

PhD értekezés- tervezet

Szalkai István László

- 2025 -

**NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM
KATONAI MŰSZAKI DOKTORI ISKOLA**

Szalkai István László

Drónok közszolgálati alkalmazásának kutatás fejlesztése

Doktori (PhD) Értekezés-tervezet

Témavezető:

Prof. Dr. Restás Ágoston PhD, PhD
egyetemi tanár

.....

BUDAPEST

2025

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	5
A kutatás témakörének behatárolása	5
A tudományos probléma megfogalmazása	7
Kutatási célkitűzések	7
Kutatás hipotézisek	8
Kutatási módszerek	8
Az értekezés-tervezet felépítése	9
1 DRÓNOK ALKALMAZÁSA ÉS KÖZSZOLGÁLAT	12
1.1 A drónok alkalmazásának szakmatörténeti áttekintése	12
1.2 A drónok csoportosítási lehetőségei és alkalmazási területei	15
1.3 A drónok hasznos terhelése	18
1.3.1 Kismagasságú multispektrális távérzékelés	19
1.3.2 A drónok alkalmazása légszennyezés mérésére	22
1.3.3 Képfeldolgozó, távérzékelő módszerek alkalmazási lehetőségei	26
1.4 A drónok és a fedélzetükre installálható eszközök célirányos fejlesztése	28
1.5 A fejezet eredményeinek összefoglalása	32
2 DRÓNOK ALKALMAZÁSÁNAK FEJLESZTÉSE A LEVEGŐMINŐSÉG ELLENŐRZÉSÉRE	37
2.1 Levegőszennyezés régen és ma	37
2.2 Tűzrendészeti előírások kialakulása és fejlődése	40
2.3 A modern kori levegőszennyezés változásai	43
2.4 Levegőminőségi kérdések vizsgálata	45
2.5 Drónok fejlesztése levegőminőség ellenőrzésre	47
2.6 A fejezet eredményeinek összefoglalása	51
3 DRÓNOK ALKALMAZÁSÁNAK FEJLESZTÉSE NAPELEM ERŐMŰVEK ELLENŐRZÉSÉRE	57
3.1 A napelemek és hazai alkalmazásuk az energiatermelésben	57
3.2 A napelemek működési elve, típusai és alkalmazásuk	61
3.3 A napelem rendszerek kihívásai és karbantartása	62
3.4 Drónok lehetőségei a napelem erőművek ellenőrzésében	64
3.5 A feladatvégrehajtás kihívásainak vizsgálata	68
3.6 Témaszpecifikus drón fejlesztés	69
3.7 A fejezet eredményeinek összefoglalása	72
4 DRÓNOK ALKALMAZÁSÁNAK FEJLESZTÉSE AZ IPARBIZTONSÁG TERÜLETÉN	76
4.1 Veszélyes üzemek általános jellemzői és magyarországi helyzete	76

4.2 Az iparbiztonsági drón alkalmazások potenciális lehetőségei	81
4.3 A tervezett fejlesztéssel szemben támasztott követelmények	84
4.4 A gőzök, gázok térbeli kiterjedésének mérése	85
4.5 A drónok biztonságos alkalmazása – mentesítés	87
4.6 A fejezet eredményeinek összefoglalása	90
5 A DRÓNOK ALKALMAZÁSÁNAK FEJLESZTÉSE FERTŐTLENÍTÉSRE	95
5.1 A koronavírus idején jellemző drón alkalmazások	96
5.2 Az egészségügyi alkalmazás lehetőségének vizsgálata - fertőtlenítés	98
5.3 Drónok alkalmazása fertőtlenítésre	100
5.4 A permetezés hatékonyságát befolyásoló paraméterek	102
5.4.1 A vizsgálatához alkalmazott térmátrix	103
5.4.2 A tesztrepülések javasolt végrehajtása	105
5.4.3 A mérési mátrix elméleti értékei	107
5.5 A fejezet eredményeinek összefoglalása	113
AZ ÉRTEKEZÉS-TERVEZET ÖSSZEFOGLALÁSA.....	117
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	126
AJÁNLÁSOK	127
A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI FELHASZNÁLHATÓSÁGA	130
FELHASZNÁLT IRODALOM.....	133

BEVEZETÉS

„A repülés vágyát őseink hagyományozták ránk, akik a történelem előtti korokban tett fárasztó utazásaik során irigykedve figyelték, ahogy a madarak szabadon, teljes sebességgel szálltak a levegőben, felemelkedve az ég végtelen országútjára.” (Orville Wright)

A kutatás témakörének behatárolása

Ma már teljesen elfogadott, hogy az ember képes a különböző légi járművek segítségével közlekedni. Bár a közlekedésnek ezen módja már általános, a mai napig az ember tekintete az ég felé irányul, ha valamilyen légi eszköz halad el felettünk. 1903. december 17-én, az Egyesült Államokban Kitty Hawkban szállt fel a levegőbe a világtörténelem első repülőgépe, amelyet egy amerikai testvérpár, Wilbur és Orville Wright épített meg, éveken át tartó kutatás és kísérletezés eredményeként [1]. A légi jármű sikere új lehetőségeket nyitott meg az emberiségnek, aki ezt nem csak katonai, hanem polgári területen is kamatoztatta. A repülőek segítségével ma már a Földünk bármely pontja elérhető, kevesebb, mint egy nap folyamatos repülési idővel. Ez természetesen számos előnyt jelent az emberiségnek, hiszen a globális gazdasági és kulturális kapcsolatok így időben közelebb kerülnek egymáshoz. A légi járművek alkalmazása azonban egyfajta fenyegetést is jelent, hiszen ezeket az eszközöket katonai területen is alkalmazzák, ezért alkalmazásukkal megjelent a légierő is, mint katonai fegyvernem [2].

Egy légi jármű irányítása alapvetően komoly képességeket és fokozott kiképzést igényel, azonban a légi közlekedés ma már olyan szintre fejlődött, hogy a légi eszközök pilóta nélkül is képesek bizonyos távolságok megtételére. Ezeket az eszközöket a nemzetközi szakirodalom az Unmanned Aerial Vehicle (UAV), a Remotely Piloted Aircraft (RPA) vagy a „drone” szavakkal emlegeti. A magyar nyelvben ez utóbbi kifejezés vált elterjedtté. A pilóta nélküli repülőgépek használata egyben biztonságot is jelent, hiszen a fedélzeti legénység hiánya miatt, alkalmazása nem jelent veszélyt az irányítását végző személy életére és egészségére [3].

A drónoknak két altípusát különböztethetjük meg. Az egyik a helyből felszálló és lebegésre képes légi jármű, a másik pedig a hagyományos kialakítású és a hosszabb távok megtételére tervezett, merevszárnyú repülő. Mivel drónok katonai felhasználásával jelenlegi értekezésemben nem foglalkozom, ezért az eszköz alkalmazási területét csak polgári területen vizsgálom. A drónok fő polgári fókuszterületét ma már meg lehet különböztetni, úgy, mint közszolgálati, kereskedelmi, kutatási, képzési és kedvtelési célokkal történő alkalmazás.

Értekezésemben ez utóbbira fókuszálva a drónok közszolgálati alkalmazásának kutatás - fejlesztési lehetőségeit vizsgálom.

A köz, a közjó érdekében végzett valamennyi tevékenységet közszolgálatnak nevezhetjük. A közszolgálat széles értelemben vett fogalmába beletartozik minden olyan feladat, amely az állam nevében történik [4]. A szerteágazó tevékenységi kör közül az értekezésem témaköre miatt leginkább a repülési feladatokra koncentrálok. Így, példaként, a közszolgálati repülések feladatai közé sorolom a rendőrség, a határvédelem, a katasztrófavédelem repüléseit, de valamennyi olyan repülést is, amely a határvédelemnél jelentkezik. Az értekezésem tárgyát tekintve ide sorolom továbbá a levegővédelemmel, az energiabiztonsággal, az ipari tevékenységek környezeti biztonságával, de az egészségügy támogatásával járó feladatokat is. A fenti tevékenységek érezhetően inkább a megelőzésre fókuszálnak, azonban a helyzet drasztikus megváltozása, a körülmények kedvezőtlen alakulása akár speciális szabályokat, katasztrófavédelmi intézkedéseket is igényelhet [5].

A katasztrófavédelemhez köthető ismeretek fejlődése szorosan összefügg az emberi történelem során zajló társadalmi változásokkal. Magyarországon a modern katasztrófavédelem alapjait az 1999. évi LXXIV. törvény fektette le, amelynek következtében 2000. január 1-jén megalakult az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (BM OKF). Ez a szervezet integrálta a korábbi polgári védelem és állami tűzoltóság egységeit egy egységes, belügyminiszteri irányítás alatt álló szervezetbe. A katasztrófavédelmi rendszerek ma már jóval komplexebbek, és kiterjednek többek között az árvízvédelemre, veszélyes anyagok kezelésére, ipari balesetek következményeinek csökkentésére, valamint a természeti katasztrófák okozta károk mérséklésére és helyreállítására is. [6]

Az elmúlt évtizedek technológiai fejlődése alapvetően formálta át a katasztrófavédelmi gyakorlatot, jelentős mértékben hozzájárulva annak hatékonyságához. A legjelentősebb új technológiák közé tartoznak a pilóta nélküli légi járművek, vagyis közismertebb nevükön a drónok. Ezeket az eszközöket kezdetben katonai célokra fejlesztették ki, de civil felhasználásuk mára széles körben elterjedté vált.

A drónok alkalmazásának egyik legfontosabb előnye a katasztrófavédelemben, hogy lehetővé teszik a nehezen megközelíthető vagy veszélyes területek gyors, biztonságos és költséghatékony felderítését. Lehetővé teszik a gyors információgyűjtést, ami kritikus a hatékony döntéshozatalban és a reagálási idő csökkentésében [7].

A drónok mára nélkülözhetlenné váltak olyan események kezelésében, mint például az árvizek, földrengések, vegyi balesetek vagy nagyobb környezeti károk. Alkalmazásuk lehetővé

teszi, hogy a hatóságok pontosabb képet kapjanak a káresemény kiterjedéséről, jelentősen növelve ezzel a katasztrófavédelmi intézkedések eredményességét és gyorsaságát [8].

Összességében, a drónok integrálása a katasztrófavédelem rendszerébe jelentős potenciált rejt, amely nemcsak technológiai innovációt jelent, hanem a társadalmi biztonság növelését is elősegíti, biztosítva ezzel a jövő hatékonyabb katasztrófaelhárítását és megelőzését.

A tudományos probléma megfogalmazása

A mai modern világban a technológia folyamatosan fejlődik. Napjainkban számos olyan innovatív technikai eszköz áll segítségünkre, amelyek alkalmazásával a légi felderítési tevékenységek hatékonysága növelhető. Az egyik ilyen eredménytermék – az alapvetően katonai kutatás-fejlesztési területéről érkező – pilóta nélküli repülőgépek (a továbbiakban: drónok). Manapság egyre gyakrabban személtet a média is drónokkal készített légi felvételekkel. Ez is azt bizonyítja, hogy a drónok alkalmazása egyre általánosabb a modern társadalomban. Ezeknek az eszközöknek már a polgári alkalmazása is engedélyezett, igaz ennek a szabályozása még viszonylag új, így a jövőben bizonyosan módosítanak, finomítanak majd rajta. A drónok különböző területeken történő alkalmazása viszont számos olyan általános és tudományos problémát generál, amire a közeli jövőben választ kell találnunk. Értekezésemben ezért is foglalkozom a drónok közszolgálati alkalmazásának kutatás-fejlesztési lehetőségeivel. A drónok kategória tervezési, gyártási méretgazdaságossági problémái folyamatosan megjelennek, ezért ezek összevetése a jellemző légijárműgyártásban elfogadott mennyiségi és minőségi mutatókkal megítélésem szerint rendkívül fontos lesz a jövőben.

