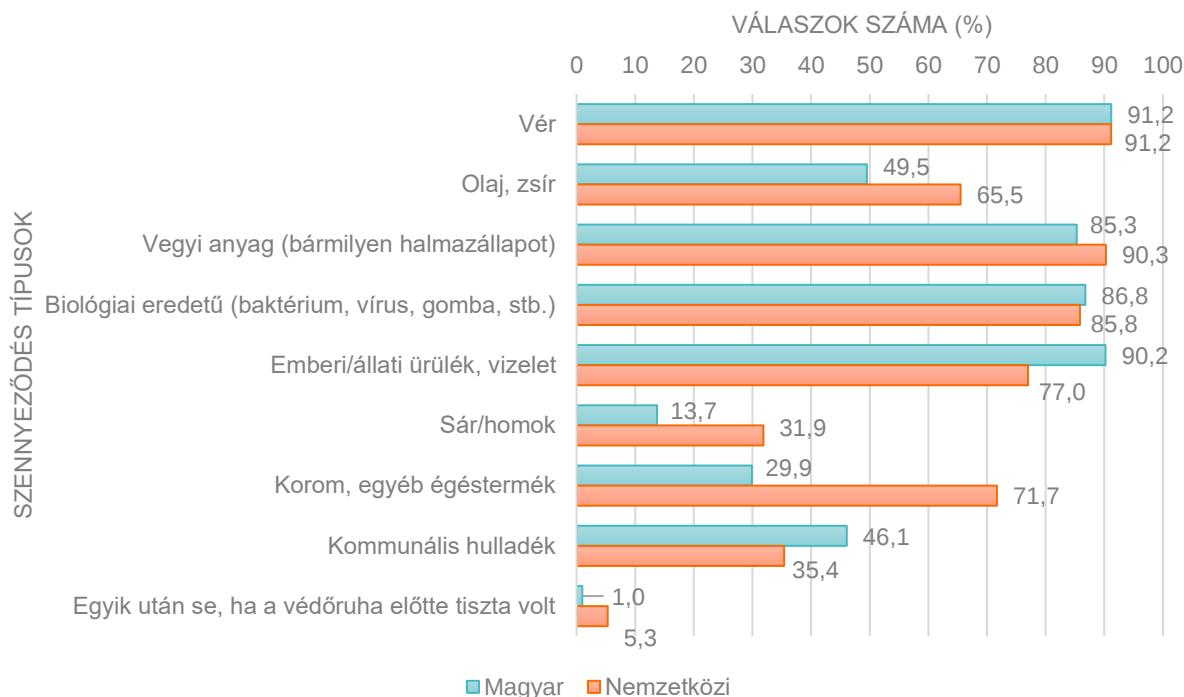
6. diagram: Tisztítási gyakoriság a lengyel kérdőív alapján, készítette a szerző, forrás: [102]



Az 5. és 6. diagram összehasonlítását követően megállapítható, hogy mindkét kérdőívben a nagymértékű és az átlagos/kismértékű szennyeződés a fő kiváltó ok a tisztításra. A lengyel kérdőívben a két kategória közötti különbség elhanyagolható, míg a saját kérdőívemben nagyobb eltérés tapasztalható. A „minden beavatkozás utáni” mosás vizsgálata a „minden egyes szennyeződés utáni” tisztítással nem teljesen ekvivalens, hiszen lehetnek olyan beavatkozások (pl.: téves riasztás, kiérkezés előtt felszámolt esemény), melyek nem járnak szennyeződéssel. Amennyiben a két kategória összehasonlításra kerülne, úgy feltételezni kell, hogy minden beavatkozás szennyeződéssel jár. Kisebbségi torzítások lehetnek, mivel a kérdőívek nem teljesen azonos számú és típusú kérdést tartalmaztak, továbbá a nemzetközi kérdőív válaszainak 16,8%-a más országokból származó tűzoltók tapasztalatait tükrözi. Mindezek figyelembevételével

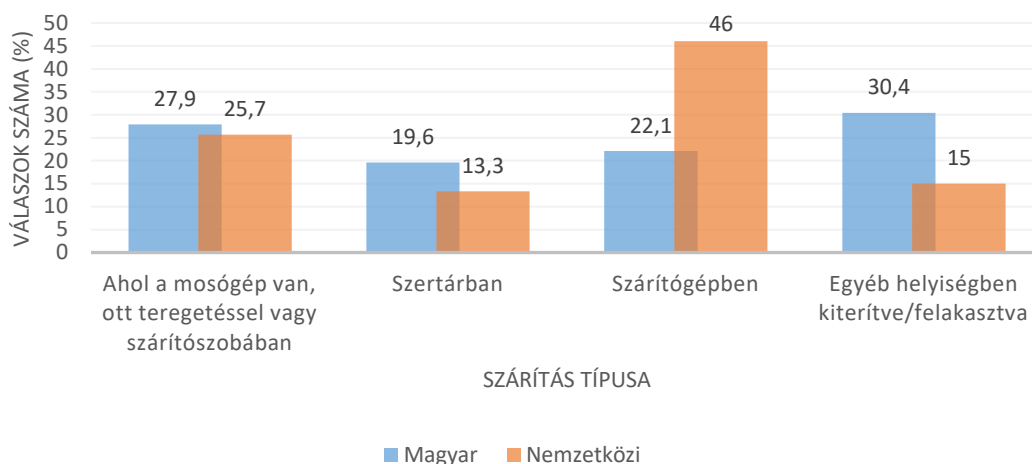
azonban megállapítható, hogy az összevetésre került kategóriák alapján a lengyel kérdőív eredményei nagyrészt validálják az általam készített kérdőív nemzetközi adatainak érvényességét.

7. diagram: Magyar és nemzetközi tűzoltók mosási szokásainak összehasonlítása a szennyeződés függvényében, készítette a szerző



A 7. diagram a *Milyen típusú szennyeződés után mossa ki mindenképp a védőruhát (még ha frissen is volt tisztítva)?* – több is megjelölhető kérdésre adott válaszai alapján kirajzolódik, hogy közepes és jelentős eltérések figyelhetők meg a magyar és nemzetközi tűzoltók mosási szokásaik között a szennyeződések tekintetében. Míg mindkét csoport kiemelten fontosnak tartja a vér és a biológiai eredetű szennyeződések eltávolítását, addig más szennyezők pl.: sár, homok vagy korom eltávolítása kapcsán a nemzetközi tűzoltók sokkal nagyobb figyelmet szentelnek ezekre a tényezőkre.

8. diagram: Magyar és nemzetközi tűzoltók védőruházat szárítási szokásainak összehasonlítása, készítette a szerző



A 8. diagram elemzése világosan rámutat a magyar és nemzetközi tűzoltók szárítási szokásai közötti eltérésekre. Az adatok négy szárítási módszert különítenek el, amelyek az infrastruktúra és technológiai fejlettség különbségeire is rámutathatnak. A magyar válaszadók 27,9%-a és a nemzetközi válaszadók 25,7%-a használja a teregetéssel vagy szárítószobában történő módszert. Ez az arány csekély különbséget mutat, ami azt jelzi, hogy mindkét csoport esetében elfogadott megoldásról van szó. E szárítási mód mögött az állhat, hogy elérhetőbb és költséghatékonyabb, mint más alternatívák. A szertárban történő szárítás jóval gyakoribb a magyar válaszadók körében (19,6%), mint a nemzetközi válaszadók esetében (13,3%). Ez a különbség arra utalhat, hogy hazai viszonylatban, a szertárakban gyakran nincs külön erre a célra kialakított helyiség, és a szárítási lehetőségek inkább helytakarékos megoldásokra korlátozódnak. A nemzetközi válaszadók közel fele (46%) használ szárítógépet, míg Magyarországon ez az arány mindössze 22,1%. Ez jelentős különbség, amely arra utal, hogy a nemzetközi tűzoltók számára elérhetőbbek a technológiai eszközök e köre. A szárítógépes szárítás hatékonyabb, gyorsabb, és kevésbé terheli a munkahelyi infrastruktúrát. A magyar válaszadók 30,4%-a szárítja ruháit egyéb helyiségben kiterítve vagy felakasztva, míg a nemzetközi válaszadóknál ez az arány mindössze 15%. Ez a különbség azt mutatja, hogy Magyarországon gyakran átmeneti megoldásokat alkalmaznak a szárításra, mivel a kijelölt helyek vagy eszközök hiányozhatnak vagy nem működőképesek.

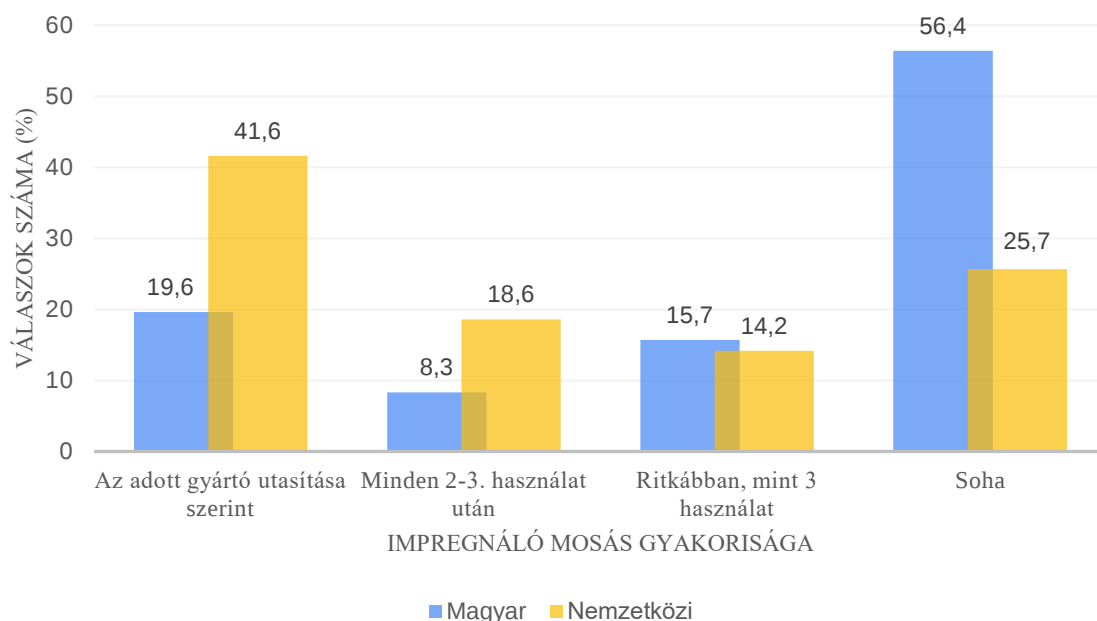
2.3 Az impregnálás szerepe a tűzoltó védőruházatok terén

Mosógéppel történő mosás esetén a gyártó által javasolt időközönként impregnálószer is szükséges adagolni a mosószer mellé. A folyamat pontos megértése érdekében először tisztázni kell a témához kapcsolódó fogalmakat. Első körben a víztaszító kifejezésről érdemes szót ejteni. Az ebbe a csoportba tartozó anyagok (ebben az esetben ruhaneműk) rendelkeznek a legkisebb védelemmel a vízzel szemben. Általában nyilont vagy poliésztert kevernek a szövetekhez, hogy növeljék a víztaszító tulajdonságát. Minél sűrűbben szőtt az anyag, annál nehezebben hatol át a víz. Ez viszont csak ideiglenesen fejt ki védelmet. A következő csoportba a vízlepergető anyagok tartoznak, mely esetén a víz már kevésbé képes a szövetek közé bejutni, köszönhetően az erősített szerkezetnek. Az utolsó és egyben legnagyobb védelemmel rendelkező csoport vízálló, ahol az adott anyag már csak hosszabb időn keresztül képes a víz bejutását megakadályozni [91] [103].

A textíliák impregnálása olyan eljárás, amely során a textíliákat bevonattal vagy anyaggal kezelik tulajdonságaik javítása érdekében. Ez magában foglalhatja a vízállóság, a foltállóság, a lángállóság vagy más kívánatos tulajdonságok hozzáadását a szövethez. A folyamat többféle módszerrel is elvégezhető, például szórással, áztatással vagy a szövet speciális oldattal való bevonásával. Az egyik elterjedt módja a kémiai bevonat alkalmazása, amelyet a szövetre visznek fel, majd hővel vagy nyomással kikeményítenek. Ez az eljárás gátat hoz létre a szövet felületén, amely segít a folyadékok taszításában és megakadályozza a foltok lerakódását. A textíliák impregnálásának másik módja a laminálás, amelynek során vékony filmréteget visznek fel a szövetre, hogy nagyobb védelmet és tartósságot biztosítsanak. A laminálás segítségével fokozható a szövet szilárdsága, rugalmassága, valamint a szakadás vagy kopásállóság. Ezt az eljárást gyakran használják sportruházathoz, kültéri felszerelésekhez vagy orvosi textíliákhoz szükséges műszaki szövetek előállításához [91] [104].

A textíliák impregnálása magában foglalhatja a nanotechnológia alkalmazását is olyan szuperhidrofób szövetek létrehozására, amelyek molekuláris szinten taszítják a vizet és a szennyeződést. Ez a csúcstechnológia lehetővé teszi, hogy a szövetek megőrizzék légáteresztő képességüket és rugalmasságukat, miközben kiváló védelmet nyújtanak a foltok és a nedvesség ellen. A nanotechnológia olyan öntisztuló anyagokat hozhat létre, amelyek minimális karbantartást igényelnek, és többszöri mosás során is megőrzik tulajdonságaikat. [91] [105]

9. diagram: Magyar és nemzetközi tűzoltók impregnáló mosási gyakorlatának összehasonlítása, készítette a szerző



A 9. diagram részletesen bemutatja a magyar és nemzetközi tűzoltók impregnáló mosási gyakorlatainak különbségeit. Az impregnáló szerek alkalmazása kulcsfontosságú a védőruházat vízlepergető és egyéb védelmi tulajdonságainak fenntartásában, amelyeket a gyártók előírhatnak bizonyos használati idő után. A nemzetközi tűzoltók 41,6%-a az adott gyártó előírásainak megfelelően végzi ezen szerek alkalmazását, míg a magyar tűzoltók körében ez az arány mindössze 19,6%. Ez azt jelezheti, hogy a nemzetközi gyakorlatban nagyobb hangsúlyt fektetnek a gyártói előírások betartására, ami arra utalhat, hogy a nemzetközi gyakorlatban nagyobb hangsúlyt fektetnek a gyártói utasítások követésére, melyek jellemzően meghatározzák, hogy hány mosási ciklust követően szükséges az impregnálás megismétlése, milyen típusú szer használható, és milyen hőmérsékleten történjen annak aktiválása. A nemzetközi tűzoltók 18,6%-a minden 2-3. használat után impregnáló mosást végez, szemben a magyar tűzoltók mindössze 8,3%-os arányával. Ez is azt mutatja, hogy a nemzetközi gyakorlatban nagyobb figyelmet fordítanak a rendszeres karbantartásra. A ritkább, mint 3 használat utáni impregnáló mosás aránya hasonló a két csoport között. A magyar tűzoltók 15,7%-a, míg a nemzetközi tűzoltók 14,2%-a végzi el ezt a műveletet ritkábban. Ez a hasonlóság arra utalhat, hogy mindkét csoportban jelen vannak olyan tűzoltók, akik kevésbé rendszeresen, de bizonyos időközönként mégis alkalmaznak impregnáló szert. Azonban a ritkább használat hosszabb távon csökkentheti a ruházat védelmi képességeit (amennyiben a védőruházat használati útmutatójában eltérő adat nem szerepel). A magyar tűzoltók több mint

fele (56,4%) soha nem használ impregnálószer, míg a nemzetközi tűzoltók körében ez az arány mindössze 25,7%. Ez a különbség eléggé szignifikáns, mivel a védőruházat szempontjából elengedhetetlen a vízállóság, a hővédelem és más fontos tulajdonságok fenntartásához. Magyarországon ez az arány arra utalhat, hogy a folyamat nem integrált része a karbantartási folyamatnak.

2.4 Tűzoltó védőruházaton végzett impregnálási vizsgálatok

Az impregnálás hatékonyságának vizsgálata érdekében egy saját iránymutatás alapján végzett teszt lefolytatására adtam megbízást egy külső cég (laboratórium) számára, amelyben általam beszerzett, két darab használt védőruházat került elemzésre. A kutatás célja annak meghatározása volt, hogy az impregnálás milyen mértékben képes visszaállítani/feljavítani a használt ruházata vízlepergető tulajdonságait. Az eredmények a hipotézisemet igazolhatják, miszerint a ruházat megfelelő karbantartása mellett az impregnálószer hatékonyan hozzájárulhat a védőruházat funkcionális tulajdonságainak fenntartásához.

A mérések *a kelmék felületi nedvesítéssel szembeni ellenállásának meghatározásáról szóló MSZ EN ISO 4920:2013 szabvány* követelményrendszerét követték [106]. A szabvány a vízlepergető képesség értékelésére a spray teszt módszert alkalmazza, amelynek során a vízpermet viselkedését vizsgálják a szövet felületén. A vizsgálat során meghatározzák a nedvesedés mértékét, és egy skála alapján osztályozzák az anyagot, ami az alábbi:

- 0:** A minta teljes felülete teljesen nedvesedik, semmilyen vízlepergető tulajdonság nem figyelhető meg,
- 1:** A minta teljes felülete nedvesedik, a permetezési pontokon túl is jelentős nedvesedés látható,
- 2:** A minta felületének nagy része nedvesedik, a nedvesedés a permetezési pontokon túl is megjelenik, de nem teljes mértékben,
- 3:** A minta felületének részleges nedvesedése figyelhető meg, különösen a permetezési pontok környezetében,
- 4:** Enyhe, véletlenszerű tapadás vagy nedvesedés figyelhető meg a minta felületén,

5: A minta teljesen vízlepergető, nincs látható nedvesedés vagy tapadás a felületen [106].

A skálán a 0 jelöli a legrosszabb teljesítményt, míg az 5 a legjobb vízlepergető képességet mutatja.

A vizsgálat során két különböző márkájú, nem azonos anyag összetételű, de egyaránt erősen elhasználódott állapotú minta került elemzésre. Mivel az értekezés tervezetben márka megnevezést nem tüntetek fel, így „1” és „2” mintaként jelöltem meg azokat a 2. táblázatban.

2. táblázat: Védőruhák jellemzői, készítette a szerző

Jellemző	"A" minta	"B" minta
Típus	Védőkabát	Védőnadrág
Gyártási év	2010-2014	2017
Külső réteg	Nomex®	Nomex®
Használati körülmények	Erőteljes használat	Extrém igénybevételnek volt kitéve, évente 200-250 vonulás történt vele, ezt tovább terhelték a gyakorlatok, karbantartások és sporttevékenységek
Mosási gyakorlat	Évente egyszer	Évente egyszer

A vizsgálat során tűzoltó védőruházat – kabát és nadrág – került tesztelésre. A méréseket 2024. november 11. és 20. között végezték el, az MSZ EN ISO 4920:2013 szabvány előírásai alapján, amely a kelmék felületi nedvesítéssel szembeni ellenállásának meghatározására szolgál. A minták ipari mosáson estek át, öblítőszer használata nélkül. Az impregnálás Hydrob FC típusú impregnálószerrel történt, majd a szárítást követően a mintákat 150°C-os talphőmérsékletű vasalóval vasalták a hatóanyag aktiválása érdekében. A vizsgálatokat 20°C-os hőmérsékleten és 65%-os relatív páratartalom mellett, 4 órás kondicionálási időt követően végezték. A vizsgálatához alkalmazott fűvóka konvex felületű volt, amelyen 19 darab, egyenként 0,86 mm átmérőjű lyuk biztosította a permetezett víz egyenletes eloszlását. A mintát tartó gyűrűket 45°-os szögbe állították, 150 mm-re a spray-fűvóka középpontjától. A vizsgálat során 250 ml $\pm$ 2 ml víz került permetezésre a minta felületére, 25–30 másodperc időtartam alatt. A permetezést követően a mintákról a felesleges vizet eltávolították, majd felületi nedvesedésüket egy 1-től 5-ig terjedő skálán értékelték. A teljes eljárást minden egyes mintán megismételték az eredmények megbízhatóságának biztosítása érdekében [106].

3. táblázat: 1. minta impregnálásának eredménye, készítette a szerző

1. minta	Fokozat		
Eredeti minta	2	2	2
Impregnált minta	3-4	3-4	3-4

4. táblázat: 2. minta impregnálásának eredménye, készítette a szerző

2. minta	Fokozat		
Eredeti minta	1	1	1
Impregnált minta	1	1	1

* a minta beérkezési állapotában, kondicionálás után

A 3. táblázatban az 1. eredeti minta 2-es fokozata azt mutatja, hogy a kabát még minimális vízlepergető képességgel rendelkezett, de jelentős nedvesedést mutatott. Az impregnálás után elért 3-4-es fokozat viszont egyértelműen javulást jelez. Ez arra utal, hogy az anyag vízlepergető képessége részben helyreállítható, de nem teljes mértékben.

A 4. táblázatban a vizsgálati eredmények (1-es fokozat, mind az eredeti, mind az impregnálás után) azt mutatják, hogy a nadrág anyaga már nem képes vízlepergető funkciót ellátni. Ez valószínűleg az évekig tartó intenzív használat és a szakszerűtlen tisztítás együttes következménye. Az impregnálás sem tudta visszaállítani a vízállóságot, ami arra utal, hogy a vizsgált anyag teljes mértékben sérült vagy elöregedett.

A kabát, mint felsőruházat, eltérő jellegű fizikai behatásoknak van kitéve, mint a nadrág. Ritkábban érintkezik a talajjal vagy durva felületekkel, ami csökkenti a szövet mechanikai kopását. A nadrág az alsótestet védi, és gyakran érintkezik a talajjal, különösen térdelésnél, mászásnál vagy nehéz felszerelés mozgatásánál. A folyamatos súrlódás és terhelés (pl.: térdelés, lépcsőmászás) gyorsabban koptatja el a külső réteget, különösen a térd és az alsó szár részeinél.

A két mintának az előélete nem nyomon követhető, továbbá a márkák is különböznek, ami kizárja az együtt hordás lehetőségét is, azaz feltételezhetően két különböző személy viselte a ruhákat. A ruházatok állapota jól tükrözte a hosszan tartó használat hatásait, rávilágítva arra, hogy a megfelelő karbantartás és időszakos impregnálás kulcsfontosságú lehet a védelmi képesség fenntartásában. A védőruha állagmegóvásának teljes elmaradása esetén az állapota részben sem javítható, ezért a folyamatos karbantartás elengedhetetlen. A jelenlegi vizsgálat eredményei előzetes támpontot nyújtanak az impregnálás hatékonyságáról, de további mérések

szükségesek annak alaposabb megértéséhez, mivel a témakör jelentős gyakorlati haszonnal bír, és fontos szerepet játszhat a védőruházatok minőségi élettartamának meghosszabbításában.

2.5 A tűzoltó védőruházat fertőtlenítése, a Skellefteå modell

A tűzoltók védőruházatának fertőtlenítése alapvető jelentőséggel bír, mivel az egyéni védőeszközök gyakran érintkeznek különböző veszélyes anyagokkal. A beavatkozások során a ruházat biológiai és kémiai szennyeződéseknek lehet kitéve, ideértve a koromrészecskéket, testnedveket és egyéb potenciálisan káros anyagokat, amelyek hosszú távon egészségügyi kockázatot jelenthetnek. A hagyományos tisztítás nem minden esetben elegendő, mivel az csupán a látható szennyeződéseket távolítja el, míg a fertőtlenítés célja a kórokozók és egyéb mikroorganizmusok hatékony eliminálása. A megfelelő fertőtlenítési eljárások alkalmazása nem csupán a tűzoltók egészségvédelmét szolgálja, hanem hozzájárul a védőruházat anyagának hosszabb távú megővéséhez is. A fertőtlenítési technológiák megválasztása során figyelembe kell venni azok hatékonyságát, valamint a védőruházat anyagszerkezetére gyakorolt hatását, biztosítva ezzel annak tartósságát és védelmi képességeinek megőrzését.

A témakörrel kapcsolatban a legismertebb a Skellefteå modell, amit Svédországban fejlesztettek ki, s mely egy olyan új megközelítést kínál, amely csökkenti a tűzoltókat érő szennyeződéseket és javítja a munkakörnyezetet. A Skellefteå modellt 2006-ban hozták létre a svéd tűzoltók munkakörnyezetének javítása érdekében. A projektet Stefan Magnusson és David Hultman vezette, akik hosszú évek tapasztalatára és kutatásokra alapozva dolgozták ki a módszert. A modell 2011-ben elnyerte az Európai Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Ügynökség "Good Practice" díját³⁴, és ma már nemzetközileg elismert megközelítés. A tűzoltók munkavégzésük során rendszeresen olyan környezetben látják el feladataikat, ahol az égési folyamatok során keletkező, ismeretlen kémiai anyagok jelenléte tapasztalható. Ezen káros vegyületek a szervezetbe különböző úton, így belégzéssel, dermális abszorpcióval³⁵ vagy orális úton juthatnak be, jelentősen növelve a daganatos és egyéb krónikus megbetegedések kialakulásának kockázatát. A szennyeződések nem csupán a tűzoltási beavatkozások során, hanem az öltözőkben, a tűzoltójárművek belső terében, valamint a védőfelszerelések és egyéb

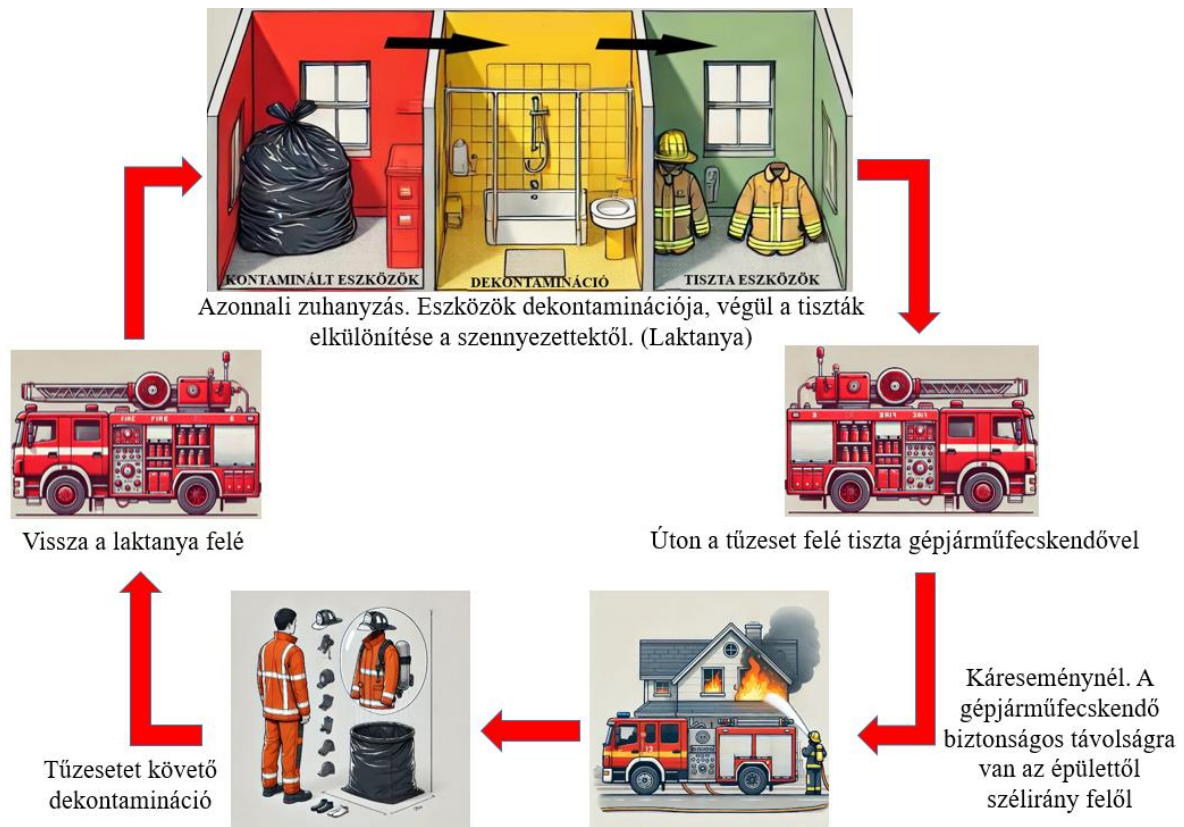
³⁴ Good practice: Jó gyakorlat

³⁵ Dermális abszorpció: Bőrön át történő felszívódás

eszközök kezelése során is kimutathatók, tovább növelve az expozíció mértékét. A modell három kulcsfontosságú elemből áll:

1. Oktatás és szemléletformálás: A tűzoltók és vezetőik részletes képzésben részesülnek a szennyeződések veszélyeiről és az elkerülés lehetőségeiről.
2. Egyszerű, de hatékony protokollok: A szennyeződések minimalizálására egyértelmű és könnyen betartható szabályokat vezettek be, beleértve a tűzoltás utáni tisztálkodási eljárásokat, a felszerelések kezelését és a tiszta zónák kialakítását az állomáson.
3. Megfelelő felszerelés biztosítása: A munkakörnyezet javítása érdekében például a védőfelszerelések rendszeres tisztítását és cseréjét teszik lehetővé, valamint megfelelő tisztítóberendezéseket és védőruha tárolási lehetőségeket biztosítanak.

A Skellefteå modell alapja, hogy kis változtatásokkal is jelentős javulás érhető el a tűzoltók munkakörnyezetében és egészségügyi kockázatainak csökkentésében. Az oktatás, a protokollok bevezetése és a megfelelő eszközök biztosítása hozzájárul a biztonságosabb és egészségesebb munkakörnyezet kialakításához [107]. Ezt a 6. ábra mutatja be, amit OpenAI ChatGPT-4o nyelvi modell segítségével készítettem szakirodalmi forrás alapján, saját szerkesztésben. Az ábra alapján látható, hogy a folyamat egy tiszta állapotból indul ki, majd a káreseményhez történő kivonulást követően a tűzoltással folytatódik. Ezt követően kezdődik meg az azonnali dekontamináció, mely során a szennyezett védőeszközök szakszerű levételét követően, azokat egy erre elkülönített speciális zsákba helyezik, így a gépjárműfecskeendőre egy váltás tiszta védőruhában tudnak felszállni. A laktanyába érve folytatódhat a dekontaminációs folyamat az állomány zuhanyzásával és a védőeszközök megfelelő tisztításával.



6. ábra: Skellefteå modell, készítette a szerző OpenAI ChatGPT-4o nyelvi modell segítségével, forrás: [107]

A tűzoltók egészségének és munkabiztonságának megőrzése érdekében világszerte számos protokoll és eljárás létezik, amelyek célja a kockázatok minimalizálása. Az eddig bevezetett intézkedések (pl.: fehér-fekete öltöző) fontos alapot biztosítanak a tűzoltói munka biztonságosabbá tételéhez, ugyanakkor a folyamatos fejlődés és innováció lehetőséget kínál arra, hogy még hatékonyabb megoldásokkal bővüljön ki a jelenlegi rendszer. A Skellefteå modell egy olyan megközelítés, amely nem helyettesíti a jelenlegi eljárásokat, hanem kiegészíti és támogatja azokat. Azáltal, hogy a szennyező anyagok csökkentésére és a dekontaminációs folyamatok optimalizálására helyezi a hangsúlyt, hozzájárulhat a tűzoltók egészségügyi kockázatainak további mérsékléséhez.

A jelenlegi gyakorlatok már számos fontos lépést tartalmaznak a védőfelszerelések tisztán tartására és a szennyeződések csökkentésére, de ezek további finomhangolásával véleményem szerint még hatékonyabb eredmények érhetők el. A modell kiemelten kezeli a különböző szennyezőanyagok szisztematikus elkülönítését, amely a meglévő tisztítási és karbantartási előírásokkal együtt alkalmazva jelentős előnyöket biztosíthat. A modell bevezetésének egyik fontos aspektusa, hogy egyszerű, könnyen követhető rutinokra épít, melyek beépíthetők a

mindennapi működésbe anélkül, hogy jelentős többletterhet jelentenének az állomány számára. A védőruházat dekontaminációjának optimalizálása, valamint a felszerelések megfelelő tárolása és szállítása olyan kiegészítő tényezők, amelyek összhangban állnak a jelenlegi gyakorlatokkal, de további előnyöket kínálnak.

Javaslatom alapján a modell fokozatos beépítése a meglévő rendszerekbe lehetőséget teremtene arra, hogy az új megoldások a gyakorlatban is hatékonyan működjenek. Első lépésként kísérleti (pilot) programok révén érdemes lehet tesztelni a módszert, kisebb léptékben alkalmazva az egyes laktanyákban vagy azon belül bizonyos (szolgálati) csoportoknál. Ez lehetőséget biztosítana a gyakorlati alkalmazhatóság felmérésére, a hazai viszonyokhoz történő igazításra, valamint arra, hogy a bevezetés során felmerülő kihívások időben észrevételre és javításra kerüljenek.

A modell egyik legfontosabb eleme az oktatás és a szemléletformálás. A tűzoltók képzésére kiemelt figyelmet kell fordítani, hogy minden személy tisztában legyen a szennyező anyagok hatásaival és a megelőzés lehetőségeivel. Az elméleti oktatást mindenképp célszerű gyakorlati bemutatókkal kiegészíteni, ahol mindenki közvetlenül tapasztalhatja meg az új eljárások előnyeit. Hazai viszonylatban a hivatásos katasztrófavédelmi szerv beavatkozó tűzoltói részére szánt tananyagba jelenleg is rendszeresen beépítésre kerül egészségügyi, közegészségügyi és járványügyi ismeretanyag, viszont véleményem szerint érdemes lenne a modell útmutatásait követve továbbfejleszteni e képzések tartalmát.

A fokozatos beépítés másik kulcseleme a meglévő előírások, bevett gyakorlatok finomítása. A teljes rendszerszintű reform végrehajtás helyett, célszerű olyan változtatásokat bevezetni, amelyek a jelenlegi eljárásokkal összhangban működnek. A védőruházat tisztításra vonatkozó előírásainak egységes lefektetése, a felszerelések szennyeződéseinek csökkentése és az egyértelmű dekontaminációs eljárások kialakítása mind olyan lépések, amelyek tovább növelhetik a jelenlegi rendszer hatékonyságát.