Tudományos problémának tekintem, hogy a drónok alkalmazásának exponenciális növekedésével hogyan lehet a különböző feladatokat – a vizsgált témakörömet tekintve egyes közszolgálati tevékenységeket is – hatékonyabbá tenni. Ezért, fontosnak tartom az általánosan alkalmazott megoldások bemutatása mellett, egyes közszolgálati feladatok alkalmazási lehetőségeinek részletesebb vizsgálatát, kutatását, a különböző területek témaspecifikus fejlesztési lehetőségeinek feltárását.

Kutatási célkitűzések

A kutatásaim kezdetén számos célkitűzést megfogalmaztam, amelyek iránymutatást adtak a vizsgálataim folytatásához. Az eredményeim eléréséhez a következő célokat tűztem ki magam elé:

1. Műszaki, technológiai kapcsolatot keresek a drónok alkalmazási lehetőségei és a közszolgálati tevékenységek hatékonyságának javítása között.
2. Drón alapú levegőminőség ellenőrzésre alkalmas rendszert dolgozok ki, amely a jelenlegi megoldásnál hatékonyabban képes a levegőtisztaság védelmét szolgálni.
3. Drón alapú napelempark felügyeletére alkalmas rendszert dolgozok ki, amely képes garantálni a működés ellenőrzését és a jelentkező problémák azonnali észlelését.
4. Drón alapú ipari tevékenységek felügyeletére és ellenőrzésére alkalmas rendszert dolgozok ki, amely a jelenleginél hatékonyabban szolgálja a balesetek megelőzését és a bekövetkezett balesetek elhárítását.
5. Kidolgozom a dróntól függő paraméterek változásának összefüggéseit fertőtlenítés esetére, így a repülési magasság, a repülési sebesség, valamint a fertőtlenítőszer áramának egymásra hatását.

Kutatás hipotézisek

A céljaim eléréséhez az alábbi hipotéziseket állítottam fel.

1. Feltételezem, hogy a drónok jelenlegi alkalmazásai műszaki, technológiai szempontból potenciálisan már képesek kielégíteni egyes közszolgálati tevékenységek igényeit. (H1)
2. Feltételezem, hogy a drónok alkalmazásával olyan új levegőminőség-ellenőrzési rendszer dolgozható ki, amely a jelenlegi megoldásnál hatékonyabban képes a légszennyezettség mérésére és a szennyező források beazonosítására. (H2)
3. Feltételezem, hogy drónok alkalmazásával a napelemparkok műszaki felügyelete hatékonyan megvalósítható, a működési zavarok pedig gyorsan észlelhetők. (H3)
4. Feltételezem, hogy drónok alkalmazásával az ipari tevékenységek hatékonyan felügyelhetők, a káresetek pedig az eddigieknél hatékonyabban megelőzhetők és elháríthatók. (H4)
5. Feltételezem, hogy a drónok fertőtlenítésre való alkalmazhatóságát a dróntól függő paraméterek a védekezés hatékonyságát meghatározó módon befolyásolják. (H5)

Kutatási módszerek

A tanulmányaim, valamint a konkrét kutatómunkám során a következő főbb kutatási módszereket alkalmaztam:

- Elemeztem és tanulmányoztam a releváns hazai és nemzetközi szakirodalmakat, a vonatkozó jogszabályokat és előírásokat.
- A téma több hazai és néhány nemzetközi szakértőjével személyes konzultációt folytattam, felvettem a kapcsolatot több, a drónok gyártásában, üzemeltetésében mértékadónak számító hazai és nemzetközi vállalattal.
- Részt vettem a témakörrel kapcsolatos több hazai és nemzetközi konferencián, előadásokat tartottam, valamint véleménycseréket folytattam.
- Induktív és deduktív felméréseket készítettem, valamint szakmai interjúkat elemeztem.
- Felhasználtam a repülések végrehajtásánál, oktatásánál és ellenőrzésénél szerzett saját gyakorlati tapasztalataimat.
- Rendszeres gyakorlással növeltem drónos repülési készségeimet, saját tervezés alapján kísérleteket végeztem.
- Az egyes méréseim tervezéséhez és eredményeinek értékeléséhez alapvető matematikai számításokat alkalmaztam.
- A különböző információk összekapcsolásához és azok új eredményként való rögzítéséhez logikai következtetéseket alkalmaztam.
- Rendszereztem és felhasználtam az eddigi munkahelyeimen szerzett vezetői és projektvezetési, fejlesztői tapasztalataimat.
- Az új koronavírus okozta járvány idején saját fejlesztésű kísérleteket végeztem, amely során drónok alkalmazásával fertőtlenítőszert juttattunk ki különösen magas fertőzési kockázattal járó felületekre.
- A kutatómunkám megmérettetéséhez, hazai és nemzetközi megítéléséhez – témavezetőmmel és instruktoremmal társszerzőségben – magas minőségű tudományos kiadványban is publikáltam.
- Egyes fejezeteknél a kutatómunkám elősegítéséhez, a releváns szakirodalom felkutatásához, rendszerezéshez mesterséges intelligenciát (ChatGPT) is alkalmaztam.

Az értekezés-tervezet felépítése

Az értekezés-tervezetet az alábbi gondlatmenet alapján építettem fel:

Az *első fejezet* a mondanivalóm keretezését szolgálja, így áttekintést adok a drónok kialakulásának történetéről, külön kiemelve egyes, számomra érdekes, vagy nagyobb

jelentőséggel bíró részeit. Ezután a drónok, illetve az alkalmazásaik különféle csoportosításából mutatok be néhány példát, keresve, illetve rámutatva az értekezésem témájának fókuszában lévő közszolgálati alkalmazásra. A drónok önmagukban nem feltétlenül jelentenek hasznosságot a felhasználó számára, azt többnyire az általuk szállított hasznos teher, közismerten elterjedt nevén a *payload* határozza meg. Ezért, a fedélzetre installálható eszközöket olyan szempontból tekintem át, amely alapot adhatott a kutatásaim középpontjában lévő fejlesztésekhez, így a légszennyezés vizsgálatához, a napelemparkok ellenőrzéséhez, az ipari környezet biztonságának növeléséhez, és a pandémia okozta fertőzések terjedésének csökkentéséhez.

A *második fejezetben* a légszennyezés ellenőrzésére, illetve a csökkentés drónok általi lehetőségének vizsgálatára és fejlesztésére fókuszálok. Ennek során áttekintést adok az ember okozta légszennyezés kialakulásáról és növekedésének kihívásairól, valamint rámutatok a probléma tűzrendészeti összefüggéseire. A légszennyezés valamennyiünk életére, egészségére hatással van, így a köz javát szolgáló ellenőrzési feladatokat, a minőségének javítását célzó intézkedéseket közszolgálati feladatként azonosítom. A fejezetben egy fejlesztési programot mutatok be, amely felhasználja mind az első fejezetben bemutatott szenzorok alkalmazási lehetőségeit, mind a korábbi munkahelyemen ezen a területen szerzett saját tapasztalataimat.

A *harmadik fejezetben* a napelemparkok ellenőrzési lehetőségeit és a működésük biztonságosabbá tételét vizsgálom. Meggyőződésem, hogy a légszennyezés csökkentésének javítása nem lehetséges a megújuló energiaforrások használata nélkül. A napelemparkok kiváló lehetőséget nyújtanak nem csak a második fejezetben tárgyalt légszennyezés mértékének csökkentésében, de az energiabiztonság, sőt, a hazai energiafüggetlenség biztosításában is. Ezért, a biztonságos működésük felügyeletét, az esetleges műszaki meghibásodások mielőbbi észlelését közszolgálati feladatként azonosítom. A fejezetben egy olyan fejlesztési programot dolgozok ki, amely felhasználja mind az első fejezetben bemutatott szenzorok alkalmazási lehetőségeit, mind a kisgépes repülések, valamint a drónozások során szerzett saját tapasztalataimat.

A *negyedik fejezetben* az ipari tevékenységek drónok alkalmazásával történő biztonságosabbá tételével foglalkozom. Az ipari tevékenységek nem csak a természeti környezetünkre vannak hatással, de meghatározza a társadalom jólétét, hosszútávú fejlődésének lehetőségét is. A nemzetgazdaság gerincét adó ipari termelés folyamatos fenntartása és növelése stratégiai érdek, azonban a természeti környezetünk megóvása, a fejlődés fenntarthatósága is hosszútávon ugyanilyen fontos. A gazdaság biztonságos és kiegyensúlyozott működése társadalmi-

gazdasági, nem utolsó sorban politikai érdek is, így az ezzel kapcsolatos egyes tevékenységeket, különösen a köz jólétét és biztonságát szolgáló tevékenységeket tágabban értelmezve közszolgálati feladatként azonosítom. A fejezetben egy fejlesztési lehetőséget mutatok be, amely felhasználja mind az első fejezetben bemutatott szenzorok alkalmazási lehetőségeit, mind a korábbi munkahelyemen szerzett vezetői, döntéshozói tapasztalataimat.

Az ötödik fejezet kidolgozásához a tanulmányaim közben megjelent új koronavírus járványra adott, saját elképzelésem szerint kivitelezett válaszom adta a motivációt. A járvány alatt személyes felelősségem volt olyan munkatársak tevékenységének biztonságát szavatolni, akik nap mint nap, igazoltan találkoztak a vírussal. Noha a tanulmányaim befejezését ez sajnos egyértelműen hátráltatta, a folyamatban lévő kutatásaimat mégis kiegészítettem, illetve kiterjesztettem a drónok járványügyi alkalmazásának vizsgálatával is. A pandémia nagyon súlyosan befolyásolta életünket, így az ellene való küzdelmet egyértelműen közszolgálati feladatként azonosítom. A fejezetben a saját ötletként bemutatott, és a körülményekre való tekintettel azonnal tesztelt, illetve megvalósított fertőtlenítési feladat elemzését és a jövőbeni hatékonyság növelése érdekében a dróntól függő paraméterek változásának hatását vizsgálom és értelmezem.

Az értekezésem utolsó részében a kötelező elemek mellett összefoglalom a kutatási eredményeimet, megfogalmazom téziseimet és javaslatokat teszek az eredményeim hasznosításának lehetőségeiről.

1 DRÓNOK ALKALMAZÁSA ÉS KÖZSZOLGÁLAT

A drónk a repülés talán legdinamikusabban fejlődő ágát képviselik. Ahhoz, hogy értekezésemben a drónokkal kapcsolatos feladatokat elemezzem, fontosnak tartom bemutatni azokat a történelmi „súlypontokat” amelyek hozzájárultak a mai modern drónok kialakulásához. Történelmi távlatokat figyelembe véve és az első felhasználások kudarcai, rámutattak azok társadalmi fontosságára. Mivel értekezésemben a drónok néhány olyan alkalmazását vizsgálom, amelyek a közjót szolgálhatják, ezért a meggyőződésem szerinti leginkább ide köthető közszolgálati részterületeket is igyekszem áttekinteni, így a tűzvédelem, katasztrófavédelem szakterületét, annak fejlődését. A fejezet utolsó harmadában arra mutatok rá, hogy a drónok nyilvánvalóan nem önmagukban segítik a közszolgálati feladatok teljesítését, hanem azokkal a mérőeszközökkel, szenzorokkal, amelyeket a fedélzetére installálunk.

A fejezetben felhasználom saját korábbi kutatásaimat is, így leginkább a drónok fejlődéstörténetével [9], az osztályozásával [10], a kismagasságú multispektrális érzékeléssel [11], valamint a drónok jövőbeli alkalmazási lehetőségeivel [12] kapcsolatban írt munkáimat.

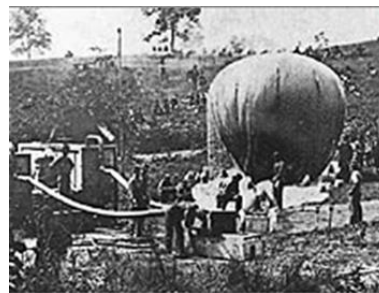
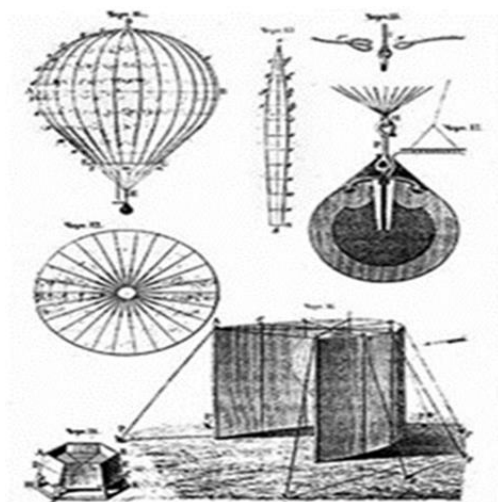
A fejezetben célul tűzöm ki, hogy műszaki, technológiai kapcsolatot keresek a drónok alkalmazási lehetőségei és a közszolgálati tevékenységek hatékonyságának javítása között.