Álláspontom szerint első körben az oktatásra és a tudatosság növelésére kell helyezni a hangsúlyt, mivel a tűzoltók megfelelő tájékoztatásával és a helyes gyakorlatok elsajátításával jelentős mértékben csökkenthető a szennyező anyagokkal való kontamináció. A Skellefteå modell egyik kiemelt elve, hogy a megelőzésre helyezi a fókusz, ennek érdekében a beavatkozásokat követően azonnali, egyszerű és gyors dekontaminációs eljárások bevezetése is indokolt.

A beavatkozás helyszínén, a munkavégzést követően a modell szerint is javasolt egy elsődleges dekontamináció, melyhez segítséget nyújthat egy mobil eszköz, mely tisztításra és szárításra is alkalmas. A Leader Group vállalat D-MCD nevű készüléke kétfázisú technológiát alkalmazva a helyszínen használható, alacsony nyomású (1,2 l/perc) vízsugárral tisztítja az anyagot anélkül, hogy azt átáztatná vagy károsítaná [108]. Ez csupán egy példa a rendelkezésre álló technológiák közül, de jól mutatja, hogy már léteznek hatékony megoldások a dekontaminációs eljárásokhoz.

Egy másik módszer a fertőtlenítő kendő használata, mely gyors megoldást nyújt a tisztítási műveletek előtt, mivel azonnal eltávolítja a felszíni szennyeződéseket a kézről és az arcról, csökkentve ezzel a káros anyagok bőrrel való hosszan tartó érintkezését. A leírások és összetevők alapján összehasonlítottam két, nemzetközi gyártó, speciálisan tűzoltók számára készült termékét, majd ezeket kettő, drogériákban is kapható háztartási céllal felhasználható kendőkkel vetem össze, annak érdekében, hogy megvizsgáljam azok hatásmechanizmusát, hatékonyságát és esetleges különbségeiket. Az adatokat az áttekinthetőségük megkönnyítése érdekében táblázatos formába rendezem.

Az összehasonlítás elvégzése előtt a fogalmakat tisztázom, mivel a kézfertőtlenítő és kéztisztító hatású termékeket több jogszabály is szabályozza, így azok lehetnek kozmetikai vagy biocid termékek. Utóbbi fogalmát az *Európai Parlament és a Tanács kozmetikai termékekről szóló 1223/2009/EK rendelet* (1) a) pontja definiálja, így ezek olyan anyagok vagy keverékek, melyek érintkezésbe kerülnek az emberi test külső részeivel, céljuk elsősorban az illatosítás, tisztítás, védelem, stb. [109]. A biocid termékeket az *Európai Parlament és a Tanács biocid termékek forgalmazásáról és felhasználásáról szóló 528/2012 rendelet* (1) a) pontja taglalja, miszerint ezek olyan anyagok vagy keverékek, melyeknek feladata a károsító szervezetek több módon történő elpusztítása, ártalmatlanná tétele stb. [110].

A piacon elérhető kendők alapvetően két csoportra oszthatók: tisztító kendőkre, amelyek elsősorban a szennyeződések eltávolítására szolgálnak, és fertőtlenítő kendőkre, melyek antibakteriális (esetleg még fungicid, tuberkulocid, virucid, stb.) hatóanyagokat tartalmazva a kórokozók elpusztítására is képesek. Míg a tisztító kendő fő funkciója az emberi test vagy arc megtisztítása, addig a fertőtlenítő kendő kiemelten eszközök, munkafelületek fertőtlenítésére alkalmazható. A különbségek megértéséhez elvégzem az általam választott termékek összetevőkön alapuló összehasonlítását. A feltüntetett márkák nem minősülnek reklámnak, kiválasztásuk véletlenszerű volt és kizárólag szakmai alapokon történt.

1. Heavy-Duty Wet Wipe (FireHoseDirect) [111]
2. Firewipes (Firewipes) [112]
3. Antibakteriális törölkendő (Cleanic) [113]
4. Baba törölkendő (Pampers) [114]

A tűzoltók számára készült kendők olyan összetevőket tartalmaznak (pl. glükonolakton, kapril/kaprikus triglicerid), amelyek segítik a veszélyes égéstermékek eltávolítását. A decil-glükozid felületaktív anyagként működik, azaz képes a zsíros és olajos szennyeződések emulgeálni, és ezáltal eltávolítani. A kapril/kaprikus triglicerid egy hidratáló és hordozóanyag, amely bőrpuhító és regeneráló tulajdonságokkal rendelkezik, miközben nem tömíti el a pórusokat és nem hagy kellemetlen, ragacsos érzetet.

Az antibakteriális kendővel szemben a tűzoltók számára készült kendők nem tartalmaznak denaturált alkoholt, így nem szárítják ki a bőrt és hosszútávon nem okoznak bőrirritációt.

A baba törölkendő nem tartalmaz alkoholt és több közös összetevője van a tűzoltó kendőkkel (pl. citromsav, nátrium-benzoát, hidrogénezett ricinusolaj), ennek ellenére nem tartalmaz célzottan a tűzoltás során keletkező szennyeződések eltávolítására alkalmas anyagokat, így a bőr védelme szempontjából nem nyújt ugyanolyan hatékonyságot. A tűzoltóknak készült törölkendők jobban igazodnak a speciális igényekhez, és bár a baba nedves törölkendők bizonyos szempontból hasonlítanak hozzájuk, nem tudják teljes mértékben kiváltani őket.

A tűzoltó kendők nagyobb mérete miatt egyszerre nagyobb bőrfelületet lehet tisztítani, ami időt és erőforrást takarít meg a használat során. A kisebb méretű háztartási kendők gyorsabban telítődnek szennyeződéssel, így több kendőre van szükség az azonos tisztítási hatékonyság eléréséhez. A felsoroltak alapján megállapítom, hogy a tűzoltóknak készült törölkendők több szempontból is jobban igazodnak az igényekhez, így hatékonyabbak és biztonságosabbak, mint a háztartási vagy baba törölkendők.

A tűzoltók egészségvédelmének javítása érdekében az egészségtudatosabb oktatás és a speciális tisztítókendők bevezetése már önmagában is jelentős előrelépést jelent. Az oktatás során a tűzoltók megismerhetik a szennyező anyagok egészségügyi kockázatait és a hatékony tisztítási eljárásokat, míg a megfelelően kiválasztott törölkendők lehetőséget biztosítanak a gyors és hatékony bőrtisztításra bevetések után. Ezek az intézkedések hozzájárulhatnak a vegyi

anyagokkal való érintkezés csökkentéséhez, valamint hosszú távon a tűzoltók egészségének megőrzéséhez.

Álláspontom szerint a modell bevezetésének eredményességét folyamatos nyomon követéssel és visszajelzésekkel lehet biztosítani. A rendszeres felmérések (kérdőív) és interjúk révén mérhetővé válik, hogy az új eljárások mennyire illeszkednek a mindennapi gyakorlatba és milyen területeken szükséges esetleg további fejlesztés.

2.6 Részkövetkeztetések

A tűzoltó védőeszközök, különösképpen a védőruhák karbantartásával, azon belül pedig tisztításával kapcsolatban végzett vizsgálataim eredményeként az alábbi következtetésekre jutottam.

Elemeztem a különböző védőruha mosási és szárítási módszereket, kiemelve az előnyöket és hátrányokat. A szén-dioxidos száraztisztítási eljárást bővebben ismertettem, mivel ez egy innovatív technológia, mely hatékonyan eltávolít bizonyos típusú szennyeződések, miközben csökkenti a hagyományos mosási eljárásokkal járó mechanikai igénybevételt és vízfelhasználást. Gyakorlati alkalmazhatóságának jobb megértése érdekében felvettem a kapcsolatot egy iparági szereplővel, amely megerősítette, hogy az eljárás különösen előnyös olajokkal, zsírokkal és ipari szennyeződésekkel szemben, ugyanakkor a vizes és proteinbázisú szennyeződések eltávolítása kihívást jelenthet. Ennek alapján megállapítottam, hogy a szén-dioxidos tisztítás hatékonysága jelentősen függ a szennyeződés típusától, így alkalmazása nem minden esetben biztosít megfelelő eredményt. A technológia alkalmazásának optimalizálása érdekében javasoltam további vizsgálatok elvégzését a különböző típusú tűzoltó védőruhák szennyezettségi profiljának figyelembevételével, illetve a módszer más tisztítási eljárásokkal történő kombinálhatóságának értékelésével.

A vizsgálatom során magyar és nemzetközi (lengyel) tűzoltók védőruházatának mosási és szárítási gyakorlatait hasonlítottam össze az általam készített és feldolgozott kérdőívek eredményei alapján. A felmérés fő célja az volt, hogy feltárjam az eltérő mosási gyakoriságokat, tisztítási eljárásokat, szennyeződés típusokat és szárítási megoldásokat. A kutatás során a magyar és nemzetközi tűzoltók védőruházatának tisztítási szokásait egy lengyel kérdőív adataival is összehasonlítottam. A kérdőív szerzőjével való kapcsolatfelvétel lehetőséget adott arra, hogy az eredeti publikációban szereplő megállapításokat részletesebben elemezzem,

valamint a felmerült kérdésekre pontosabb válaszokat kapjak. Az adatok összevetése során megállapítottam, hogy a tisztítás fő kiváltó oka mindkét esetben a nagyobb mértékű és az átlagos szennyeződés, azonban a lengyel válaszadók gyakrabban végeznek tisztítást kisebb mértékű szennyeződés esetén is. Az összehasonlítás eredményei alapján megerősítést nyert, hogy a lengyel kérdőív trendjei több ponton is alátámasztják az általam végzett kutatás nemzetközi érvényességét, viszont az eltérések rávilágítanak arra, hogy az egyes országokban alkalmazott tisztítási eljárásokat az elérhető infrastruktúra és a szabályozási környezet jelentősen befolyásolja.

Az impregnálás a védőruházat egyik kiemelt karbantartási lépése, mely biztosítja a megfelelő vízlepergető képességet és hozzájárul a ruházat hosszabb élettartamához. A kérdőívem impregnálásra vonatkozó szakaszának válaszai rámutattak arra, hogy a magyar tűzoltók körében az impregnálás kevésbé elterjedt és sokan egyáltalán nem alkalmaznak impregnáló szert, míg a nemzetközi gyakorlatban ez szerves része a ruházat karbantartásának.

Az impregnálás hatékonyságának vizsgálata érdekében egy külső cég által végzett mérés került végrehajtásra az általam megadott iránymutatások alapján. A teszt során két, különböző korú és hasonló használati jellemzőkkel rendelkező használt védőruházati mintát elemeztek. A kutatás célja annak meghatározása volt, hogy az impregnálás milyen mértékben képes visszaállítani a védőruházat vízlepergető tulajdonságait. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a megfelelő karbantartás és az impregnálás hozzájárulhat a védőruházat funkcionális tulajdonságainak fenntartásához, továbbá a mechanikai igénybevétel fokozottan befolyásolja a vízlepergető képesség romlását, ezért az erősebben terhelt ruházati részek (pl. nadrág térdrésze) fokozott karbantartást igényelnek.

A kutatás során a tűzoltói védőruházat tisztítási és dekontaminációs folyamatainak hatékonyságát vizsgáltam, különös tekintettel a Skellefteå modell által alkalmazott tisztítási módszerre és a tisztítókendők használatára. A célom az volt, hogy megállapítsam, milyen mértékben járulnak hozzá ezek az eljárások a tűzoltók egészségének védelméhez és a védőruházat hosszabb élettartamának biztosításához. A svéd modell tisztítási protokollját szakirodalmi adatok és a nemzetközi gyakorlatok alapján elemeztem, míg a tisztítókendők esetében különböző típusok összetételét és hatékonyságát hasonlítottam össze. Az eredmények azt mutatták, hogy a Skellefteå modell alkalmazása hatékonyabbá tehetné a hazai tisztítási gyakorlatot, különösen a beavatkozásokat követő azonnali tisztítás terén. Az egységes eljárás bevezetése hozzájárulhatna a védőruházat állapotának hosszabb távú megőrzéséhez és a

tűzoltók egészségének védelméhez. Megállapítottam, hogy a tisztítókendők használata előnyös kiegészítő megoldás lehet, azonban az összehasonlítások alapján nem minden típus biztosít megfelelő tisztítóhatást. A speciálisan erre a célra fejlesztett tűzoltókendők hatékonyabbak a káros anyagok eltávolításában, ezért ezek alkalmazása célszerűbb a háztartási törőkendők helyett.

Jelenleg nincs egységes rendszer a védőruházat állapotának és használatának követésére, így a következő fejezetben olyan megoldást mutatok be, mely elősegíti az eszközök élettartamának és hatékonyságának dokumentálását, valamint a használat során szerzett tapasztalatok rendszerezését.

3. A TŰZOLTÓK VÉDŐESZKÖZEIT ÉRINTŐ DIGITÁLIS NYOMON KÖVETÉS FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI

A beavatkozó tűzoltók mindennapi munkájuk során folyamatosan ki vannak téve különböző veszélyforrásoknak, mint például a tűzoltás közbeni hőterhelés, valamint a munkájukból adódó mechanikai igénybevételnek. Ennek következtében kiemelten fontos, hogy az egyéni védőfelszerelések megfelelő védelmet nyújtsanak számukra. Ezek hatékonyságát nemcsak az előzetes és ismétlődő képzések során szerzett ismeretek, hanem a gyakorlati tapasztalatok is befolyásolják. Az optimális védelem érdekében elengedhetetlen a folyamatos fejlesztés és a felszerelések állapotának rendszeres ellenőrzése [57].

A kutatásom egyik területe a tűzoltó védőfelszerelések digitális nyilvántartási lehetőségének vizsgálata. Az egyéni védőfelszerelések állapotának pontos nyomon követése nemcsak a biztonságos növelheti, hanem hozzájárulhat a hatékonyabb karbantartáshoz és a ruházat hosszabb élettartamához is. A digitális megoldások bevezetése lehetőséget teremthetne arra, hogy a felszerelések használatának és elhasználódásának tendenciái átláthatóbbak legyenek, ami elősegítheti a megalapozottabb döntéshozatalt a fejlesztésekkel kapcsolatban.

A korszerűsítés nemcsak az eszközök nyomon követését érinti, hanem azok használatának értékelését is, ami már a rendszeresítési eljárás próbahasználatával megkezdődhet.

Kutatásom során az alábbi célokat határoztam meg:

- A próbahasználati értékelőlapokat kiegészíteni az ergonómiai szempontok figyelembevételével
- A védőfelszerelések digitális nyilvántartásának lehetőségeit feltárni és megvizsgálni annak hatását a hatékonyságra és fenntarthatóságra

Szakirodalmi vizsgálataim alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az egyéni védőfelszerelések digitális nyomon követése iránt egyre nagyobb igény mutatkozik, különösen az átláthatóság, a karbantartás és a fenntarthatóság szempontjából [115]. A digitalizáció logisztikai és eszköznyilvántartási területeken való alkalmazása hazai viszonylatban is megjelenik és jól érzékelteti a technológiai fejlődés gyakorlati hasznosíthatóságát [116]. A fentiek megerősítik, hogy a korszerű adatkezelési és azonosítási megoldások a védőfelszerelések élettartamának hatékonyabb kezelését teszik lehetővé, ami hozzájárulhat a tűzoltók biztonságának és a rendszer szintű működés fenntarthatóságának javításához. Céлом,

hogy a már létező rendszerek elemzésével és a módosított próbahasználati értékelőlapok figyelembevételével olyan fejlesztési irányokat határozzak meg, melyek hozzájárulhatnak a tűzoltók védőfelszereléseinek hatékonyabb kezeléséhez és fejlesztéséhez.

A fejezetben bemutatom a digitális nyomon követés szerepét a védőfelszerelések fejlesztésében, valamint feltárom azokat a jelen kor technológiai megoldásait, melyek a jövőben tovább növelhetik a tűzoltók biztonságát és a munkavégzés hatékonyságát.

3.1 Az egyéni védőeszközök rendszeresítési eljárásának fejlesztése

A beavatkozó állomány számára az egyéni védőfelszerelések elengedhetetlenek a biztonságos munkavégzéshez. Ezek a felszerelések védelmet nyújtanak a beavatkozások során fellépő különféle veszélyek (például a hő, mechanikai hatások vagy vegyi anyagok) ellen, éppen ezért kiemelten fontos, hogy bevezetésük átgondoltan, előre meghatározott szempontok és követelmények alapján történjen, biztosítva ezzel a hatékonyságukat és megfelelőségüket. A katasztrófavédelemben ennek érdekében egy jól meghatározott rendszeresítési eljárás működik, amely garantálja, hogy csak megfelelően tesztelt és bevizsgált védőfelszerelések kerüljenek használatba. Ezt a folyamatot a BM OKF szakirányító főosztályai vagy területi szervei kezdeményezhetik, egy kérelmet benyújtva a BM OKF Műszaki Főosztályához. A tűzoltástechnikai eszközök gyártói, forgalmazói, tulajdonosai vagy üzemeltetői kezdeményezhetik a rendszeresítési eljárást a katasztrófavédelem területi szerveinél vagy a BM OKF illetékes főosztályainál. A kérelemnek tartalmaznia kell a műszaki leírást, a szükséges megfelelőségi dokumentációkat, vizsgálati jegyzőkönyveket, valamint a rendszeresítendő eszköz mintáját vagy annak részletes bemutatását. Az eszközök kipróbálását – próbahasználat vagy csapatpróba formájában – a Rendszeresítési Bizottság javaslata alapján a BM OKF gazdasági főigazgató-helyettese engedélyezi. Az egyéni védőfelszerelések tesztelése során legalább két eltérő katasztrófavédelmi szerv vesz részt a gyakorlati próbahasználatban [117] [118].

A rendszeresítésre kötelezett termékek rendszeresítési eljárásáról szóló 12/2020. számú BM OKF Főigazgatói Intézkedés (továbbiakban: rendszeresítési intézkedés) tartalmazza a rendszeresítési eljárásra vonatkozó szabályokat [118]. Az értekezés-tervezetemben magát a folyamatot nem részletezem, kizárólag a próbahasználat során használt, a rendszeresítési

intézkedés 4. mellékletében szereplő értékelőlapokat elemzem, és azokra adok fejlesztési javaslatokat.

A rendszeresítési intézkedés 4. mellékletében található a próbahasználatról szóló értékelő jegyzőkönyv, melyet az érintett állomány tagjainak kell kitöltenie az adott eszköz viselését, kipróbálását követően. Célja, a próbahasználat szakszerű dokumentálása, beleértve annak teljesítményét és megfelelőségét különböző beavatkozási körülmények alatt. A dokumentum részei az alábbiak:

- Alapadatok: A tesztelt eszköz/védőfelszerelés típusa, gyártója, valamint a próbát végző állomány
- Beavatkozási adatok: A próbahasználat során teljesített beavatkozások száma és típusa (tűzoltás, műszaki mentés stb.)
- Igénybevételi szintek: A beavatkozások alatti igénybevétel megoszlása órában
- A beavatkozások időtartama: A használat során mért idő órában
- Kivitelezés értékelése: Az eszköz/védőfelszerelés anyagminősége, tartóssága stb.
- Alkalmazhatóság értékelése: Az eszköz/védőfelszerelés komfortérzete, fogása, tisztíthatósága stb.
- Összehasonlítás korábbi védőfelszereléssel: A felhasználó megítélése az új felszerelés hatékonyságáról a korábban használthoz képest
- Javaslatok: Lehetőség a fejlesztési célú módosításokra és a rendszeresítésre vonatkozó ajánlások megfogalmazására

A jelenleg használt dokumentum előnye, hogy az értékelési szempontokat a felszerelés típusához igazítja, ami azért kulcsfontosságú, mert eltérő eszközök/védőfelszerelések esetében különböző funkcionális és ergonómiai követelmények állnak fent. A beavatkozási idő és az igénybevétel kategorizálása hasznos statisztikai adatokat biztosíthat a valós teljesítményről, azonban érdemes lenne ehhez kapcsolódóan kiegészíteni a dokumentumot egy szubjektív felhasználói skálával/értékeléssel is (pl.: mennyire befolyásolta a felszerelés a mozgást, mennyire volt fárasztó a viselése).

A 4. fejezetben részletesen ismertettem majd azt az értékelési rendszert, melyet egy speciális aláöltözet gyakorlati tesztelése során alkalmaztam. A módszer ötvözi a jelenleg használt próbahasználati lapot és az 1-5-ig terjedő skálázott értékelő rendszert, lehetővé téve a felhasználói tapasztalatok számszerű visszacsatolását. Ez a megközelítés nem csupán a műszaki

megfelelőséget vizsgálja, hanem figyelembe vette az alkalmazhatóság mellett az ergonómiai szempontokat is. Az általam kidolgozott rendszer az alábbi előnyökkel rendelkezik:

- A kérdések lehetővé teszik az adott ruházat (vagy annak több változata) komfortérzetének, illeszkedésének, mozgásszabadságának, tartósságának és egyéb ergonómiai szempontú tényezőinek szubjektív mérését is
- A skálás válaszadási rendszer lehetővé teszi a gyorsabb és hatékonyabb kiértékelést, mivel az objektíven összehasonlítható adatok elősegítik a tendenciaelemzést és az eredmények statisztikai feldolgozását
- Az 1-től 5-ig terjedő skála csökkenti a válaszadási terhet és a bizonytalanságot a kitöltők számára, mivel a meghatározott értékelési rendszer egyszerűsíti a döntést
- Amennyiben egy védőruha több teszt során is alacsony értéket kap, például a komfortszempontból, az egyértelmű jelzés a gyártók felé a fejlesztési irányokról
- A skálázott értékelési módszer folyamatos alkalmazása által időbeli változások is nyomon követhetők, például, egy adott típusú felszerelés hogyan teljesített különböző időszakokban és körülmények között

Az egyéni védőfelszerelések fejlesztése és rendszeresítése során nem csupán a szabványoknak való megfelelés és az anyaghasználat játszik kulcsszerepet, hanem a tényleges beavatkozási tapasztalatok is. Az előzőekben bemutatott skálázott értékelési rendszer lehetőséget biztosít a védőruházat komfortjának, illeszkedésének és funkcionalitásának mérésére, elősegítve a felhasználói visszajelzések szisztematikus feldolgozását. Azonban egyéni szinten is lényeges szempont, hogy egy adott védőeszköz milyen mértékben járul hozzá a tűzoltók biztonságához, és milyen kockázatokat rejt magában a használata. A védőfelszerelések hatékonysága ugyanis szorosan összefügg a munkakörnyezet sajátosságaival és a beavatkozások jellegével. Egy nem megfelelően illeszkedő vagy túlzott hőterhelést okozó ruhadarab önmagában is kockázati tényezővé válhat, míg egy ergonomikus, megfelelően szellőző és mozgásszabadságot biztosító felszerelés csökkentheti a fizikai megterhelést és a bevetések során fellépő balesetek esélyét [119] [120].

A tűzoltói beavatkozások során alkalmazott egyéni védőeszközök elsődleges célja a különböző veszélyek (pl.: láng, hő stb.) elleni védelem biztosítása. A megfelelő védőfelszerelés kiválasztása és használata kulcsfontosságú a tűzoltók biztonságának és munkavégző képességének fenntartása érdekében. Ugyanakkor a védőruházat nem csupán passzív védelmi eszközként funkcionál, hanem bizonyos esetekben önmaga is kockázati tényezővé válhat,

amennyiben nem megfelelően illeszkedik a munkakörnyezethez, akadályozza a mozgást, vagy nem biztosít megfelelő hőszabályozást. Éppen ezért elengedhetetlen, hogy a védőeszközökkel szemben támasztott elvárásokat ne kizárólag a szabványosított laboratóriumi vizsgálatok és a műszaki paraméterek határozzák meg, hanem egy átfogó kockázatértékelési rendszer is egészítse ki azokat, mely figyelembe veszi a valós beavatkozási környezetben jelentkező veszélyeket és az eszközhasználatból adódó problémákat.

A kockázatértékelés nem új fogalom a munkavédelem területén, azonban az egyes védőeszközök kockázatainak rendszerszintű vizsgálata a tűzoltóságok gyakorlatában még nem teljesen kifarrott. A három fő értékelési szempont kijelölését saját megfigyeléseim és gyakorlati tapasztalatok alapján tartom indokoltnak, ezek ugyanis olyan tényezők, amelyek közvetlenül befolyásolják a védőfelszerelés használhatóságát, a biztonságérzetet és a beavatkozás sikerességét:

1. A védőfelszerelés által biztosított védelem hatékonyságára, azaz, hogy az adott eszköz milyen mértékben csökkenti a környezeti hatásokból adódó sérülések kockázatát
2. A védőfelszerelés hátrányaira, így mozgáskorlátozó hatására, hőstresszt okozó tulajdonságaira vagy a tisztíthatósággal kapcsolatos nehézségekre
3. A felszerelés valós használati környezetben történő vizsgálatára, amely nemcsak laboratóriumi mérések, hanem a beavatkozások során szerzett tapasztalatok és statisztikai adatok alapján történő kiértékelést is magában foglalja

A jelenlegi gyakorlatban a védőeszközök minősítésére jellemzően szabványosított laborvizsgálatokat, amelyek az anyagok hőállóságát, mechanikai ellenálló képességét és egyéb fizikai paramétereit vizsgálják. Noha ezek az adatok alapvetőek a rendszeresítési döntések meghozatalához, nem minden esetben tükrözik a valós környezeti hatásokat és a felhasználói igényeket. Egy védőruha kiváló hővédelmet nyújthat, miközben használata során, hosszútávon hőstresszt okozhat a viselőjénél.

Ezen tényezők figyelembevételével szükség van egy jól strukturált kockázatértékelési rendszer kialakítására, amely nem csupán az egyes védőeszközök műszaki jellemzőit vizsgálja, hanem azokat a kockázati tényezőket is azonosítja, amelyek a valós használat során jelentkeznek. Az MSZ ISO/TR 21808:2024 szabvány ezen a területen nyújt megfelelő alapot, mivel

meghatározza az egyéni védőeszközök kockázatértékelésének alapelveit és módszertanát [84]. A szabvány alkalmazásával lehetővé válik a védőfelszerelések szisztematikus elemzése az alábbi szempontok szerint:

- A felszerelés milyen típusú veszélyek ellen biztosít védelmet, és milyen hatékonysággal
- A védőeszköz milyen egyéb kockázati tényezőket hordoz magában (pl. túlzott hőterhelés, mozgáskorlátozás)
- A használati környezet milyen tényezőket befolyásolhat (pl. szélsőséges időjárási viszonyok, bevetési időtartam, intenzitás)

Az MSZ ISO/TR 21808:2024 szabvány által ajánlott módszertani megközelítés lehetőséget biztosít arra, hogy az egyéni védőeszközök értékelése ne csak laboratóriumi mérésekre, hanem dinamikus, valós környezetben végzett elemzésekre is épüljön. A kockázatértékelés ennek megfelelően precízebb és gyakorlat orientált döntésekhez vezethet a védőfelszerelések rendszeresítésével és fejlesztésével kapcsolatban.

A következő alfejezet ennek megfelelően az egyéni védőeszközök kockázatértékelési módszertanát vizsgálja, részletezve a veszélyek azonosításának és a kockázati szintek meghatározásának lehetséges módszereit, valamint a védőeszközök biztonságának és hatékonyságának értékelési kritériumait.

3.2 Az egyéni védőfelszerelések kockázatértékelése: Szükségesség, módszerek és fejlesztési lehetőségek

A tűzoltók munkakörnyezetében rendkívül változatos és összetett kockázati tényezőkkel kell számolni, melyek mind a védőfelszerelésük kiválasztását, mind annak alkalmazását meghatározzák. Az egyéni védőeszközök megfelelő kiválasztása és használata kulcsfontosságú a beavatkozások biztonságának növelésében, valamint a tűzoltók egészségének hosszú távú védelmében. Ennek érdekében elengedhetetlen egy szabványon alapuló, átfogó módszertan alkalmazása, mely az eszközök megfelelőségének és kompatibilitásának értékelésére egyaránt kiterjed.

Az MSZ ISO/TR 21808:2024 szabvány célja a tűzoltók számára tervezett egyéni védőeszközök kiválasztásának és használatának legjobb gyakorlatait összefoglalni. A szabvány meghatározza

azokat az alapelveket, melyek alapján az érintett személyek értékelhetik az egyéni védőeszközök kompatibilitását, ergonómiáját és teljesítményét a gyakorlatban. A szabvány elsősorban ajánlásokat fogalmaz meg, melyek további szakterületi szabványokkal összhangban segítik a megfelelő védőeszközök kiválasztását.

A szabvány egyik kiemelt eleme a kockázatértékelési mátrix, mely segítséget nyújt az egyéni védőeszközök kiválasztásának racionalizálásában (5. táblázat). Az értékelési folyamatban a kockázatot a veszély bekövetkezésének valószínűsége (L) és következményeinek súlyossága (S) szorzataként határozzák meg ($R = L \times S$).

5. táblázat: Kockázatértékelés szempontjai, fordította a szerző, forrás [84]

Valószínűség (L)	Súlyosság (S)
1 Soha	Nincs sérülés
2 Rendkívül ritka	Kicsi, kisebb sérülés pl.: kisebb mértékű vágás
3 Időnként előfordul	Közepes pl.: törés
4 Igen valószínű	Magas pl.: életveszély
5 Mindig előfordul	Extrém pl.: halál

Az egyéni védőfelszerelések kiválasztásának és rendszeresítésének folyamata szakmai megalapozottságot igényel, melynek egyik kulcsfontosságú eleme a kockázati tényezők átfogó elemzése. A döntéshozatali folyamat objektivitásának növelése érdekében a kockázatértékelési mátrix alkalmazása hatékony módszert kínálhat a veszélyforrások rendszerezett vizsgálatára. A módszer lehetővé teszi a veszélyek értékelését a bekövetkezési valószínűség és a következmények súlyosságának függvényében, melynek eredményeként számszerűsíthető kockázati szintek határozhatók meg.

A kockázati mátrix előnye abban rejlik, hogy azonosíthatóvá teszi azokat a kockázati tényezőket, melyek meghatározó jelentőségűek a védőfelszerelések hatékonysága szempontjából. A módszer különösen jól alkalmazható a védőfelszerelések rendszeresítési folyamatában, mivel támogatja az új technológiák és anyagok hatékonyságának előzetes értékelését, valamint a meglévő felszerelések továbbfejlesztési lehetőségeinek feltárását. A mátrix alkalmazásával egyértelművé válik, hogy mely tényezők jelentik a legnagyobb veszélyt

a tűzoltók biztonságára nézve, és milyen védelmi intézkedések szükségesek a hatékonyság növelése érdekében.

A módszer alkalmazásának egyik kiemelt területe az egyéni védőfelszerelések rendszeresítési folyamatának támogatása, mely során különös figyelmet szükséges fordítani a szabványoknak való megfelelés mellett a munkavégzés körülményei között tapasztalható viselkedésre is. Az elemzés eredményeként meghatározhatók azok a fejlesztési irányok, melyek a védelmi képességek növelése mellett az ergonómiai szempontokat is előtérbe helyezik. Az adatalapú megközelítés lehetőséget biztosít arra, hogy a különböző védőfelszerelések nem csak az előírt szabványok teljesítési kritériumai alapján vizsgálhatók, hanem a tényleges beavatkozási körülmények szempontjából is értékelhetők legyenek. Ennek eredményeként olyan döntéshozatali mechanizmus alakítható ki, mely figyelembe veszi a gyakorlatban jelentkező kihívásokat, valamint a tűzoltók tapasztalatain alapuló visszajelzéseket. A módszer alkalmazása során kihívást jelenthet a valószínűségi és súlyossági tényezők pontos meghatározása, mivel azok több szubjektív és változó tényezőtől függhetnek.

A kockázatértékelési mátrix alkalmazása során többféle módszertani megközelítés használható annak érdekében, hogy az egyéni védőfelszerelések beszerzése és rendszeresítése a lehető legmegalapozottabb módon történjen. Ezek a módszerek lehetőséget biztosítanak arra, hogy a döntéshozatali folyamat során az objektivitás és a gyakorlati alkalmazhatóság egyaránt érvényesüljön.

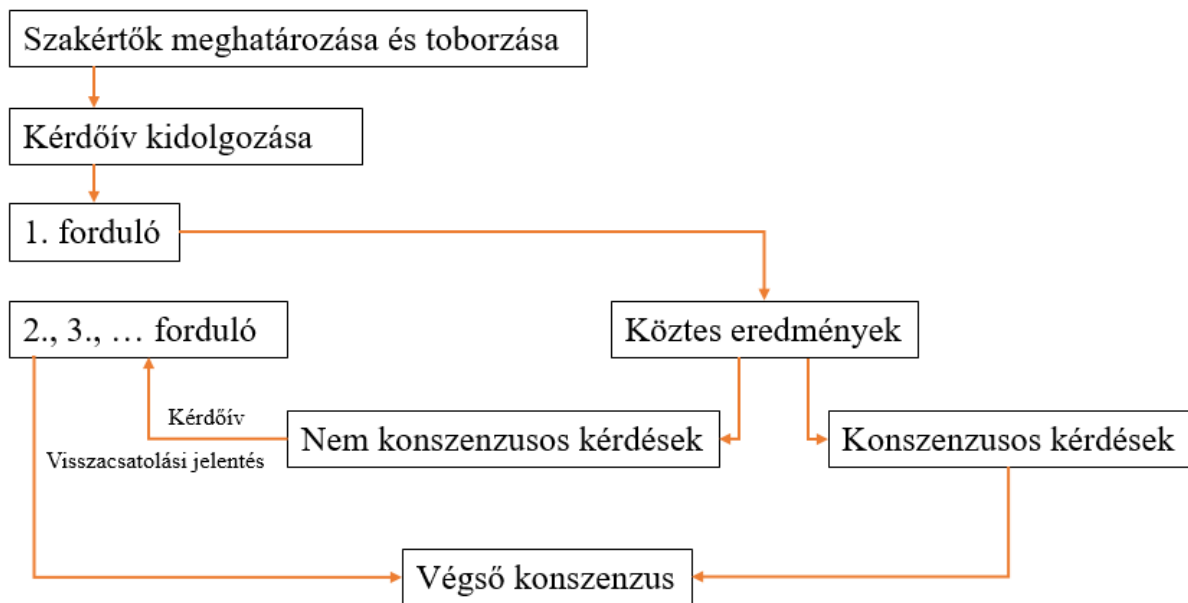
Az egyéni védőfelszerelések értékelése során különböző elemzési módszerek alkalmazhatók annak érdekében, hogy a védőfelszerelések megfeleljenek a biztonsági és ergonómiai követelményeknek. A következőkben bemutatott megközelítések lehetőséget biztosítanak a kockázatok feltárására, a fejlesztési irányok meghatározására és a rendszeresítési döntések tudományos megalapozására.