1.1 A drónok alkalmazásának szakmatörténeti áttekintése

A pilóta nélküli repülés a közelmúltban egyre fontosabbá és aktuálisabbá vált [3]. A repülés legdinamikusabban fejlődő ágáról van szó, amely a ma már olyan tevékenységekre is alkalmas, amely korábban elképzelhetetlen volt [13]. Történeti visszatekintést adva, az első, pilóta nélküli légi járművekhez köthető alkalmazás még 1849-ben történt. Ekkor egy ballonokról végrehajtott légitámadást formájában szenvedte el Velence az első ilyen jellegű támadást az olasz függetlenségi háború idején [14].

A város különleges földrajzi helyzete (sekély lagúnák) miatt a háború idején elérhetetlenné vált az osztrák tüzőrség részéről, ez pedig újszerű támadó eljárás alkalmazását igényelte. tisztségviselője Franz von Uchatius hadnagy vezetésével bombákat rögzítettek a pilóta nélküli léggömbökhöz és a szélre bízták azt, hogy a bombákat Velence irányába vezesse [15]. Az ötlet maga forradalminak bizonyult, függetlenül attól, hogy első alkalmazása nem járt áttörő sikerrel. A történeti feljegyzések szerint nagyjából 200 db 14 kg robbanóanyagot szállító léggömböt indítottak útnak, ám ezek közül csak néhány ballon elérte csak el a célját, ráadásul csupán minimális sérüléseket okozva. Ennek ellenére ez az újszerű háborús filozófia megnyitott más

dimenziókat is, eleinte a katonai alkalmazásra fókuszálva, majd később a polgári alkalmazásban is utat törve magának. [16]



1. ábra. Drónok fejlődéstörténeti pillanatai. A legelső alkalmazás elvi ábrája (balra), az amerikai polgárháborúban alkalmazott ballon (jobbra fent), a spanyol-amerikai háborúban alkalmazott sárkányszerkezet (jobbra, lent). Forrás: [17] [18]

Időrendben folytatva, a drónok fejlődéstörténetében a következő mérföldkönek az amerikai polgárháború (1861-1867) tekinthető, ahol Charles Perley olyan hőlégballont tervezett, amely robbanóanyaggal megrakott kosarat tudott szállítani. Ez egy időzítő mechanizmushoz volt kötve, amely révén az időzítő kioldotta a ballon csuklós kosarát, így a robbanóanyagok kiestek, közben pedig elindítottak egy gyújtó mechanizmust is [17]. Európai vonatkozásban mérföldkönek tekinthető az 1898-as spanyol-amerikai háború, amely alatt William Eddy tizedes (USA) felderítési céllal több száz fényképet készített egy egyszerű sárkányszerkezetéről, amelynek kioldóját a földről egy kötéllel mozgatták [18]. A fentiek egyértelműen időjárásfüggő tevékenységek voltak, amelyek a mérsékelt hatékonyságukat tekintve is fontos előrelépésnek tekinthető a pilóta nélküli repülés tekintetében. A fentiek innovációit számomra leginkább a különböző nyitó és gyújtó szerkezetek alkalmazása, valamint a navigáció becslése jelenti.

A fejlődés ezután érezhetően felgyorsult, 1942-ben megkezdődött az ún. „FU-GO” –ra keresztelt pilóta nélküli robbanó és a felszínen tüzet keltő harci ballonok tervezése [19] A ballon fejlesztése számára további lökést adott az amerikaiak 1942. április 18-án Tokió és Yokohama városai ellen indított légi támadása, ezzel jelentős pusztításokat okozva Japánnak. Ezt követően Japánban megkezdődött a kutatási tevékenység olyan bombák hordozására amellyel elérhetővé válik az amerikai kontinens [20]. Az első éles bevetés azonban csak 1944-ben valósult meg, hiszen a szakértők ekkorra voltak képesek leküzdeni az egyes technológiai problémákat. Munkájuk eredményeként tökéletesítették a léggömbök anyagát tökéletesítették selyemből, illetve gumiból. Az időjárási viszonyok ismeretében a Föld északi féltekéjén a téli időszakban

uralkodó széljárásnak köszönhetően csak remélhették, hogy a léggömbök az Amerikában landolnak és nem a környező területek egyikén [21]. Kedvező időjárási feltételek esetén, a nagy átmérőjű, bombákkal rendelkező, személyzet nélküli léghajók megindultak az amerikai városok felé, majd azokat elérve a megfelelő helyen és helyzetben, ledobták a bombákat, amelyek a földre csapódva azonnal felrobbantak. A művelet korlátozott hatékonysággal bírt, hiszen egyes ballonok nem voltak képesek elérni a célterületet, míg más ballonokat a szél visszarepített Japán irányába.

A háború utolsó évében 1945-ben egy nagy átmérőjű léggömb repült a dél-dakotai Cheyenne város irányába. Az ott lakók félve figyeltek fel a hagyományos, hajlékony papírból készült gömbre, amelyet kezdetben egyfajta időjárási jelenségnek képzeltek. A léggömbök közül több is földet ér, azonban pusztító hatásuk korlátozott volt. Egyes ballonok ugyan felrobbantak, de több közülük „csak” nagyobb szabadterületi tüzet hozott létre.

A FU-GO néven megalkotott fegyver tehát egy hidrogénnel töltött ballon volt, amelyből több mint 9000 darab készült. Ezeket a fegyvereket a gyors Csendes-óceáni légáramlatok szállították több mint 3 napon keresztül, akár 250 km/h sebességet is meghaladva a 8000 km távolságra található észak-amerikai partokig. A ballon 4 gyújtó, valamint egy 15 kg-os, repeszromboló bombát hordozott. A fegyver alkalmazásának elsődleges célja a pánikkeltés volt, illetve tüzek létrehozása.

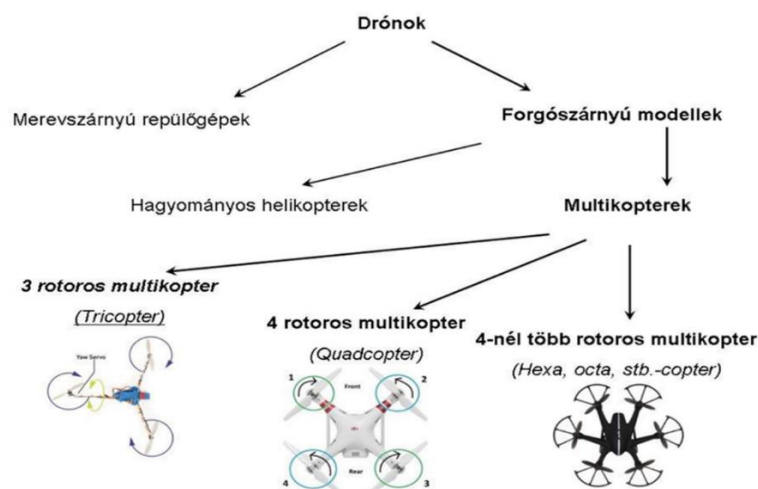
A második világháború után a fejlesztések döntően továbbra is katonai irányultságot követett, de csíráiban megjelentek az első polgári alkalmazások is, amelyek döntően a katonai alkalmazások tapasztalatainak felhasználására épültek. A pilóta nélküli repülőeszközök robbanásszerű fejlődéséről Palik társszerzőkkel írt könyve ad részletes elemzést [3].

A katonai alkalmazásokon túlmenően Magyarországon 2004-ben kezdődtek kísérletek arra vonatkozóan, hogy pilóta nélküli repülőgépeket alkalmazva hogyan lehet a tűzoltók munkáját segíteni, elsősorban erdőtüzek felderítése és oltása során [22]. A kezdeményezés eredményeként a Szendrői Tűzoltóságon a 2006-os évben készenlétként is állította ezeket az eszközöket [23]. Természetesen a pilóta nélküli légi eszközök nem csak tüzeknél, de különböző kiterjedésű sokféle más káreseményeknél is hatékonyan felhasználhatók [24], hasznosak lehetnek a katasztrófákat megelőző [25], de akár az azt követő újjáépítési és helyreállítás időszak feladatai során is [26]. Ezeknek az alkalmazásoknak a részletes kidolgozása sok esetben még hátra van, de ettől függetlenül igazolja a pilóta nélküli légijárművek alkalmazásának hasznosságát. Ez utóbbi alkalmazások már a köz érdekét szolgálták, közszolgálati alkalmazásoknak is tekinthetjük őket, amelyek valójában átmenetnek számítanak a katonai alkalmazások felől a polgári alkalmazások irányába [27].

1.2 A drónok csoportosítási lehetőségei és alkalmazási területei

A légitözlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény alapján pilóta nélküli légi járműnek tekintünk minden olyan polgári légi járművet, amelyet úgy terveztek és tartanak üzemben, hogy az eszköz irányítását nem a fedélzeten tartózkodó személy végzi [28]. Ide tartoznak a néhány centiméteres, földről vezérelhető repülő gyerekjátékok éppen úgy, mint a repülőgépek súlyával és méreteivel vetekedő típusok. A pilóta nélküli légijárművek rövidebb, egyszerűbb meghatározására a drónok elnevezés viszonylag gyorsan tért hódított hazánkban is, így noha az előbbi jóval inkább kifejezi lényegét, ma már bátran használhatjuk az utóbbit is. A drónok használatának robbanásszerű fejlődésével együtt rengeteg különböző típus is megjelent, amelyek számbavétele talán nem is lehetséges. A gyakorlatban is inkább a jellegzetességeiket vesszük figyelembe és ezek szerint csoportosítjuk, kategorizáljuk őket. Ebben is számos lehetőség mutatkozik, a teljesség igénye nélkül én is inkább csak a leggyakoribb kategóriákat említtem meg:

- Méretük alapján: annak ellenére, hogy saját tapasztalataim alapján is egyértelműen az egységesítés irányába mutató tendenciákat látok, az eltérő kontinenseken eltérő határok alapján történik a megkülönböztetés.
- A meghajtás módja szerint elsősorban a hagyományos meghajtás (fosszilis energia) és az elektromos meghajtás között teszünk különbséget. Számos erőfeszítést látok arra vonatkozóan, hogy a hidrogéncellás meghajtás is elterjedjen, így – megítélésem szerint - a jövőben ez akár külön meghatározó kategóriává is válhat.
- A felszállás módja alapján megkülönböztethetünk repülőgépszerűen, valamint helikopterszerűen felszálló drónokat. Ennél a csoportosításnál akár a segédeszközt (katapult) igénylő és nem igénylő kategóriát is felállíthatjuk (kézből indítható).



2. ábra. Drónok egy lehetséges csoportosítása. Forrás: [29]

- A szárny felépítése alapján a drónok lehetnek forgószárnyasak, vagy merevszárnyúak, esetleg ezen belül is a klasszikus felépítésűek, vagy delta szárnyúak.
- Rotorszám alapján is több kategória adható, a legelterjedtebb négyrotoros változattól eltérően találhatunk három rotorosat is, de a nagyobb terhelés (pl. légitaxi) inkább a nagyobb rotorszám irányába mutat.