A Delphi-módszer egy jól felépített szakértői véleménygyűjtési eljárás, melyet általában olyan esetekben alkalmaznak, amikor a döntéshozatalhoz nincs elegendő konkrét mérési adat vagy a vélemények jelentősen eltérnek egymástól [121]. A módszer többlépcsős folyamata lehetővé teszi a szakértők álláspontjának folyamatos finomítását és a konszenzus elérését egy adott témában. Különösen hasznos lehet olyan területeken, ahol a szakmai tapasztalat kulcsszerepet játszik, így a tűzoltók egyéni védőfelszerelésének fejlesztése és értékelése során is. A Delphi-módszer alkalmazása több egymást követő fordulóból áll, melyek során a szakértők anonim

módon nyilvánítanak véleményt, így elkerülhetők a személyes befolyásoló tényezők. A folyamat főbb lépései a következők:

1. A sikeres alkalmazás egyik alapfeltétele egy megfelelően összeállított szakértői csoport, mely az adott területen releváns ismeretekkel és tapasztalattal rendelkezik. A tűzoltók védőruházatának fejlesztésében részt vevő szakemberek között érdemes lehet tűzoltókat, egészségügyi szakembereket vagy akár anyagmérnököket is bevonni.
2. A kezdő fázisban általában nyitott kérdések kerülnek megfogalmazásra, hogy a szakértők szabadon kifejthessék véleményüket, és azonosíthatók legyenek a legfontosabb szempontok (pl.: a védőfelszerelések tömege, tisztíthatósága).
3. Az első körben beérkezett válaszokat a kutatók kiértékelik és kategorizálják, majd egy jól felépített kérdéssort állítanak össze a következő fordulóhoz.
4. A szakértők minden újabb körben visszacsatolást kapnak az előző forduló eredményeiről és ennek alapján lehetőségük van módosítani vagy finomítani a véleményüket, ezáltal lehetővé válhat annak a pontosítását, hogy egy új anyag ténylegesen javítja-e a védőruházat védelmi képességeit.
5. A folyamat addig ismétlődik, amíg a résztvevők többsége egyetértésre jut, vagy amíg az eltérések minimalizálódnak. A végső eredmények alapján a védőfelszerelések fejlesztésében érintett felek megalapozott döntéseket hozhatnak.

A Delphi-módszer lépéseit a 7. ábra szemlélteti, mely vizuálisan is bemutatja a folyamat felépítését és az egyes elemek közötti kapcsolatokat.



7. ábra: Delphi módszer folyamata, készítette a szerző, forrás: [122]

A Delphi-módszer egyik legnagyobb előnye az anonimitás, mely biztosítja, hogy a válaszadók ne befolyásolják egymást, így elkerülhetővé válnak a domináns véleményekből fakadó torzítások. Az iteratív folyamat lehetőséget ad a résztvevőknek arra, hogy folyamatosan finomítsák álláspontjukat az új információk fényében. Annak ellenére, hogy a Delphi-módszer számos előnnyel rendelkezik, alkalmazása nem mentes a kihívásoktól. Az egyik legjelentősebb probléma az időigényesség, hiszen a többlépcsős véleménygyűjtési és visszacsatolási folyamat hetekig, akár hónapokig is eltarthat. Ez különösen akkor jelenthet nehézséget, ha gyors döntéshozatalra van szükség egy adott területen. A szakértői csoport összetétele is kulcsfontosságú, mivel a módszer eredményessége nagymértékben attól függ, hogy megfelelően kiválasztott szakemberek vesznek-e részt a folyamatban. Amennyiben a szakértői kör nem elég változatos vagy nem rendelkezik kellő tapasztalattal a vizsgált területen, az jelentősen torzíthatja az eredményeket. A hosszú időtartam miatt előfordulhat, hogy a résztvevők érdeklődése és motivációja csökken, így a későbbi fordulók során kevésbé alapos válaszokat adnak, ami befolyásolhatja az eredmények megbízhatóságát. További kihívást jelenthet a konszenzus torzulása is, mivel a szakértők hajlamosak lehetnek inkább a többségi véleményt követni saját, esetleg eltérő álláspontjuk helyett. Ez a jelenség veszélyeztetheti az objektivitást, különösen akkor, ha az új védőfelszerelések fejlesztésénél fontos lenne a kritikai szemlélet megőrzése. A módszer természetéből fakadóan az eredmények szakértői

véleményeken alapulnak, nem konkrét mérési adatokon vagy kísérleteken, ami azt jelenti, hogy az eredmények nem mindig reprodukálhatók teljes mértékben [123].

Véleményem szerint a Delphi-módszer alkalmazása nagyban segítheti az egyéni védőeszközök kiválasztását, mivel lehetőséget ad a szakértői vélemények összegzésére és finomhangolására ezáltal csökkenti a szubjektív döntésekből adódó bizonytalanságot, hiszen a résztvevők reflektálhatnak egymás meglátásaira és fokozatosan közelíthetnek egy jól megalapozott közös állásponthoz. Ugyanakkor önmagában nem lenne elegendő, mert a tényleges felhasználói tapasztalatokat nem helyettesíti, ezért fontos a gyakorlati teszteléssel és közvetlen visszajelzésekkel való kiegészítése. A módszer más értékelési módszerekkel való kombinálása által a kiválasztási folyamat nemcsak szakértői véleményeken, hanem valós használati tapasztalatokon is alapul, ami hosszú távon megalapozottabb döntéseket eredményezhet.

Erre kiválóan alkalmas az FMEA (Failure Mode and Effects Analysis – hibamód és hatáselemzés) módszer, ami egy olyan megközelítés, melyet széles körben alkalmaznak a hibák azonosítására és azok hatásainak értékelésére. Az egyéni védőfelszerelések fejlesztése és rendszeresítése szempontjából az FMEA különösen hasznos lehet, mivel lehetőséget biztosít a gyenge pontok feltárására még azelőtt, hogy azok a gyakorlatban problémát okoznának. A kockázatok értékeléséhez gyakran használnak 1-től 10-ig terjedő skálákat három fő tényezőre: a hiba súlyosságára (Severity), előfordulási gyakoriságára (Occurrence) és észlelhetőségére (Detection). Ezeket az értékeket megszorozva kapjuk meg a Kockázati Prioritási Számot (RPN - Risk Priority Number), amely segít azonosítani a legkritikusabb hibákat:

1. Súlyosság (Severity): Ez a tényező azt méri, hogy egy adott hiba milyen mértékben befolyásolja a termék vagy folyamat működését. A skála alsó értékei (1-3) általában kisebb hatásokat jelölnek, míg a felső értékek (8-10) súlyos, akár biztonsági kockázatot jelentő hibákat.

2. Előfordulás (Occurrence): Ez a tényező azt mutatja meg, milyen gyakran fordulhat elő egy adott hiba. Az alacsony értékek (1-3) ritka előfordulást jeleznek, míg a magasabb értékek (8-10) gyakori hibákat.

3. Észlelhetőség (Detection): Ez a tényező annak valószínűségét méri, hogy egy hiba észlelhető-e, mielőtt a termék vagy folyamat eléri a végfelhasználót. Az alacsony értékek (1-3) magas észlelhetőséget jelentenek, míg a magas értékek (8-10) alacsony észlelhetőséget, azaz a hiba valószínűleg nem kerül időben felismerésre.

Fontos megjegyezni, hogy ezek a skálák nem univerzálisak; minden szervezet saját maga határozza meg a pontos értékeket és azok jelentését, figyelembe véve a saját folyamatait és kockázatkezelési irányelveit. A folyamat során a kijelölt csoport közösen dönt arról, hogy az egyes hibák mely értékeket kapják a három tényező mentén, biztosítva ezzel a kockázatok objektív és következetes értékelését. A szemléltetéshez készítettem egy táblázatot (6. táblázat), melyben egy tűzoltó védőruházat értékeit adtam meg általam becsült számadatokkal.

6. táblázat: Tűzoltó védőruha FMEA alapú felosztása, készítette a szerző, forrás: [124]

Funkció	Hibamód	Hatás	Súlyosság (S)	Ok	Előfordulás (O)	Észlelhetőség (D)	RPN
Hő- és láng elleni védelem biztosítása	Elégtelen hőszigetelés	Égési sérülések	9	Anyagkopás	4	8	288
	Ruházat égése	Súlyos égési sérülések, tűz terjedése	10	Alacsony lángállóság	3	9	270
	Nedvesség visszatartása	Fokozott hőterhelés	7	Gyenge nedvesség elvezetés	6	4	168
Tartósság és használhatóság biztosítása	Varrások sérülése	Szakadás, hőhatásnak való kitettség	6	Mechanikai terhelés	7	5	210
	Cipzár meghibásodása	Nehéz le- és felvétel	5	Kopás, anyaghiba	5	6	150

Az FMEA elemzés bár saját számadatok alapján készült, a hibalehetőségek értékelése az FMEA alapelveknek megfelelően történt meg. Az egyéni védőeszközök kiválasztásánál ez a módszer segíthet azonosítani és priorizálni a lehetséges hibákat, különösképpen a kulcsfontosságú területeken. Az RPN értéket a korábban is ismertetett szorzási művelettel ($RPN = S * O * D$) lehetett kiszámolni. A legmagasabb RPN értékek (270 és 288) a hőszigetelés és a ruházat égésének kockázatához kapcsolódnak, mivel ezek közvetlen veszélyt jelentenek a tűzoltó életére. Az alacsonyabb RPN értékek, úgymint a cipzár meghibásodása (150), kevésbé életveszélyesek, de a működés szempontjából még mindig lényegesek, mivel hátráltathatják a gyors öltözködést.

A táblázat segítséget nyújthat a beszerzési és fejlesztési döntések megalapozásában, mivel rámutat arra, hogy mely hibák igényelnek azonnali beavatkozást és hol van szükség további tesztekre, próbákra vagy fejlesztésekre. Egy megfelelően összeállított FMEA táblázat biztosítja, hogy az objektív szempontok és a tapasztalati alapú értékelés kombinációja a legkritikusabb problémákat tárja fel. Bár a táblázat az értekezés tervezetében általam

megállapított értékeket tartalmaz, egy tényleges alkalmazás esetén szakértői csapat bevonása szükséges, hogy többféle nézőpont alapján pontosabb eredmények szülessenek.

7. táblázat: FMEA mátrix, készítette a szerző

		Előfordulás (O)										RPN
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Súlyosság (S)	10			270								250
	9				288							200
	8											175
	7						168					150
	6							210				125
	5					150						100
	4											75
	3											50
	2											25
	1											0

Az általam ábrázolt FMEA mátrix (7. táblázat) a tűzoltó védőruházat lehetséges hibáit és azok kockázatait mutatja be egy összefüggő rendszerben. A függőlegesen tengelyen a Súlyosság (S) értékei láthatók, mely azt jelzi, hogy egy adott hiba milyen mértékű következménnyel járhat. A vízszintes tengelyen az Előfordulás (O) szerepel, ami megmutatja, hogy egy adott hiba milyen gyakran fordulhat elő. A mátrix színes celláiban található számok az Észlelhetőség (D) értéket jelzik, azaz, hogy mennyire könnyen lehet időben észrevenni és kezelni az adott problémát. A mátrix jobb oldalán található RPN értékek színei vizuális visszajelzést adnak a legkritikusabb hibákról. A piros szín a legnagyobb veszélyt jelenti, a narancssárga és sárga színek közepes, míg a zöld színek alacsony kockázatot mutatnak. Ez a megjelenítési módszer lehetővé teszi a gyors hibaazonosítást, továbbá lehetőséget teremt más védőruházatokkal való számszerű, objektív összehasonlításra. Amennyiben egy másik védőruházat azonos hibákkal rendelkezik, de alacsonyabb RPN értékekkel rendelkezik, akkor az a termék biztonságosabbnak tekinthető. Az Excel-alapú FMEA mátrix jól használható a tűzoltó védőruházatok kockázatelemzésére, mivel segít a lehetséges hibák értékelésében és összehasonlításában. Az RPN értékek kiszámítása és a színkódolt megjelenítés lehetővé teszi, hogy a kritikus problémák gyorsan azonosíthatók legyenek. Bár a speciális FMEA szoftverek (pl.: Relyence FMEA szoftver) automatikusan végzik a számításokat, az Excel makrókkal rugalmasan alakítható és az adatok egyszerűen összevethetők más védőruházatok adataival [125].

Az egyéni védőfelszerelések szempontjából az FMEA több területen is alkalmazható. Egyrészt segíthet feltárni a veszélyekkel (pl.: hő, láng) szembeni gyengeségeket, melyek idővel csökkenthetik a védőfelszerelés hatékonyságát. Egy védőruházat esetében a varrások meggyengülése, az anyag kopása vagy az impregnáló képesség csökkenése, mind olyan hibamódok lehet, melyek az idő előrehaladtával veszélyt jelenthetnek a felhasználóra. Az FMEA alkalmazása ergonómiai szempontok terén is előnyös, hiszen rávilágíthat akár tervezési hiányosságokra (pl.: korlátozott mozgás). Az FMEA egyik hátránya, hogy rendkívül idő- és erőforrásigényes, különösen, ha részletes elemzést kell végezni egy komplex védőfelszerelés esetén. A kockázatelemzéshez szükség van tapasztalt szakemberekre, akik képesek pontosan meghatározni a hibamódok jellemzőit és azok következményeit. Továbbá a módszer nagyban függ a bevitt adatok pontosságától, ami azt jelenti, hogy ha a kezdeti feltételezések nem megalapozottak, az elemzés eredményei is torzulhatnak [126].

Álláspontom szerint az FMEA módszer bevezetése a tűzoltó védőruházatok esetében rendkívül hasznos lenne, mivel objektív módon segíthetne azonosítani a kritikus hibákat és azok kockázati szintjét. Az RPN értékek alapján egyszerűen rangsorolhatók a problémák, így a fejlesztési erőforrásokat a legnagyobb kockázatokat jelentő területekre lehetne összpontosítani. A módszer ugyanakkor nagymértékben függ a bevitt adatok pontosságától és az értékelők szubjektív véleményétől, ezért kiemelten fontos, hogy az értékek meghatározása ne egyetlen szakember véleményén alapuljon, hanem egy tapasztalt, az adott szakmai téren jártas csapat közös munkájának eredménye legyen. Véleményem szerint a korábban ismertetett Delphi-módszer kombinálása az FMEA módszerrel csökkenthetné a szubjektív hibák lehetőségét, mivel az FMEA módszer objektivitása kiegészülne a Delphi-módszer által biztosított konszenzusos szakértői véleménnyel. Ezen kívül javaslom, hogy az FMEA módszer eredményei ne csak egyszer kerüljenek felhasználásra egy adott bevezetési/fejlesztési ciklus során, hanem a felhasználói visszajelzések alapján folyamatos frissítsék azokat. Amennyiben a tűzoltók huzamosabb időn keresztül tapasztalnak egy hibát, azt újra kell értékelni, mivel az előfordulási és észlelhetőségi tényezők változhatnak. Fontos hangsúlyozni, hogy a módszer nem egy dokumentációs kötelezettség, hanem a döntéshozatali folyamat része, ennek megfelelően célszerű ehhez egy olyan felületet létrehozni, mely felhasználóbarát tervezésének köszönhetően egyszerűen kezelhető, miközben azonnali információt szolgáltat az adott védőruházatot illetően.

Az FMEA és Delphi-módszerek alkalmazása nemcsak a védőruházat kiválasztása és fejlesztése során nyújthat segítséget, hanem a védőfelszerelés teljes életciklusának nyomon követésében is kulcsszerepet játszhat. Egy digitális rendszer lehetőséget adna arra, hogy a hibák valós adatok alapján legyenek értékelhetők a ruha állapotának, a használat gyakoriságának és az esetleges sérülések rögzítése segítségével. A következő alfejezetben egy olyan digitális nyomon követési rendszer kerül ismertetésre, mely lehetővé tenné a védőruházatok állapotának valós idejű monitorozását, ezáltal támogatva a hatékony karbantartási folyamatokat.

A vizsgálatom során felmerült lehetőségként a Fault Tree Analysis (FTA)³⁶ és a SWOT-elemzés³⁷ alkalmazása is, mivel ezek szintén ismert kockázatértékelési modellek. Az FTA elsősorban bonyolult műszaki rendszerek meghibásodásainak logikai feltárására szolgál, viszont a tűzoltó védőfelszerelések többtényezős, fokozatosan kialakuló problémáinak kezelésére kevésbé alkalmas. A SWOT-elemzés ezzel szemben inkább stratégiai szintű áttekintést nyújt és nem biztosít elég részletes alapot az ergonómiai vagy használhatósági hibák feltárásához. A dinamikusan változó tényezők esetén a SWOT gyakori módosítást igényelne, ami nehezen követhetővé és kevésbé hatékonyá tenné az elemzést, ezért a tervezetben olyan módszerek mellett döntöttem, mint az FMEA és a Delphi [127] [128].

3.3 A tűzoltó védőruházat digitális nyomon követése

A tűzoltók védőfelszereléseinek állapota közvetlenül befolyásolja a tűzoltók testi épségét és a beavatkozások hatékonyságát, mégis a legtöbb esetben hagyományos, manuális módszerekkel követik nyomon ezek állapotát. A használatból eredő sérülések javítása, a szennyeződések eltávolítása sok esetben csak akkor derül ki, amikor már közvetlen veszélyt jelent a felhasználóra nézve. A jelen kor technológiai lehetőségei azonban lehetőséget kínálnak arra, hogy a védőruházatok és felszerelések állapota digitális formában legyen követhető, ezáltal időben lehetséges a szükséges karbantartási feladatokat ellátni.

Egy jól megtervezett digitális nyomon követési rendszer nemcsak a felszerelés egyedi életciklusát képes nyomon követni, hanem az összegyűjtött adatok révén hozzájárul a későbbi döntések meghozatalához, a költségek optimalizálásához és a hosszabb távú biztonság

³⁶ Fault Tree Analysis (FTA): Hibafa-elemzés: Logikai alapú, felülről lefelé haladó elemzési módszer, amely a rendszerhibák kiváltó okainak feltárására és összefüggéseinek megértésére szolgál.

³⁷ SWOT- elemzés: Üzleti elemzési modell, mely az erősségek, gyengeségek, lehetőségek és veszélyek feltárására szolgál

fenntartásához. Az értekezés tervezet ezen alfejezete bemutatja, hogyan alkalmazható a digitális technológia a védőfelszerelések állapotának folyamatos ellenőrzésére és milyen előnyökkel jár egy ilyen rendszer bevezetése a tűzoltóságok számára.

3.3.1 Digitális nyomon követés a nemzetközi gyakorlatban

A digitális nyomon követési rendszerek egyik elterjedt megoldását egy amerikai vállalat, a PSTRax fejlesztette ki, amely kifejezetten az elsősegélynyújtó, rendfenntartó, honvédelmi és tűzoltósági szervezetek számára kínál automatizált adminisztrációs támogatást. A rendszer célja a mindennapi ellenőrzések, készletgazdálkodás és felszerelés-nyilvántartás egyszerűsítése, kiváltva a papíralapú dokumentációt és a manuálisan vezetett nyilvántartásokat. A PSTRax modulokból épül fel, így a különböző szervezetek saját igényeikhez igazíthatják a funkcionalitását. Az egyes modulok olyan területeket fednek le, mint a járműkarbantartás, épületek (laktanyák) ellenőrzése, védőfelszerelések nyilvántartása, speciális anyagok kezelése, légzőkészülékek állapotának követése és egyéb eszközök adminisztrációja. A digitális rendszer segítségével pontosan rögzíthetők a védőruházat használati ideje, ellenőrzési dátumai, esetleges sérülései vagy meghibásodásai, ezáltal az adatok alapján előre ütemezhetővé válik a szükséges karbantartás vagy csere. A rendszer egyik fő előnye, hogy átláthatóvá és központosítottá teszi az adminisztrációt, csökkenti a manuális nyilvántartásokból adódó hibákat, és lehetővé teszi a vezetők számára, hogy valós idejű adatok alapján hozzanak döntéseket [129].

A PSTRax rendszer egyik modulja a védőfelszerelések nyomon követésére szolgál, mely lehetővé teszi a tűzoltók által használt egyéni védőeszközök teljes életciklusának dokumentálását. A rendszerben rögzíthető a felszerelések állapota, a használati ideje, az elvégzett ellenőrzések és tisztítások, valamint az esetleges meghibásodások vagy szennyeződéseknek való kitettség. Ezek az adatok hozzájárulnak ahhoz, hogy a védőruházat cseréje és karbantartása tervezhetőbbé és hatékonyabbá váljon, minimalizálva ezzel a váratlan meghibásodások kockázatát. A rendszer segítségével a védőfelszerelések nemcsak egyénileg rendelhetők hozzá a felhasználókhoz, hanem készletként is kezelhetők, lehetőséget biztosítva a szervezetek számára, hogy pontosan nyomon követhessék az aktív és a tartalék eszközöket. A PSTRax alapvetően az NFPA 1851 szabvány szerinti ellenőrzéseket tartalmazza, mely az Amerikai Egyesült Államokban a tűzoltók védőruházatának kiválasztására, gondozására és karbantartására vonatkozó irányelveket határozza meg.³⁸ A rendszer ezen szabvány

³⁸ NFPA (National Fire Protection Association – ford.: Nemzeti Tűzvédelmi Szövetség)

integrálásával segíti a szervezeteket a megfelelőség biztosításában, ugyanakkor lehetőséget kínál az egyéni igények szerinti testreszabásra is. Részkutatásom alapján egy hasonló digitális megoldás a hazai szabványokhoz is igazítható, amennyiben a fejlesztés során a vonatkozó előírások és követelmények figyelembevételre kerülnek. A rendszer további előnye a mobilapplikációs lehetőség, mely lehetőséget biztosít a tűzoltók számára, hogy a beavatkozás helyszínén vagy a laktanyán belüli ellenőrzés keretében rögzítsék a védőfelszerelések állapotát. Az applikáció segítségével a bejegyzések valós időben szinkronizálhatók, ezzel biztosítva a naprakész nyilvántartást [130].

A mobilalkalmazás egyik legfontosabb funkciója az ellenőrzések ütemezése és státuszok figyelemmel kísérése. Az eszközök és járművek állapotáról egyértelmű és könnyen áttekinthető információt nyújt, lehetővé téve az esedékes ellenőrzések gyors beazonosítását és az azonnali megoldást szükség esetén. A színkódolt státuszok és figyelmeztetések megkönnyítik a tűzoltók számára az eligazodást, csökkentve ezáltal az esetleges mulasztások számát. A rendszer folyamatosan felügyeli az egyéni védőfelszerelések állapotát és jelzi a szükséges karbantartásokat, illetve riasztást küld, ha valamelyik eszköz már nem felel meg az előírásoknak (pl.: lejárt élettartam, kötelező ellenőrzés kihagyása, felhasználói hibabejelentés, beépített szenzor rendellenességet érzékel). A járműkezelés szintén kulcsfontosságú része az alkalmazásnak, mivel részletes információt biztosít az egyes járművek állapotáról. Bár a rendszer számos előnyt kínál, érdemes kitérni a gyenge pontokra is. Az egyik legfontosabb szempont a stabil internetkapcsolat biztosítása, mely egyes helyszíneken lehetséges problémát is jelenthet. Emellett, mint minden digitális megoldás esetén, itt is fennáll a szoftveres meghibásodás veszélye is, mely akadályozhatja a zavartalan munkavégzést. Bár napjainkban az emberek többsége magabiztosan kezeli az okos eszközöket, a kezdeti használat mégis kihívást jelenthet, éppen ezért elengedhetetlen, hogy az állomány megfelelő elméleti és gyakorlati oktatás keretében ismerkedjen meg a rendszer működésével.

A védőfelszerelések nyomon követése és a tűzoltósági eszközkezelés digitalizációja terén a Vector Solutions egy integrált szoftveres megoldást kínál. A rendszer képességei elsősorban a tűzoltók képzésének, beosztásuk szervezésének, felszereléseik nyomon követésének és adminisztratív folyamataik egyszerűsítésének támogatására koncentrálnak. A rendszer felépítése lehetőséget biztosít arra, hogy a felhasználók az igényeiknek megfelelő funkciókat integrálják. Egyik legfontosabb eleme a tanulásmenedzsment rendszer (LMS – Learning Management System), amely online képzési lehetőséget biztosít a tűzoltók számára. A képzések között

szerepelnek a tűzoltó szakmai fejlesztések, szabványismereti modulok és gyakorlati oktatási tartalmak. A rendszer lehetőséget biztosít a képzések előrehaladásának nyomon követésére és a megfelelési előírások betartásának dokumentálására. A műszakbeosztási modul lehetőséget biztosít a laktanyák összetett beosztásainak automatizált kezelésére. A rendszer mobilalkalmazáson keresztül is elérhető, így az állomány valós időben férhet hozzá a beosztásokhoz, valamint az értesítésekhez. Az eszköz és készletkezelési modul biztosítja a járművek, felszerelések és készletek rendszeres ellenőrzésének, karbantartásának és javításainak dokumentálását. Az egyéni védőfelszerelések nyomon követhetők az életciklusuk során, a beszerzéstől a selejtezésig, biztosítva a karbantartások és tisztítások pontos dokumentálását, mivel a rendszer lehetőséget biztosít a védőfelszerelések hozzárendelésére egy adott tűzoltóhoz, az eszközök egyedi azonosítására, valamint az állapotuk és karbantartási előzményeik részletes dokumentálására. A beépített ellenőrzési és karbantartási naplózási funkciók elősegítik a szabványos tisztítási és karbantartási ciklusok betartását. Az egészségügyi nyomon követés modul lehetőséget biztosít a tűzoltókat érő kockázati tényezők, expozíciós események és azok hosszútávú hatásainak nyilvántartására. Ez a funkció segítheti a betegállomány csökkentését és a tűzoltók hosszútávú egészségügyi állapotának nyomon követését [131].

Álláspontom szerint a Vector Solutions termékének egyik legnagyobb előnye a modulokból álló felépítés, mely lehetővé teszi, hogy a különböző funkciókat a szervezetek saját igényeik szerint állítsák össze. Az automatizált adminisztráció jelentős terhet vesz le az állomány válláról, csökkentve a mulasztások és beviteli hibák lehetőségét és biztosítva a szabványoknak való folyamatos megfelelést. Az egyéni védőeszköz specifikus nyilvántartás révén az egyéni védőfelszerelések állapota és élettartama részletesen követhető, ami hozzájárul a megfelelő munkavégzési feltételekhez és a költséghatékony eszközgazdálkodáshoz. Az automatikus értesítések és jelentéskészítési lehetőségek elősegítik a karbantartási feladatok nyomon követését, megakadályozva ezzel az ellenőrzések elmaradását. További előnye a mobil applikációs lehetőség, mely lehetővé teszi az azonnali adathozzáférést, akár objektumon (laktanya) kívüli helyszínen is. A rendszernek azonban vannak kihívásai is. Az egyik legjelentősebb hátrány a magas kezdeti implementálási költség, mely kisebb szervezetek számára megterhelő lehet. A komplexitás miatt a rendszer megtanulása időigényes lehet, különösen azok számára, akik korábban nem használtak hasonló digitális megoldásokat.

Az általam harmadiknak vizsgált szoftver az MSA Safety PPE Tracker System, online adatbázis alapú platform, mely lehetővé teszi a személyi védőfelszerelések teljes életciklusának nyomon követését. A rendszer célja, hogy átláthatóvá és könnyen kezelhetővé tegye a felszerelések kiosztását, ellenőrzését, tisztítását, karbantartását és selejtezését. A felület lehetőséget biztosít arra, hogy minden egyes védőfelszerelést – legyen szó sisakokról, kabátokról, nadrágokról, csizmákról, kesztyűkről vagy légző álarcokról – egyedi azonosító alapján regisztráljanak, majd kövessenek. A nyilvántartásban rögzíthető az adott eszköz kiosztása, tisztítási és javítási naplója, valamint egyéb, a használattal kapcsolatos információk. A rendszer további előnye, hogy egyéni profilokat lehet létrehozni a felhasználók számára, így minden munkavállalóhoz hozzárendelhető a saját felszerelése. A keresési és jelenéskészítési funkciók segítségével könnyen lekérhetők az eszközökkel kapcsolatos adatok (pl.: gyártási szám). A jelentések Excel-formátumban is exportálhatók, ami megkönnyíti a további elemzést és dokumentálást. A rendszer folyamatosan elérhető internetkapcsolattal rendelkező eszközökről, így valós idejű információt biztosít a felszerelések állapotáról. Ez különösen fontos a védőfelszerelések megfelelő karbantartásának biztosítása és a vonatkozó szabványoknak való megfelelés szempontjából [132].

Az MSA Safety PPE Tracker System felhasználói felülete átlátható és jól felépített, a rendszer bejelentkezést követően egy áttekinthető kezdőlapra irányítja a felhasználót, ahol a legfontosabb funkciók könnyen elérhetők. A menürendszer logikus szerkezetű, az alapvető kategóriák – mint például a szervezeti és személyes profilok, a felszerelések nyilvántartása, valamint a tisztítási és javítási naplók – egyértelműen elkülönülnek, így a navigáció gyors és hatékony. A szoftver lehetőséget biztosít a szervezeti adatok kezelésére, valamint az egyes tagok jogosultságainak meghatározására. A felhasználók különböző szerepkörök szerint (például „Ellenőr”, „Tisztító” vagy „Javító”) végezhetik feladataikat, ami elősegíti az adminisztratív munkák pontosabb elosztását. A létesítménykezelési modul különösen hasznos, mivel lehetővé teszi a külső szolgáltatók – például tisztító- és karbantartó létesítmények – adatainak rendszerezett tárolását. A felszerelések nyilvántartása részletes és jól strukturált, minden egyes eszközhöz kapcsolható az adott felhasználó, valamint rögzíthetők a tisztítási, karbantartási és ellenőrzési események. Az adatkezeléshez kapcsolódó jelentéskészítő funkció lehetővé teszi az információk exportálását Excel formátumban, ami megkönnyíti az adatok további elemzését és archiválását. A grafikai megjelenés letisztult és modern, a rendszer kialakítása a funkcionalitást helyezi előtérbe. A színséma visszafogottnak mondható, az ikonok és a menüstruktúra egyértelmű, így a felhasználók számára könnyen értelmezhető [133].

Mindezek megfelelnek a vizuális ergonómia alapelveinek, melynek célja a vizuális túlterhelés csökkentése és a kezelőfelületek hatékony és hibamentes használatának támogatása [134].

Az MSA Safety PPE Tracker, a PSTrax és a Vector Solutions rendszerei különböző megközelítést alkalmaznak a védőfelszerelések és egyéb erőforrások nyilvántartására. Az MSA Safety PPE Tracker kifejezetten az egyéni védőfelszerelések kezelésére fókuszál, egyszerű és jól strukturált felhasználói felülettel, mely lehetővé teszi a felszerelések kiosztásának, tisztításának és ellenőrzésének nyomon követését. A PSTrax ezzel szemben egy moduláris rendszer, mely nemcsak a védőfelszerelések, hanem járművek, készletek és épületek (laktanyák) kezelésére is alkalmas, így átfogóbb megoldást kínál, de ennek megfelelően összetettebb kezelést igényel. A Vector Solutions inkább a képzési és munkaerő-menedzsment területére specializálódott, modern és vizuálisan letisztult felülettel, mely elsősorban a szervezeti oktatás és kockázatkezelés támogatását szolgálja. Véleményem szerint egyik rendszer sem nevezhető egyértelműen jobbnak a másiknál, mivel mindegyik más-más célokat szolgál. A megfelelő választás attól függ, hogy az adott szervezet milyen funkciókat tart a legfontosabbnak.

A technológia fejlődése a tűzoltóságok számára is új lehetőségeket teremt. A modern digitális megoldások, mint a PSTrax vagy a Vector Solutions termékei, nemcsak az adminisztrációs terheket csökkentik, hanem hozzájárulnak az eszközök állapotának hatékonyabb nyomon követéséhez. A rendszerek hátrányai ellenére a technológia adta előnyök egyértelműek: a korszerűsített adatkezelés, az átlátható nyilvántartás és az automatizált értesítések olyan elemek, melyek a mai világban elengedhetetlenek a hatékony és biztonságos működéshez. A jövőben várhatóan egyre nagyobb szerepet kapnak a hasonló típusú rendszerek, és azok a szervezetek, melyek nyitottak az innovációra, jelentős versenyelőnyre tehetnek szert a működésük optimalizálásában.

3.3.2 Fejlesztési lehetőségek hazai viszonylatban a nemzetközi tapasztalatok tanulságai alapján

Az egyéni védőeszközök digitális nyomon követése egyre nagyobb szerepet kap a hatékonyság és az átláthatóság növelésében. Bár jelenleg Magyarországon nincs kifejezetten erre a célra kialakított adatkezelési rendszer, a PAJZS³⁹ és a KAP-Online⁴⁰ jó példát mutat arra, hogyan

³⁹ PAJZS: A katasztrófavédelem saját fejlesztésén alapuló műveletirányítási rendszere

⁴⁰ KAP-Online: Katasztrófavédelmi Adatszolgáltató Program (Forrás: A BM országos katasztrófavédelmi főigazgató 1/2025. (I. 23.) BM OKF utasítása a katasztrófavédelmi szervek és a tűzoltóságok tevékenységének adatszolgáltatási rendjéről 8.§)

lehet valós idejű adatkezeléssel támogatni a műveleteket és az erőforrások menedzselését. A PAJZS rendszert a magyarországi tűzoltóságok riasztási és beavatkozási folyamataihoz fejlesztettek ki, célja, hogy valós időben biztosítson naprakész információkat a beavatkozásokhoz, ezáltal növelve a reagáló képességet és a hatékonyságot. Korábban a tűzjelzések fogadása és feldolgozása manuálisan zajlott, ami lassította a döntéshozatalt. Az új rendszer elektronikus úton kezeli a riasztásokat, biztosítva a gyorsabb és pontosabb reagálást. A PAJZS rendszer integrálja a különböző adatbázisokat és informatikai alkalmazásokat, lehetővé téve az egységes adatkezelést. Ennek köszönhetően a tűzoltóságok könnyebben hozzáférhetnek a szükséges információkhoz, és hatékonyabban koordinálhatják a beavatkozásokat [135]. A KAP-Online rendszerben elérhetők a (Tűzeseti és Műszaki Mentési Jelentés) TMMJ⁴¹ adatlapok is, melyek részletes adatokat tartalmaznak a beavatkozások körülményeiről. [136]. Ezek az információk értékes alapot nyújtanak az egyéni védőeszközök nyomon követésére és értékelésére szolgáló rendszer számára is, hasonlóan a PAJZS rendszerhez, mivel lehetőség van konkrét eseményekhez kapcsolódó védőeszköz használati adatok összekapcsolására.