A fentieken túlmenően számos más csoportosítás is adható, így pl. a légtér igénybevétele, a hatótávolság, a jogi szabályozás, vagy az alkalmazás fókusza alapján is. Ez utóbbira alkalmazom Restás 6K modelljét (3. ábra), amely alapján a drónok 6 különböző alkalmazási csoportba sorolhatók [30]. Így:

1. A drónok korai alkalmazása, illetve a felhasználásuk speciális jellege miatt a katonai alkalmazás állhat a felsorolás első helyén. Annak ellenére, hogy a katonai alkalmazás megítélése nem feltétlenül pozitív, az itt nyert tapasztalatok nyilvánvalóan a polgári alkalmazások irányába is számos esetben átültethetők.
2. A kereskedelmi felhasználások körébe sorolódnak azok az alkalmazások, amelyek profitorientált vállalkozások kezelésében történnek. A különböző alkalmazások közül ide sorolhatók a távérzékelésen alapuló adatgyűjtési formák, a különböző szállítási feladatok, de akár a precíziós mezőgazdaság hatóanyag kijuttatási feladatai is.
3. A katonai és a kereskedelmi alkalmazások közötti átmenetet jelenthetik a közszolgálati alkalmazások, amelyek célja egyértelműen a valamilyen közérdekből folytatott repülés, vagy valamilyen közfeladat, közszolgálat drónos repüléssel történő támogatása. Közszolgálat széles értelemben vett fogalmába beletartozik minden olyan feladat, amely az állam nevében történik. Így példaként ide sorolhatók a rendőrség, a határvédelem, a katasztrófavédelem repülései, de valamennyi olyan repülés is, amely a határvédelemnél jelentkező feladatok. Az értekezésem tárgyát tekintve ide sorolom a levegővédelemmel, az energiabiztonsággal, az ipari tevékenység környezeti biztonságával, de az egészségügy támogatásával járó feladatokat is.
4. A fenti három nagy felhasználási kör mellett egyértelműen elkülöníthetők a kifejezetten kutatási, kísérleti céllal történő repülések is, így ezek is külön csoport alkotnak. Ezek a repülések új információk megszerzésére, a hatékonyság növelésének keresésére irányulnak, az eredményei pedig valamilyen formában várható, hogy a többi alkalmazás tekintetében is megjelennek.
5. A fenti feladatoknál a repülések valamilyen szigorú szempontrendszer alapján kerülnek

végrehajtásra. A drónokkal való repülés azonban lehet csupán kedvtelési célú is, ahol játékként tekintünk rájuk, elhagyjuk a korábbi feladatokra jellemző szigorú kereteket és maga a repülés öröme jelent szórakozást a kezelőjének.

6. Valamennyi repülés csak akkor hajtható végre, ha a kezelő személyzet a vonatkozó jogszabályban előírt feltételeknek megfelel, így képzésben kell részesülnie. Ez garantálhatja nem csak a drón és kezelőjének, de a repülésben részt vevők és a repülés környékén lévők biztonságát.



3. ábra. A drónok felhasználásának 6K modellje Restás alapján. Forrás: [30]

A 6K modell a Katonai – Kereskedelmi – Közzszolgálati – Kutatási – Kedvtelési – Képzési alkalmazások kezdőbetűiből alkotott rövidítés, amely akár egy oktaéderrel is jellemezhető, ahol szinte valamennyi alkalmazás kapcsolódik a másikkal, logikusan a kutatási és a képzési, valamint a katonai és a kedvtelési célú alkalmazások talán a legkevésbé.

A kutatásom során a kereskedelmi alkalmazások robbanásszerű fejlődése mellett azt tapasztaltam, hogy a közzszolgálati drón alkalmazások is hasonló ütemben fejlődnek, mint a kereskedelmiek. Így, amíg a kutatásom elején célszerűnek tűnt számomra akár az egész területet magába foglalva egységesen vizsgálódnom, az évek során rájöttem, hogy a lehetőségek széles spektruma inkább turbulenciát okoz, mint tisztánlátást. Ezért, a kutatásom fókuszában olyan témákat őriztem meg, amelynél egyrészt szakmailag motiváltabb voltam, másrészt az eredményeimet a leginkább hasznosnak találom.

A fentieket igazolva, a vizsgálataim elején igyekeztem áttekinteni a releváns hazai és nemzetközi szakirodalmakat. Ennek során arra a következtetésre jutottam, hogy csak a rendészet területén is számos hazai tanulmány foglalkozott már a különböző alkalmazási

lehetőségeket. Így például, több szerző is adott ezzel kapcsolatban általános áttekintést [31-36], illetve jogi vonatkozású elemzést [37-40], de voltak szerzők, akik inkább lehetőségvizsgálatra [41-44] vagy szakmaspecifikus vizsgálatra [45-50] vállalkoztak, esetleg problémafelvetéssel foglalkoztak [51-54]. A szakirodalmi kutatásaim során négy tudományos diákköri dolgozattal [55-58], sőt egy doktori értekezéssel is [59] találkoztam. A témavezetőm is több cikket publikált, amelyek a rendészeti alkalmazásokon belül főleg a katasztrófavédelem, tűzvédelem témaköreit érintették [60-66].

A fenti szakirodalmi kutatásaim kapcsán is arra jutottam, hogy vizsgálataimat fókuszálni célszerű és a különböző közszolgálati feladatok közül a munkakörömhöz is kapcsolódókat kell mélyebben elemezni. Így, kifejezetten a levegőtisztaság és az energiabiztonság kérdéskörére, az ipari tevékenységek biztonságának erősítésére és a legutóbbi pandémia okozta nehézségek lehetséges jövőbeni megoldására koncentráltam.

1.3 A drónok hasznos terhelése

Noha lehetséges, a drónok többnyire mégsem csak önmagában a repülésükkel segítik, vagy támogatják a közszolgálati feladatokat, hanem valamely olyan eszköz szállításával, amely a fedélzetre installálva egy-egy adott célfeladat teljesítése szempontjából szakmaspecifikusnak tekinthető.

Az (EU) 2019/945 rendelete¹ a drón hasznos rakományának fogalmára – amelyet a szakmabeliek gyakran „payload”-nak neveznek – a következő meghatározást adja: *„minden olyan műszert, mechanizmust, berendezést, alkatrészt, berendezést, tartozékot vagy tartozékot jelent, beleértve a kommunikációs berendezéseket is, amelyek a repülőgéphez vannak beszerelve vagy ahhoz csatlakoztatva, és amelyet nem használnak vagy nem szándékoznak felhasználni repülés közbeni légi jármű üzemeltetésére vagy irányítására, és nem képezik a repülőgép vázának, hajtóművének vagy légcsavarjának részét.”* [67] Leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy hasznos teher minden olyan eszköz vagy tartozék, amelyet a repülőgéphez adnak, amelyet nem repülésre vagy annak irányítására használnak, és nem része a fő szerkezetnek, a motornak vagy a légcsavarnak.

Hasznos teher a drón lehet, például egy gimbal kamera. A drónok opcionális kiegészítőjeként tervezett külső eszközök, például kamera, valamilyen érzékelő (szenzor), fényszóró, de akár egy hangszóró is hasznos teher. Visszatekintésként, ahogyan korábban már említettem, az első, drónra szerelt érzékelőnek a spanyol-amerikai háborúban a fedélzethez rögzített

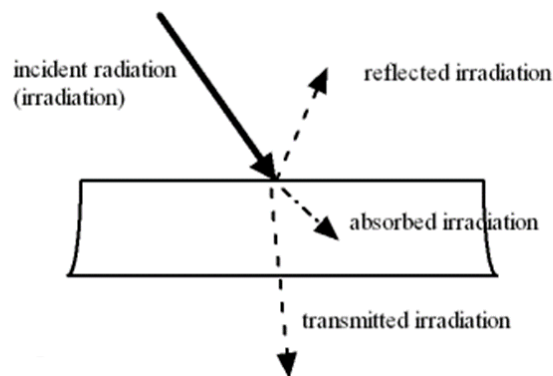
¹ 1. fejezet 3. cikk Fogalommeghatározások

fényképezőgépet tekinthetjük. Ezzel az ellenség elhelyezkedéséről próbáltak meg a földről nem megszerezhető módon információt szerezni. Ez a technikailag már régi módszer (fényképezés) az érzékelők vonatkozásában még ma is dominánsnak tekinthető, azonban minőségüket tekintve már természetesen össze sem hasonlíthatók.

A fejezetben szeretnék egy átfogó képet adni a kismagasságú, multispektrális drónos távérzékelésről, a reflektancia spektroszkópia alapelveiről, valamint annak gyakorlati alkalmazhatóságáról. Szeretném bemutatni, hogy milyen módon határozhatók meg a különböző felszíni anyagok – elsősorban a növényzet, talaj és vízfelszín – spektrális tulajdonságai, és ezek miként szolgáltatnak információt az adott anyag aktuális fizikai-kémiai állapotáról. Az érzékelők működésének megértésével, képességeik és határaik megismerésével elősegítem, hogy a fedélzetre szerelhető eszközök közül képes legyek a feladatot hatékonyan támogató eszköz kiválasztására és alkalmazására.

1.3.1 Kismagasságú multispektrális távérzékelés

Az alfejezetben áttekintem, hogy hogyan alkalmazhatók a drónok a különböző környezeti elemek állapotával összefüggő távérzékelési feladatok mérésére és térinformatikai adatbázisokban történő dokumentálására. Megvizsgálom továbbá, hogy a multi- illetve hiperspektrális érzékelésre képes drón, mint mérő eszköz informatikai megoldásokkal és alkalmazásokkal kiegészítve milyen módon válik, képessé térinformatikai megoldásokra épülő adatbázisok változáskövetési feladatainak az ellátására.

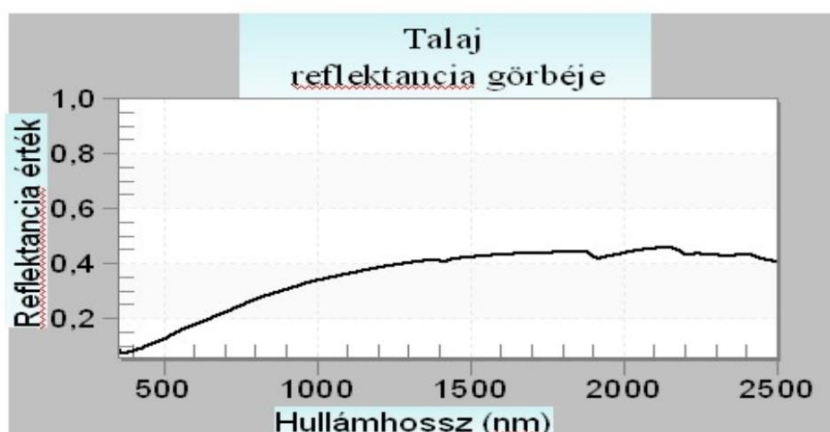


4. ábra. Az elektromágneses sugárzás kölcsönhatásai: áthatolás (transmitted irradiation), elnyelődés (absorbed irradiation), visszaverődés (reflected irradiation). Forrás:[68]

A távérzékelés egyre szélesebb körben alkalmazott, rendkívül gyorsan fejlődő technológia [69], amelynek hatékonyságát, valamint alkalmazhatóságának körét nagymértékben megnövelte a hiperspektrális rendszerek használata. A technológia alapjait a laboratóriumi spektroszkópia

alkotja, ahol az elektromágneses hullám és a vizsgált anyag kölcsönhatásait vizsgálják. Az egyetlen fizikai kontaktus az elektromágneses sugárzás, így az eljárás roncsolásmentes.

A reflektancia spektroszkópiában a vizsgált anyag felületéről visszaverődő sugárzás intenzitását hasonlítjuk össze a megvilágító fényforrásból érkező sugárzás intenzitásával, különböző hullámhosszokon. Az így meghatározott arányokat reflektancia értékeknek nevezzük. Az ezekből kirajzolódó, az anyagra és annak aktuális fizikai-kémiai tulajdonságaira jellemző görbéket reflektancia görbéknek hívjuk.



5. ábra. A talaj reflektancia görbéje. Forrás: [70]

A fejlett szenzorok a szem érzékelési tartományát (VIS²) kiterjesztik a közeli infravörös (NIR³) és a rövid hullámhosszú infravörös tartományba (SWIR⁴) is, a mely a szabad szem számára láthatatlan jelenségek, különbségek és anomáliák alapján történő detektálás, osztályozást tesz lehetővé [71]. A különféle környezethasználati engedélyhez kötött tevékenységek – mint például a veszélyes üzemek működéséhez szükséges hatósági működési engedélyek készítése – a műszaki felügyeleti munkák során a bizonyos esetben nehezen megközelíthető és veszélyes munkakörülmények léphetnek fel [72].