Bár a PAJZS és a KAP-Online rendszer nem az egyéni védőeszközök nyomon követésére készült, jól mutatja, hogy egy jól megtervezett digitális platform milyen előnyökkel járhat a tűzoltóság számára. Az ehhez hasonló rendszerek tapasztalatait felhasználva akár egy egyéni védőeszköz nyilvántartási modult is lehetne fejleszteni, vagy egy meglévő rendszerbe integrálni. Az egyes védőfelszerelések egyedi azonosítását biztosítaná a Radio Rádiófrekvenciás Azonosítás - Frequency Identification (továbbiakban: RFID) vagy a Rövid Hatótávú Kommunikáció⁴² - Near Field Communication (továbbiakban: NFC) azonosítás, megkönnyítve a karbantartási és cserenyilvántartást. A következőkben ezeket jellemzem röviden, majd ezek és a korábban elemzett releváns nemzetközi termékek alapján javaslatot teszek egy hatékony, digitális elven működő, hazai egyéni védőeszköz nyomonkövetési rendszer bevezetésére.

Az RFID technológia alapjai a második világháborús radarfejlesztésekhez vezethetők vissza, amelyek Robert Alexander Watson-Watt skót fizikus nevéhez köthetők. A korszak egyik problémája az volt, hogy a radarrendszerek nem tudták megkülönböztetni a saját és az ellenséges repülőgépeket. A németek felfedezték, hogy a visszavert rádióhullámok mintázata

⁴¹ TMMJ: Tűzeseti és Műszaki Mentési Jelentés

⁴² Szerző fordítása

megváltozik, ha a pilóta a gépet billegtet – ezt az elvet tekinthetjük az első passzív RFID technológia alapjának. Az 1960-as években a rádiófrekvenciás azonosítás már a kereskedelmi alkalmazások felé is elmozdult. Megjelentek az elektronikus áruvédelmi rendszerek, amelyek az áruházi lopások megelőzését szolgálták. Ezek az 1 bites címkék mikrohullámú vagy induktív elven működtek, és kizárólag a címke jelenlétét vagy hiányát jelezték. Az 1970-es években jelentős fejlesztések indultak az Egyesült Államokban és Európában. Mario W. Cardullo 1973-ban szabadalmaztatta az aktív RFID címkét, amely újraírható memóriával rendelkezett, míg Charles Walton ugyanebben az évben kapott szabadalmat egy passzív RFID transzponderre, amely lehetővé tette az érintés nélküli beléptetést. Az 1980-as években az RFID rendszereket egyre szélesebb körben kezdték alkalmazni: az Egyesült Államokban a vasúti szállításban, míg Európában – Norvégiában elsőként – autópályadíj-fizetésre vezették be a technológiát [137]. Az RFID azóta is széles körben alkalmazásban van, folyamatos fejlesztésekkel biztosítva a gyorsabb, megbízhatóbb és biztonságosabb adatkezelést. Az RFID technológia három fő összetevőből áll: az RFID címkéből, az olvasóból és az antennából. Az RFID címkék rádiófrekvenciás jelek révén biztosítják az automatikus azonosítást, a nyomon követést és az adatgyűjtést. Kialakításuk, méretük és formájuk eltérő lehet, hogy megfeleljenek az egyes iparágak és alkalmazási területek specifikus követelményeinek. Az RFID technológia számos előnnyel rendelkezik a hagyományos azonosítási módszerekkel, például a vonalkódos rendszerekkel szemben. Az RFID címkék lehetővé teszik a tárgyak azonosítását anélkül, hogy azoknak közvetlenül a látótávolságon belül kellene lenniük, míg a vonalkódok esetében ez elengedhetetlen. Az RFID olvasók akár nagyobb távolságból is érzékelik a címkéket, míg a vonalkódok beolvasása csak akkor lehetséges, ha azok közvetlen közelben helyezkednek el. Emellett az RFID technológia valós idejű adatfrissítést tesz lehetővé, míg a vonalkódok információi rögzítettek, és utólag nem módosíthatók [138].

Az RFID technológia álláspontom szerint jelentős előnyt jelenthet a tűzoltók védőeszközeinek digitális nyomon követésében, mivel lehetővé teszi a gyors és pontos azonosítást anélkül, hogy manuális ellenőrzésre lenne szükség. Segítségével hatékonyabbá válhat a leltározás, a karbantartási időpontok nyilvántartása, valamint a felszerelések állapotának valós idejű követése, ami hozzájárul a biztonságosabb és szervezettebb munkavégzéshez. A technológia egyik fő hátránya a magas kezdeti beruházási költség, hiszen az RFID címkék, olvasók és az adatkezelő rendszer bevezetése jelentős anyagi ráfordítást igényel. Emellett az állománynak meg kell ismerkednie az új rendszerrel, ami kezdetben lassíthatja a folyamatokat. Hosszú távon

azonban az RFID alkalmazása csökkentheti az adminisztrációs terheket, minimalizálhatja az eszközvesztést és növelheti a védőfelszerelések megfelelő állapotban tartásának hatékonyságát.

Az NFC technológiát a Sony és a Philips cég fejlesztette ki, és az RFID továbbfejlesztett változatának tekinthető. Az NFC az RFID interfészére és protokolljára épül, így teljes mértékben kompatibilis a már meglévő RFID rendszerekkel. Ez az innovatív megoldás lehetővé teszi az érintés nélküli, vezeték nélküli adatcserét, ha az eszközök egymáshoz közel, legfeljebb 4 centiméteres távolságon belül helyezkednek el. Az egyik legfontosabb különbség az RFID-hoz képest, hogy az NFC lehetővé teszi a kétirányú adatcserét, így az NFC-kompatibilis eszközök nemcsak fogadni, hanem küldeni is tudnak információt. A kommunikációhoz elegendő az eszközöket egymáshoz közelíteni vagy érintkezésbe hozni, ekkor az NFC protokoll automatikusan peer-to-peer (P2P)⁴³ kapcsolatot létesít. Az eszközök működhetnek aktív vagy passzív módban, ahol a passzív eszköz nem bocsát ki rádiófrekvenciás jelet, hanem a másik eszköz által generált hullámokat modulálja az adatátvitelhez [139].

A tűzoltó védőfelszerelések digitális nyomon követésében az RFID és az NFC technológia is hasznos lehet, de más-más területen. Az RFID ideális lehet nagymennyiségű eszköz automatikus nyilvántartására, például raktárhelyiségekben, ahol egyszerre több felszerelés állapotát lehet ellenőrizni. Az NFC ezzel szemben részletesebb információkezelést és valós idejű interakciót tesz lehetővé, így bárki könnyen ellenőrizheti és frissítheti egy adott felszerelés karbantartási adatait akár egy okostelefonos alkalmazáson keresztül. Az NFC segítségével az egyes védőfelszerelések állapota egy érintéssel ellenőrizhető és a rendszer adott esetben figyelmeztetéseket is küldhet az esedékes ellenőrzésekről vagy lejáró felülvizsgálatokról. Az NFC és RFID tehát, megállapításom alapján nem egymás helyettesítői, hanem egymást kiegészítő technológiák, melyek megfelelő kombinációjával a tűzoltó felszerelések digitális nyomon követése hatékonyabb lehet. Az NFC kiemelten előnyös lehet a technológia bevezetésekor, mivel nem igényel külön olvasóberendezést, hanem már meglévő okostelefonokkal és táblagépekkel is működtethető, így egyszerűbben és kisebb költséggel integrálható a meglévő rendszerbe.

⁴³ Peer-to-peer (P2P): Egyenrangú viszony a hálózatban

A digitális nyomon követés lehetővé teszi, hogy minden egyes védőfelszereléshez egyedi azonosító kapcsolódjon. Az azonosító tartalmazhatja az eszköz teljes élettartamára vonatkozó információkat, beleértve az alábbiakat:

- Gyártási idő és szám
- Gyártóra és forgalmazóra vonatkozó adatok
- Használati események (vonulások, karbantartások, tisztítások)
- Ellenőrzések, felülvizsgálatok

Az RFID/NFC címkéket a védőruházat belső részébe lehet integrálni, és úgy tervezték, hogy ellenálljanak a szélsőséges körülményeknek. Egy táblázatkezelő program is alkalmas lehet az egyedi azonosítók és események rögzítésére, de ennek egyik fő hátránya, hogy az adatokat manuálisan kell bevinni, ami nemcsak időigényes, hanem nagyobb hibalehetőséget is rejt magában. Az RFID/NFC technológia előnye, hogy egyetlen érintéssel az összes kapcsolódó információ azonnal elérhető, jelentősen megkönnyítve az adatkezelést és csökkentve az adminisztrációs terheket. Fontos azonban kiemelni, hogy önmagában ez a technológia nem jelent forradalmi újítást a nyilvántartásban, ha nincs mögötte egy jól működő szoftveres rendszer. Bár az eszközök gyors és egyedi azonosítása hasznos, az igazi előnyök akkor mutatkoznak meg, ha egy központi adatbázissal összekapcsolva valós idejű frissítéseket és automatikus értesítéseket biztosít. A hatékony digitális nyomon követés alapja tehát egy olyan szoftveres háttér, amely képes kezelni a folyamatosan változó információkat, például a karbantartásokat, a használati időszakokat és a tisztítások naplózását.

Az általam elvi alapokon megalkotott nyomon követési rendszer alapját egy átlátható, jól felépített szoftver képezi, mely különböző modulokból áll. Az eszköznyilvántartás modul felel azért, hogy minden védőfelszerelés egyedi azonosítót kapjon, melyhez kapcsolódnak a gyártási és gyártói adatok, a használati előzmények és a karbantartási naplók. Ez a nyilvántartás biztosítja, hogy a készletkezelés folyamatosan naprakész maradjon, minimalizálva az elveszett vagy elfeledett karbantartású felszerelések számát, miközben teljes képet ad az egyes eszközök életciklusáról.

A használati napló modul részletesen rögzíti, hogy melyik felszerelést ki, mikor és milyen körülmények között használta. Ezt a folyamatot lehet manuálisan vezetni, de hatékonyabb, ha a szoftver képes integrálódni meglévő műveletirányítási rendszerekkel, például a PAJZS programmal. Ebben az esetben a vonulási adatok automatikusan bekerülhetnek a

nyilvántartásba, csökkentve az adminisztrációs terheket és a hibás adatbevitel kockázatát. Amennyiben az ilyen típusú összekapcsolás nem lehetséges, akkor a szoftvernek kell feldolgoznia a vonulási információkat és azokat a megfelelő védőfelszerelésekhez társítani.

A karbantartási és tisztítási ütemezés modul szintén szerves részét képezi a rendszernek. A szoftver folyamatosan nyomon követi, hogy egy adott felszerelés mikor esett át az előírt tisztítási vagy karbantartási folyamatokon, és ha egy határértéket elér, figyelmeztetést küld. Ezek a figyelmeztetések nem kizárólag a tűzoltók számára lényegesek, hiszen nem az ő feladatuk a karbantartás megszervezése, hanem azoknál a személyeknél lenne kiemelten fontos, akik ténylegesen intézkedhetnek, azaz ezzel a munkakörrel vannak megbízva (pl.: a hivatásos katasztrófavédelem szerv esetén a műszaki biztonsági tiszt).

A hozzáférési funkció lehetőséget biztosítana arra, hogy a felhasználók jogosultságai eltérjenek egymástól. A tűzoltók hozzáférhetnek a saját felszerelésük adataihoz, míg a karbantartók és adminisztrátorok módosíthatják az eszközökkel kapcsolatos információkat, ezáltal biztosítható, hogy mindenki csak az adatokat lássa és módosítsa, melyekre valóban szüksége van.

A rendszer egyik legnagyobb előnye a statisztikai elemzések lehetősége, mely segíthet a döntéshozatalban és az erőforrások hatékonyabb elosztásában. A szoftver képes lenne kimutatásokat készíteni arról, hogy mely felszerelések használnak el leggyorsabban, milyen típusú meghibásodások fordulnak elő leggyakrabban, mennyi az egyes védőeszközök átlagos élettartama, valamint a karbantartási és tisztítási költségek hogyan alakulnak. Ha a rendszerbe integrálásra kerül az adott tűzoltó szolgálati helye és az adott napon jellemző időjárási viszony, akkor még részletesebb elemzés végezhető. Extrém időjárási körülmények között, heves esőzéseknek vagy nagy hőségnek kitett védőruha várhatóan gyorsabban amortizálódik, mint egy mérsékelt klímájú területen használt ruházat. Az ilyen típusú elemzések hosszú távon lehetővé tennék, hogy pontosabb kép rajzolódjon ki a védőfelszerelések tényleges igénybevételéről és azok elhasználódási mintázatairól. Amennyiben egy adott területen a védőruhák átlagosan gyorsabban elhasználódnak, az arra utalhat, hogy az adott régióban szélsőségesebb időjárási körülmények között dolgoznak a tűzoltók, vagy az ottani beavatkozások fokozott mechanikai igénybevételt jelentenek. Az ilyen adatokat figyelembe véve célzottabban lehetne meghatározni, hogy mely állománynak van szüksége gyakoribb ruha/eszköz cserére, illetve milyen típusú anyagok és gyártási technológiák lennének a legalkalmasabbak az adott környezetben történő használatra.

A nyomon követő szoftver bármely verziója – legyen az felhőalapú vagy helyben telepített – internetkapcsolatot igényel. A felhőalapú rendszer esetében az összes adat egy külső szolgáltató által üzemeltetett szerveren fut, mely biztosítja a rendszerhez való hozzáférést egy internetkapcsolattal rendelkező eszközről, a földrajzi helytől függetlenül, azonban adatvédelmi szempontból aggályos lehet, hiszen harmadik fél kezeli a tűzoltók személyes és műszaki adatait. [140] A helyben telepített rendszer esetében az adatok saját szerveren futnak, mely nagyobb kontrollt biztosít a szervezet számára, azonban ez jelentős kezdeti beruházást igényel, hiszen meg kell vásárolni az informatikai eszközöket, biztosítani kell a megfelelő hálózati infrastruktúrát, és szükség van hozzáértő szakemberekre is a folyamatos üzemeltetéshez és karbantartáshoz.

A megfelelő megoldás kiválasztása elsősorban az adott tűzoltóság technikai adottságaitól, anyagi lehetőségeitől és adatvédelmi szempontjaitól függ. A biztonsági követelmények miatt kiemelten fontos a megfelelő titkosítási megoldások alkalmazása, valamint a hozzáférési jogosultságok pontos szabályozása. Mind felhőalapú, mind helyben telepített rendszer esetén biztosítani kell, hogy a tűzoltók személyes adatai (pl.: név, születési idő, testméretek stb.) védettek legyenek az illetéktelen hozzáféréssel szemben.

A szoftver kezelőfelületének kialakítása kulcsfontosságú, hiszen ez határozza meg a rendszer napi használhatóságát és hatékonyságát. Egy jól megtervezett, ergonómiai szempontokat is figyelembe vevő felület segíti a gyors adatbevitelt, csökkenti az emberi hibákat és lehetővé teszi a gyors keresést, ami különösen fontos egy olyan területen, ahol a védőfelszerelések állapota közvetlenül befolyásolja a tűzoltók egészségi és aktuális mentális állapotát, továbbá a munkavégzés hatékonyságát.

A kezelőfelületnek olyan felhasználói élményt kell nyújtania, mely minimalizálja a betanulási időt és gyors hozzáférést biztosít az eszközökkel kapcsolatos információkhoz. A korábban tárgyalt PSTrax és Vector Solutions rendszerek példái jól mutatják, hogy ezek az elvek hogyan alkalmazhatók a gyakorlatban és milyen előnyökkel járnak a digitális nyomon követési rendszerek fejlesztésében.

Jelenleg Magyarországon nem létezik egységes, digitális nyilvántartási rendszer a tűzoltók védőfelszereléseinek követésére és rendszeresítésére. A kutatás alapján célszerű lenne megvizsgálni egy ilyen rendszer bevezetésének lehetőségeit, különös tekintettel annak gyakorlati alkalmazhatóságára és a lehetséges kihívásokra. A következő lépés a

megvalósíthatósági vizsgálat elvégzése, amely során ki kell értékelni az optimális technológiai megoldásokat, valamint a lehetséges akadályokat, például a pénzügyi és infrastrukturális korlátokat.

A nemzetközi szakirodalom áttanulmányozása során megállapítottam, hogy a jelenleg alkalmazott megoldások alapvetően működőképesek, ugyanakkor a digitalizáció nyújtotta lehetőségek révén tovább lehetne növelni azok rugalmasságát és hatékonyságát, különösen a hazai működési és szervezeti sajátosságok figyelembevételével. A tervezett rendszer célja az lenne, hogy egy átlátható, mobilbarát és modulárisan bővíthető adatbázisra épüljön, mely lehetővé tenné az egyéni védőeszközök részletes nyilvántartását. A fejlesztés során elsődleges szempontként kezelném azt, hogy minden egyes felszereléshez hozzá lehessen rendelni a kiosztás időpontját, a használó személyét, valamint az eszközzel kapcsolatos eseményeket, mint a tisztítás, ellenőrzés, karbantartás vagy a vonulások típusai. A funkciók közé beépíteném a fényképes dokumentálás lehetőségét is, mely elősegítené az eszközök állapotának vizuális rögzítését. A rendszer lehetővé tenné az adatok Excel (vagy később Power BI⁴⁴) formátumban történő exportálását is, továbbá a színséma és a grafikai elemek kialakításakor a vizuális ergonómia alapelvei kerülnének előtérbe. A későbbiekben lehetőség nyílhat RFID alapú azonosítás integrálására is, mely az eszközök követését egyszerűbbé teheti, továbbá automatikus figyelmeztetések küldését is lehetővé tenné.

Javaslom egy kísérleti projekt indítását az általam tett részkutatási eredmények alapján, mely lehetőséget biztosítana a rendszer tesztelésére valós körülmények között. A pilotprogram során a felhasználói visszajelzések és a gyakorlati tapasztalatok alapján finomhangolható lenne a rendszer működése, biztosítva, hogy az a tűzoltósági igényeknek megfelelően kerüljön kialakításra. A nemzetközi példák azt mutatják, hogy a digitális rendszerek bevezetése hosszú távon fenntarthatóbb és hatékonyabb működést eredményezhet, azonban a sikeres implementáció érdekében a hazai technológiai és szabályozási környezethez történő igazítás elengedhetetlen.

⁴⁴ Power BI: Microsoft által kínált adatvizualizációs szolgáltatás

3.4 Részkövetkeztetések

A tűzoltók védőfelszereléseinek rendszeresítésével, digitális nyomon követésével és a kapcsolódó kockázatértékelési módszerekkel kapcsolatban végzett kutatásaim eredményeként az alábbi következtetésekre jutottam.

Elemzésem során feltártam az egyéni védőeszközök rendszeresítésének jelenlegi gyakorlatát, különös tekintettel a döntéshozatali mechanizmusokra, melyek meghatározzák az új eszközök bevezetését és azok későbbi alkalmazását. Megállapítottam, hogy a rendszeresítési folyamatban kulcsszerepet játszik a kockázatértékelés, mely elősegíti a védőeszközök megfelelőségének objektív vizsgálatát. A nemzetközi és hazai szabályozási környezet vizsgálata során azonosítottam azokat a szempontokat, melyek a védőfelszerelések rendszeresítésének hatékonyságát növelhetik, beleértve az átláthatóbb döntéshozatalt és a különböző értékelési módszerek alkalmazását.

A védőfelszerelések rendszeresítésének és kiválasztásának értékelésére különböző módszertanokat javasoltam. A kockázattábla alkalmazásával a veszélyforrások és azok potenciális hatásai objektíven összehasonlíthatók, lehetővé téve a különböző védőeszközök közötti választás megalapozottabbá tételét. A Delphi módszer bevonása a szakértői vélemények összegyűjtését és kiértékelését segítheti, mely támogatná a döntéshozatalt a rendszeresítés során. Az FMEA modell alkalmazása pedig a lehetséges meghibásodási módok és azok következményeinek azonosítását segítheti elő, ezáltal hozzájárulhat a védőfelszerelések megbízhatóságának növeléséhez.

A kutatás során a védőfelszerelések digitális nyomon követésének lehetőségeit is vizsgáltam, különös tekintettel az RFID és NFC technológiák alkalmazására. A nemzetközi példák alapján megállapítottam, hogy az ilyen típusú nyilvántartási rendszerek hozzájárulhatnak az eszközök hatékonyabb nyomon követéséhez és a karbantartási ciklusok optimalizálásához. Megállapítottam, hogy a digitális azonosítási és adatgyűjtési rendszerek integrálása jelentősen megkönnyítheti a védőfelszerelések állapotának monitorozását és lehetőséget biztosíthat a rendszeresített eszközök teljes életciklusának nyomon követésére.

A kutatás során – nemzetközi példákra alapozva - egy olyan szoftveres nyilvántartási rendszer alapjait dolgoztam ki, mely egyéni védőfelszerelésekhez kapcsolódó adatokat rögzít és elemzi. A rendszer lehetővé teszi az eszközök állapotának dokumentálását, a használati tapasztalatok gyűjtését, valamint a javítási és karbantartási előzmények áttekintését. Megállapítottam, hogy

az alkalmazott kockázatértékelési módszerek integrálásával a digitális nyomon követési rendszer nemcsak az eszközök használhatóságáról nyújthat részletes információt, hanem a kockázati tényezők csökkentéséhez is hozzájárulhat.

Elemzésem rávilágított arra, hogy a digitális nyomon követési és rendszeresítési eljárások fejlesztése hozzájárulhat a védőfelszerelések hatékonyabb kezeléséhez, a tűzoltói biztonság növeléséhez és a fenntarthatóbb működés biztosításához. Az egyéni védőfelszerelések nyilvántartásának fejlesztése hosszú távon nemcsak a tűzoltók védelmét javíthatja, hanem a működési hatékonyságot is növelheti.

Jelenleg Magyarországon nem létezik egységes, digitális nyilvántartási rendszer a tűzoltók védőfelszereléseinek követésére és rendszeresítésére. Arra a megállapításra jutottam, hogy indokolt a megvalósíthatósági vizsgálat és a gyakorlati alkalmazás lehetőségeinek elemzése, amely elősegítheti a rendszer hatékony integrációját a hazai tűzoltósági gyakorlatba. Ennek alapján egy saját fejlesztésű nyilvántartó rendszer koncepcióját dolgoztam ki, mely a nemzetközi jó gyakorlatokat figyelembe véve, de a hazai tűzoltóság működési sajátosságaihoz igazodva kínálna megoldást a védőfelszerelések digitális nyomon követésére.

4. A KIEGÉSZÍTŐ VÉDŐRUHÁZAT SZÜKSÉGESSÉGÉNEK ÉS HATÉKONYSÁGÁNAK VIZSGÁLATA A TŰZOLTÓK VÉDELME NEK NÖVELESE ÉRDEKÉBEN

A kutatási területem részét képezi a tűzoltósági vonulások elemzése az időjárási viszonyok függvényében. Értekezés tervezetemben röviden áttekintem a klímaváltozás fogalmát és szerepét, különös tekintettel arra, hogyan érinti a tűzoltói beavatkozások hatékonyságát és biztonságát. Az extrém időjárási viszonyok, mint például a tartósan magas hőmérséklet vagy a hirtelen nagy mennyiségben lezúduló csapadék jelentős kihívást jelent a tűzoltók számára. A védőruházat kialakítása és tömege is nagymértékben befolyásolja a tűzoltók munkavégző képességét, kiemelten elhúzódó beavatkozás során, ezt erősíti meg Bodnár László is PhD (doktori) értekezésében is [101]. Kutatásom ezen szakasza a kiegészítő védőruházat szerepére összpontosít, amely tovább növelheti a meglévő felszerelések hatékonyságát az új típusú helyzetekhez való alkalmazkodásban. A fejezetben a klímaváltozás és az alöltözet kapcsolatát elemzem.

Vizsgálatom során az alábbi kutatási célokat határoztam meg:

- A klímaváltozás hatásait vizsgálni a tűzoltói beavatkozásokra, majd a kapott eredményeket meteorológiai adatokkal összevetni
- Az alöltözetek hatékonyságát vizsgálni egy kísérlet keretében, a személyes tapasztalatok és egy módosított próbahasználati értékelőlap alapján

Mivel a hazai publikációkban kevés szakirodalom található a témakörrel, ezért kutatásomat elsősorban nemzetközi publikációkra alapoztam, azokat alaposan áttanulmányozva. A téma fontossága miatt különösen lényeges a rendelkezésre álló nemzetközi tapasztalatok és eredmények felhasználása a hazai gyakorlatok fejlesztése érdekében. Tudományos céljaim megvalósítása érdekében részletes kísérleteket végeztem, melyek során alöltözeteket teszteltem valós körülmények között. Az eredmények kvantitatív értékeléséhez általam módosított próbahasználati értékelőlapot alkalmaztam, ami véleményem szerint megfelelő felhasználói visszajelzést nyújthat a fejlesztők és döntéshozók számára a jelenlegi gyakorlatok továbbfejlesztése céljából.

A fejezetben arra törekedtem, hogy feltárjam a klímaváltozás hatásait a tűzoltó beavatkozások dinamikájára, különös tekintettel az utóbbi időkben fellépő kihívásokra. A vizsgálat során

kiemelt figyelmet fordítottam a viharkárookra és az erdőtüzekre, melyek gyakorisága és intenzitása jelentősen megemelkedett [141]. Ennek következtében szükségessé válhat a jelenlegi védőöltözetek felülvizsgálata és esetleges módosítása, annak érdekében, hogy magasabb szintű védelmi és ergonómiai jellemzőkkel rendelkezzenek. A fejezet további részében az új kihívásokra való adaptációt hangsúlyozom ki, különösképpen a védőruházat fejlesztését és annak gyakorlati alkalmazását.

4.1 A klímaváltozás és a tűzoltósági tevékenységek kihívásai

A klímaváltozás során az éghajlati rendszerek tartósan átalakulnak, melyet a Föld légkörének, óceánjainak és felszínének globális és regionális szintű változásai jellemeznek. Az éghajlatváltozás természetes tényezőkkel is összefügghet, mint például vulkáni aktivitás vagy a napsiklusok, ám a jelenkori változások legfőbb oka az emberi tevékenység, különösen a fosszilis tüzelőanyagok égetése, továbbá az erdőirtás is [142]. A felmelegedő légkör megnöveli az extrém időjárási események gyakoriságát, tengerszint-emelkedést okoz, és veszélyezteti az ökoszisztémák stabilitását és kihívás elé helyezi a társadalmat [143].

Az IPCC ⁴⁵ 2023-as jelentése alapján a klímaváltozásnak az alábbi negatív hatásai ismertek (a teljesség igénye nélkül):

- csökkent az élelmiszerellátás biztonsága
- csökkent a vízhez való biztonságos hozzáférés (pl.: vízminőség romlás, vízhozam ingadozás, stb.)
- emberek megélhetésének, egészségi és mentális állapotának romlása
- nagyobb városokban romlott a levegő minősége
- vektorok által terjesztett betegségek előfordulásának növekedése
- közegészségügyi és járványügyi helyzet romlása
- egyes megbetegedések földrajzilag új helyen jelentek meg
- migráció
- kritikus infrastruktúrák sérülése [144]

Chaudhary és Piracha szerint a természeti eredetű folyamatok (veszélyek), melyek természeti katasztrófákat okoznak, hat kategóriába lehet besorolni:

⁴⁵ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (Éghajlatváltozási Kormányközi Testület)

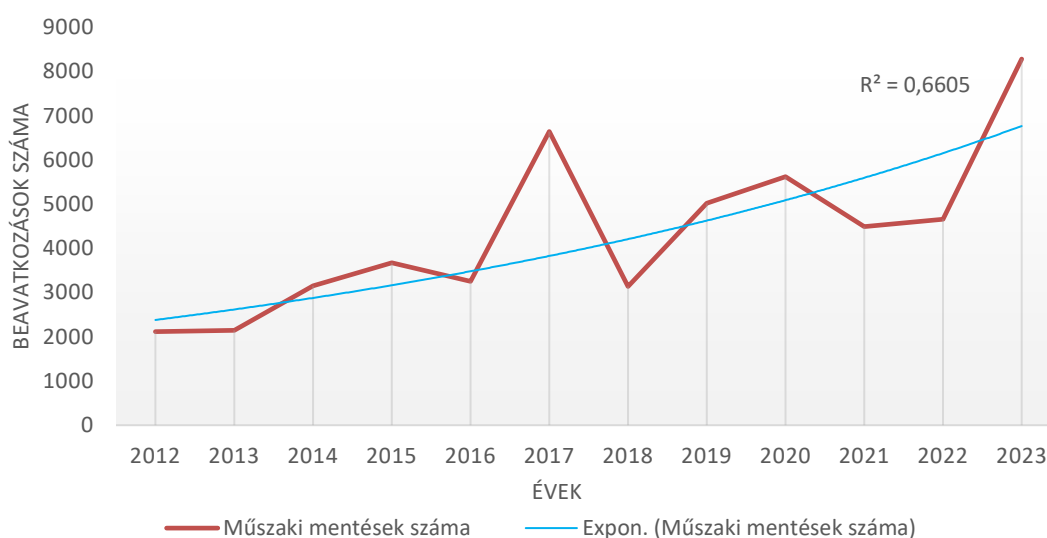
1. Geofizikai
2. Hidrológiai
3. Meteorológiai
4. Klimatológiai
5. Biológiai
6. Extraterresztriális (Földön kívüli) [145]

Teknős László publikációjában kifejti, hogy az események túlnyomó része a hidrológiai kategóriába tartozik, mint például az árvizek és hirtelen áradások. Ezeket követik a meteorológiai események, mint a viharok, a geofizikai jelenségek, például a földrengések, az éghajlati tényezők, mint a hőmérsékleti szélsőségek, aszályok és erdőtüzek, valamint végül a biológiai eredetű események [146]. A csapadékeloszlás változásai jelentős hatással vannak a természeti katasztrófák kialakulására.

A viharokkal és a klímaváltozással kapcsolatos kutatások egyik kiemelkedő alakja Jennifer Francis, klímatudós, aki az Északi-sarkvidék és annak globális időjárási mintákra gyakorolt hatásának szakértője. Francis széles körű kutatásokat végzett az olvadó sarki jég és a futóáramlás (jet stream) változásai közötti összefüggésekről, amelyek hatással lehetnek a viharok gyakoriságára és intenzitására Európában. Munkája jelentős mértékben hozzájárult annak megértéséhez, hogyan befolyásolja a klímaváltozás a szélsőséges időjárási eseményeket, ezzel segítve a döntéshozókat az azonnali cselekvés szükségességének felismerésében [147] [148]. Egyes területeken a hirtelen lezúduló nagy mennyiségű eső áradásokat okoz, amelyek kárt tesznek az infrastruktúrában, elárasztják a településeket, és jelentős emberéleteket is követelhetnek. Más régiókban viszont a csapadékhiány aszályhoz és vízhiányhoz vezet. Ez a kettősség igen nagy kihívást jelent a katasztrófavédelmi szervek és a helyi közösségek számára.

A viharkárok felszámolása során az egyik legnagyobb kihívás az időjárás kiszámíthatatlansága, mivel a hirtelen felerősödő szél, a nagy mennyiségben lezúduló csapadék és az esetlegesen ezeket kísérő villámlások gyorsan változó körülményeket eredményeznek. Mindemellett a kidőlt fák, leszakadt elektromos vezetékek és az épületek, gépjárművek vagy egyéb (mű)tárgyakból származó szétszóródott törmelékek a beavatkozást is nehezítik, így további veszélyforrásokat is jelentenek mind a mentést végzők, mind a mentendő személyek számára [148].

4. grafikon: Elemi csapás, vihar okozta műszaki mentések száma Magyarországon 2012-2023 között, készítette a szerző, forrás: BM OKF



A 4. grafikon az elemi csapások és viharok által okozott műszaki mentési számokat ábrázolja 2012-2023 között. Az adatok bár nem lineárisan, de emelkedő tendenciát mutatnak. Exponenciális trendvonalat alkalmaztam a növekedés szemléltetéséhez, mivel az R^2 érték alapján ez a modell szemlélteti legjobban – a Microsoft Office Excel programban - az adatok gyorsuló növekedését. Az R^2 érték azt mutatja meg, hogy a trendvonal milyen arányban követi az adatok változását, jelen esetben a 0,6605 érték közepesnél erősebb illeszkedést jelez. Amennyiben ez a trend folytatódik, akkor a jövőben az extrém időjárás miatt megnő a műszaki mentések száma, ami kihívás elé állítja az emberi szervezetet, továbbá kiemeli az egyéni védőruházat fejlesztésének szükségességét.

Az erdőtüzek szintén a klímaváltozás egyik kiemelt következményei közé tartoznak. Az erdőtűz évszázadok óta ismert természetes jelenség, melyek formálják a tájakat és az ökoszisztémákat. Egyes őslakosok évszázadokon keresztül alkalmaztak irányított égetést a tájak kezelésére és a biodiverzitás előmozdítására, azonban az iparosodás és az urbanizáció térnyerésével az erdőtüzek egyre pusztítóbbá és veszélyesebbé váltak [148]. A forró és száraz időjárás egyre nagyobb területeken idéz elő tüzeket, amelyek hatalmas ökológiai és gazdasági károkat okoznak. Az erdőtüzek nemcsak az élővilágot pusztítják el, hanem jelentős mennyiségű széndioxidot bocsátanak a légkörbe, ami tovább gyorsítja a klímaváltozás ütemét. 2001 és 2023 között az erdőtüzekből származó szénkibocsátás globálisan 60%-kal emelkedett, amelynek legjelentősebb részét a mérsékeltövi régiók adták. Ezeken a területeken tapasztalható

tűztevékenység növekedése világosan mutatja, hogy a klimatikus tényezők erőteljesebb hatást gyakorolnak, míg a trópusi régiókban az emberi tevékenységek játsszák a meghatározó szerepet [149].