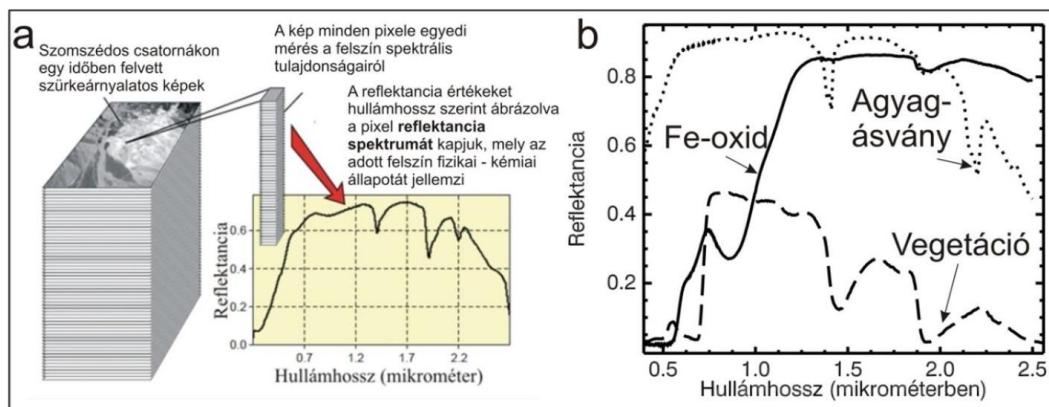
Saját tapasztalataim alapján is meg tudom erősíteni, hogy a közvetlen manuálisan irányított méréseket, és vizuális ellenőrzések adatait helyszíni vizsgálat után további irodai munka során dolgozzák fel, ezt követően dokumentálják, majd a vállalatirányítás különböző szintjein elemzik az eredményeket. Ezeket az ellenőrzési, felügyeleti munkákat gyakran jelentős állványozási, daruzási előkészítő munkák előzik meg. Ez mind időigényes feladat, valamint jelentős költségeket is jelent.

² VIS – visible spectrum: az elektromágneses spektrum szemmel érzékelhető tartományát (380–780 nm) jelöli.

³ NIR – near infrared: az elektromágneses spektrum közeli infravörös tartományát (800–2500 nm) jelöli.

⁴ SWIR – short-wave infrared: a rövid hullámhosszú infravörös sugárzás tartományát (900–1700 nm) jelöli.

A technika fejlődése terepi és képalkotó légi mérésekre egyaránt kiterjesztette a módszer alkalmazhatóságát. A légi hiperspektrális távérzékelés nagy területek, gyors és gazdaságoselemzésére kínál lehetőséget. Kiválóan illeszthető a nagy kiterjedésű infrastrukturális beruházások tervezését megalapozó terepi felmérések, meglévő képi, térképi és leíró adatbázisok pontosítása, az új, vagy felújítandó létesítménnyel, vagy annak környezetével kapcsolatos állapotörögzítésre, a környezetvédelmi tervezés és állapot dokumentálására és számos egyéb alkalmazásra is. Itt szeretném külön kiemelni a precíziós mezőgazdaságban rejlő lehetőségeket, amely egyértelműen a kereskedelmi célú drón alkalmazások talán legdinamikusabban fejlődő része [73,74]. Számomra egyértelmű, hogy a fentiek igénylik az olyan drónszenzoros rendszer fejlesztését, amelyek akár a veszélyes üzemeket működtető vállalkozások életében, akár a mérőeszközöket gyártó vállalkozások életében egyedülállónak és újdonságnak számítana. A fejlesztési folyamat eredményeként létrehozott drónra telepített mérőeszköz jelentősen csökkentené az üzemi vizsgálati munkák és mérések idő tartamát, valamint növelné a kiértékelés pontosságát, egyszerűsítheti az ismétlődő vizsgálatok elvégzését.

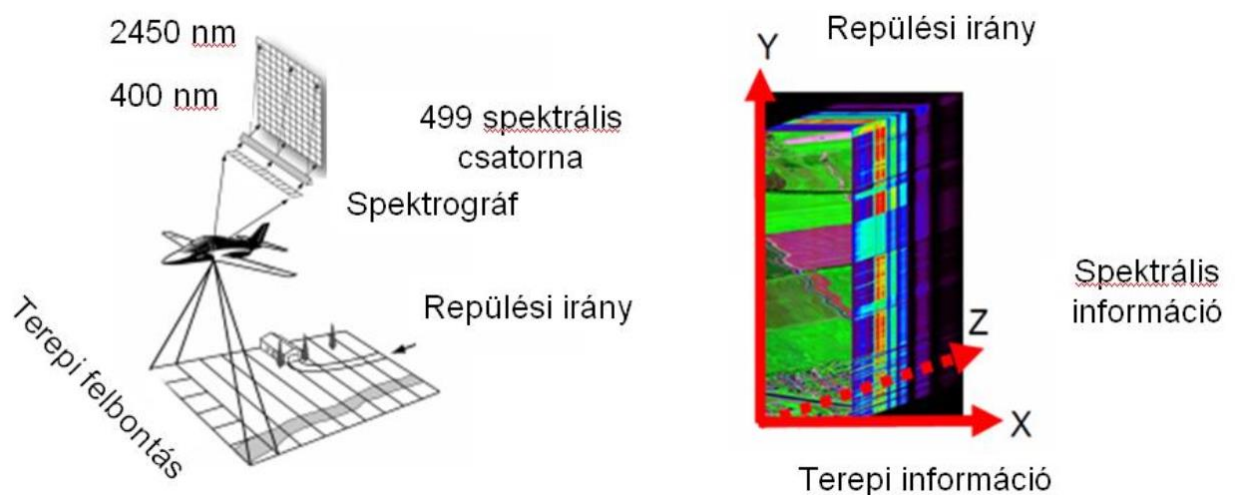


6. ábra. A hiperspektrális adatfelvételezés rendszere. Forrás: [74]

A kitűzött műszaki fejlesztési célok elérése esetén költséghatékonyabb eszközök állnának rendelkezésre a nagy kiterjedésű infrastruktúrát tervező, beruházó, illetve üzemeltető vállalkozások számára. A kutatás fő iránya egy olyan hiperspektrális mérések elvégzésére alkalmas szenzor csoport létrehozása, amelyek drónnal egybekapcsolhatók, és alkalmasak a mért adatok biztonságos továbbítására, egy megfelelő adatátviteli rendszer segítségével. Meggyőződésem szerint a folyamatok eredményeként a veszélyes tevékenységet folytató üzemeket felügyelő hatósági munka átláthatóbbá válna és a feléjük benyújtandó dokumentumok kezelhetősége is lényegesen rövidebb lehetne. A tervezett eredménnyel két felhasználói csoportot is ki lehet majd szolgálni. Egyrészt, az elkészült infrastruktúra elemek

felügyeleti terheit lehet majd a helyi élőerős ellenőrzés kiváltásával csökkenteni, másrészt ez hatékonyabb megoldást kínál az ellenőrzésekre és vizsgálatokra is. A vizsgálatokat követő digitális dokumentáció elkészítése és archiválása is lényegesen könnyebbé tehető. A folyamatok eredményeként a veszélyes üzemeket felügyelő hatósági munka átláthatóbbá és a feljük benyújtandó dokumentumok kezelhetősége is lényegesen könnyebbé válna. A technika fejlődése terepi és képalkotó légi mérésekre egyaránt kiterjesztette a módszer alkalmazhatóságát. A légi hiperspektrális távérzékelés nagy területek, gyors és gazdaságos elemzésére kínál lehetőséget. Kiválóan illeszthető a precíziós mezőgazdaságba, a környezetvédelembe és számos egyéb alkalmazásba. A repülés során a hiperspektrális rendszer egyidejűleg több száz spektrális csatornán készít szürkeárnyaltos képet. A felvétel minden pixeléhez tartozik egy reflektancia görbe, amely az adott felszín fizikai, kémiai állapotát jelzi.

A drón repülés során nagy pontosságú GPS/INS egység rendel a felvételekhez földrajzi koordinátákat, így a felvételek feldolgozását követően azok GIS adatbázisba illeszthető térképként kezelhetők. A hiperspektrális képalkotás elvét és a hiperspektrális adatkockát a következő ábra szemlélteti.



7. ábra. Hiperspektrális képalkotás. Forrás:[70]

1.3.2 A drónok alkalmazása légszennyezés mérésére

A légszennyezés egészségünkre gyakorolt hatásának fontosságát mutatja, hogy mérésére Budapesten már a két világháború között is találunk példát [75]. A légszennyezésnek alapvetően kétféle formájával találkozunk. Az egyik, amikor a szennyezés azonos fázisú, vagyis amikor a levegőben egészségünkre ártalmas gőzök, gázok mennyisége az elfogadott határérték fölött van. A másik fajta szennyezést a levegőben szálló porrészecskék adják, amelyek bár

A szennyezés mérésére alapvetően földi mérőállomásokot használunk, noha főleg kutatási célokból légi mérésekre is rendszeresen találunk példákat [76,77]. Ez utóbbi, vagyis a repülőgépekkel történő mérések előnye, hogy azok nagyobb távolságokból is képesek adatokat gyűjteni, hátránya viszont, hogy – érthető okokból – alacsony magasságban, ahol a szennyezettség leginkább hatással van az egészségünkre, csak korlátozottan képesek a levegő szennyezettségének meghatározására. A földi mérések előnye, hogy viszonylag egyszerű, egy megadott helyről a mérőeszköz kihelyezésével folyamatos mérésre van lehetőségünk. A hátránya, hogy önmagában csak az adott helyre vonatkozó adatokat tudja meghatározni, sem a szennyezés forrásáról, sem a jövőbeni alakulásáról nem tud érdemi információt szolgáltatni. Meggyőződésem, hogy a drónok hatékonyan segíthetnek a fenti problémák megoldásában, hiszen a fedélzetükre szerelt mérőeszközökkel nem egy adott helyről, hanem egy meghatározott körzetből tud információt szolgáltatni, a repülési magasság változtatásával pedig a szennyező forrás beazonosítására is lehetőséget kaphatunk.



A levegő szennyezettségének drónos mérésére is találunk már példát, ehhez Molnár munkáit használom, illetve foglalom össze [79-81]. A feladathoz a drónok itt is, mint más szenzorok alkalmazásánál valójában csak a szállítóeszközt jelentik. A kísérletekhez használhatjuk a már meglévő szenzorokat, noha figyelembe kell venni, hogy azok valószínű, hogy csak fix telepítésnél adnak hitelesített eredményeket. Ez azonnal felveti annak szükségességét, hogy a

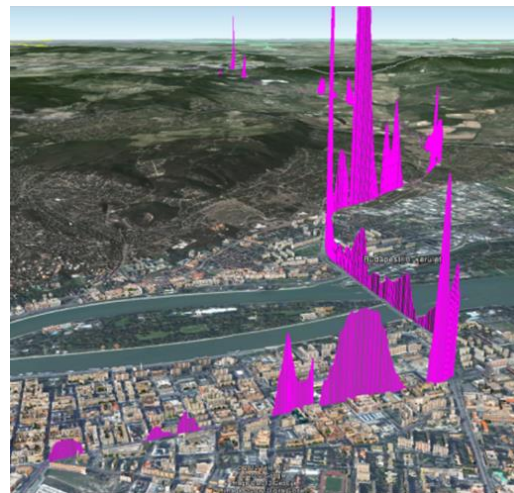
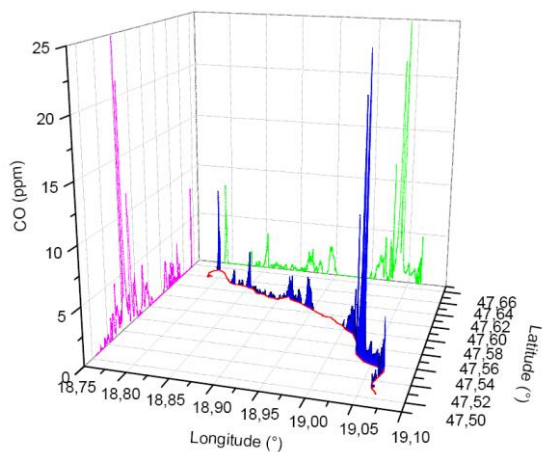
méréshez használt szenzorok esetleg további fejlesztést igényelnek, illetve új hitelesítési eljárás alá kell vonni őket.

Molnár munkája alapján azt látjuk, hogy a szenzorok légi alkalmazhatóságának igazolásához először földi, mozgó kísérleteket végzett. Ennek során a szenzorokat egy gépjárműre szerelte, majd egy Budapestre autózva folyamatosan mérte az értékeket. Ezután, grafikus kiértékelést végzett, amelynek az eredményei a 10. ábrán láthatók [79]. Az eredmények azt mutatják, hogy az adott hely (útvonal) változásával a szenzorok azonnal képesek a szénmonoxid szennyezés kimutatására.



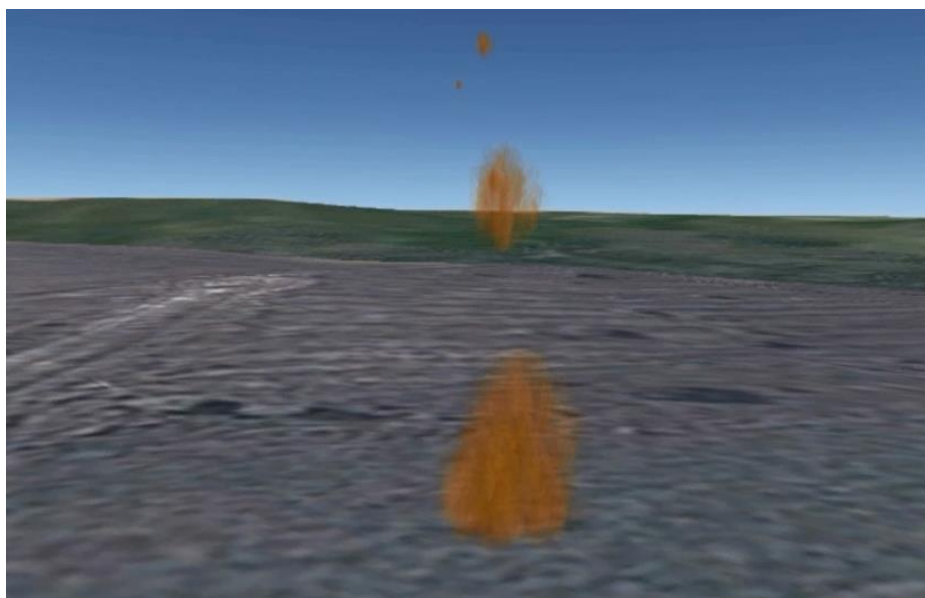
9. ábra. Merevszárnyú drónra szerelt érzékelők a légszennyezés méréséhez. Forrás:[79]

A fentiek azt igazolják, hogy a szenzorok alapvetően képesek lehetnek nem csak egy adott helyen mérést végezni, de folyamatos haladás mellett is adatokat tudnak gyűjteni. A földi tesztek igazolták az adatgyűjtés lehetőségét mozgó járműről, de ez a mérés egy kétdimenziós térben történt, a levegőben való adatgyűjtés azonban már háromdimenziós teret jelent. Az persze okkal feltételezhető, hogy a vertikális irányú mozgás nem fog nagyobb gondot jelenteni az adatgyűjtés során. A probléma inkább ott jelentkezik, hogy ugyanaz az adatsor, ami a kétdimenziós térben egy (útvonal)görbére illesztve értékelhető adatot adott a szennyezés helyhez kötöttségéről, a drón repülési körzetében, vagyis egy háromdimenziós térben már nem jelenti ugyanazt. Itt a szennyezés helyhez kötöttsége helyett inkább a kiterjedés mértékére és a szennyező forrás helyére vagyunk kíváncsiak. Azt feltételezem, hogy a szennyezés háromdimenziós kiterjedésének ismerete összefügg egyrészt a talaj közelben mérhető szennyezés mértékével, másrészt könnyebb meghatározni a szennyezés forrását is. A drónos légszennyezés mérésénél ezért képesnek kell lennünk arra, hogy nem csak egy adott helyről tudjuk megmondani a szennyezés mértékét, de ahogyan a felszíni mérésnél, itt is rá tudjuk rajzolni a repülési görbére a mért adatokat.



10. ábra. Gépjárműre szerelt szénmonoxid érzékelő értékeinek változása egy budapesti útvonalon.
Forrás: [79]

A repülési útvonaltól függően a mérési helyek egy térbeli ponthalmazt alkotnak, amelyekhez hozzárendelhetjük a mért értékeket. Amennyiben az azonos értékkel rendelkező pontokat összekötjük, akkor ún. rheológiai görbéket kapunk, amelyek térben határolják le az azonos szennyezettségű területeket. A fenti eljárás segítségével kapott eredményt grafikusán akár látványosabbá is tehetjük (színezés), amely jól behatárolhatóan mutatja a szennyezés helyét és akár mértékét is [80]. Azt gondolom, hogy Molnár eljárása a levegő szennyezésmérésére bizonyos fókig akár már jelenleg is alkalmas lehet, de célirányos továbbfejlesztése kifejezetten jól szolgálhatja majd a levegő minőségének megőrzését, javítását.



11. ábra. Levegőszennyezés mérésének egy példája Molnár munkája alapján valós repülés és mérési adatokra építve. Forrás: [80]

A fentiek alapján igazolva látom, hogy a drónok alkalmasak lehetnek olyan mérőeszközök, szenzorok szállítására, amely képes támogatni az egyes közszolgálati feladatok hatékonyságának javítását.

1.3.3 Képfeldolgozó, távérzékelő módszerek alkalmazási lehetőségei

Magyarországon folyamatosak a nagy kiterjedésű infrastrukturális beruházások, ami együtt jár ezek hatásterületének előzetes geodézia pontosságú, térképi alappontokra vetített felmérésével, illetve a tervezéshez szükséges geo információk helyességének ellenőrzésével. Mivel ez sokszor időigényes, költséges és olykor veszélyes tevékenység, ennek érdekében előnyös lehet kidolgozni egy olyan drónszenzoros rendszert, amely egyedülálló lehet ezeknek a beruházásoknak a mérnöki előkészítéséhez és folyamatos nyomon követéséhez. Egy ilyen korai alkalmazásra már hazánkban is találunk példát (12. ábra), a mérés során kivitelezői fegyelem betartására történtek mérések [82].



12. ábra. Kivitelezési munkák előírások szerinti ellenőrzése a Hungaropeck ZRT telephelyén (2010).

Forrás: [82]

A saját tapasztalataim alapján a fejlesztések során elengedhetetlen a potenciális felhasználó meghatározása, ami ahhoz kell, hogy megfelelően hasznosítani lehessen a fejlesztés eredményeit. Ez igaz akkor is, ha saját erőből történik a fejlesztési tevékenység finanszírozása és akkor is, ha ez külső erőforrás (pályázati támogatás, pénzügyi hitel) bevonásával

valósítható meg. A technológiát általánosságban azon cégeknek lehet értékesíteni, amelyek valamilyen nagyobb beruházást végeznek, ezáltal szükségük van műszaki előkészítési, felülvizsgálati és ellenőrzési folyamatra. A fejleszteni tervezett technológiai megoldás a felhasználók számára gyorsabbá és gazdaságosabbá teheti a működésüket. A szükséges érzékelők alkalmazásával például az olaj, gáz és villamos energetikai létesítmények műszaki felügyeletéhez szükséges rendszeres felülvizsgálati tevékenységek részbeni kiváltása is lehetséges. Ezeken kívül a mérési és észlelési eredmények helyszíni kiértékelése kevesebb tapasztaltot igényel, így ez akár a munkaerő állandósult piaci hiányát is enyhítheti. A következő célterületek lehetnek potenciálisak az infrastruktúra fejlesztők részére:

- mezőgazdaság (talaj szerves anyag tartalom változása, szikesedés, erózió, fizikai szerkezet degradációja, biomassa vizsgálata)
- erdészet (erdőtársulások lehatárolása, erdőtűzoltás támogatása)
- környezetvédelem (jellemző, homogén élőhely társulások lehatárolása, földfelszín alatti kisvízfolyások helyének pontosítása)
- város- és tájtervezés (beépítettség, környezeti stressz-analízis, hőveszteség, hatásvizsgálat a hőmérsékleti, valamint hőtehetlenségi tulajdonságokra)
- bányászat (nehézfém szennyezés, felhagyott területek változáskövetése, katasztrófavédelmi hatósági és megelőző tevékenységek)
- régészeti lelőhelyek területének lehatolása, leletek helyének pontos meghatározása
- földfelszín közelében nyugvó - korábbi háborús cselekményekből származó - robbanótestek felderítése, fejlesztési terület robbanótestektől való mentesítetttségének ellenőrzése, igazolása.

A modern civilizáció felgyorsult világában a távérzékelés nélkülözhetetlen eszközzé vált a különböző természetes és mesterséges rendszerek egyensúlyának és működésének vizsgálatában. A környezeti rendszerek lehatárolása és azok időbeli változásának nyomon követése nem végezhető el hatékonyan kizárólag a hagyományos terepi mintavételezéssel, vagy adatgyűjtéssel [83]. A környezet állapotát kizárólag hagyományos adatgyűjtési eljárásokkal vizsgálva csupán térben és időben egymástól távoli, diszkrét mintavételi pontok sokaságából vonhatjuk le a következtetéseket.

A távérzékelés lehetővé teszi a nagy területekről történő, felszíni folyamatokat jellemző, akár idősoros mintavételezést és a költséghatékony adatszolgáltatást [83]. A technológia különféle globális és lokális folyamatok vizsgálatára biztosít számos módszert és eljárást, amely lehetővé teszi az aktuális vizsgálati cél függvényében a megfelelő észlelést és adatfeldolgozási módszer

kidolgozását és alkalmazását. A távérzékelési módszerek képesek biztosítani továbbá azt a hatalmas adatmennyiséget is, amely nélkülözhetetlen a globális ökológiai rendszerek, illetve az egyéb lokális mikro-rendszerek folyamatainak tér és időbeli leírásához és elemzéséhez. Meggyőződésem, hogy a fejlesztés eredményeként megoldás kaphatunk a gazdasági és ipari tevékenységek legjellemzőbb környezeti hatásának és kölcsönhatásainak lokális és regionális szintű lehatárolására is. A fejlesztésekhez az alábbi négy irányokat azonosítom:

- Szakértői véleményezés alapján a kereskedelemben már most is kapható szenzorok alkalmazása, illetve szükség szerinti továbbfejlesztése;
- Olyan drónok alkalmazása vagy szükség szerinti kialakítása (fejlesztése), amely képes a meghatározott szenzorok szállítására;
- Mérések kiértékelésére alkalmas szoftver beszerzése vagy szükség szerinti fejlesztése, az adatok geoinformációs adatbázisban való elhelyezése;
- Olyan archiválási lehetőség megteremtése, amely alkalmas mind a hosszútávú és megbízható adattárolásra, mind az adatok integrációjából újabb, akár a jövőre vonatkozóan irányt mutató információ kinyerésére.

A fentiek alapján a képfeldolgozó és távérzékelő módszerek lehetőségei szinte korlátlanok, az eszközök méreteik alapján számos esetben a drónok fedélzetére installálhatók, így megítélésem szerint egyértelműen felhasználhatók közszolgálati feladatok végrehajtásához, kiegészítéséhez.