A klímaváltozás súlyosbodó hatásai miatt a szabadtéri tüzek egyre gyakoribbá és intenzívebbé válnak, ami komoly kihívások elé állítja, mind a tűzoltókat, mind pedig a lakosságot is. Mindezek okán is vált kulcsfontosságú tényezővé az egyéni védőeszközök fejlesztése. A tűzoltókat fizikailag és mentálisan is megterheli ezen extrém igénybevétel, mely magas szintű készséget és állóképességet is igényel. A tartósan magas hőmérséklet és kevés lehulló csapadék miatt a nyári hónapokban megemelkedik a tűzoltói beavatkozások száma, melyeket igen gyakran szabadtéri tüzek okoznak [38]. Az elmúlt évek során számos olyan technológiai fejlesztés történt, mely segíti a tűzoltók munkáját, ezáltal biztonságosabbá és hatékonyabbá téve azt. A hőkamerával ellátott drónok a kiterjedt erdőtüzek esetén a tűzterjedés jellemzőinek megállapítását teszik lehetővé biztonságos távoból, míg a speciális, erdőtűz oltó járművek segítségével a keletkezett tüzek felszámolása eredményesebb lehet [148].

Az elmúlt években Görögország, Kalifornia és Ausztrália példái is jól mutatják, hogy a tűzoltóságok egyre nagyobb kihívásokkal néznek szembe az ilyen események kezelésében. Számadatokkal jellemezve a Global Forest Watch által nyújtott információk alapján az alábbiak szerint alakult az erdők vesztesége tüzesetek miatt 2001-2023 között:

- Görögország: 194×10^3 hektár (egyéb esetek miatt $99,6 \times 10^3$ hektár)
- Kalifornia: $2,12 \times 10^6$ hektár (egyéb esetek miatt 805×10^3 hektár)
- Ausztrália: $6,46 \times 10^6$ hektár (egyéb esetek miatt $2,57 \times 10^6$ hektár) [150]

A honlap interaktív jellegéből adódóan számos más érdekes adat nyerhető ki ismeretterjesztés és kutatás céljából, melyeket véleményem szerint mindenképp érdemes más, az adott területen dolgozó kutatócsoportok eredményeivel összevetni. A feltüntetett országok kirívó példaként szolgálnak főleg a klimatikus viszonyok miatt, viszont az összegyűjtött információk alapján értékes adatokhoz lehet jutni, melyek megalapozhatják az adott terület fejlesztéseit. Az országok területe ugyan eltér egymástól, de a tüzesetek által okozott erdő veszteség összevethető az egyéb (pl.: mezőgazdaság, erdészeti tevékenység stb.) forrás okozta tűzveszteséggel, ami alapján elmondható, hogy az erdőterületek csökkenése főként tűz által következett be. Bár világszerte az erdőtüzek 95 %-a szándékos gyújtogatás vagy emberi

gondatlanság következménye, a kialakult állapot mértékét nagymértékben befolyásolja az adott régió biotomassza összetétele és a klimatikus viszonyai [151].

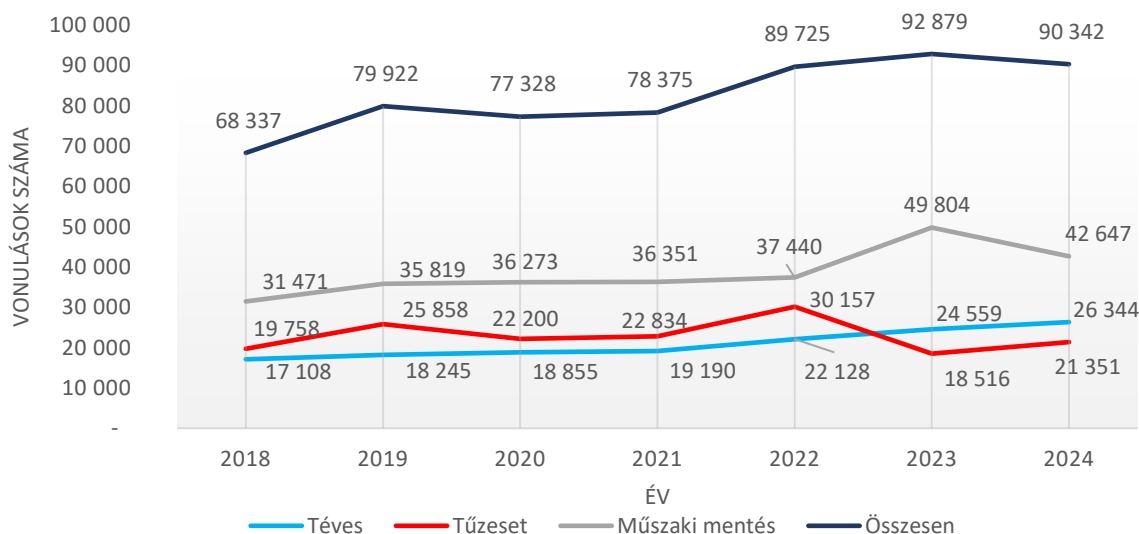
A fejezetben idáig a klímaváltozást és annak hatásait mutattam be röviden, majd az erdőtűzekre tértem ki néhány példa megemlíttésével. Mindezek alátámasztják, hogy a tűzoltók számára szükség van olyan védőruházatra (és kiegészítő öltözetre), amik biztosítják az extrém körülmények között történő munkavégzés biztonságosságát és hatékonyságát. A következő fejezetben a magyarországi vonulási adatokat elemzem, majd összevetem meteorológiai adatokkal az elmúlt évekre visszamenőleg.

4.2 Magyarországi tűzoltói vonulások elemzése

Az egyéni védőruha fejlesztésének és a kiegészítő ruházat bevezetésének szükségessége a korábbiakban egyértelművé vált a kérdőív eredményeinek ismertetése során, amikor is mind magyar, mind pedig nemzetközi tűzoltók visszajelzései alapján azonosíthatók voltak azok a szempontok, amelyek elengedhetetlenek a hatékonyság növeléséhez és az alkalmazkodóképesség javításához. Ezen túlmenően az elmúlt évek vonulásainak típusait és gyakoriságát hazai viszonylatban meteorológiai adatokkal vetem össze, annak érdekében, hogy elemezhetővé váljon az időjárási és éghajlati tényezők beavatkozásokra gyakorolt hatása. Az eredmények rávilágítanak arra, hogy a klímaváltozás miatt a növekvő szélsőséges időjárási események a jövőben még nagyobb kihívások elé helyezik a tűzoltókat, ezért elengedhetlenné válik a védőeszközök folyamatos fejlesztése.

A BM OKF Főigazgatójának jóváhagyásával a kutatási kérelmemben szereplő vonulási adatok közzétételére kaptam engedélyt az értekezés tervezetben. A következőkben a 2018-2024. közötti időszak vonulási adatait mutatom be különböző szempontok alapján, hogy részletezzem azokat.

5. Grafikon: Vonulási adatok Magyarországon 2018-2024. között, készítette a szerző, forrás: BM OKF

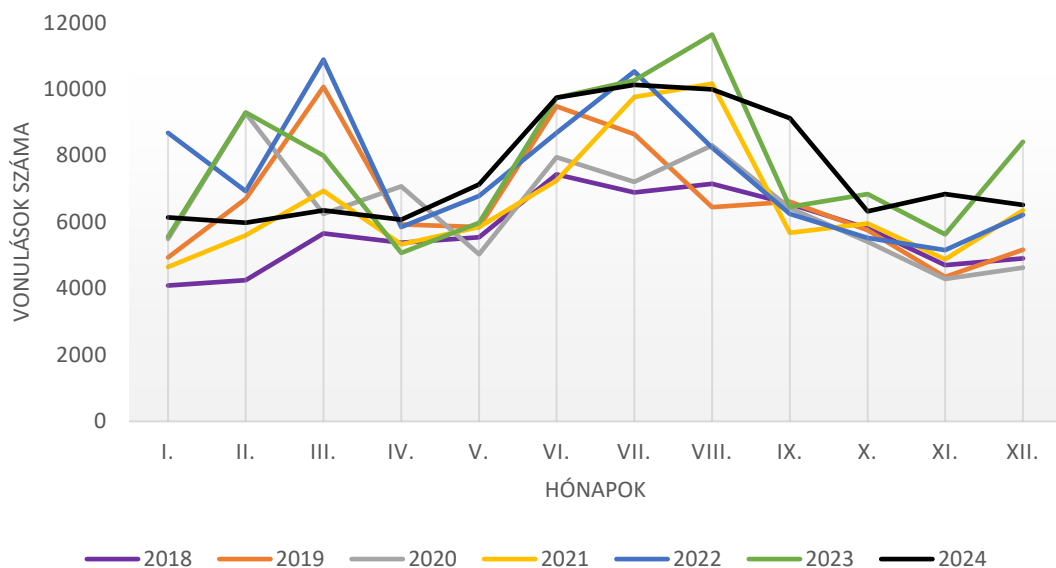


Az 5. grafikon egyszerre ábrázolja az évekre lebontott összesített vonulási számokat és az ezeket alkotó vonulási típusokat (tűzeset, műszaki mentés és téves jelzés). A görbe elején az értékek jelentős emelkedést mutatnak, ami jelentheti az intenzívebb időjárási hatásokra adott tűzoltói beavatkozások számának növekedését. A kezdeti (68.337) és a záró érték (90.342) között az emelkedés mértéke átlagosan 32,2%, azaz a tűzoltóknak ennyivel több esetben kellett beavatkozni. Az emelkedés trendje hullámzó, azaz voltak olyan időszakok is, amikor csökkent az adott évhez tartozó érték, azaz feltételezhetően ezen időszakok alatt kevesebb extrém időjárási tevékenység történt.

A kutatás során két különböző adatcsoportot elemzek, egyrészt a tűzoltó vonulások számát 2018-2024. között, másrészt a meteorológiai adatokat 2018-2023. között. Fontos kiemelni, hogy az utóbbi vonatkozásában a kutatási időszakom alatt 2023-ig álltak rendelkezésre az adatok, így azok teljes körű elemzése ezen időpontig történt meg. A vonulások számát 2018-tól tudtam vizsgálni, mivel a korábbi éveket tekintve informatikai okokból kifolyólag nehezen összefésülhetők az online KAP-Online rendszerből kinyert szer-, és TMMA⁴⁶ adatlapok.

⁴⁶ TMMA: Tűzeseti és Műszaki Mentési Adatlap (Forrás: A BM országos katasztrófavédelmi főigazgató 1/2025. (I. 23.) BM OKF utasítása a katasztrófavédelmi szervek és a tűzoltóságok tevékenységének adatszolgáltatási rendjéről 8.§)

6. grafikon: Összesített vonulások száma havi bontásban 2018-2024 között, készítette a szerző, forrás: BM OKF



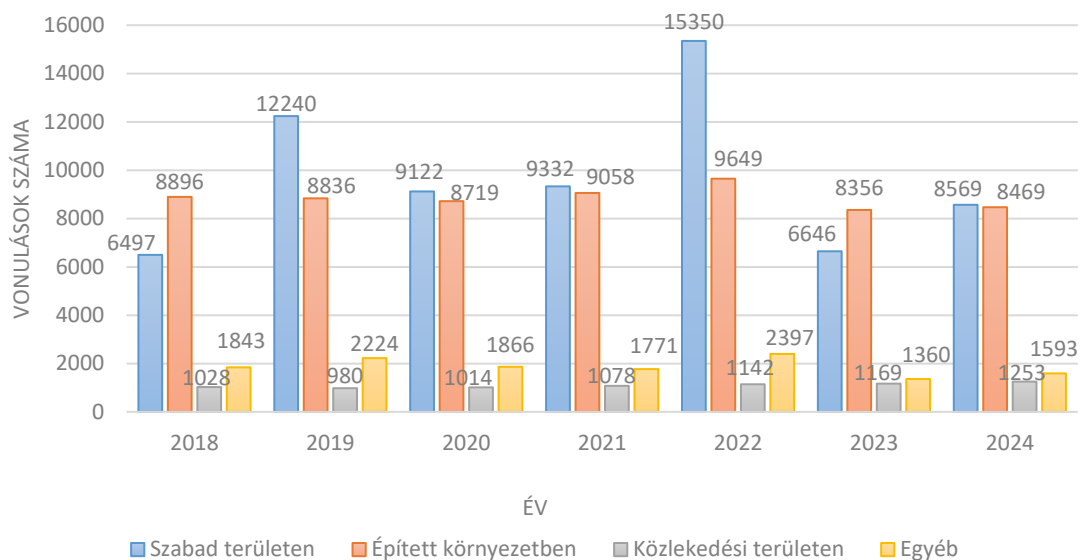
A 2018-2024 közötti havi vonulási adatok feltüntetése kitűnően bemutatja a tűzoltási szempontból kiemelt időszakokat (6. grafikon). Általánosságban megállapítható, hogy az év eleji (február-március) és az év közepi (június-augusztus) időszakban következik be a legtöbb vonulás. Tél vége-tavas kezdeté esetén jellemzően a havazás, fagyok vagy ritkább esetben a téli viharok (pl.: 2022)⁴⁷ miatt bekövetkezett káresemények indukálják a megemelkedett esetszámot. Nyáron a szárazság okozta vegetációs-, és erdőtüzek vagy az évszakra oly jellemző viharok miatt tapasztalható a magas vonulási szám. Amennyiben kronológiai sorrendben tekintünk végig az éveken, látható, hogy a 2018-as év viszonylag kiegyensúlyozott volt, a csúcsok mérsékeltek voltak. 2019-ben már egy nagyobb eltérés látható, főleg a márciusi hónapot illetően, de a nyári időszakban is magasabb számok adódtak. 2020-2023 között markánsabb csúcsok figyelhetők meg, ezek az évek határozták meg leginkább az adott időszakokat. 2024-ben egy alacsonyabb és jóval kiegyensúlyozottabb görbe írható le a hónapok alatt, jellegében hasonló a 2018-as évhez.

A tavaszi és nyári hónapokban tapasztalható megnövekedett beavatkozásszámok rámutatnak a megfelelő védőruha, különösen az aláöltözet jelentőségére. A korábban tárgyalt klímaváltozás okozta hatások is alátámasztják, hogy az adaptív és kiegészítő védőruházat egyre inkább elengedhetetlen a hatékony beavatkozáshoz. A következőkben a tüzesetekhez történt vonulásokat fogom elemezni, majd összevetem a kapott adatokat különböző meteorológiai

⁴⁷ Malik viharciklon, mely 2022.01.30-án ért Magyarországra (Forrás: Hungaromet: Malik viharciklon, Online: https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3148, Letöltés ideje: 2025.01.27.)

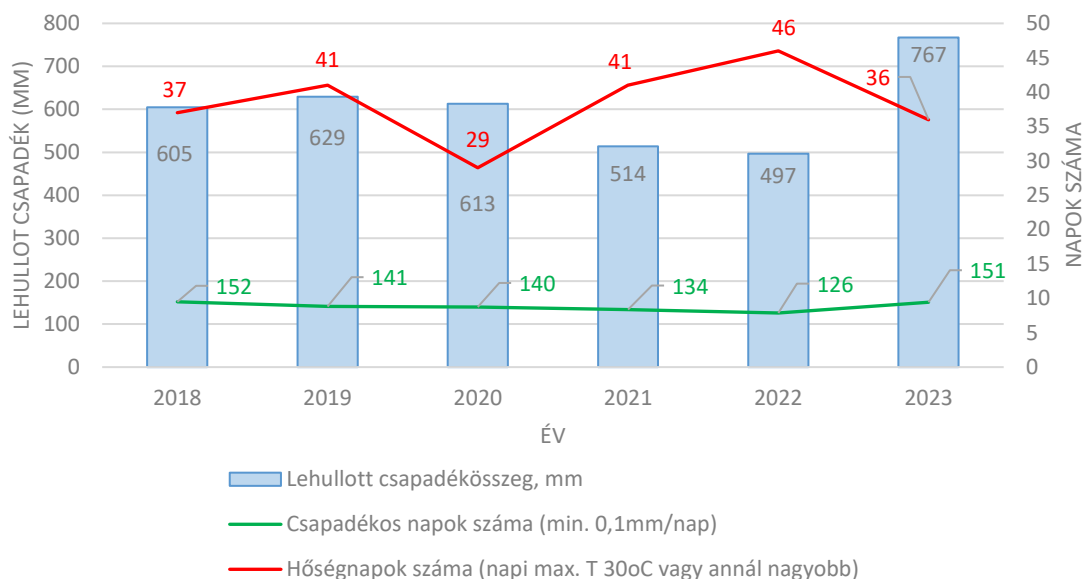
jellemzőkkel, annak érdekében, hogy rámutassak számszerűen is az időjárás és a tűzoltói beavatkozások közötti összefüggésre.

10. diagram: Tűzesetekhez vonulások száma 2018-2024 között, készítette a szerző, forrás: BM OKF



A 10. diagramon kirajzolódik, hogy két jelentősebb emelkedés történt a tűzesetekhez történő vonulások számában (2019-ben 12.240, 2022-ben pedig 15.350). Mindkét esetben az értékek a szabadtéri területen bekövetkezett tüzek csoportjába tartoznak. Az épített és a közlekedési területek esetén a számadatok a vizsgált időszakban közel azonos szintet mutatnak, így a meteorológiai adatokkal csak a szabadtéri tüzekre vonatkozó adatokat vetem össze. Az elemzéshez különböző statisztikai eszközt alkalmazok annak érdekében, hogy számszerűen is láthatóvá váljon az egyértelmű összefüggés az időjárási tényezők és a szabadtéri tűzesetek között.

7. grafikon: Meteorológiai adatok Magyarország területén 2018-2023 között, készítette a szerző, forrás: KSH [152]



A vizsgált időszakban a csapadékos napok száma közel azonos értékeket mutat, csak 2021-ben és 2022-ben csökkent láthatóan, viszont azokban az években a lehullott csapadékösszeg (mm) is kevesebb volt többi évhez képest, továbbá a hőségnapok száma magas volt, kiemelten a 2022. évben (7. grafikon). A részletesebb, manuálisan nehezen kivitelezhető számításhoz korrelációs és regressziós elemzést végzek OpenAI ChatGPT-4o nyelvi modellel végzem, ami segítséget nyújt a nagy mennyiségű adat feldolgozásában és a statisztikai összefüggések értelmezésében. Meghatározom, hogy a lehullott csapadékösszeg, a csapadékos napok és a hőségnapok száma milyen mértékben befolyásolja a szabad területi vonulások gyakoriságát. Először normalitás vizsgálatot végzek, hogy megnézzem a változó adatai normál eloszlásúak-e, ami, ha igazolódik, akkor Pearson-féle korrelációt végzek, ami két vagy több mennyiségi változó közötti kapcsolatát írja le.

Shapiro-Wilk próba segítségével tesztelem, hogy van-e szignifikáns különbség az adatok eloszlása és a normális eloszlás között. Erre azért van szükség, mert a Pearson-féle korreláció elvégzésének feltétele a normalitás ($p > 0,05$). A próba kis mintára optimalizált, mivel túl nagy minta esetén az apróbb eltéréseket is szignifikánsnak találhatja. Ideális tartománya $N = 3$ és 50 mintaszám közé esik, így jelen vizsgálat megfelel a feltételeknek $N = 6$ miatt (hat év vizsgálata) [153].

8. táblázat: Shapiro-Wilk próba eredménye, készítette a szerző OpenAI ChatGPT-4o nyelvi modell segítségével

Változó	W-statisztika	p-érték
Szabad területi vonulások száma	0,919	0,435
Lehullott csapadékösszeg (mm)	0,905	0,446
Csapadékos napok száma	0,951	0,659
Hőségnapok száma	0,949	0,834

A W-statisztika kapott értéke az 1-hez viszonyítva mutatja meg, hogy az adatok eloszlása mennyire követi a normál eloszlást (8. táblázat). Mivel mind a négy értékek 0,9 felett van, így kijelenthető, hogy a vizsgálat adatok a normál eloszlásúak. A p-értékek mindegyike 0,05 felett van, így nincs szignifikáns eltérés a normál eloszlástól. Mindezek megerősítették, hogy elvégezhető a Pearson-féle korreláció.

A változók közötti kapcsolat erősségét és irányát a Pearson-féle korrelációs együttható (r) fejezi ki. Az együttható előjele a kovariancia előjelét követi, és meghatározza, hogy a kapcsolat pozitív (növekvő) vagy negatív (csökkenő) irányú-e. Ez azt jelzi, hogy az összefüggést leíró egyenes emelkedő vagy süllyedő tendenciát mutat. A korrelációs együttható abszolút értéke minél közelebb van 1-hez, annál erősebb a két változó közötti kapcsolat. Ezzel szemben, ha az együttható értéke közelít a 0-hoz, a változók közötti összefüggés gyengébb. Pozitív korreláció esetén a változók egyenes arányosságban állnak egymással, vagyis, ha az egyik növekszik, a másik is növekszik. Negatív korreláció esetén a változók fordított arányban állnak egymással, tehát ha az egyik nő, a másik csökken.

9. táblázat: Pearson-féle korreláció eredménye, készítette a szerző OpenAI ChatGPT-4o nyelvi modell segítségével

Változó	Pearson-féle korreláció (r)
Lehullott csapadékösszeg (mm)	-0,614
Csapadékos napok száma	-0,866
Hőségnapok száma	0,667

A lehullott csapadékösszeg és a vonulások száma között közepesen erős negatív korreláció mutatkozott ($r = -0,614$), ami arra utal, hogy kevesebb csapadék esetén több tűzeset alakul ki. A

csapadékos napok száma erős negatív korrelációt mutatott a vonulási számokkal ($r = -0,866$), tehát minél kevesebb csapadékos nap volt egy adott évben, annál több beavatkozás történt, viszont nem a lehullott csapadékösszeg a meghatározó, hanem a csapadékos napok eloszlása. A hőségnapok száma pozitív kapcsolatban állt a vonulások gyakoriságával ($r = 0,667$), vagyis melegebb időszakokban több tüzeset következett be (9. táblázat).

Az eredmények igazolták, hogy a klímaváltozás hatással van a tüzesetek, így a beavatkozások számára is. Amennyiben a csapadékos időszakok csökkennek és a hőségnapok száma nő, akkor több szabad területi tüzeset várható. Ebből következően a tűzoltó védőruhák fejlesztése és kiegészítő ruhák bevezetése véleményem szerint szükséges, továbbá ezek során figyelembe kell venni a hosszabb hőhullámok okozta hőterhelést és a nagyobb igénybevételt.

4.3 Egy rendszeresíthető aláöltözet vizsgálata

A tűzoltók munkavégzésük során viselt védőruházat célja elsősorban az élet és testi épség megóvása, valamint a beavatkozás hatékonyságának elősegítése. A külső védőruházat mellett egyre nagyobb figyelmet kap a közvetlenül a bőrrel érintkező réteg, vagyis az aláöltözet szerepe. Míg korábban az aláöltözetek kiválasztása gyakran egyéni preferenciák mentén történt, napjainkra a szakmai irányelvek és tapasztalatok alapján egyre inkább felismerhető, hogy a megfelelően megválasztott aláöltözet kulcsfontosságú tényező lehet mind a kényelem mind pedig a biztonság szempontjából. Az olyan extrém környezeti körülmények között, mint a magas hőterhelés vagy a nagy fizikai igénybevétel, a nem megfelelő aláöltözet viselése akár rontani is képes a munkavégzés hatékonyságát, különösen, ha az anyag nem megfelelően szellőzik vagy nedvesség hatására elnehezül. Az utóbbi években több kutatás is rámutatott arra, hogy a védőruházat komplex rendszerként értelmezendő, melynek egyik alapvető, mégis gyakran alulértékelt eleme az aláöltözet. Cheng értekezésében átfogóan vizsgálta a különböző tűzoltói egyenruhák és az alattuk viselt rétegek szerepét a hőstressz kialakulásában. A kutatásának célja egy új, ruházati mikroklimán alapuló hőstressz-index kidolgozása és tesztelése volt, mely képes pontosabban jelezni, mekkora megterhelés éri a beavatkozás közben a szervezetet. Az eredmények azt mutatták, hogy a ruházati anyagok tulajdonságai, különösen a nedvességelvezető képesség, jelentős hatással vannak a hőstressz szintjére [154].

A klímaváltozásból fakadó időjárási szélsőségek tovább növelik az igényt egy adaptív, jól szellőző, évszakhoz és terheléshez igazítható aláöltözet iránt. Ennek gyakorlati vizsgálatára a kutatásom során két különböző felsőrészt („Felső 1” és „Felső 2”) és egy leggings⁴⁸ típusú aláöltözetet (Leggings) teszteltettem önkormányzati tűzoltók részvételével (8. ábra).



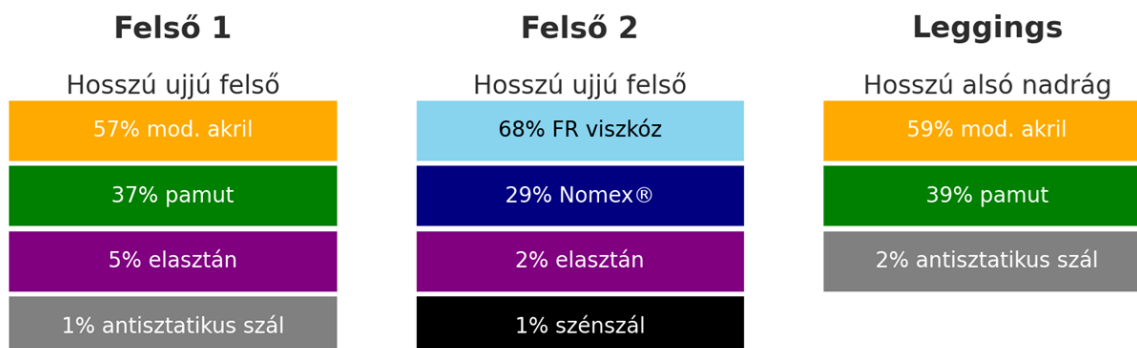
8. ábra: Tesztelt aláöltözetek (Felső 1, Felső 2, Leggings), forrás: [155], [156], [157]

A célom annak kiderítése volt, hogy a nemzetközi tanulmányokban leírt elméleti előnyök a hazai gyakorlatban is érzékelhetők-e, illetve, hogy egyáltalán felmerül-e igény az ilyen típusú kiegészítő ruházatra a beavatkozások során. Emellett arra is igyekeztem választ találni, hogy ezek az eszközök hasznosak lehetnek-e nemcsak a beavatkozások alkalmával, hanem már a azokat megelőzően, a laktanyai tartózkodás során, vagy akár gyakorlati képzések és felkészülések idején is.

A tesztelés során alkalmazott értékelési módszer alapját a rendszeresítési intézkedés 4. mellékletében található próbahasználatról szóló értékelő jegyzőkönyv képezte, melyet a jelen kutatásom céljainak megfelelően egy további értékelőlappal kiegészítettem [118]. A változtatások célja az volt, hogy a kérdések pontosabban tükrözzék az aláöltözetek viselésével kapcsolatos gyakorlati tapasztalatokat, különös tekintettel a hőérzet és hőszabályozás, a mozgásszabadság, valamint az anyagok viselési érzetének megítélésére. A próbához használt

⁴⁸ Leggings: Testhez simuló, rugalmas anyagú nadrág

aláöltözetek anyagösszetétel szerinti bemutatása a 4. ábrán kerül vizualizálásra, ahol az egyes anyagösszetevők különböző színekkel kerültek megjelenítésre a könnyebb összehasonlíthatóság érdekében.



9. ábra: Aláöltözetek anyagösszetétele, készítette a szerző⁴⁹

A 9. ábrán a három különböző aláöltözet anyagösszetétele látható: két hosszú ujjú felső („Felső 1” és „Felső 2”), valamint egy hosszú szárú nadrág (Leggings). A „Felső 1” döntően modifikált akrilból (57%) és pamutból (37%) áll, kiegészítve kis mennyiségű elasztánnal (5%) és antisztatikus szállal (1%). A „Felső 2” speciális szempontokat is figyelembe vesz, mivel 68%-ban FR viszkózból⁵⁰ és 29%-ban Nomex szálból készült, továbbá tartalmaz 2% elasztánt és 1% szénszálat. A Leggings anyagösszetétele hasonló a „Felső 1” összetételéhez, főként modifikált akrilt (59%), pamutot (39%) és antisztatikus szálat (2%) tartalmaz. Az anyagösszetételek táblázatos összehasonlítása alapján kitűnik, hogy a „Felső 2” fokozott védelmet biztosít a hőhatásokkal és az elektrosztatikus feltöltődéssel szemben, köszönhetően a speciális szálakat tartalmazó anyagösszetételének.

Az aláöltözetek tesztelésére 2025. márciusában került sor, változékony, tavaszi időjárás mellett. A kipróbálás során a „Felső 1” jelölésű hosszú ujjú felsőt három fő viselte különböző beavatkozások alkalmával, míg a „Felső 2” típusú felsőt és a leggingsset két-két fő tesztelte. Bár a vizsgálatban részt vevő személyek száma statisztikai szempontból nem tekinthető jelentősnek, a próbahasználat elegendő információval szolgált annak megítéléséhez, hogy van-e létjogosultsága az aláöltözet alkalmazásának.

⁴⁹ Az aláöltözetek gyártóra vonatkozó adatai a szerző magánarchívumában találhatók

⁵⁰ FR: Flame Retardant (Lángálló)

A kérdőív kiértékeléséhez ötfokozatú Likert-skálát alkalmaztam, mely lehetőséget adott a válaszadók számára, hogy árnyalt véleményt fogalmazzanak meg az egyes szempontokkal kapcsolatban [158]. A skála a legrosszabb (1) és a legjobb megítélésű (5) értékek között helyezkedett el, így jól érzékelhető különbségek rajzolódhattak ki a tesztelők szubjektív megítélése alapján.

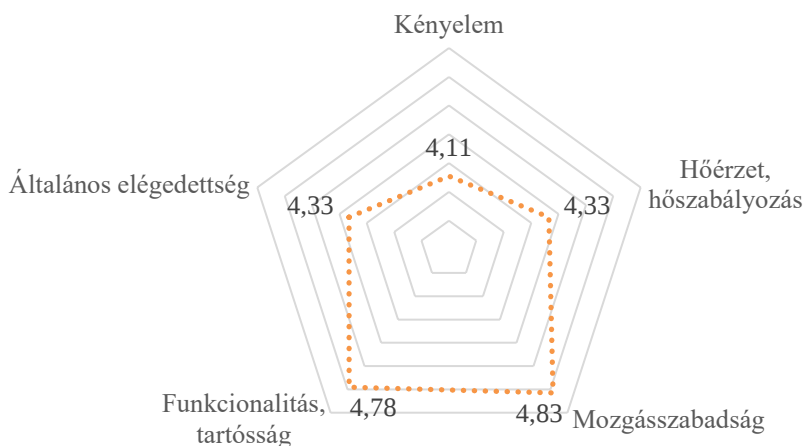
Az általam készített próbahasználati értékelőlap öt fő témakört érintett:

1. Kényelem
2. Hőérzet és hőszabályozás
3. Mozgásszabadság
4. Funkcionalitás és tartósság
5. Általános elégedettség

Az egyes témakörökön belül zárt kérdések szerepeltek, melyekre a válaszadók az előbb említett Likert-skála segítségével értékelhették a tapasztalataikat. A skála minden esetben egyértelműen meghatározott szélső értékeket tartalmazott, elősegítve az egyéni élmények objektív összevetését. A kérdések kitértek többek között az alöltözet kényelmére, testhez illeszkedésére, tisztíthatóságára stb., valamint arra, hogy a tesztelő ajánlaná-e más tűzoltóknak a darabot. A zárt kérdések mellett minden szakasz tartalmazott „Egyéb megjegyzés” részt, mely lehetőséget adott a szóveges észrevételek és személyes tapasztalatok rögzítésére is.

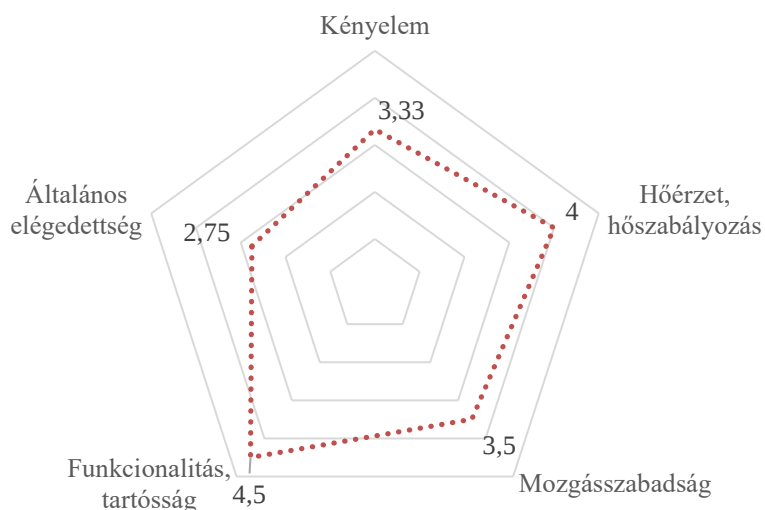
Az alábbiakban az egyes alöltözetekhez kapcsolódó értékelések részletes feldolgozása olvasható, a zárt kérdésekre adott válaszok alapján kialakult pontszámok és a tapasztalati észrevételek figyelembevételével.

11. diagram: „Felső 1” értékelése a próbahasználati lapok eredményei alapján, készítette a szerző



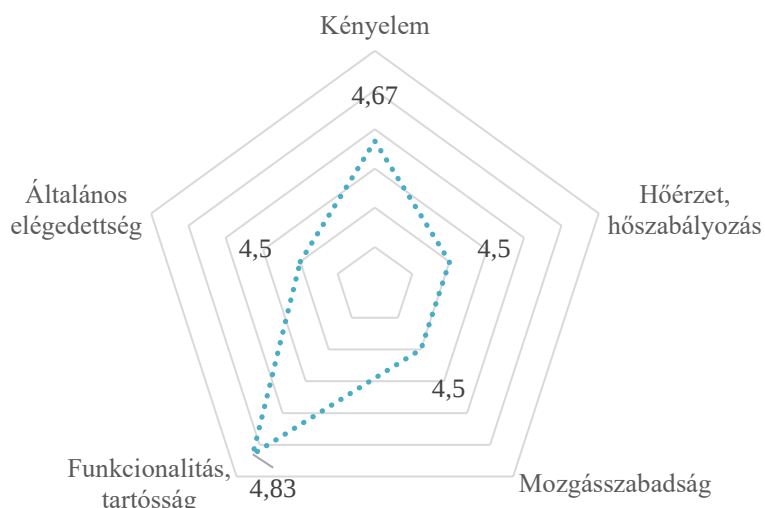
A „Felső 1” megnevezésű aláöltözetet három fő tesztelte, összesen 16 helyzetben: 4 tűzeset, 5 műszaki mentés és 7 kiképzés/gyakorlat során. Az értékelések (11. diagram) alapján a mozgásszabadság (átlag: 4,83) és a funkcionalitás-tartósság (átlag: 4,78) kategóriák kapták a legmagasabb pontszámokat. Ez arra utal, hogy az anyag rugalmassága és a kialakítás jól illeszkedett a tűzoltói mozgásformákhoz, miközben a szerkezet a gyakorlatban is tartósnak bizonyult. A hőérzet és hőszabályozás témakör (átlag: 4,33) szintén pozitív értékelést mutatott, mely összhangban van az anyagösszetétellel: a modifikált akril és pamut jó kombinációt képez a hőkomfort biztosítására, miközben az elasztán és antisztatikus szálak a rugalmasságot és a sztatikus feltöltődés elleni védelmet támogatják. A legalacsonyabb átlagos pontszám a kényelem témakörében jelentkezett (átlag: 4,11), mely nem kiugróan alacsony, de jelzi, hogy bizonyos részletek – például a varrások elhelyezése vagy az illeszkedés – fejlesztést igényelhetnek. Az általános elégedettség értéke (átlag: 4,33) a többi szemponttal arányosan alakult, különösebb kilengés nélkül.

12. diagram: „Felső 2” értékelése a próbahasználati lapok eredményei alapján, készítette a szerző



A „Felső 2” alöltözetet két fő próbálta összesen 11 helyzetben: 3 tűzeset, 3 műszaki mentés és 5 kiképzés/gyakorlat során. Az értékelések (12. diagram) alapján a legkiemelkedőbb eredmény a funkcionalitás és tartósság témakörében született (átlag: 4,50), különösen az anyag tisztítását és általános használhatóságát érintő kérdésekre adott válaszokban. A hőérzet és hőszabályozás témakör is magas pontszámokat mutatott (átlag: 4,00), mely megerősítheti, hogy az anyagösszetétel – FR viszkóz és Nomex szálak – valóban hozzájárul a megfelelő hőkomforthoz. A mozgásszabadságot 3,5 átlaggal értékelték a tesztelők. Az anyag rugalmasabb, a testre jobban rásimuló kialakítása elvben előnyös lenne, azonban a gyakorlatban némi kompromisszumot eredményezett. A szorosabb illeszkedés, illetve a csuklórésznél található hüvelykujj-bújtató mandzsetta hosszabb viselés során – különösen tűzoltó védőkesztyű alatt – kényelmetlenséget okozott. A szöveges visszajelzések szerint ez az elem feleslegesnek bizonyult és inkább hátráltatta a komfortérzetet. A kényelem (átlag: 3,33) és az általános elégedettség (átlag: 2,75) értékei tovább erősítik azt a visszajelzést, hogy bár az anyagszerkezet technikailag előnyös, a viselési élmény nem minden esetben felelt meg az elvárásoknak.

13. diagram: Leggings értékelése a próbahasználati lapok eredményei alapján, készítette a szerző



A leggings típusú aláöltözetet két fő tesztelte összesen 16 helyzetben: 4 tűzeset, 3 műszaki mentés, 3 katasztrófa-elhárítási feladat és 6 kiképzés/gyakorlat során. A visszajelzések alapján jó teljesítményt nyújtott (13. diagram). A funkcionalitás és tartósság témaköre kapta a legmagasabb értékelést (átlag: 4,83), mely az anyag kopásállóságára, a varrások stabilitására és a könnyű tisztíthatóságra utal. A mozgásszabadság és a hőérzet-hőszabályozás témakörök egyaránt 4,5 átlaggal szerepeltek, az anyag kellően rugalmas volt és a testmozgás során sem korlátozta a viselőt. A kényelem szempontja (átlag: 4,67) szintén magas pontszámokat kapott, azonban a szöveges megjegyzések alapján egyértelműen azonosítható egy lényeges gyakorlati nehézség: a leggings felvétele riasztás esetén problémás lehet, mivel a szűk szabás – különösen a bokarészen – megnehezíti a gyors öltözködést. Előfordulhat, hogy egyáltalán nem veszik fel a ruhaneműt vagy a sietségből adódó stressz, esetleg sérülés kockázata nőhet. A visszajelzések alapján felmerült egy bővebb szárú változat igénye is, melyet már a szolgálat kezdetén is kényelmesen viselni lehetne, így riasztás esetén nem okozna idővesztést. Az általános elégedettség 4,5 átlaga kedvező képet mutat, azonban a fent részletezett tényezők jól érzékeltetik, hogy a kialakítás praktikus alkalmazhatósága legalább olyan fontos, mint az anyagtechnikai megfelelés.

A tesztelés során három különböző típusú aláöltözet gyakorlati kipróbálása valós környezetben zajlott, tapasztalt tűzoltók bevonásával. A visszajelzések részletes, több szempontot figyelembe vevő kiértékelése lehetővé tette a funkcionális, kényelmi és hőkomfort szempontú vizsgálatot, miközben az egyéni észrevételek is fontos kiegészítő információkat nyújtottak. A módszer

előnye, hogy nemcsak az anyagösszetétel műszaki tulajdonságairól, hanem azok gyakorlati viselkedéséről és alkalmazhatóságáról is képet ad.

Az aláöltözeteket különböző típusú beavatkozás során, többek között tüzesetek és műszaki mentések során is használták, így a tesztelési körülmények jól tükrözik a tűzoltói munka valós terhelését. A visszajelzések rámutattak arra, hogy bizonyos részletek (pl.: mandzsetta kialakítás vagy felvételi idő) a mindennapi használat során meghatározóvá válhatnak, függetlenül az anyagminőség kedvező jellemzőitől.

A folyamat nem szolgált egyértelmű válasszal arra, hogy az aláöltözetek alkalmazása indokolt-e a tűzoltói gyakorlatban, ugyanakkor világosan megmutatta, érdemes olyan értékelőlapot alkalmazni, mely részletesebb bontásban, jól strukturált skálán méri a viselési tapasztalatokat. Ennek digitális formában történő rögzítése és feldolgozása gyors és összehasonlítható eredményeket biztosíthat, emellett az eredmények alapján megfogalmazható az igény további vizsgálatokra is, különösen olyan anyagkombinációk esetében, melyek magasabb szintű hővédelem vagy kényelmi szint elérését teszik lehetővé.

A kipróbálási folyamat során alkalmazott, általam összeállított kérdőív célzott, konkrét kérdéseket is tartalmazott. Ezek olyan gyakorlati szempontokra tértek ki, melyek a jelenlegi rendszeresítési lapon nem, vagy csak korlátozott formában jelennek meg. A kérdéssorban például szerepelt a következő kérdés: *„Érzett akadályt az aláöltözet miatt a védőruha felvételekor vagy mozgás közben?”* és *„Mennyire tartotta meg az aláöltözet az eredeti állapotát (pl. forma, szövet minősége) a használat után?”*. Az első kérdés a gyakorlati alkalmazhatóságot vizsgálja és rámutathat olyan problémákra, melyek a mozgást vagy a gyors öltözködést akadályozzák, a második pedig anyagmegtartás szempontjából nyújt értékes visszajelzést, különösen több mosás vagy beavatkozás után. Az ilyen típusú kérdések segítségével a felhasználói élmény mérhető formában rögzíthető. A teljes kérdőív kiértékelése a 7. mellékletben található.

Bár a jelenlegi nyomtatott értékelő lap is alkalmas lehet a problémák jelzésére, a tapasztalatok alapján célszerű lenne kiegészíteni további kérdésekkel. Az ötfokozatú Likert-skála lehetőséget adott a válaszok számszerűsítésére, ami nemcsak a kiértékelést könnyítette meg, hanem az eredmények összehasonlíthatóságát is javította. A skálázás egyúttal előkészíti a digitális feldolgozást is, melyet a 2. fejezetben bemutatásra kerülő rendszerben már célként foglaltam meg.

4.4 Részkövetkeztetések

A 4. fejezetben a klímaváltozás hatásainak elemzésén keresztül mutattam be, hogy a tűzoltói beavatkozások körülményei az elmúlt évek során jelentős mértékben megváltoztak. A meteorológiai szélsőségek közvetlenül befolyásolják a tűzoltói feladatok típusát és gyakoriságát. A meteorológiai és vonulási adatok összevetése során végzett statisztikai elemzések – köztük a Shapiro–Wilk próba és a Pearson-féle korreláció – egyértelműen rámutattak az időjárási tényezők és a szabadtéri tüzesetek gyakorisága közötti összefüggésre. A vizsgálat igazolta, hogy a klímaváltozás nemcsak közvetett módon, hanem számszerűsíthetően is hatással van a tűzoltói beavatkozások alakulására.

A vonulási adatok részletes elemzése során arra a következtetésre jutottam, hogy az elmúlt években fokozatos emelkedés tapasztalható a beavatkozások számában, különösen tavasszal és nyáron. Az éves és havi bontású statisztikák alapján jól látható, hogy tavasz elején – jellemzően február és március hónapokban – a gyakori esőzések, szélviharok, sőt helyenként jégeső következtében megnő a műszaki mentések száma. A nyár során a tartós hőség, a csapadékhány és az ezek nyomán kialakuló szabadtéri tüzek jelentik a legnagyobb kihívást, melyek érezhetően megnövelik a tüzeseti vonulások számát. A magas külső hőmérséklet és az ezzel járó fizikai megterhelés jelentős hőterhelést okoz a beavatkozó állomány számára, ami közvetlen hatással van a munkavégzés komfortjára és hatékonyságára. Mindez indokoltá teszi a jól szellőző, ergonomikus és az aktuális körülményekhez jobban alkalmazkodó védőruházati megoldások fejlesztését.

Az aláöltözetek gyakorlati kipróbálása során három különböző típusú ruhadarabot – két hosszú ujjú felsőt és egy leggings típusú alsót – tesztelttem valós beavatkozások alkalmával, melyek anyagösszetételük és szabásuk alapján eltérő komfort- és hővédelmi tulajdonságokkal rendelkeztek. A visszajelzések alapján az anyagminőség mellett kiemelt szerepet kaptak az olyan gyakorlati szempontok, mint a felvétel gyorsasága, a testhez való illeszkedés, a mozgásszabadság és a hőkomfort. A próbahasználat során egyértelműen kirajzolódott, hogy a kényelmi szempontok és az öltözködés gyakorlati kivitelezhetősége legalább olyan fontos, mint az anyagtechnikai megfelelés. Bár a vizsgálatban résztvevők száma korlátozott volt, a tesztelés elegendő információval szolgált ahhoz, hogy megalapozza a további vizsgálatok és célzott fejlesztések létjogosultságát, különösen nyári hőhullámok vagy elhúzódó beavatkozások esetén.

A visszajelzések feldolgozásához egy általam összeállított értékelőlapot használtam, mely ötfokozatú Likert-skálára épült. Ez lehetővé tette a szubjektív tapasztalatok számszerűsítését és összehasonlíthatóságát. A kérdések olyan konkrét szempontokra tértek ki, mint az anyag állapotának megőrzése használat után, vagy a védőruha viselése közbeni akadályoztatás. A válaszok alapján számos olyan tényezőt azonosítottam, amely a jelenlegi rendszeresítési folyamatban ritkán vagy egyáltalán nem jelenik meg. Mindez azt mutatja, hogy a felhasználói szempontokat jobban figyelembe vevő, részletesebb értékelési rendszerre van szükség.

Javaslatot tettem arra, hogy a jövőben, nemcsak aláöltözet, hanem bármely védőruha vagy eszköz esetében is, speciálisabb, jól felépített és könnyen kiértékelhető próbahasználati lap kerüljön alkalmazásra. Ez elősegítheti a gyakorlati visszajelzések pontosabb gyűjtését és elemzését, valamint támogatja a fejlesztések megalapozottságát. Mindez megalapozhatja azt a digitális visszacsatolási rendszert, melynek részleteit a 3. fejezetben mutattam be, különös tekintettel arra, hogyan járulhat hozzá a fejlesztési irányok pontosabb meghatározásához.

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

A fejezetek következtetéseinek összegzésével áttekintettem kutatásom főbb szakaszait, meghatározva a kitűzött célokat, az azok eléréséhez alkalmazott módszereket, valamint az elért eredményeket.

Az 1. fejezetben a tűzoltók védőruházatának ergonómiai szempontú vizsgálatát végeztem el, áttekintve a nemzetközi kutatásokat és fejlesztési irányokat. Elemzésem alapján megállapítottam, hogy bár számos kutatás foglalkozik a védőruhák fejlesztésével, a gyakorlatban több helyen még mindig kevésbé korszerű védőruházatot alkalmaznak, ami indokolttá teszi a fejlesztések felgyorsítását.

A tűzoltók munkakörnyezetének elemzése során azonosítottam azokat a veszélyforrásokat, amelyek a technológiai fejlődés és a pszichés terhelés hatására új kihívásokat jelentenek. Áttekintettem a védőruházat fejlődési folyamatát és az ergonómiai szempontok szabályozási hátterét, amelynek alapján arra jutottam, hogy az ergonómiai követelmények jelenlegi megfogalmazása nem elég részletes, ezért indokolt lenne azok pontosabb meghatározása.

A kutatás során nemzetközi tanulmányok eredményeit is vizsgáltam, melyek a védőruházat ergonómiai tulajdonságaira fókuszáltak. Ennek kapcsán megállapítottam, hogy a hazai szakirodalomban ilyen jellegű kutatások eddig nem kaptak kellő figyelmet, így a magyar nyelvű szakmai anyagok bővítése indokolt lenne. Ezt követően olyan kiegészítő megoldásokat mutattam be, melyek a beavatkozó tűzoltók számára fejlettebb technikai hátteret biztosíthatnának. Az elemzések alapján arra jutottam, hogy ezek az eszközök rövid távon a munkavédelem javításában, hosszabb távon pedig kutatási célok kiszolgálásában játszhatnak szerepet.

A kutatás részeként kérdőíves vizsgálatot végeztem, melyet 204 hazai és 113 nemzetközi tűzoltó töltött ki. A felmérés célja az volt, hogy átfogó képet adjon az egyéni védőruházatok ergonómiai és funkcionalitási jellemzőiről. A válaszok elemzése során kiderült, hogy mind hazai, mind pedig nemzetközi szinten hasonló hiányosságokat és fejlesztési igényeket fogalmaztak meg a kitöltők. Különösen kiemelkedő volt az igény a könnyebb, komfortosabb védőruhák iránt, valamint az évszakokhoz igazított változatok bevezetésére. Az eredmények igazolták, hogy a válaszadók által megfogalmazott javaslatok meghatározó szerepet játszhatnak a védőruházat fejlesztési irányainak kijelölésében.

A 2. fejezetben a tűzoltók védőruházatának karbantartási és tisztítási eljárásait vizsgáltam, különös tekintettel a jelenleg alkalmazott módszerek előnyeire és hátrányaira. Az elemzés során áttekintettem a különböző mosási és szárítási technikákat, valamint kiemelten foglalkoztam a szén-dioxidos száraztisztítás lehetőségeivel. Az eredmények arra mutattak rá, hogy a szén-dioxidos tisztítás hatékonysága jelentősen függ a szennyeződés típusától, így alkalmazása önmagában nem minden esetben biztosít kielégítő eredményt. A technológia optimalizálása érdekében további vizsgálatok elvégzésére tettem javaslatot, különösen a védőruházatok eltérő szennyeződési profiljainak figyelembevételével, illetve a módszer más tisztítási eljárásokkal való kombinálásának lehetőségével.

A kutatás részeként kérdőíves felmérést végeztem magyar és nemzetközi tűzoltók körében, melynek célja az eltérő mosási és szárítási gyakorlatok feltérképezése volt. Az eredmények azt mutatták, hogy a tisztítás elsődleges kiváltó oka mindkét országban a jelentős vagy átlagos mértékű szennyeződés, azonban a lengyel válaszadók kisebb mértékű szennyeződés esetén is gyakrabban végeznek tisztítást. Egy lengyel kérdőív eredményeinek elemzése, valamint az eredeti szerzővel folytatott konzultáció lehetőséget biztosított a kutatási adatok pontosabb értelmezésére. Az összehasonlítás rávilágított arra, hogy a tisztítási eljárásokat az adott országban rendelkezésre álló infrastruktúra és a szabályozási környezet nagymértékben befolyásolja.

Az impregnálásra vonatkozó kérdőíves felmérésem eredményei azt mutatták, hogy míg a nemzetközi gyakorlatban az impregnálás a védőruházat karbantartásának szerves részét képezi, addig a magyar tűzoltók körében kevésbé elterjedt, és sokan egyáltalán nem alkalmaznak impregnáló szereket. Az impregnálás hatékonyságának vizsgálata érdekében külső laboratóriumi tesztekét végeztettem, melyek során különböző használati állapotú védőruhamintákat elemeztek. Az eredmények igazolták, hogy az impregnálás hozzájárul a védőruházat funkcionális tulajdonságainak fenntartásához, ugyanakkor a mechanikai igénybevétel erősen befolyásolja a vízlepergető képesség csökkenését, így az intenzívebben igénybevett ruházati részek (például a nadrág térdrésze) fokozott karbantartást igényelnek.

A tűzoltói védőruházat tisztítási és dekontaminációs eljárásainak vizsgálata során kiemelten foglalkoztam a Skellefteå-modell által alkalmazott tisztítási módszerekkel, valamint a tisztítókendők használatával. A célom annak meghatározása volt, hogy ezek az eljárások milyen mértékben járulnak hozzá a tűzoltók egészségének védelméhez és a védőruházat hosszabb élettartamának biztosításához. Az eredmények azt mutatták, hogy a Skellefteå modell

alkalmazása hatékonyabbá tehetné a hazai tisztítási gyakorlatot, különösen a beavatkozásokat követő azonnali tisztítás szempontjából. Javaslatot tettem egy egységesített tisztítási eljárás bevezetésére, ami hosszú távon elősegíthetné a védőruházat állapotának megőrzését és a tűzoltók egészségének védelmét.

A 3. fejezetben a tűzoltók védőfelszereléseinek rendszeresítését, digitális nyomon követését és a kapcsolódó kockázatértékelési módszereket vizsgáltam. Elemzésem során feltártam a védőfelszerelések bevezetésének döntéshozatali folyamatait, és azonosítottam azokat a tényezőket, melyek a rendszeresítés hatékonyságát befolyásolják. Megállapítottam, hogy a kockázatértékelés kulcsszerepet játszik a védőeszközök megfelelőségének vizsgálatában, és ennek támogatására különböző módszertanokat javasoltam.

A kutatás során vizsgáltam a digitális nyomon követési rendszerek alkalmazási lehetőségeit is, különös tekintettel az RFID és NFC technológiákra. Nemzetközi példák alapján igazoltam, hogy ezek a megoldások hozzájárulhatnak a védőfelszerelések állapotának hatékonyabb monitorozásához és a karbantartási folyamatok optimalizálásához. Az eredmények alapján egy olyan szoftveres nyilvántartási rendszer bevezetésére tettem javaslatot, mely lehetővé tenné a védőfelszerelések használatával kapcsolatos adatok rögzítését, elemzését és a karbantartási előzmények nyomon követését.

Nemzetközi példák alapján igazoltam, hogy a digitális azonosítási és adatgyűjtési rendszerek hozzájárulhatnak a védőeszközök állapotának pontosabb monitorozásához és a karbantartási folyamatok optimalizálásához. Az eredmények alapján egy olyan szoftveres nyilvántartási rendszer alapjait dolgoztam ki, mely az egyéni védőfelszerelésekhez kapcsolódó adatokat rögzíti, elemzi és lehetővé teszi a felhasználói tapasztalatok dokumentálását. Ennek segítségével nemcsak az eszközök élettartama követhető nyomon, hanem a kockázati tényezők is csökkenthetők.

Megállapítottam, hogy a digitális nyilvántartási és rendszeresítési eljárások fejlesztése hozzájárulhat a védőfelszerelések hatékonyabb kezeléséhez, a tűzoltók biztonságának növeléséhez és a működési hatékonyság javításához. Jelenleg Magyarországon nem létezik egységes digitális nyomon követési rendszer a tűzoltók védőfelszereléseinek követésére, ezért javasoltam megvalósíthatósági vizsgálatok elvégzését és gyakorlati alkalmazásának elemzését.

A 4. fejezetben a klímaváltozás tűzoltói beavatkozásokra gyakorolt hatását és a kiegészítő védőruházat gyakorlati alkalmazhatóságát vizsgáltam. A vonulási és meteorológiai adatok elemzése alapján megállapítottam, hogy a szélsőséges időjárási jelenségek – különösen a nyári hőség és a csapadékhiány – jelentősen növelik a szabadtéri tüzek számát, ezáltal fokozzák a tűzoltók fizikai terhelését. A Shapiro–Wilk próba és a Pearson-féle korreláció alapján igazoltam, hogy az időjárási tényezők és a beavatkozások gyakorisága között szoros összefüggés áll fenn, ami indokoltá teszi a védőfelszerelések időjárási körülményekhez történő adaptálását.

A gyakorlati kutatás részeként három különböző aláöltözetet (két hosszú ujjú felsőt és egy leggings típusú nadrágot) teszteltettem valós beavatkozások során. A próbahasználat eredményei rávilágítottak arra, hogy nemcsak az anyagösszetétel és hőkomfort, hanem a viselhetőség, az öltözködés gyorsasága és a praktikus kialakítás is meghatározó szempont a felhasználói elégedettség szempontjából. A teszteléshez alkalmazott, saját fejlesztésű értékelőlap Likert-skálás kérdései lehetővé tették a tapasztalatok számszerűsített rögzítését és összehasonlítható értékelését.

A tapasztalatok alapján javaslatot tettem arra, hogy a jövőben – nemcsak aláöltözet, hanem bármely védőruha vagy eszköz esetében – speciálisabb, jól felépített és könnyen kiértékelhető próbahasználati lap kerüljön alkalmazásra. Ez hozzájárulhat a felhasználói visszajelzések pontosabb gyűjtéséhez, a fejlesztési irányok célzott meghatározásához, valamint egy digitális visszacsatolási rendszer megalapozásához.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A tűzoltók védőruházatára vonatkozó hazai jogszabályi környezet és ergonómiai követelmények elemzésével feltártam a jelenlegi szabályozás hiányosságait, különös tekintettel a visszacsatolási mechanizmusok és az ergonómiai értékelések rendszerére. Az eredmények alapján javaslatot tettem egy olyan visszacsatolási rendszer bevezetésére, mely lehetővé teszi a védőfelszerelések gyakorlati tapasztalatok alapján történő fejlesztését.
2. A tűzoltók egyéni védőfelszerelésének tisztítási és dekontaminációs folyamatait elemezve meghatároztam a különböző mosási és impregnálási eljárások hatékonyságát. Az eredmények alapján javaslatot tettem az optimális tisztítási és fertőtlenítési eljárásokra, figyelembe véve a vegyi anyagokkal való érintkezést, a textilszerkezet változását és a fenntarthatósági szempontokat.
3. A védőfelszerelések nyomon követésére és értékelésére egy digitális rendszer modellt dolgoztam ki, mely lehetőséget biztosít az egyes ruházati elemek állapotának rögzítésére, a használati idő, az elhasználódás és a sérülések dokumentálására. Az alkalmazott modell révén közel valós idejű és objektív adatok nyerhetők a védőfelszerelések hatékonyságáról és élettartamáról, ami megalapozottabb döntéshozatalt tesz lehetővé a fejlesztési irányok meghatározásában vármegyei vagy országos vonatkozásban, valamint a karbantartási és cserefolyamatok optimalizálásában.
4. Statisztikai módszerekkel igazoltam, hogy a klímaváltozással összefüggő időjárási tényezők hatással vannak a tűzoltói beavatkozások gyakoriságára. Ez alapján az aláöltözetek gyakorlati tesztelése és a hozzájuk kapcsolódó értékelőlap kidolgozása révén olyan visszacsatolási megoldást javasoltam, mely a jövőben digitálisan is alkalmazható különböző védőeszközök esetén. Emellett gyakorlati vizsgálatokkal alátámasztottam egy kiegészítő védőeszköz alkalmazhatóságát, mely hozzájárulhat a hőterhelés csökkentéséhez és a beavatkozó tűzoltók komfortérzetének növeléséhez.

AJÁNLÁSOK

Kutatómunkám során részletesen vizsgáltam a tűzoltók egyéni védőfelszerelésének tisztítási, nyomon követési és ergonómiai szempontjait, különös tekintettel a szabályozási hiányosságokra, a dekontamináció hatékonyságára, valamint a digitális nyilvántartási lehetőségekre. Munkám műszaki, ergonómiai és katasztrófavédelmi szakterületeket érint, miközben gyakorlati és matematikai módszerek alkalmazásával törekedtem a védőfelszerelések fejlesztési lehetőségeinek feltárására. Ennek megfelelően az értekezést ajánlom:

- a beavatkozó tűzoltóknak, akik napi szinten használják az egyéni védőfelszereléseket, és szeretnék megismerni a tisztítási, karbantartási és nyomon követési lehetőségeket.
- a katasztrófavédelem és a különböző formájú tűzoltóságok vezetőinek és döntéshozóinak, akik felelősek a védőfelszerelések rendszeresítéséért, karbantartásáért és fejlesztéséért.
- a védőruházat gyártóinak és forgalmazóinak, akik a kutatás eredményeit felhasználhatják a ruházat anyagának, tisztíthatóságának és ergonómiai tulajdonságainak fejlesztéséhez.
- a tűzoltósági logisztikai szakembereknek, akik a védőfelszerelések beszerzéséért, tárolásáért és karbantartásáért felelősek, és szeretnék optimalizálni a folyamatokat.
- az egészségügyi és munkaegészségügyi szakértőknek, akik a tűzoltók egészségügyi kockázatait vizsgálják, és érdekeltek a tisztítási és dekontaminációs eljárások fejlesztésében.
- a jogalkotóknak és szabályozó szervezeteknek, akik a tűzoltók egyéni védőfelszerelésére vonatkozó hazai és nemzetközi szabályozási környezetet alakítják és fejlesztik.
- a kutatóknak, doktoranduszoknak és egyetemi hallgatóknak, akik a katasztrófavédelem, tűzoltás-technika vagy ergonómia területén végeznek tudományos munkát, és kutatásom eredményei kiindulópontként szolgálhatnak számukra.

KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI FELHASZNÁLHATÓSÁGA

- A tűzoltók védőruházatára vonatkozó jogszabályi és ergonómiai hiányosságok feltárása hozzájárulhat a szabályozási környezet fejlesztéséhez. A kutatásom rávilágított arra, hogy a hazai jogszabályokban nincs megfelelő visszacsatolási rendszer a védőruházat gyakorlati használhatóságának értékelésére. Az eredményeim alapján javasolt módosításaim segíthetik a szabályozás pontosítását és az ergonómiai szempontok fokozottabb figyelembevételét.
- A tűzoltók egyéni védőruházatának tisztítási és dekontaminációs előírásai optimalizálhatók a kutatás eredményeim alapján. Az általam végzett vizsgálatok segíthetik a tűzoltóságokat és a védőruházat gyártóit abban, hogy hatékonyabb tisztítási és fertőtlenítési eljárásokat alkalmazzanak, ezáltal csökkenthető a felszerelésben maradó káros anyagok mennyisége, és növelhető a védőruházat élettartama.
- A tűzoltók egyéni védőfelszerelésének digitális nyomon követése hozzájárulhat a karbantartási folyamatok hatékonyságának növeléséhez. Az általam kidolgozott rendszer lehetőséget biztosít az egyéni védőruházatok állapotának dokumentálására, mely segítheti a tűzoltóságokat a megfelelő időben történő javítások elvégzésében. Az alkalmazásával csökkenthető a túlhasznált vagy már nem biztonságos védőruházat kockázata.
- A próbahasználati értékelések rendszerének fejlesztése pontosabb visszacsatolást biztosíthat a védőfelszerelések fejlesztői és beszerzői számára. A kutatásom során javasolt új értékelési módszer révén pontosabb információk nyerhetők a tűzoltók tapasztalatairól a védőruházat kényelmét és használhatóságát illetően, ezáltal a beszerzési döntések megalapozottabbá válhatnak, és a fejlesztési irányok jobban igazodhatnak a valós igényekhez.
- A kutatás eredményeim támogatják a védőruházatok fejlesztésére és rendszeresítésére vonatkozó döntéshozatalt. Az elemzéseim és javaslataim segíthetik a gyártókat és a tűzoltóságokat a védőruházatok műszaki paramétereinek továbbfejlesztésében.
- A klímaváltozás hatásainak vizsgálata és a vonulási adatok elemzése során rávilágítottam arra, hogy a fokozódó hőterhelés komoly kihívást jelent a tűzoltók számára, ami indokoltá teheti a szezonálisan adaptált védőruházatok fejlesztését. Az alöltözetek gyakorlati kipróbálása során alkalmazott, általam összeállított értékelési rendszer olyan visszacsatolási lehetőséget biztosít, mely a későbbiekben digitális formában is alkalmazható lenne más védőfelszerelések értékelésére.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] M. N. Sawka, L. R. Leon, S. J. Montain, S. A. Larry: Integrated Physiological Mechanisms of Exercise Performance, Adaptation and Maladaptation to Heat Stress, *Compr Physiol* 1 (4), 1883-1928 (2011) DOI: 10.1002/cphy.c100082
- [2] D. P. Hostler, S. E. Reis, J. C. Bednez, S. Kerin: Comparison of active cooling devices with passive cooling for rehabilitation of firefighters performing exercise in thermal protective clothing: A report from the fireground rehab evaluation (fire) trial, *Prehospital Emergency Care* 14 (3), 300-309 (2010) DOI: 10.3109/10903121003770654
- [3] Munkavédelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény.
- [4] A tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról szóló 1996. évi XXXI. törvény.
- [5] Az európai parlament és tanács EU 2016/425 rendelete az egyéni védőeszközökről és a 89/686/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről.
- [6] A munkavállalók munkahelyen történő egyéni védőeszköz használatának minimális biztonsági és egészségvédelmi követelményeiről szóló 65/1999. (XII. 22.) EüM rendelet.
- [7] A belügyminiszter irányítása alá tartozó rendvédelmi szervek munkavédelmi feladatai, valamint foglalkozás-egészségügyi tevékenysége ellátásának szabályairól szóló 70/2011. (XII. 30.) BM rendelet.
- [8] A személyi állomány egyéni védőeszközzel történő ellátásáról szóló 34/2021. számú Főigazgatói Intézkedés.
- [9] S.-Y. Son: Effect of Different Types of Firefighter Station Uniforms on Wearer Mobility using Range of Motion and Electromyography Evidence, *Fashion&Text. Res. J.* 21 (2), 209-219 (2019) DOI: 10.5805/SFTI.2019.21.2.209
- [10] C. Wu: Application of A New Firefighter Protective Clothing Material in Fire Rescue, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 612 (3), 1-5 (2019) DOI: 10.1088/1757-899X/612/3/032009
- [11] J. Smolander, K. Kuklane, D. Gavhed, H. Nilsson, I. Holmér: Effectiveness of a Light-Weight Ice-Vest for Body Cooling While Wearing Fire Fighter's Protective Clothing in the Heat, *International journal of occupational safety and ergonomics: JOSE* 10 (2), 111-117 (2004) DOI: 10.1080/10803548.2004.11076599
- [12] A. Urbán, Á. Restás: Making body temperature lower to raise the safety level of firefighter's invention, *ECOTERRA: Journal of Environment Research and Protection* 14 (1), 47-51 (2017)

- [13] E. Ismar, S. K. Bahadir, F. Kalaoglu, V. Koncar: Futuristic Clothes: Electronic Textiles and Wearable Technologies, *Global Challenges* 4 (3), 1-14 (2020) DOI: 10.1002/gch2.201900092
- [14] Restás Ágoston: Az erdőtüzek intenzitásának változása a globális klímaváltozás hatására. In Földi László, Hegedűs Hajnalka (szerk.): *Éghajlatváltozás okozta kihívások és lehetséges válaszok*, Budapest, Dialóg Campus, 2020. 91-106. ISBN 9789635311880
- [15] Bodnár L., Bérczi L. 2018: Beavatkozási biztonság vizsgálata a nagy kiterjedésű erdőtüzek kapcsán, *Műszaki Katonai Közlöny*, 28:4, 102-110.
- [16] Kerekes Z., Kővágó Á. 2019: Fokozottan tűzveszélyes környezetben alkalmazott védőruhák réteganyagainak tűzvédelmi minősítése, *Védelem Tudomány*, 4:3, 1-26.
- [17] A. Polanczyk, A. Piechota-Polanczyk, A. Dmochowska, M. Majder-Lopatka, Z. Salamonowicz: Analysis of the Effectiveness of Decontamination Fluids on the Level of Biological Contamination of Firefighter Suits, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17 (8), 1-10 (2020) DOI: 10.3390/ijerph17082815
- [18] K. Lovén, L. Hagvall, J. Rex, C. A. Nilsson, V. Malmberg, J. Pagels, B. Strandberg, M. Hedmer: Characterization of exposure to air pollutants for workers in and around fires, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 21 (12), 878-894 (2024) DOI: 10.1080/15459624.2024.2406244
- [19] H. Wingfors, J. Rattfelt Nyholm, R. Magnusson, C. Hammar Wijkmark: Impact of Fire Suit Ensembles on Firefighter PAH Exposures as Assessed by Skin Deposition and Urinary Biomarkers, *Annals of Work Exposures and Health* 62 (2), 221-231 (2018) DOI: 10.1093/annweh/wxx097
- [20] Pántya P. 2023: Műszaki fejlesztési lehetőségek a tűzoltóságok légzésvédelme terén, *Hadmérnök* 18:1, 75-92.
- [21] Horváth L. 2020: Tűzoltó laktanya munkavédelmi szemmel, *Hadmérnök* 17:3, 59-69.
- [22] L. Horváth: Examination of the Application of Currently Used, New or Additional Firefighting Personal Protective Equipment, *AARMS* 21 (3), 49-70 (2022) DOI: 10.32565/aarms.2022.3.3
- [23] L. Horváth: The Psychological Effect of Wearing Firefighter Personal Protective Equipment on the Firefighter. In Čabalová Iveta (szerk.): *ŠVOČ Student Scientific and International Conference*, Technical University in Zvolen, 2023, 43-52.
- [24] A. C. Mayer, K. W. Fent, S. Bertke, G. P. Horn, D. L. Smith, S. Kerber, M. La Guardia: Firefighter hood contamination: Efficiency of laundering to remove PAHs and FRs, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 16 (2), 129-140 (2019) DOI: 10.1080/15459624.2018.1540877
- [25] Országos Mentőszolgálat Alapítvány: Égési sérülés, <https://mentoalapitvany.hu/egesi-serules>. Letöltés ideje: 2024.12.15.
- [26] Pántya Péter: *Zárt térben történő tűzoltói beavatkozások kockázatának csökkentése*, Doktori (PhD) értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest, 2011.