1.4 A drónok és a fedélzetükre installálható eszközök célirányos fejlesztése

A saját tapasztalataim alapján is meg tudom erősíteni, hogy a műszaki felügyeleti és vizsgálati munkák sokszor nehéz terepviszonyok között, földfelszínen és vízfelszínen is nehezen közelíthetők meg, azaz nehéz környezeti körülmények között végezhetők csak el. Emellett, igencsak időigényesek és egyáltalán nem költséghatékonyak. A fentiek miatt célszerű lehet egy olyan egyedülálló hiperspektrális, környezeti jellemzők optikai mérésnek elvégzésére alkalmas drónszenzoros rendszer létrehozása, amely segítségével a fenti problémák megszüntethetők, illetve jelentősen javíthatók. A fejlesztés során a képelemző, képfeldolgozó módszerek, a távérzékelés lehetőségei, a hiperspektrális elemzések és a szenzoros vizsgálatok képesek olyan ellenőrzési, felügyeleti támogatást adni, amely nem csak a profitorientált beruházók, kivitelezők és üzemeltetők számára, de a közszolgálati tevékenységet folytatók részére is kézzel fogható segítséget adhat. A fejlesztés az alábbiakban foglalható össze.

1. Csoport: Beruházók és üzemeltetők számára a műszaki felügyeleti munkák elvégzése, készültségi fok (esetleg százalékos meghatározással) megállapítása, terv-tény eltérések

rögzítése, esetleg banki finanszírozáshoz szükséges alátámasztó műszaki dokumentációk szolgáltatása, infrastrukturális nagyberuházások előkészítése, előzetes környezetvédelmi vizsgálatához szükséges dokumentációs munkarészek elkészítése majd az üzembe helyezéséhez szükséges dokumentációk alátámasztása és a beruházás tényleges környezeti terhelésének nyomonkövetése.

2. Csoport: Üzemeltetők számára az üzem közbeni állapotok ellenőrzése (hőmérséklet, korrózió, védőfestések, kopások folyamatos monitoring tevékenysége, esetleges szivárgások, gázok, gőzök, folyadékok kilépési helyének meghatározása), tényleges meghibásodások és ezzel üzemzavar megelőzése az ismert paraméterek megváltozásának érzékelésével (villamos távvezetékek keresztmetszet csökkenésénél tapasztalható hőmérsékletemelkedés) tervezett revíziós leállások vagy nagyjavítások során az energiaátviteli berendezések gyorsított állapotfelmérése, állapot-meghatározáshoz adatszolgáltatás.

A fejlesztés során fontos az adattárolók, elektromos és villamostechikai eszközök beszerzése, különböző szenzorok vásárlása. Célrányos szoftver fejlesztésére is szükség lehet, sőt, a drónos rendszer kialakítás miatt be kell szerezni hatósági engedélyeket is.

Fontosnak tartom olyan szolgáltatás kialakítását, amely vagy önálló társaság gazdasági tevékenységeként, vagy egy meglévő gazdasági társaság gazdasági tevékenységi körét bővítve használná a fejlesztés eredményeit, egy olyan drónszenzoros rendszer, amely mind a kritikus infrastruktúrát üzemeltető cégek életében, mind pedig a mérési piacon egyedülállónak számítana. Ez nagyban csökkentené a vizsgálati munkák időtartamát, valamint sokkal költséghatékonyabb lenne a beruházók és kivitelezők részére is. A drón irányítási rendszerével összehangolt szenzor működtetéséhez szükséges szoftver is kifejlesztésre kerülhet. Az összehangolt és beállított eszközök után a következő szakaszban megkezdődhet az összehangolt és megalkotott, a drónnal támogatott vizsgáló és ellenőrző rendszer tesztelése.

A konkrétan mérhető eredmények oldaláról a beruházások során a kivitelezők teljesítmények naprakész nyomon követése, a tervtény állapot folyamatos ellenőrzése. A kritikus eltérési pontok megszüntetésére azonnali intézkedéseket lehet így megtenni, például a nagyberuházások során jelenlevő több kivitelező közötti együttes munkavégzés során egyszerűen szabadíthatók fel a munkaterületek. Utómunkálatok esetében a hiánylisták megszüntethetők, a berendezések javításának ellenőrzése állványozási költség, időkiesés, valamint területfoglalási, engedélyeztetési eljárások nélkül véghezvihető. Üzemeltetés során: olaj, gáz és energetikai berendezések műszaki ellenőrzése, a magas költségű egészségügyi és

munkavédelmi követelmények szükséges biztosítása nélkül. Továbbá lehetséges a rendszer által a védőbevonatok, szigetelések állapotának ellenőrzése, korróziós károsodások további terjedésének megakadályozására, munkaterület előkészítése üzemzavarokhoz, valamint meghatározhatóvá válnak a leálláshoz vezető hibák (pl. tömítetlenség, anyagfogyás stb.), és a károsodás degradációja.

A drónos mérések kipróbálása és alkalmazhatósága oldaláról létrejön egy olyan új, a kereskedelemben még nem beszerezhető műszaki mérések elvégzésére alkalmas szenzor csoport, amely drónnal egybekapcsolható és képes a tapasztalt, valamint a mért adatok továbbítására egy annak megfelelő adatátviteli rendszer segítségével. Ennek köszönhetően a felhasználók jelentős költségeket takaríthatnak meg, valamint az egészségre is káros munkafolyamatokat is elkerülhetik.

A fejlesztés során megvalósuló kísérleti alkalmazáshoz megítélésem szerint az alábbi mérőföldköveket célszerű kitűzni, vagyis, a drónok és mérő szenzorok műszaki kialakításához az alábbi folyamatokat kell elvégezni.

A drónok, mint hordozóeszközök oldaláról:

- A fejlesztési tevékenység során az egyedi drónszerkezet konfigurálása a következő lépésekben: a drón típusának a kiválasztása (figyelembe véve a teherhordó képességet, a repülésvezérlőt, a földi irányítóállomást, a védelmet és a nagy felbontású esetenként hiperspektrális kamerát);
- Egy vagy két kísérleti eszköz összeállítása;
- A szenzorra és a drón platform összeillesztése, esetleg állandó illesztési megoldások alkalmazása, beleértve a szükség szerinti dokkolókat is;
- Munkavégzéshez szükséges stabilizáló és rögzítő eszközök fejlesztése;
- A mérések elvégzéséhez adaptált manipulátor karok kialakítása;
- Autonóm működtetés esetén az előre meghatározott mérési pontok rögzítése;
- A drón földi és légi kalibrálása.

A drón fedélzetére installált szenzor oldaláról:

- Meghatározni a legcélszerűbb a mérési eljárást, illetve eljárásokat;
- Hitelesíthetőségükhöz szükséges mérési módszertan kidolgozása;
- Szenzor kiválasztása, figyelembe véve a méréshez megkövetelt pontosságot, a mérési tartományt és tűrést, a mérési sebességet, a módszert és a mérőszensor tömegét, alakját;
- Mérőeszköz rögzíthetősége a drón oldalánál leírtakhoz hasonlóan;
- Mérési eredmények jeltovábbításának módja, vagy a mérési eredmények gyűjtése.

A fenti fejlesztés főbb szakmai feladatait három csoportba osztottam:

1. Eszközök beszerzése, szoftverfejlesztés:

A szenzor csoport fejlesztési programjának kidolgozása, meghatározása, a továbbfejlesztésre alkalmas alapegységek kiválasztása. A mért adatoknak a fedélzeti tárolása és azok átviteli rendszerének a kialakítása: adatképletesség, mennyiség, időbeni transzfer meghatározása, adatfogadó szoftver kialakítása, szoftverfejlesztés irányítása, valamint a monitoring drónszenzoros vizsgálatok eredményeinek visszacsatolása a fejlesztési folyamatba. Meggyőződésem, hogy alapvető elvárásnak kell lennie, hogy a drónra telepített mérőeszközök képesek legyenek veszélyes üzemi környezetben működni, rendelkezzenek az ehhez szükséges képességekkel és ezeket igazoló biztonsági tanúsításokkal.

2. Dokumentálás

A kutatás folyamán ki kell alakítani egy dokumentációs rendszert, azt folyamatosan karban kell tartani. Amennyiben szükséges, a dokumentációs rendszert akár a fejlesztés folyamán is újra kell gondolni, át kell alakítani, az esetleges későbbi mérésügyi és szabványosítási dokumentációs követelmények alapjainak a biztosításához.

3. Drónok tesztelése

Repülő üzemmódban a hiperspektrális drónszenzorok tesztelése, légi navigációs biztonság (esetenként légtérhasználati engedélyeztetési eljárások kialakítása), gyakorlati és elméleti tréning program kidolgozása a szenzoros drón felhasználók számára [84,85].

4. Elért eredmények dokumentálása

Innováció hasznosítás stratégiájának megalkotása, hazai és nemzetközi publikációk elkészítése.

A téma újdonságából eredően a kezdeti célkitűzésekben megfogalmazott területeken ki kell dolgozni a potenciális felhasználóhoz eljuttatás hasznosítási stratégiáját, valamint ennek támogatására a tudományos eredmények bemutatását hazai és nemzetközi tudományos konferenciákon előadások és publikációk formájában.

1.5 A fejezet eredményeinek összefoglalása

Az első fejezetben azt a célt tűztem ki magam elé, hogy műszaki, technológiai kapcsolatot keresek a drónok alkalmazási lehetőségei és a közszolgálati tevékenységek hatékonyságának javítása között.

A célkitűzésem teljesítéséhez elsőként áttekintettem a drónok kialakulásának és fejlődéstörténetének általam fontosabbnak tartott állomásait, majd a jelenleg kereskedelmi forgalomban lévő drónok csoportosítási lehetőségeit vettem számba. Ezek után az alkalmazási lehetőségek kategorizálását tekintettem át, amely során bemutattam azt a 6K modellt, amelyben a közszolgálati alkalmazások jól elkülöníthetően külön csoportot alkotnak.

A fejezet domináns részét képezi a már meglévő műszaki, technológiai lehetőségek bemutatása és a jövőbeni lehetőségek keresése a különböző közszolgálati alkalmazások hatékonyságának javítása érdekében. Ezek során arra törekedtem, hogy bemutassam a drónokkal végzett különböző adatgyűjtési lehetőségeket, így a multispektrális távérzékelés alkalmazhatóságát, a képfeldolgozás és távérzékelés lehetőségeit, a levegőből való mintavétel előnyeit, amelyek mind képesek hasznos támogatást nyújtani a környezeti vizsgálatok állapotértékelésének területén. Arra törekedtem, hogy rendszerszinten ismertessem mind a technológiai alapokat – ideértve az eszközparkot és a szenzorokat –, mind a gyakorlati megvalósítás lépéseit, valamint azok lehetséges kimeneteit és értelmezési szempontjait is. Bemutatásra került a multispektrális szenzorok működése, különös tekintettel a reflektancia spektroszkópia elveire, valamint az egyes spektrális csatornák szerepének a fontossága. Külön fejezetet érdemelt volna a spektrális visszaverődés növények aktuális állapotára vonatkozó értékelési lehetőségeinek vizsgálata, a különböző vegetációs indexek (pl. NDVI⁵, GNDVI⁶, NDRE⁷), különösen az erdőtűzzel kapcsolatos indexek (FWI⁸, WBI⁹) bemutatása és értékelése, azonban annak ellenére, hogy a témát kifejezetten érdekesnek találtam, a közszolgálati témák fókuszban tartása miatt a lehatárolással ezt ki kellett hagynom.

Fontosnak tartom megemlíteni, hogy a gyakorlatban kiemelt szerepe van a repülések megtervezésnek, az adatgyűjtésnek és az adatok utófeldolgozásnak is. Repüléstechnikai szempontból fontos rámutatni arra, hogy a repülési magasság, a sávfedés, az időjárási

⁵ NDVI – Normalized difference vegetation index

⁶ GNDVI – Green normalized difference vegetation index

⁷ NDRE – Normalized difference red edge index

⁸ FWI – Fire Weather Index: a nemzetközi gyakorlatban a leggyakrabban alkalmazott tűzveszélyességi index

⁹ WBI – Waldbrand-Gefahrenindex: Németországban használt tűzveszélyességi index

körülmények és a fényviszonyok miként befolyásolják az adatok minőségét. A feldolgozás során alkalmazott szoftveres háttér használata – például ortomozaik készítés, spektrális korrekció, index térképezés – szintén nélkülözhetetlen.