- [27] R. Orr, V. Simas, E. Canetti, B. Schram: A Profile of Injuries Sustained by Firefighters: A Critical Review, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16 (20), 1-20 (2019) DOI: 10.3390/ijerph16203931
- [28] Szendi R. 2011: A katasztrófák csoportosításának lehetőségei, *Hadtudomány szemle* 4: 4, 163-171.
- [29] Padányi J. 2023: Éghajlatváltozás, természeti katasztrófák, környezeti hatások, katonai képességek, *Hadtudomány*, 33: Elektronikus lapszám, 101-119.
- [30] Lilla Horváth, Péter Pántya: Firefighter personal protective equipment used during eradication of the consequences of natural diseases. In: Bleszity János (szerk.): *Különszám a 2022. november 10-én megrendezésre került a Katasztrófák Csökkentésének Világnapja alkalmából szervezett Nemzetközi Tudományos Konferencia tudományos közleményeiből*, Polgári védelmi Szemle, Budapest, 2023, 192-201.
- [31] Lajos Kátai-Urbán: *Handbook for the Implementation of the Basic Tasks of the Hungarian Regulation on Industrial Safety*, Budapest, Nemzeti Közsolgálati Egyetem, 2014. 6-10.
- [32] C. Patisa, M. Chalaris: Chemical incidents Impact in the Psychological Risks of Firefighters An Analysis of the Findings for the Stress Factors in the Personnel of Hellenic Fire Corps, *International Journal of Scientific&Engineering Research* 7 (9), 1761-1764 (2016)
- [33] P. Pántya: Possibilities and dangers for the fire protection in the field of alternative energy sources, *Védelem Tudomány* 6 (3) 287-296 (2021)
- [34] Robert Backstrom, David A. Dini: *Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project*, Underwriters Laboratories Inc., Northbrook, USA, 2011.
- [35] Restás Á. 2016: Pszichológia a tűz frontvonalában, *Védelem Tudomány*, 1:3, 46-56.
- [36] Kiss Enikő Csilla, Sz. Makó Hajnalka: *Gyász, krízis, trauma és a megküzdés lélektana*, Pécs: Pro Pannonia Kiadói Alapítvány, 2015.
- [37] P. Pántya, L. Horváth: Presentation of the Hazardous Environment in the Light of Firefighting Activity, *Műszaki Katonai Közlöny* 33 (1) 85-93 (2023)
- [38] Huszka Z., Rác S., Bodnár L. 2022: Tűzoltói beavatkozások veszélyforrásai és munkabiztonsága, *Védelem Tudomány* 7:2, 26-39.
- [39] A. Walczak, D. Pieniak, P. Lonkwa, W. Kupicz, S. Ptak, P. Piątek, W. Wąsik, A. Renkas: Impact of the Development of the Design of Firefighter Helmets, *Advances in Science and Technology Research Journal* 17 (6), 171-184 (2023) DOI: 10.12913/22998624/171753
- [40] M. M. Islam, Y. Wu: Function Design of Firefighting Personal Protective Equipment: A Systematic Review, *Journal of Textile Science&Fashion Technology* 6 (5), 1-8 (2020) DOI: 10.33552/JTSFT.2020.06.000650

- [41] MSZ EN 443:2008 szabvány, Védősisakok épületekben és más szerkezetekben végzett tűzoltáshoz.
- [42] MSZ EN 16471:2015 szabvány, A Tűzoltósisakok. Terepi tűzoltásra alkalmas sisakok.
- [43] MSZ EN 16473:2015 szabvány, A Tűzoltósisakok. Műszaki mentésre alkalmas sisakok.
- [44] Nightstick, <https://www.nightstick.com/collections/helmet-lights/products/xpp-5418gx-k01>. Letöltés ideje: 2025.02.03.
- [45] Fire Cam, <https://firecam.com/fire-helmet-cameras/> Letöltés ideje: 2025.02.01.
- [46] Foxfury: How To Choose Helmet Lights for Firefighters <https://www.foxfury.com/how-to-choose-helmet-lights-for-firefighters/> Letöltés ideje: 2025.02.01.
- [47] Tomka P. - Pántya P. 2023: Hőkamerák alkalmazhatósága a tűzoltósági, katasztrófavédelmi területek során, *Polgári Védelmi Szemle* 15: DAREnet projekt Különszám, 202-211.
- [48] Dräger FPS® 7000 szemmagasságú kijelző (HUD), https://www.draeger.com/hu_hu/Products/FPS-7000-Head-up-Display-HUD. Letöltés ideje: 2025.02.06.
- [49] R. M. Kesler, A. Mayer, K. W. Fent, I.-C. Chen, S. A. Deaton, B. R. Ormond, D. L. Smith, A. Wilkinson, S. Kerber, G. P. Horn: Effects of firefighting hood design, laundering and doffing on smoke protection, heat stress, and wearability, *Ergonomics*, 64 (6), 755-767 (2021) DOI: 10.1080/00140139.2020.1867241
- [50] MSZ EN 13911:2018 szabvány, A védőruházat tűzoltók részére. A tűzoltók kármzsáinak követelményei és vizsgálati módszerei.
- [51] S. M. Hoque, P. I. Dolez: Aging of high-performance fibers used in firefighters' protective clothing: State of the knowledge and path forward, *Journal of Applied Polymer Science*, 140 (32), 1-43 (2023) DOI: 10.1002/app.54255
- [52] P. Pántya, L. Horváth: Analysis of the Material Characteristics of Firefighter Personal Protective Clothing, *Hadmérnök*, 18 (2), 73-81 (2023)
- [53] C. Arvinte, A. V. Sandu, D. D. Burduhos-Nergis, M. A. Bernevig Sava, C. Bejinariu: Technical requirements and materials used in firefighters gloves manufacturing, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, Romania, 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/572/1/012070
- [54] MSZ EN 659:2003+A1 szabvány, Védőkesztyűk tűzoltók részére.
- [55] MSZ EN ISO 21420 szabvány, Védőkesztyűk. Általános követelmények és vizsgálati módszerek.
- [56] MSZ EN 388:2016+A1 szabvány, Védőkesztyűk mechanikai kockázatok ellen.
- [57] Horváth Lilla: A tűzoltó egyéni védőeszközök fejlesztési lehetőségei ergonómiai szempontok alapján. In: Göcze, István; Padányi, József (szerk.): *Húsz év a katonai műszaki tudományok szolgálatában: A katonai műszaki tudományok tudományág*

időszerű kérdései, aktuális tudományos kutatási eredményei - Hallgatói kötet, Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2023, 71-80. ISBN 9786156598370

- [58] MSZ EN ISO 20345:2022, Egyéni védőeszközök. Biztonsági lábbeli.
- [59] MSZ EN 15090:2012 szabvány, Tűzoltólábbeli.
- [60] A tűzoltó kézilétrák, magasból történő leesésnek vagy az esés hatásának megelőzésére szolgáló egyéni védőeszközök, felszerelések és tűzoltókötelek időszakos ellenőrzéséről, felülvizsgálatáról szóló 16/2018. sz. Főigazgatói Intézkedés.
- [61] MSZ EN 358:2018 szabvány, Egyéni védőeszközök munkahelyzetekhez és magasból való lezuhanás megelőzésére. Övek és szíjak a munkahelyzet beállítására vagy fékezésére.
- [62] MSZ 1027:2016 szabvány - Tűzoltómászóöv.
- [63] MSZ EN 352-2:2020+A1 szabvány - Hallásvédők. Általános követelmények. 2. rész: Földugók.
- [64] Baumstark Dávid, Szelid Zoltán: Rendvédelmi szervek és alapfeladatok, Katasztrófavédelmi ismeretek Középiskolások számára, 2018. https://bmkszf.hu/dokumentum/2716/Rendvedelmi_szervek_es_alapfeladatok_Katasztrofavedelmi_ismeretek.pdf. Letöltés ideje: 2025.02.18.
- [65] Berek L., Solymosi J. 2015: Veszélyes anyagok szállításának biztonsága, *Bolyai Szemle*, 24:2, 46-62.
- [66] Czikora László, Major Lajos, Diriczi Miklós és Dobos Gábor: *Műszaki ismeretek I. A tűzoltó szakképzésben résztvevők számára*, BM Katasztrófavédelmi Oktatási Központ, 2003.
- [67] Pántya P., Hózer B. 2024: A magyar tűzoltósági és légoltalmi légzésvédelmi eszközök történeti áttekintése a 19. és a 20. század fordulóján – 1. rész, a szűrőjellegűek, *Műszaki Katonai Közlöny*, 34:2, 127-140.
- [68] Szilágyi János, Szabó Károly: A tűzrendészet fejlődése az őskortól a modern időkig, Budapest, BM könyvkiadó, 1986. 136. ISBN: 2399954914234
- [69] Hózer Benjámin: *Egyszervolt tűzoltóeszközök című vándorkiállítás*, Budapest, Katasztrófavédelem Központi Múzeuma, <https://muzeum.katasztrofavedelem.hu/37998/2024-egyszervolt-tuzoltoeszkozok> Letöltés ideje: 2025.02.15., Eseményen részvétel: 2024.11.30.
- [70] Magyar Tűzoltó Szövetség: Tűzoltó Fölszerelési Szabályzat, Budapest: Márkus Samu könyvnyomdája, 1898. 25-45.
- [71] Magyar Tűzoltó Szövetség: Tűzrendészeti Szervek egyenruházata, öltözködése és tiszteletadása, Budapest, Magyar Királyi Állami Nyomda, 1940. 63-67.
- [72] Varga Ferenc, Hózer Benjámin: *Kiállítás ismertető az Egyszervolt tűzoltóeszközök című időszaki tárlatról*, Katasztrófavédelem Központi Múzeuma, <https://muzeum.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2025-02/85188.pdf> Letöltés ideje: 2025.03.01.

- [73] Katasztrófavédelem (Instagram), <https://www.instagram.com/p/DFpIHRCNxoC/?igsh=MWF1czlpcnJ0b3V0ZA==>.
Letöltés ideje: 2025.03.04.
- [74] Salty Dog, Gettin Salty Apparel <https://gettinsaltyapparel.com/blog/wearing-their-fire-helmets-backwards/>. Letöltés ideje: 2024.11.27.
- [75] Thomas W. Herminghaus: Feuerwehrrhelme Eine Entwicklungsgeschichte, Florian International, 84-90. 1995.
- [76] P. Hasenmeier: Fire Engineering, <https://www.fireengineering.com/fire-prevention-protection/the-history-of-firefighter-personal-protective-equipment/#gref>. Letöltés ideje: 2024.11.27.
- [77] Britannica: Carl Shipp Marvel, <https://www.britannica.com/biography/Carl-Shipp-Marvel#ref921485>. Letöltés ideje: 2025.01.09.
- [78] SwicoFil, <https://www.swicofil.com/commerce/products/pbi/316/introduction>. Letöltés ideje: 2025.01.09.
- [79] Izsó Lajos, Antalovits Miklós: *Emberi tényezők az információs technológiák fejlesztésében, bevezetésében és alkalmazásában, Bevezetés az információ-ergonómiába*, Budapest, Budapesti Műszaki Egyetem Ergonómia és Pszichológia Tanszék, 2000.
- [80] Kopp M. 2007: Selye János 1907–1982. Mit jelent Selye János munkássága a mai magyar társadalom számára?, *Magyar Tudomány* 167:5, 614-617.
- [81] Magyarország Alaptörvénye, 2011. április 25.
- [82] MSZ EN 469:2020, Védőruházat tűzoltók részére. Tűzoltási tevékenységek védőruházatának teljesítménykövetelményei.
- [83] MSZ EN ISO 13688:2013 - Védőruházat. Általános követelmények.
- [84] MSZ ISO/TR 21808 szabvány - A tűzoltók védelmére tervezett egyéni védőeszközök kiválasztásának és használatának legjobb gyakorlatai.
- [85] S. H. Eryuruk, H. Gidik, V. Koncar, F. Kalaoglu, X. Tao, Y. Saglam: Heat and moisture transfer properties of a firefighter clothing with a new fire-resistant underwear, *Journal of Industrial Textiles* 51 (3S), 4480S-4513S (2022) DOI: 10.1177/1528083721993775
- [86] A. Shaid, L. Wang, R. Padhye: The thermal protection and comfort properties of aerogel and PCM-coated fabric for firefighter garment, *Journal of Industrial Textiles* 45 (4), 611-625 (2016) DOI: 10.1177/1528083715610296
- [87] K. Zovko, L. Šerić, T. Perković, H. Belani, P. Šolić: IoT and health monitoring wearable devices as enabling technologies for sustainable enhancement of life quality in smart environments, *Journal of cleaner production* 413, 1-12 (2023) DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137506
- [88] A. A. Ibrahim, M. Khan, C. Nnaji, A. S. Koh: Assessing Non-Intrusive Wearable Devices for Tracking Core Body Temperature in Hot Working Conditions, *Applied Sciences* 13 (11), 1-17 (2023) DOI: 10.3390/app13116803

- [89] M. Callihan, H. Cole, H. Stokley, J. Gunter, K. Clamp, A. Martin, H. Doherty: Comparison of Slate Safety Wearable Device to Ingestible Pill and Wearable Heart Rate Monitor, *Sensors* 23 (2), 1-13 (2023) DOI: 10.3390/s23020877
- [90] SlateSafety és Lee University: Industrial Athlete Core Temperature Accuracy Analysis of Commercial Arm Worn Device vs Rectal Thermometry, https://slatesafety.com/wp-content/uploads/2024/01/Case-Study-Core-Temp-Rectal_20200929.pdf. Letöltés ideje: 2025.01.16.
- [91] L. Horváth, P. Pántya: New Methods of Maintenance and Cleaning of Firefighter's Protective Clothing by Dry Cleaning, *Hadmérnök* 19 (3), 85-95 (2024)
- [92] World Health Organization: Policiklusos Aromás Szénhidrogének (PAH), <https://cancer-code-europe.iarc.fr/index.php/hu/12-mod/szennyezo-anyagok/758-szennyezo-anyagok-keretes/4337-4-keretes-iras-policiklusos-aromas-szenhidrogenek-pah>. Letöltés ideje: 2025.02.03.
- [93] M. S. Hoque, P. I. Dolez: Impact of photochemical aging on high-performance fabrics used in firefighters' protective clothing, *Journal of Polymer Science* 62 (23), 5347-5371 (2024) DOI: 10.1002/pol.20240104
- [94] Martinizing Dry Cleaning: Who invented dry cleaning? <https://drycleaningca.com/blog/who-invented-dry-cleaning/>. Letöltés ideje: 2024.06.25.
- [95] S. Sutanto, M. J. E. van Roosmalen, G. J. Witkamp: Mechanical action in CO₂ drying cleaning, *The Journal of Supercritical Fluids* 23, 138-143 (2014)
- [96] S. Madsen, C. Robbins, A. Robbins: Carbon Dioxide-Based Cleaning of Military Textiles, *Military Textiles*, Energy and Development Division, Final Report, 3-4. (2021)
- [97] Siox Machines, <https://www.sioxmachines.com/processes/>. Letöltés ideje: 2025.02.15.
- [98] A. Girase, D. Thompson, R. B. Ormond: Comparative Analysis of the Liquid CO₂ Washing with Conventional Wash on Firefighters' Personal Protective Equipment (PPE), *Textiles* 2 (4), 624-632 (2022) DOI: 10.3390/textiles2040036
- [99] E. Szmytko, D. Brzezinska, W. Machnowski, S. Kokot: Firefighters' Clothing Contamination in Fires of Electric Vehicle Batteries and Photovoltaic Modules—Literature Review and Pilot Tests Results, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19 (19), 1-15 (2022) DOI: 10.3390/ijerph191912442
- [100] CO₂DEX, <https://co2dex.com/>. Letöltés ideje: 2025.01.25.
- [101] Bodnár László: *Az erdőtüzek oltásának hatékonyságát növelő módszerek kutatása és fejlesztése*, PhD (Doktori) értekezés, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2021.
- [102] S. M. Krzemińska, M. Szewczyńska: Hazard of chemical substances contamination of protective clothing for firefighters - A survey on use and maintenance, *Int J Occup Med Environ Health* 35 (2), 235-248, (2022) DOI: 10.13075/ijomh.1896.01868

- [103] Manteco: What is the difference among water-resistant, water-repellent and water-proof clothing? <https://manteco.com/what-is-the-difference-among-water-repellent-water-resistant-and-water-proof-clothing/>. Letöltés ideje: 2024.10.15.
- [104] W. C. Smith: Overview of textile coating and lamination, in William C Smith (szerk.): Smart Textile Coatings and Laminates, Woodhead Publishing Series in Textiles, 2010, 3-9.
- [105] K. Jeyasubramanian, G. S. Hikku, A. V. M. Preethi, V. S. Benitha, N. Selvakumar: Fabrication of water repellent cotton fabric by coating nano particle impregnated hydrophobic additives and its characterization, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 37, 180-189 (2016) DOI: 10.1016/j.jiec.2016.03.023
- [106] A kelmék felületi nedvesítéssel szembeni ellenállásának meghatározásáról szóló MSZ EN ISO 4920:2013 szabvány.
- [107] S. Magnusson, D. Hultman: Healthy Firefighters – the Skellefteå Model improves the work environment, Swedish Civil Contingencies Agency (MSB), 2015. ISBN: 9789173835701
- [108] Leader Group, <https://www.leader-group.company/en/firefighting-equipment/diphasic-cleaning-and-drying-mobile-system>. Letöltés ideje: 2025.02.18.
- [109] Európai Parlament és a Tanács kozmetikai termékekről szóló 1223/2009/EK rendelet.
- [110] Európai Parlament és a Tanács biocid termékek forgalmazásáról és felhasználásáról szóló 528/2012 rendelet.
- [111] FireHose Direct, <https://firehosedirect.com/collections/911wipes>. Letöltés ideje: 2025.02.10.
- [112] Firewipes, <https://firewipes.com/>. Letöltés ideje: 2025.02.10.
- [113] Cleanic, <https://cleanicnaturals.hu/nedves-toalettpapirok-es-torlokendok/>. Letöltés ideje: 2025.02.11.
- [114] Pampers Sensitive törölkendő, <https://www.pampers.hu/termek/pampers-sensitive-torlokendo>. Letöltés ideje: 2025.02.11.
- [115] smart-TEC, „RFID technology for personal protective equipment, <https://www.smart-tec.com/en/industries-and-applications/branches/personal-protective-equipment>. Letöltés ideje: 2025.03.14.
- [116] Szalánczi-Orbán Virág: Digitalizáció a logisztikában, digitális kihívások. In Közgazdász Doktoranduszok és Kutatók IV. Téli Konferenciája, Szent István Egyetem, Gödöllő, 2018. ISBN 9789632697680
- [117] BM OKF: Rendszerezési eljárásrend, <https://katasztrofavedelem.hu/218/rendszerezitesi-eljarasrend>. Letöltés ideje: 2025.02.12.
- [118] A rendszerezítésre kötelezett termékek rendszerezési eljárásáról szóló 12/2020. számú BM OKF Intézkedés

- [119] B. R. Brisbine, C. R. Radcliffe, M. L. H. Jones, L. Stirling, C. E. Coltman: Does the fit of personal protective equipment affect functional performance? A systematic review across occupational domains, *PLOS One* 17 (11), 1-31 (2022) DOI: 10.1371/journal.pone.0278174
- [120] M. McQuerry, S. Schofield: Structural firefighter personal protective clothing user needs in the US: a mobility perspective, *Emergency Management Science and Technology* 3 (15), 1-9 (2023) DOI: 10.48130/EMST-2023-0015
- [121] S. Iqbal, L. Pison-Young: The Delphi method, <https://www.bps.org.uk/psychologist/delphi-method>. Letöltés ideje: 2025.03.02.
- [122] d. S. Chuenjitwongsa: Cardiff University: How to conduct a Delphi Study? https://www.cardiff.ac.uk/_data/assets/pdf_file/0010/1164961/how_to_conduct_a_delphistudy.pdf. Letöltés ideje: 2025.03.02.
- [123] Feketéné Szakos É. 1998: A Delfi módszer és alkalmazásának lehetőségei a neveléstudományban, *Magyar Pedagógia*, 98:4, 363-376.
- [124] How to Assess Risk Using FMEA, Relyence Corporation, <https://relyence.com/wp-content/uploads/2020/09/FMEA-Risk-Assessment-White-Paper.pdf>. Letöltés ideje: 2025.02.22.
- [125] Relyence, <https://relyence.com/products/fmea/>. Letöltés ideje: 2025.02.25.
- [126] Juhász L. 2016: A hibamód- és hatáselemzés irodalmi áttekintése, *Repüléstudományi Közlemények* 28 (3), 95-108.
- [127] Inspired Economist, „What If Analysis: A Detailed Examination of Financial Scenario Planning,” <https://inspiredeconomist.com/articles/what-if-analysis/>. Letöltés ideje: 2025.03.06.
- [128] CIPD, SWOT analysis, <https://www.cipd.org/en/knowledge/factsheets/swot-analysis-factsheet/#advantages-and-disadvantages-of-using-swot-analysis>. Letöltés ideje: 2025.03.10.
- [129] PSTRax, <https://pstrax.com/>. Letöltés ideje: 2025.02.28.
- [130] PSTRax PPE, <https://pstrax.com/ppe-checks/>. Letöltés ideje: 2025.02.28.
- [131] Vector Solutions, <https://www.vectorsolutions.com/industries/public-safety/fire-departments/>. Letöltés ideje: 2025.02.28.
- [132] MSA PPE Tracker System, <https://us.msasafety.com/ppe-tracker?locale=en>. Letöltés ideje: 2025.03.04.
- [133] PPE Tracker 2.0 - Help Document, https://s7d9.scene7.com/is/content/minesafetyappliances/PPETracker_Help_Document_3.3.15. Letöltés ideje: 2025.03.04.
- [134] A. Jeffrey, H. Berkwits, J. Sheedy, S. M. Middendorf, C. M. Sommerich, S. L. Glasser, B. R. Blais, A. Hedge, M. Oxenburgh, P. Marlow, *Visual Ergonomics Handbook*, Boca Raton, Taylor & Francis Group, 2005. ISBN: 9781420032055

- [135] Igaz-Danszky Tamás: A katasztrófavédelmi műveletirányítást támogató szoftver fejlesztései és tapasztalatai. In: Földi László (szerk.): *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III.*, Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, 2022. 145-168. ISBN 9789635317035
- [136] Debreceni P. 2021: Magyarországi vegetációtüzek keletkezési okainak vizsgálata és osztályozása, *Műszaki Katonai Közlöny* 31:4, 111-128.
- [137] Bencsik Anikó, Füzesi István: Az RFID technológia alkalmazása a termék nyomonkövetésében. In: *Agrárgazdaság, Vidékfejlesztés, Agrárinformatika Nemzetközi Konferencia (AVA3)*, Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Agrárgazdasági és Vidékfejlesztési Kar, Debrecen, 2007.
- [138] myPOS: Rádiófrekvenciás azonosítás: mi az az RFID, és hogyan működik? <https://www.mypos.com/hu-hu/blog/tippek/radiofrekvencias-azonositas-mi-az-az-rfid-es-hogyan-mukodik>. Letöltés ideje: 2025.03.01.
- [139] Naser Hossein Motlagh: *Near Field Communication (NFC), A technical review*, Master's thesis for the degree of Master of Science in Technology submitted for inspection, University of Vaasa, Vaasa, 2012.
- [140] Microsoft: Mi a felhőtárhely?, <https://azure.microsoft.com/hu-hu/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-storage>. Letöltés ideje: 2025.03.02.
- [141] C. X. Cunningham, G. J. Williamson, D. M. J. S. Bowman: Increasing frequency and intensity of the most extreme wildfires on Earth, *Nature Ecology&Evolution* 8 (8), 1420-1425 (2024) DOI: 10.1038/s41559-024-02452-2
- [142] Európai Bizottság: Az éghajlatváltozás okai, https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_hu. Letöltés ideje: 2025.01.23.
- [143] EASAC: Szélsőséges időjárási jelenségek Európában és hatásuk a nemzeti, valamint az uniós alkalmazkodási stratégiákra, EASAC 22. sz. szakpolitikai jelentés, Magyar Tudományos Akadémia, https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Extreme_Weather/Extreme_Weather_Hungarian.pdf Letöltés ideje: 2025.02.03.
- [144] IPCC Sections. In: *Climate Change: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth,” IPCC, Geneva, Switzerland, 35-115, 2023.
- [145] M. T. Chaudhary, A. Piracha: Natural Disasters—Origins, Impacts, Management, *Encyclopedia*, 1 (4) 1101-1131 (2021) DOI: 10.3390/encyclopedia1040084
- [146] Teknős L. 2024: Természeti katasztrófák tendenciális változásainak elemzése, értékelése *Belügyi Szemle*, 2, 267-287.
- [147] Francis, Woodwell Climate research Center: Jennifer A. <https://www.woodwellclimate.org/staff/jennifer-francis/>. Letöltés ideje: 2024.05.29.
- [148] Horváth Lilla: Importance of firefighter's personal protective equipment in particular to wildfires. In Lestyán Mária, Bodnár László, Érces Gergő, Varga, Ferenc (szerk.): *International Disaster Management Scientific Conference - Focus on Changes in the Fire Safety Situation*, Magyar Tűzvédelmi Szövetség, 2024.

- [149] M. W. Jones, S. Veraverbeke, N. Andela, S. H. Doerr, C. Kolden, G. Mataveli, M. L. Pettinari, C. Le Quéré, T. M. Rosan, G. R. dan der Werf, D. van Wees, J. T. Abatzoglou: Global rise in forest fire emissions linked to climate change in the extratropics, *Science* 386 (6719), 1-12 (2024) DOI: 10.1126/science.adl5889
- [150] Global Forest Watch: Forest Monitoring Designed for Action, <https://www.globalforestwatch.org/>. Letöltés ideje: 2024.05.29.
- [151] Bodnár L., Komjáthy L. 2018: Erdőtűz megelőzési módszerek erdészeti megoldásai, *Hadmérnök*, 13:2, 117-125.
- [152] Magyarország és Budapest időjárásának adatai, https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0037.html. Letöltés ideje: 2025.01.27.
- [153] Osztényiné Krauczi É. 2015: Eloszláscsaládokhoz való illeszkedés vizsgálata, *Gradus*, 2:2, 52-62.
- [154] Cheng Chun Man: *Effects of uniforms on firefighters thermal stresses*, PhD, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, 2018.
- [155] Krystian, <https://www.pwkrystian.com/product/long-sleeved-shirt/>. Letöltés ideje: 2025.01.03.
- [156] Krystian, <https://www.pwkrystian.com/product/mens-multi-protective-t-shirt/>. Letöltés ideje: 2025.01.03.
- [157] Krystian, <https://www.pwkrystian.com/product/gaiters/>. Letöltés ideje: 2025.01.03.
- [158] Zerényi K. 2016: A Likert-skála adta lehetőségek és korlátok, *Opus et Educatio* 3:4, 470-478.
- [159] L. M. Boorady: Bunker Gear for Fire Fighters: Does it fit today's fire fighters?, *Journal of Textile and Apparel Technology and Management* 9 (3), 1-15 (2015)

TÉMAKÖRBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM

LEKTORÁLT KÖNYV, PÁLYÁZAT, JEGYZET (ON-LINE IS)

Könyvfejezet

- (1) Horváth Lilla: A tűzoltó egyéni védőeszközök fejlesztési lehetőségei ergonómiai szempontok alapján, In: Göcze, István; Padányi, József (szerk.) Hús év a katonai műszaki tudományok szolgálatában, Ludovika Egyetemi Kiadó (2023) pp. 71-80.

LEKTORÁLT SZAKMAI FOLYÓIRATCIKKEK (ON-LINE IS)

Magyar nyelvű mértékadó folyóiratban idegen nyelven

- (2) Horváth Lilla: Examination of the Application of Currently Used, New or Additional Firefighting Personal Protective Equipment, Academic And Applied Research In Military And Public Management Science 21: (3), (2022) pp. 49-70.
- (3) Pántya Péter, Horváth Lilla: Analysis of the Material Characteristics of Firefighter Personal Protective Clothing, Hadmérnök 18: (2), (2023) pp. 73-81.
- (4) Horváth Lilla, Révai Róbert, Czinkóczi Sándor: Physiological and Psychological Stress Effects on the Rescue Units Involved in the Earthquake Rescue Operation in Turkey, with Particular Regard to the HUNOR Rescue Team, Hadmérnök 18: (3), (2023) pp. 45-56.
- (5) Pántya Péter, Horváth Lilla: Presentation of the Hazardous Environment in the Light of Firefighting Activity, Műszaki Katonai Közlöny 33: (1), (2023) pp. 85-93.
- (6) Horváth Lilla, Pántya Péter: New Methods of Maintenance and Cleaning of Firefighter's Protective Clothing by Dry Cleaning, Hadmérnök 19: (3), (2024) pp. 85-95.

Magyar nyelvű mértékadó folyóiratban magyar nyelven

- (7) Horváth Lilla: Tűzoltó laktanya munkavédelmi szemmel, Hadmérnök 17: (3), (2023) pp. 56-69.

NEMZETKÖZI SZAKMAI KONFERENCIA KIADVÁNYBAN MEGJELENT ELŐADÁS (ON-LINE IS)

Lektorált konferenciaközleményben idegen nyelven megjelent előadás

- (8) Horváth Lilla: The Psychological Effect of Wearing Firefighter Personal Protective Equipment on the Firefighter, In: Čabalová, Iveta (szerk.) ŠVOČ Student Scientific and International Conference, Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical University in Zvolen (2023) pp. 43-52.

Idegen nyelvű absztrakt/poszter

- (9) Horváth Lilla: Do firefighters clean their clothes effectively?, In: Wioletta Rogul-Kozłowska, Karolina Bralewska (szerk.) Safety Engineering origins, challenges, perspectives Scientific Conference, Akademia Pożarnicza, Warsaw (2024) pp. 61-65.

HAZAI SZAKMAI KONFERENCIA KIADVÁNYBAN MEGJELENT ELŐADÁS (ON-LINE IS)

Lektorált idegen nyelvű előadás, absztrakt

- (10) Horváth Lilla: Ergonomic approach to personal protective equipment for firefighters, In: László, Bodnár; György, Heizler (szerk.) 2nd Fire Engineering & Disaster Management Prerecorded International Scientific Conference Védelem online – cooperated with the University of Public Service, Nemzeti Közszerológati Egyetem (NKE) (2022) pp. 90-93.
- (11) Horváth Lilla, Pántya Péter: Firefighter Personal Protective Equipment Used During the Eradication of the Consequences of Natural Disasters, Polgári Védelmi Szemle 15: (DAREnet projekt Különszám 2023) pp. 192-201.
- (12) Horváth Lilla: Occupational health and safety tasks for the prevention of stress, with particular regard to firefighters, In: Bodnár, László; Heizler, György (szerk.) 3rd Fire Engineering & Disaster Management Prerecorded International Scientific Conference, Nemzeti Közszerológati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet (2023) pp. 195-198.
- (13) Horváth Lilla: Importance of firefighter's personal protective equipment in particular to wildfires, In: Lestyán, Mária; Bodnár, László; Érces, Gergő; Varga, Ferenc (szerk.) International Disaster Management Scientific Conference - Focus on Changes in the Fire Safety Situation, Magyar Tűzvédelmi Szövetség (2024) pp. 47.

MELLÉKLETEK

1. A kutatási témát érintő jogszabályok, szabványok és belső szabályozók jegyzéke
2. Alkalmazott rövidítések jegyzéke
3. Fogalomjegyzék
4. Ábrák, diagramok, grafikonok, táblázatok és jegyzéke
5. Saját kérdőívek kérdései
6. Mérési jegyzőkönyv
7. Aláöltözetek táblázatos értékelési összefoglalói
8. Az értekezés tervezet kohéziós táblázata

1. számú melléklet: A kutatási témát érintő jogszabályok, szabványok és belső szabályozók jegyzéke

1. Az egyéni védőeszközökről és a 89/686/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről szóló európai parlament és a tanács (eu) 2016/425 rendelete
2. Az Európai Parlament és a Tanács 2014/34/EU irányelve (2014. február 26.) a robbanásveszélyes légkörben való használatra szánt felszerelésekre és védelmi rendszerekre vonatkozó tagállami jogszabályok harmonizációjáról
3. Magyarország Alaptörvénye (2011.április 25.)
4. 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről
5. 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról
6. 65/1999. (XII. 22.) EüM rendelet a munkavállalók munkahelyen történő egyéni védőeszköz használatának minimális biztonsági és egészségvédelmi követelményeiről
7. 70/2011. (XII. 30.) BM rendelet a belügyminiszter irányítása alá tartozó rendvédelmi szervek munkavédelmi feladatai, valamint foglalkozás-egészségügyi tevékenysége ellátásának szabályairól
8. MSZ EN 443:2008 szabvány (Védősisakok épületekben és más szerkezetekben végzett tűzoltáshoz)
9. MSZ EN 16471:2015 szabvány (Tűzoltósisakok. Terepi tűzoltásra alkalmas sisakok)
10. MSZ EN 16473:2015 szabvány (Tűzoltósisakok. Műszaki mentésre alkalmas sisakok)
11. MSZ EN 469:2020 szabvány (Védőruházat tűzoltók részére. Tűzoltási tevékenységek védőruházatának teljesítménykövetelményei)
12. MSZ EN 659:2003+A1 szabvány a védőkesztyűk tűzoltók részére
13. MSZ EN ISO 21420:2020 (Védőkesztyűk. Általános követelmények és vizsgálati módszerek) szabvány
14. MSZ EN 388:2016+A1 szabvány (Védőkesztyűk mechanikai kockázatok ellen)
15. MSZ EN 15090:2012 szabvány (A tűzoltólábbeli)
16. MSZ EN ISO 20345:2021 szabvány (Biztonsági lábbeli)
17. MSZ EN ISO 13688:2013 szabvány (Védőruházat. Általános követelmények)
18. MSZ 1027:2016 szabvány (Tűzoltómászóöv)
19. MSZ ISO/TR 21808:2024 szabvány (A tűzoltók védelmére tervezett egyéni védőeszközök kiválasztásának és használatának legjobb gyakorlatai)
20. MSZ EN ISO 4920:2013 szabvány a kelmék felületi nedvesítéssel szembeni ellenállásának meghatározása

21. 34/2021. számú BM OKF Főigazgatói Intézkedés a személyi állomány egyéni védőeszközzel történő ellátásról
22. 16/2018. számú BM OKF Főigazgatói Intézkedés a tűzoltó kézilétrák, magasból történő leesésnek vagy az esés hatásának megelőzésére szolgáló egyéni védőeszközök, felszerelések és tűzoltókötelek időszakos ellenőrzéséről, felülvizsgálatáról
23. 12/2020. számú BM OKF Főigazgatói Intézkedés a rendszeresítésre kötelezett termékek rendszeresítési eljárásáról

2. számú melléklet: Alkalmazott rövidítések jegyzéke

ATEX: Atmosphères Explosibles (Robbanásveszélyes környezet)

BM OKF: BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság

BM rendelet: 70/2011. (XII. 30.) BM rendelet a belügyminiszter irányítása alá tartozó rendvédelmi szervek munkavédelmi feladatai, valamint foglalkozás-egészségügyi tevékenysége ellátásának szabályairól

CO₂: Szén-dioxid

EU rendelet: Az egyéni védőeszközökről és a 89/686/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről szóló európai parlament és a tanács (eu) 2016/425 rendelete

EüM rendelet: 65/1999. (XII. 22.) EüM rendelet a munkavállalók munkahelyen történő egyéni védőeszköz használatának minimális biztonsági és egészségvédelmi követelményeiről

FMEA: Failure Mode and Effects Analysis (Hibamód és hatáselemzés)

FTA: Fault Tree Analysis (Hibafa-elemzés): Logikai alapú, felülről lefelé haladó elemzési módszer, amely a rendszerhibák kiváltó okainak feltárására és összefüggéseinek megértésére szolgál.

GPS: Global Positioning System. A GPS (Globális Helymeghatározó Rendszer) egy műholdakból kialakított hálózat, melyek a Föld körül keringenek, és olyan jeleket sugároznak, amelyeket a GPS vevők képesek észlelni

HRV: Heart Rate Variability (Pulzusszám Variabilitás): Az egymást követő szívverések közötti időintervallumok változásai

IoT: Internet of Things (Dolgok internete)

IP: Ingress Protection (Nemzetközi Védettségsjelölés): Idegen tárgyak és víz elleni védelem

KAP-Online: Katasztrófavédelmi Adatszolgáltató Program

LIDAR: Light Detection and Ranging (Fényérzékelés és Távolságmérés): Távérzékelési módszer, mely pulzáló lézernyaláb formájában kibocsátott fényt használ a távolságok méréséhez

LMS: Learning Management System (Tanulásmenedzsment rendszer)

Mvt.: 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről

P2P: Peer to peer. Egyenrangú viszony a hálózatban

PAH: policiklusos aromás szénhidrogének

PAJZS: A katasztrófavédelem saját fejlesztésén alapuló műveletirányítási rendszere

PBI: polibenzimidazol (Rendkívül hő-, és lángálló, mechanikailag erős műanyag)

PBO: polibenzoxazol (Nagy teljesítményű, hőálló aromás polimer)

PER: Perklór-etilén

PSI: Physiological Strain Index (Fiziológiai Terhelés Index): A rektális testhőmérséklet és a szívfrekvencia alapján veszi figyelembe és értékeli a hőterhelést valós időben 0-10-es skálán

RFID: Radio Frequency Identification (Rádiófrekvenciás Azonosítás)

RPE: Rating of Perceived Exerction (Érzékelt Erőfeszítés Mértéke): Ez egy olyan érték, mely meghatározza, hogy az adott személy szívritmusa és testhőmérséklete mennyivel magasabb a nyugalmi állapotban mért értékekhez képest

RPN: Risk Priority Number (Kockázati Prioritási Szám)

SWOT-elemzés (Strenghts, Weaknesses, Opportunities, Threats): Üzleti elemzési modell, mely az erősségek, gyengeségek, lehetőségek és veszélyek feltárására szolgál

TMMA: Tűzeseti és Műszaki Mentési Adatlap

TMMJ: Tűzeseti és Műszaki Mentési Jelentés

Tvt.: 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról

WBGT: Wet Bulb Globe Temperature (Nedves Gömb Hőmérséklet): Közvetlen napsütésben fellépő hőstressz mérésére szolgál. A mérés alapját képezi a mért hőmérséklet, páratartalom, szélsebesség, a nap sugarainak beesési szöge és a felhőzet.

3. számú melléklet: Fogalomjegyzék

Aerogél: Rendkívül könnyű és porózus anyag, melyet gélekből készítenek úgy, hogy a benne lévő folyadékot eltávolítják, de a szerkezetét megtartják

Antropometria: Az emberi test méreteinek és arányainak mérésével foglalkozó tudomány

Baleset: az emberi szervezetet ért olyan egyszeri külső hatás, amely a sérült akaratától függetlenül, hirtelen vagy aránylag rövid idő alatt következik be és sérülést, mérgezést vagy más (testi, lelki) egészségkárosodást, illetőleg halált okoz. (Mvt.)

Biomechanika: Az emberi test mozgásával és a rá ható fizikai erőkkel foglalkozó terület

Degeneratív: Olyan folyamat, mely során valami elveszti funkcióját, állapotromlás lép fel

Dekontamináció: Fertőtlenítés, szennyeződés-mentesítés

Dermális abszorpció: Bőrön át történő felszívódás

Fotovoltaikus rendszer: Napsugárzásból származó energia elektromos energiává történő átalakítására képes rendszer

Fungicid: Gombaölő

Heat index (Hő index): főleg az Egyesült Állomban használt változó, mely a léghőmérséklet és a relatív páratartalom értékéből áll össze, árnyékos területen mérik

Hőstressz: Olyan fiziológiai állapot, amikor az emberi szervezet nem képes hatékonyan leadni a belső hőtermelésből és a környezetből származó hőterhelést, ennek következtében a testhőmérséklet veszélyes mértékben megemelkedik

Leggings: Testhez simuló, rugalmas anyagú nadrág

Metabolit: A szervezet anyagcseréjében részt vevő vagy a folyamatban keletkező anyag

Műszaki mentés: természeti csapás, baleset, káreset, rendellenes technológiai folyamat, műszaki meghibásodás, veszélyes anyag szabadba jutása vagy egyéb cselekmény által előidézett veszélyhelyzet során az emberélet, a testi épség és az anyagi javak védelme

érdekében a tűzoltóság részéről – a rendelkezésére álló, illetőleg az általa igénybe vett eszközökkel – végzett elsődleges beavatkozási tevékenység (Tvt.)

Nanoporózus szerkezetű anyag: Olyan anyag, melynek szerkezetében nanométeres méretű pórusok találhatók

Polifenilén-szulfid: hőre lágyuló műanyag, mely ellenáll a magas hőmérsékletnek

Osteoarthritis: Porckopás

Osteoporosis: Csontritkulás

Plaszticizált: Lágyított, rugalmasabbá tett

Power BI: Microsoft által kínált adatvizualizációs szolgáltatás

Szkeletomuszkuláris: Váz-izomrendszeri

Termikus komfort: Az az állapot, amely a termikus környezettel való elégedettséget fejezi ki és szubjektív értékelés alapján mérhető

Termoplasztikus: Hőre lágyuló és újraformázható műanyag

Téves jelzés: Minden olyan tűzjelzés, mely nem valós tűz hatására következik be (TvMI: 12.5:2022.06.13.)

Tuberkoloid: Tuberkolózis baktériumölő

Tűzoltási feladat: a veszélyeztetett személyek mentése, a tűz terjedésének megakadályozása, az anyagi javak védelme, a tűz eloltása és a szükséges biztonsági intézkedések megtétele, továbbá a tűz közvetlen veszélyének elhárítása (Tvt.)

Tűzvizsgálat: a tűz keletkezési idejének, helyének és okának felderítésére irányuló hatósági tevékenység, amelynek célja olyan tűz megelőzési, tűzoltási beavatkozási tapasztalatok megszerzése, következtetések levonása, amelyek alkalmasak a tűz megelőzési ismeretek bővítésére és a mentési beavatkozási feltételek javítására (Tvt.)

Virucid: Vírusölő

4. számú melléklet: Ábrák, diagramok, grafikonok és táblázatok jegyzéke

Ábrák

1. ábra: Veszélyforrások csoportosítása
2. ábra: Fővárosi tűzoltók vízhatlan ruhában, akkumulátoros lámpával, oxigénes légzővel és címeres bőrsisakban – a korszakra jellemző felszerelés és a mai kor védőfelszerelései
3. ábra: Bőr és polikarbonát tűzoltó védősisak
4. ábra: Szárítószekrény működés közben
5. ábra: Szén-dioxidos szárasztisztítás működési elve
6. ábra: Skellefteå modell
7. ábra: Delphi módszer folyamata
8. ábra: Tesztelt aláöltözetek (Felső 1, Felső 2, Leggings)
9. ábra: Aláöltözetek anyagösszetétele

Diagramok

1. diagram: Nemzetközi válaszok országokénti megoszlása (%)
2. diagram: Tűzoltóság típusok magyar-nemzetközi viszonylatban
3. diagram: Magyar és nemzetközi tűzoltók egyéni védőeszközök fejlesztési javaslatai
4. diagram: Magyar és nemzetközi tűzoltók védőruházat mosási szokásainak összehasonlítása
5. diagram: Mosási gyakoriságok összehasonlítása magyar és nemzetközi tűzoltók körében
6. diagram: Tisztítási gyakoriság a lengyel kérdőív alapján
7. diagram: Magyar és nemzetközi tűzoltók mosási szokásainak összehasonlítása a szennyeződés függvényében
8. diagram: Magyar és nemzetközi tűzoltók védőruházat szárítási szokásainak összehasonlítása
9. diagram: Magyar és nemzetközi tűzoltók impregnáló mosási gyakorlatának összehasonlítása
10. diagram: Tűzesetekhez vonulások száma 2018-2024 között
11. diagram: „Felső 1” értékelése a próbahasználati lapok eredményei alapján
12. diagram: „Felső 2” értékelése a próbahasználati lapok eredményei alapján
13. diagram: Leggings értékelése a próbahasználati lapok eredményei alapján

Grafikonok

1. grafikon: Válaszadó tűzoltók életkori eloszlása (%)
2. Grafikon: A válaszadók szakmai tapasztalata
3. grafikon: Hűtésre vonatkozó válaszok eloszlása (%)
4. grafikon: Elemi csapás, vihar okozta műszaki mentések száma Magyarországon 2012-2023 között
5. Grafikon: Vonulási adatok Magyarországon 2018-2024. között
6. grafikon: Összesített vonulások száma havi bontásban 2028-2024 között
7. grafikon: Meteorológiai adatok Magyarország területén 2018-2023 között

Táblázatok

1. táblázat: Tisztítási eljárások összehasonlítása
2. táblázat: Védőruhák jellemzői
3. táblázat: 1. minta impregnálásának eredménye
4. táblázat: 2. minta impregnálásának eredménye
5. táblázat: Kockázatértékelés szempontjai
6. táblázat: Tűzoltó védőruha FMEA alapú felosztása
7. táblázat: FMEA mátrix
8. táblázat: Shapiro-Wilk próba eredménye
9. táblázat: Pearson-féle korreláció eredménye

5. számú melléklet: Saját kérdőívek kérdései

Kérdőív a tűzoltó egyéni védőfelszerelésekkel kapcsolatban (magyar nyelvű)

Életkor

- 1. 18-24
- 2. 25-30
- 3. 31-34
- 4. 35-40
- 5. 41-44
- 6. 45-50
- 7. 51-54
- 8. 55-60
- 9. 61-64
- 10. 65+

Melyik típusú tűzoltóságnál lát el szolgálatot?

- Hivatásos
- Önkormányzati
- Önkéntes
- Létesítményi

Hány év tapasztalattal rendelkezik készenléti területen?

- 1. Kevesebb, mint 1 év
- 2. 1-5
- 3. 6-10
- 4. 11-15
- 5. 16-20
- 6. 21-25
- 7. 26-30
- 8. Több, mint 30 év

Hol teljesít szolgálatot (központi szerv/területi szerv/vármegye)?

- Baranya
- Bács-Kiskun
- Békés
- Borsod-Abaúj-Zemplén
- Csongrád-Csanád
- Fejér

- Győr-Moson-Sopron
- Hajdú-Bihar
- Heves
- Jász-Nagykun-Szolnok
- Komárom-Esztergom
- Nógrád
- Pest
- Somogy
- Szabolcs-Szatmár-Bereg
- Tolna
- Vas
- Veszprém
- Zala
- Főváros
- Katasztrófavédelmi Oktatási Központ
- Központi szerv (BM OKF)

Beavatkozás közben, amikor túlzottan melege van, hogyan hűti magát? - több is megjelölhető

- Víz, egyéb védőitalt fogyasztok
- Leveszem a védőkabátot (biztonságos környezetben)
- Megmosom hideg vízzel az arcom/testem
- Sehogy

Hogyan történik a laktanyában a védőruhák tisztítása?

- Háztartási mosógéppel
- Ipari mosógéppel
- Szolgáltató által

Hogyan és hol történik a laktanyában a védőruha szárítása (tisztítást követően)?

- Ahol a mosógép van, ott teregetéssel/szárítószobában
- Szárítóban
- Szárítógépben
- Egyéb helyiségben kiterítve/felakasztva

Milyen gyakran mossa a védőruhát?

- Minden beavatkozás után
- Amikor kismértékben szennyezett
- Amikor nagymértékben szennyezett
- Szennyezettségtől függetlenül, ritkábban pl. 10 szolgálatonként

Milyen gyakran ad a védőruha mosása közben impregnáló folyadékot a mosószerhez?

- Soha
- Minden 2-3. használat után
- Ritkábban, mint 3 használat után
- Az adott gyártó utasítása szerint

Milyen típusú szennyeződés után moss ki mindenképp a védőruhát (még ha frissen is volt tisztítva)? – több is megjelölhető

- Vér
- Olaj, zsír
- Vegyi anyag
- Emberi/állati ürülék, vizelet
- Sár/homok
- Korom, egyéb égéstermék
- Kommunális hulladék
- Egyik után sem mosom ki, ha tiszta volt a védőruha

Történt-e olyan, hogy a védőfelszerelés viselése nehézséget okozott és ez negatívan befolyásolta a beavatkozást?

- Nem
- Igen, a védősisak
- Igen, a védőkabát
- Igen, a védőnadrág
- Igen, a védőcsizma
- Igen, a tűzoltó védelmi kesztyű
- Igen, a munkavédelmi kesztyű miatt

Ha az előző válasz igen volt, okozott-e ez a nehézség pszichés tüneteket?

- Nem
- Igen, koncentráció-, és figyelemzavar
- Igen, félelemérzetet
- Igen, pánikrohamot
- Igen, agresszív viselkedést
- Igen, egyéb

Milyen kiegészítőt (pl.: plusz zseb, pánt, lámpa stb.) tartana még szükségesnek az adott védőfelszerelésen?

Milyen további javaslatokat tenne az egyéni védőfelszerelések fejlesztésére vonatkozóan?

Questionnaire about personal protective equipment for firefighters (angol nyelvű)

Age

- 1. 18-24
- 2. 25-30
- 3. 31-34
- 4. 35-40
- 5. 41-44
- 6. 45-50
- 7. 51-54
- 8. 55-60
- 9. 61-64
- 10. 65+

What type of fire department do you work for?

- Public sector (Municipality)
- Professional (national, state)
- Voluntary fire association
- Industrial
- Other

In which country do you work?

- Austria
- Czech Republic
- Croatia
- Finland
- Germany
- Greece
- Malta
- Poland
- Romania
- Serbia
- Slovakia
- Slovenia
- Spain
- Other

How many years of experience do you have in the intervention field?

- 1. Less than 1 year

- 2. 1-5
- 3. 6-10
- 4. 11-15
- 5. 16-20
- 6. 21-25
- 7. 26-30
- 8. More than 30 years

During an intervention, when you are overheated, how do you cool yourself? - more than one can be marked

- Water and/or other cold drink
- I take off my protective jacket (in a safe environment)
- I wash my face/body with cold water
- None of them

How do you clean the protective clothing in the barracks?

- With household washing machine
- With industrial washing machine
- By service provider

How and where do you dry the protective clothing (after cleaning) in the barracks?

- Where there is a washing machine, I dry it
- In the fire department (where the fire trucks are)
- With a dryer
- In other room, where I hang them

How often do you wash your protective clothing?

- After every intervention
- When slightly contaminated
- When heavily contaminated
- Regardless of contamination, less frequently, e.g.: 10th shift

How often do you add impregnating liquid to the detergent while washing the protective clothing?

- Never
- After every 2nd-3rd use
- Less often than after 3rd uses
- According to the manufacturer's instructions

After what type of contamination should the protective clothing be washed (even if it has been freshly cleaned)? – more than one can be marked

- Blood
- Oil, fat
- Chemicals (any state of matter)
- Biological (bacterium, virus, fungal, etc.)
- Human/animal excrement, urine
- Mud/sand
- Soot, other combustion products
- Household waste
- I don't wash it after either, if the protective clothing was clean

Did it happen that wearing the protective equipment caused difficulty and this negatively affected the intervention?

- No
- Yes, protective helmet
- Yes, protective jacket
- Yes, protective pants
- Yes, protective boots
- Yes, firefighter gloves
- Yes, work gloves

If the previous answer was yes, did this difficulty cause psychological symptoms?

- No
- Yes, concentration and attention disorder
- Yes, a sensation of fear
- Yes, a panic attack
- Yes, aggressive behavior
- Yes, other

What accessories (e.g.: extra pocket, strap, lamp, etc.) would you still consider necessary for the given protective equipment?

What additional suggestions would you make regarding the development of personal protective equipment?

6. számú melléklet: Mérési jegyzőkönyv (eredmények)

Oldalszám: 3 / 3
Jegyzőkönyv száma: 5/487-2024

INNOVATEXT®
Member of the HOHENSTEIN Group

VÉDŐRUHÁN ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK ÉS EREDMÉNYEK:

1) A kelmék felületi nedvesítéssel szembeni ellenállásának meghatározása az MSZ EN ISO 4920:2013 szabvány szerint:

Víz hőmérséklete: 20°C

1. minta: kabát ☐	Fokozat		
eredeti minta*	2	2	2
impregnált minta	3-4	3-4	3-4

* a minta beérkezési állapotában, kondicionálás után

2. minta: nadrág ☐	Fokozat		
eredeti minta*	1	1	1
impregnált minta	1	1	1

* a minta beérkezési állapotában, kondicionálás után

A vizsgálati minta:

- ☐ a vizsgálat során megsemmisült
- ☒ maradékát – megjelölve – a vevő külön kérésére visszajuttatjuk
- ☐ maradéka a jegyzőkönyv (és a kapcsolódó tanúsítvány) kiadását követő 5 + 5 évig megőrzésre, utána megsemmisítésre kerül

Megjegyzések:

- A vizsgálati eredmények csak a vizsgált mintára vonatkoznak.
- A vizsgálólaboratórium nem vállal felelősséget a vevő által megadott adatokért, és azoknak, illetve a vevő által végzett mintavételnek a mérési eredményekre gyakorolt esetleges hatásaiért.
- A vizsgálati jegyzőkönyv 3 oldalt tartalmaz, amely a vizsgáló laboratórium írásbeli engedélye nélkül csak teljes terjedelmében másolható.
- ☐ A vizsgálati jegyzőkönyv közvetített szolgáltatást tartalmaz, melynek mellékletei a jegyzőkönyv elválaszthatatlan részét képezik.
- Az elektronikusan (pdf) kiadott jegyzőkönyv hitelességét digitális aláírás igazolja.
- A vizsgálatokat végző laboratórium státusza:
A NAH által NAH-1-1366/2021 számon akkreditált vizsgálólaboratórium.

* A gyártók megnevezése a szerző által szándékosan nem került feltüntetésre

7. számú melléklet: Aláöltözetek táblázatos értékelési összefoglalói

FELSŐ 1	Személy 1	Személy 3	Személy 6	Átlag
1. KÉNYELEM				4,11
1.1 Mennyire kényelmes az aláöltözet viselése a napi gyakorlatban?	5	2	5	4,00
1.2. Mennyire illeszkedik az aláöltözet a testéhez?	5	3	5	4,33
1.3. Érzett bármilyen irritációt (pl. bőrirritációt, viszketést) az aláöltözet viselése során?	4	3	5	4,00
2. HŐÉRZET ÉS HŐSZABÁLYOZÁS				4,33
2.1. Mennyire biztosította az aláöltözet a megfelelő hőszabályozást (légáteresztést) intenzív fizikai tevékenység közben?	5	4	5	4,67
2.2. Mennyire maradt száraz az aláöltözet izzadás esetén?	5	3	5	4,33
2.3. Mennyire érezte magát komfortosan különböző hőmérsékleti körülmények között?	5	2	5	4,00
3. MOZGÁSSZABADSÁG				4,83
3.1. Mennyire biztosította az aláöltözet a teljes mozgásszabadságot munkavégzés közben?	5	4	5	4,67
3.2. Érzett akadályt az aláöltözet miatt a védőruha felvételekor vagy mozgás közben?	5	5	5	5,00
4. FUNKCIONALITÁS ÉS TARTÓSSÁG				4,78
4.1. Mennyire tartotta meg az aláöltözet az eredeti állapotát (pl. forma, szövet minősége) a használat után?	5	4	5	4,67
4.2. Mennyire könnyű tisztítani az aláöltözetet?	5	5	5	5,00
4.3. Mennyire érezte, hogy az aláöltözet hozzájárult a védelemhez (pl. hő, nedvesség ellen)?	5	4	5	4,67
5. ÁLTALÁNOS ELÉGEDETTSÉG				4,33
5.1. Mennyire elégedett összességében az aláöltözettel?	5	3	5	4,33
5.2. Ajánlaná más tűzoltóknak az aláöltözetet?	5	3	5	4,33

FELSŐ 2	Személy 1	Személy 3	Átlag
1. KÉNYELEM			3,33
1.1 Mennyire kényelmes az aláöltözet viselése a napi gyakorlatban?	3	2	2,50
1.2. Mennyire illeszkedik az aláöltözet a testéhez?	5	3	4,00
1.3. Érzett bármilyen irritációt (pl. bőrirritációt, viszketést) az aláöltözet viselése során?	4	3	3,50
2. HŐÉRZET ÉS HŐSZABÁLYOZÁS			4,00
2.1. Mennyire biztosította az aláöltözet a megfelelő hőszabályozást (légáteresztést) intenzív fizikai tevékenység közben?	5	4	4,50
2.2. Mennyire maradt száraz az aláöltözet izzadás esetén?	5	3	4,00
2.3. Mennyire érezte magát komfortosan különböző hőmérsékleti körülmények között?	5	2	3,50
3. MOZGÁSSZABADSÁG			3,50
3.1. Mennyire biztosította az aláöltözet a teljes mozgásszabadságot munkavégzés közben?	3	4	3,50
3.2. Érzett akadályt az aláöltözet miatt a védőruha felvételekor vagy mozgás közben?	2	5	3,50
4. FUNKCIONALITÁS ÉS TARTÓSSÁG			4,50
4.1. Mennyire tartotta meg az aláöltözet az eredeti állapotát (pl. forma, szövet minősége) a használat után?	4	4	4,00
4.2. Mennyire könnyű tisztítani az aláöltözetet?	5	5	5,00
4.3. Mennyire érezte, hogy az aláöltözet hozzájárult a védelemhez (pl. hő, nedvesség ellen)?	5	4	4,50
5. ÁLTALÁNOS ELÉGEDETTSÉG			2,75
5.1. Mennyire elégedett összességében az aláöltözettel?	2	3	2,50
5.2. Ajánlaná más tűzoltóknak az aláöltözetet?	3	3	3,00

LEGGINGS	Személy 1	Személy 3	Átlag
1. KÉNYELEM			4,67
1.1 Mennyire kényelmes az aláöltözet viselése a napi gyakorlatban?	4	5	4,50
1.2. Mennyire illeszkedik az aláöltözet a testéhez?	5	5	5,00
1.3. Érzett bármilyen irritációt (pl. bőrirritációt, viszketést) az aláöltözet viselése során?	4	5	4,50
2. HŐÉRZET ÉS HŐSZABÁLYOZÁS			4,50
2.1. Mennyire biztosította az aláöltözet a megfelelő hőszabályozást (légáteresztést) intenzív fizikai tevékenység közben?	4	5	4,50
2.2. Mennyire maradt száraz az aláöltözet izzadás esetén?	5	4	4,50
2.3. Mennyire érezte magát komfortosan különböző hőmérsékleti körülmények között?	5	4	4,50
3. MOZGÁSSZABADSÁG			4,50
3.1. Mennyire biztosította az aláöltözet a teljes mozgásszabadságot munkavégzés közben?	5	5	5,00
3.2. Érzett akadályt az aláöltözet miatt a védőruha felvételekor vagy mozgás közben?	3	5	4,00
4. FUNKCIONALITÁS ÉS TARTÓSSÁG			4,83
4.1. Mennyire tartotta meg az aláöltözet az eredeti állapotát (pl. forma, szövet minősége) a használat után?	5	5	5,00
4.2. Mennyire könnyű tisztítani az aláöltözetet?	5	5	5,00
4.3. Mennyire érezte, hogy az aláöltözet hozzájárult a védelemhez (pl. hő, nedvesség ellen)?	5	4	4,50
5. ÁLTALÁNOS ELÉGEDETTSÉG			4,50
5.1. Mennyire elégedett összességében az aláöltözettel?	4	5	4,50
5.2. Ajánlaná más tűzoltóknak az aláöltözetet?	4	5	4,50

8. számú melléklet: Az értekezés tervezet kohéziós táblázata

1. fejezet				
Tudományos probléma	Hipotézis	Kutatási célok	Kutatási módszerek	Eredmények
A tűzoltók munkája során tapasztalt fizikai megterhelés és a hosszú távú egészségkárosodások kockázata összefügg a nem megfelelő ergonómiai kialakítású egyéni védőeszközökkel. A meglévő felszerelések nem mindig felelnek meg az ergonómiai elveknek, ami szükségessé teszi olyan új védőeszközök és kiegészítők kifejlesztését, melyek jobban illeszkednek a tűzoltók igényeihez és csökkentik a fizikai megterhelésből adódó egészségügyi problémákat.	Feltételezésem szerint olyan új, ergonómiai szempontokat magasabb szinten figyelembe vevő egyéni védőeszközök és kiegészítők fejleszthetők, melyek csökkentik a tűzoltók fizikai megterhelését és hosszú távon hozzájárulnak az egészségkárosodások megelőzéséhez.	A jelenleg használatban lévő tűzoltói védőruhák ergonómiai, védelmi és műszaki jellemzőinek elemzése, a nemzetközi és hazai kutatások összevetése, a hiányosságok azonosítása, valamint olyan fejlesztési lehetőségek megfogalmazása, amelyek hozzájárulhatnak a tűzoltók munkavégzésének hatékonyabbá és biztonságosabbá tételéhez.	A hazai és nemzetközi jogszabályok, szabványok és szakirodalom áttanulmányozása A kutatás részeként felmérés (kérdőív) elvégzése az egyéni védőeszközöket használó állomány tapasztalatairól, azok ergonómiai fejleszthetőségének érdekében hazai és nemzetközi viszonylatban	A tűzoltók védőruházatára vonatkozó hazai jogszabályi környezet és ergonómiai követelmények elemzésével feltártam a jelenlegi szabályozás hiányosságait, különös tekintettel a visszacsatolási mechanizmusok és az ergonómiai értékelések rendszerére. Az eredmények alapján javaslatot tettem egy olyan visszacsatolási rendszer bevezetésére, mely lehetővé teszi a védőfelszerelések gyakorlati tapasztalatok alapján történő fejlesztését.

2. fejezet

2. fejezet				
Tudományos probléma	Hipotézis	Kutatási célok	Kutatási módszerek	Eredmények
A tűzoltók védőruházatának hatékonysága és élettartama nagymértékben függ a megfelelő tisztítási és karbantartási eljárásoktól. Jelenleg az előírások változatosak és gyakran nem következetesek, ami a védőeszközök teljesítményének csökkenéséhez vezethet. A tisztítási gyakorlatok hiányosságai és az előírások betartásának elmaradása hozzájárulhat a tűzoltók bizalmának csökkenéséhez a védőeszközök megbízhatóságával kapcsolatban, ezáltal növelve a munkavégzés közbeni kockázatokat.	Vélelmezem, hogy a védőruházat karbantartási és tisztítási előírásainak fejlesztése és egységesítése növeli a védőeszközök hatékonyságát, meghosszabbítja élettartamukat és fokozza a tűzoltók bizalmát azok védelmi képessége iránt.	A tűzoltó védőruházat tisztítására és karbantartására vonatkozó előírások és gyakorlatok vizsgálata, azok hatékonyságának elemzése, valamint a védőképesség fenntartását és a biztonság növelését célzó fejlesztési lehetőségek meghatározása.	Műszeres alapú, az impregnálás hatékonyságára irányuló vizsgálatok megvalósítása tűzoltó védőruházaton Mesterséges intelligencián alapuló OpenAI ChatGPT-4o nyelvi modell alkalmazása ábrák generálásához	A tűzoltók egyéni védőfelszerelésének tisztítási és dekontaminációs folyamatait elemezve meghatároztam a különböző mosási és impregnálási eljárások hatékonyságát. Az eredmények alapján javaslatot tettem az optimális tisztítási és fertőtlenítési eljárásokra, figyelembe véve a vegyi anyagokkal való érintkezést, a textilszerkezet változását és a fenntarthatósági szempontokat.

3. fejezet

Tudományos probléma	Hipotézis	Kutatási célok	Kutatási módszerek	Eredmények
A tűzoltók biztonsága és védőfelszerelésük hatékonysága nagymértékben függ azok megfelelő nyilvántartásától, karbantartásától és időben történő cseréjétől. A jelenlegi nyomon követési rendszerek gyakran manuális adminisztrációra épülnek, ami adatvesztést, nyilvántartási pontatlanságokat és a védőfelszerelések állapotának nehézkes ellenőrzését eredményezheti. A digitális nyomon követési technológiák alkalmazása lehetőséget biztosíthat a védőfelszerelések használati ciklusának pontos rögzítésére, a karbantartások és tisztítások ütemezésére, valamint a selejtezési folyamatok optimalizálására.	Feltételezem, hogy a digitális nyomon követési rendszerek alkalmazása a tűzoltók egyéni védőfelszereléseinek nyilvántartásában, karbantartásában és cseréjében javítja az eszközök állapotának ellenőrizhetőségét, csökkenti a nyilvántartási hibákat, és növeli a beavatkozók biztonságát.	A tűzoltók egyéni védőfelszereléseinek karbantartási és nyilvántartási gyakorlatának elemzése, valamint a digitális nyomon követési rendszerek alkalmazási lehetőségeinek feltárása a védőfelszerelések állapotának ellenőrzésére és a tűzoltók biztonságának növelésére.	A nemzetközi műszaki megoldások áttanulmányozása és összevetése a hazai gyakorlatokkal.	A védőfelszerelések nyomon követésére és értékelésére egy digitális rendszer modellt dolgoztam ki, mely lehetőséget biztosít az egyes ruházati elemek állapotának rögzítésére, a használati idő, az elhasználódás és a sérülések dokumentálására. Az új rendszer segítségével pontosabb képet lehet kapni a védőfelszerelések hatékonyságáról és élettartamáról, valamint a fejlesztési irányokról.

4. fejezet				
Tudományos probléma	Hipotézis	Kutatási célok	Kutatási módszerek	Eredmények
A tűzoltói védőruházatnak nemcsak mechanikai és hővédelmi szempontból kell megfelelnie a biztonsági követelményeknek, hanem alkalmazkodnia kell a változó klimatikus viszonyokhoz is. A szélsőséges időjárási körülmények komfortcsökkenést eredményezhetnek, melyek hátrányosan befolyásolják a tűzoltók teljesítményét és egészségét. A jelenleg használt védőruházatok nem minden esetben biztosítanak megfelelő szellőzést, hőszabályozást és nedvességkezelést, ezért szükségessé válik olyan kiegészítő védőruházat fejlesztése, mely hatékonyabban alkalmazkodik a klimatikus kihívásokhoz, ezáltal növelve a tűzoltók komfortérzetét és beavatkozási hatékonyságát.	Feltételezésem szerint a ruházati jellegű egyéni védőeszközök anyagainak és kialakításának több szempontú vizsgálata (anyagminőség, védőképesség, ergonómia, stb.) lehetőséget teremt olyan kiegészítő védőruházatok fejlesztésére, amelyek hatékonyabban alkalmazkodnak a klimatikus kihívásokhoz, ezáltal javítva a tűzoltók komfortérzetét és teljesítményét.	A tűzoltók ruházati jellegű védőeszközeinek anyagminőségi, védelmi és ergonómiai szempontú vizsgálata, különös tekintettel a klimatikus kihívásokhoz való alkalmazkodás lehetőségeire és a hőkomfort optimalizálására.	Az aláöltözetek ergonómiai szempontú empirikus vizsgálatának elvégzése A kutatási eredmények alátámasztása és szemléltetése céljából matematikai számítások elvégzése A BM OKF által létrehozott és üzemeltetett adatbázisokból, mind a hivatásos, mind a más szervezetben működő tűzoltókat érintően a 2018. január 1. és a 2024. december 31. közötti időszakra vonatkozóan információk rendszerezése és osztályozása a vonulások számára és megoszlására vonatkozóan Mesterséges intelligencián alapuló OpenAI ChatGPT-4o nyelvi modell alkalmazása összetett számítások elvégzéséhez	Statisztikai módszerekkel igazoltam, hogy a klímaváltozással összefüggő időjárási tényezők hatással vannak a tűzoltói beavatkozások gyakoriságára. Aláöltözetek gyakorlati tesztelése és a hozzájuk kapcsolódó értékelőlap kidolgozása révén olyan visszacsatolási megoldást javasoltam, mely a jövőben digitálisan is alkalmazható lenne különböző védőeszközök esetén.