Az elemzés során arra a következtetésre jutottam, hogy a kismagasságú drónos adatgyűjtés különböző formái, a távérzékelés, különösen multispektrális megközelítéssel, alkalmas precíz, helyspecifikus információk gyűjtésére a környezet állapotáról. A megfelelő eszköz- és szenzorkiválasztással, valamint gondosan megtervezett repülési és feldolgozási eljárással megbízható eredmények érhetők el. Ez az épített környezeten túlmenően különösen értékes lehet a precíziós mezőgazdaság, az ökológiai monitoring, illetve a környezeti változások nyomon követésében is.

Az eddigiek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az épített, az iparosított, valamint a természetes környezetben végzett eddigi drón alkalmazások, vagy az alkalmazások lehetséges adaptációi a közszolgálati alkalmazások esetében is részben, vagy teljesen, esetleg további fejlesztés útján, de megvalósíthatók. A drónok, mint szállító eszközök és a fedélzetükre szerelt adatgyűjtő eszközök között tehát található olyan műszaki, technológiai kapcsolat, amely a közszolgálati tevékenységek hatékonyságát javíthatják.

A fentieket más aspektusból megközelítve a drónok közszolgálati alkalmazásának történeti, technológiai és gyakorlati aspektusainak elemzése során meggyőződésem, hogy sikerült átfogó képet alkotni arról, hogy ezek az eszközök miként járulhatnak hozzá a közszolgálati feladatok hatékonyabb ellátásához. A fejezetben bemutatott történelmi áttekintés rámutatott arra, hogy a drónok fejlődése szorosan összefügg az emberiség technológiai innovációival, kezdve a 19. századi kezdetleges léggömböktől a mai modern, multifunkcionális légi járművekig. Ez a folyamat nem csupán a technológia evolúcióját tükrözi, hanem azt is, hogy a drónok alkalmazása hogyan vált a katonai szférából a polgári és közszolgálati területek szerves részévé. A történeti kontextus megértése kulcsfontosságú annak felismeréséhez, hogy a drónok jelenlegi képességei nem elszigetelt fejlesztések eredményei, hanem évszázados kísérletezések és tapasztalatok „gyümölcsei”.

A drónok csoportosítási lehetőségeinek vizsgálata során egyértelművé vált, hogy a technológiai sokszínűségük – legyen szó méretükről, meghajtásukról, felszállási módjukról vagy szárnyfelépítésükről – lehetővé teszi alkalmazásuk testreszabását a közszolgálati feladatok specifikus igényeihez. Például a forgószárnyas drónok kiválóan alkalmasak helyszíni,

kismagasságú feladatokra, például katasztrófavédelmi felderítésekre, míg a merevszárnyú típusok hosszú távú monitoring feladatokra, például nagy kiterjedésű környezeti területek megfigyelésére. A 6K modell alkalmazása segített megszerezni a drónok alkalmazási területeit, különös tekintettel a közszolgálati feladatokra, amelyek a katonai és kereskedelmi alkalmazások közötti átmenetet képezik. Ez a modell nem csupán elméleti keretet nyújt, hanem gyakorlati iránymutatást is ad a drónok közszolgálati integrációjához, kiemelve azok szerepét a rendvédelemben, a katasztrófavédelemben, az energiabiztonságban és az egészségügyi feladatokban.

A drónok hasznos terhelésének (payload) elemzése során világossá vált, hogy az eszközök valódi értéke a fedélzetükre installált szenzorok és mérőeszközök képességeiben rejlik. A kismagasságú multispektrális távérzékelés, a légszennyezés mérése, valamint a képfeldolgozó rendszerek alkalmazása olyan technológiai előrelépéseket képvisel, amelyek közvetlenül támogatják a közszolgálati célokat. Például a multispektrális szenzorok lehetővé teszik a környezeti paraméterek pontos mérését, ami elengedhetetlen a légszennyezés monitorozásában vagy a természeti erőforrások állapotának felmérésében. Hasonlóképpen, a hőkamerák és optikai rendszerek alkalmazása a katasztrófavédelmi feladatok során gyors és megbízható adatgyűjtést tesz lehetővé, jelentősen csökkentve a reakálási időt. Ezek a technológiák nem csupán a drónok sokoldalúságát bizonyítják, hanem azt is, hogy képesek komplex, multidiszciplináris problémák megoldására, amelyek a közszolgálati szféra számos területén jelentkeznek.

A fejezet egyik legfontosabb eredménye, hogy sikerült műszaki és technológiai kapcsolatot azonosítani a drónok alkalmazási lehetőségei és a közszolgálati tevékenységek hatékonyságának növelése között. Ez a kapcsolat különösen abban mutatkozik meg, hogy a drónok képesek olyan területekre is eljutni, amelyek hagyományos eszközökkel nehezen vagy egyáltalán nem megközelíthetők, így jelentősen csökkentve a kockázatokat és növelve a beavatkozások sikerességét. Például egy katasztrófavédelmi művelet során a drónok valós idejű adatokat szolgáltathatnak a veszélyeztetett területekről, lehetővé téve a gyors és megalapozott döntéshozatalt. Hasonlóképpen, a környezetvédelmi feladatokban a drónok által gyűjtött adatok hozzájárulhatnak a szennyező források azonosításához és a megfelelő intézkedések kidolgozásához.

A kutatás eredményei rámutatnak arra is, hogy a drónok közszolgálati alkalmazásának fejlesztése nem állhat meg a jelenlegi technológiai szinten. A jövőbeni kutatásoknak és fejlesztéseknek figyelembe kell venniük a szabályozási környezet dinamikus változásait,

amelyek a drónok biztonságos és jogszerű használatát biztosítják. Emellett a technológiai trendek, például a mesterséges intelligencia és az autonóm rendszerek integrálása új lehetőségeket nyithat meg. A mesterséges intelligencia alapú adatfeldolgozás például lehetővé teheti a drónok által gyűjtött adatok valós idejű elemzését, ami tovább növelheti a közszolgálati műveletek hatékonyságát. A gyakorlati tapasztalatok szisztematikus gyűjtése és elemzése szintén kulcsfontosságú, mivel ezek az adatok lehetővé teszik a technológia pontosabb illesztését a specifikus feladatokhoz.

Meggyőződésem, hogy a fejezet eredményeinek gyakorlati alkalmazhatósága különösen hangsúlyos a közszolgálati szféra számára. A drónok alkalmazása nem csupán technológiai újítás, hanem egyfajta szemléletváltást is jelent, amely a biztonság, a hatékonyság és a fenntarthatóság együttes érvényesülésére törekszik. Például a katasztrófavédelem területén a drónok használata csökkentheti a beavatkozások során felmerülő kockázatokat, miközben növeli a műveletek sikerességét. Hasonlóképpen, a környezetvédelmi monitoringban a drónok hozzájárulhatnak a fenntartható erőforrás-gazdálkodáshoz, támogatva a hosszú távú környezeti célokat.

A fejezet eredményei arra is rávilágítanak, hogy a drónok közszolgálati alkalmazásának fejlesztése multidiszciplináris megközelítést igényel. A technológiai fejlesztések mellett figyelembe kell venni a társadalmi, gazdasági és jogi aspektusokat is. Például a drónok széles körű bevezetése a közszolgálati szférában új képzési programokat igényel, amelyek biztosítják a kezelők megfelelő felkészültségét. Emellett a társadalmi elfogadottság növelése érdekében fontos a lakosság tájékoztatása a drónok előnyeiről és biztonságos használatáról. A fejezet eredményei tehát nem csupán a technológiai innovációkra fókuszálnak, hanem a közszolgálati szféra átfogó fejlesztésére is, összhangban a kutatás célkitűzéseivel és a társadalmi jólét növelésének céljaival.

A fentiek alapján úgy érzem, hogy azt a feltételezésemet (H1), miszerint a drónok jelenlegi alkalmazásai műszaki, technológiai szempontból potenciálisan már képesek kielégíteni egyes közszolgálati tevékenységek igényeit, sikerült igazolnom.

Jövőbeni lehetőségek és távlati kilátások

A drónok közszolgálati alkalmazásának jövője számos ígéretes lehetőséget rejt, különösen a levegőtisztaság védelme, a megújuló energiatermelés támogatása és az iparbiztonsági

kockázatok csökkentése terén. A technológiai fejlődés, például a drónok autonóm működésének és energiahatékonyságának növelése, lehetővé teheti a nagy kiterjedésű területek hosszú távú, költséghatékony monitorozását, ami kulcsfontosságú a légszennyezés valós idejű feltérképezésében. A mesterséges intelligencia integrálása tovább finomíthatja az adatfeldolgozást, lehetővé téve a szennyező források azonnali azonosítását és a preventív intézkedések gyorsabb bevezetését. A távlati kilátások között szerepel a drónok hálózatba kapcsolása, amely lehetővé tenné a valós idejű adatmegosztást és a koordinált műveleteket, ezzel új szintre emelve a közszolgálati feladatok ellátásának hatékonyságát.

2 DRÓNOK ALKALMAZÁSÁNAK FEJLESZTÉSE A LEVEGŐMINŐSÉG ELLENŐRZÉSÉRE

Feltételezésem szerint a drónok alkalmasak lehetnek a levegőminőség ellenőrzésére, eseti hatósági ellenőrző vizsgálatra, illetve környezeti határértékek átlépésének észlelése esetén a hatósági eszközök támogatására, a közbeavatkozás műszaki, technikai feltételeinek megteremtésére is. Ennek keretén belül szűkebb környezetem, Budapest legfontosabb levegőminőségi kérdéseit kívánom elemezni, elsősorban a kibocsátó forrásokra és a levegőminőség alakulására vonatkozóan. Ezen felül a szabályozói környezet fejlesztéséhez vizsgálom és elemzem a témakörrel kapcsolatos jogszabályi háttérrel is. Végül, egy integrált, drón alapú levegőminőség-ellenőrzési rendszer létjogosultságának igazolásával és a műszaki megvalósítás alapvető kritériumainak meghatározásával egy fejlesztési javaslatot fogalmazok meg, amely kiterjed mind a drónokra alapozott új mérőeszközök fejlesztésére, mind pedig az ezzel összefüggő tevékenységek legfontosabb sarokpontjaira.

A fejezetben felhasználok saját korábbi kutatásaimat is, így leginkább a drónok kémények ellenőrzésének vizsgálatával [86], az alkalmazások biztonsági kérdéseivel [87], a környezetvédelemmel, annak jogi szabályozásával [88-90], a térinformatika alkalmazásával [91], valamint a drónok jövőbeli alkalmazási lehetőségeivel [12] kapcsolatban írt munkáimat.

A fentiek alapján a fejezetben célul tűzöm ki egy drón alapú levegőminőség ellenőrzésre alkalmas rendszert kidolgozását, amely a jelenlegi megoldásnál hatékonyabban képes a levegőtisztaság védelmét szolgálni.

2.1 Levegőszennyezés régen és ma

Szinte alig van az emberi kultúrtörténetnek olyan területe, amelyet ne lehetne úgy kezdeni, hogy „már a régi görögök is” ismerték, alkalmazták a kérdéses dolgot, eljárást. Esetünkben ez csak részben igaz. A legkevesebb, amit elmondhatunk az, az hogy a kéményépítés területén meglehetősen hanyagnak bizonyultak a hajdani görögök.

A füstelvezetés problémáját úgy oldották meg, hogy házaikban parázon sütöttek, főztek így ugyan az étel lassabban készült el, de a füst is kevesebb volt, tehát nem okozott túl nagy kellemetlenséget, amikor eloszlott a helyiségben. Ami a kényelmünket szolgáló eszközöknél, berendezéseknél gyakran lenni szokott, akkor tudnánk meg, hogy mi is az igazán, ha nem létezne. Bármilyen nehezen is elképzelhető, kémény nem mindig létezett.



13. ábra. Lakótérben használt ősi tűzrakó helyek a füst elvezetése nélkül Forrás: [92,93]

Krisztus előtti I. században találta fel egy bizonyos Sergius Orata nevű római lovag a hipocaustumot, a központi fűtés őst. A padló alatt, az e célra készített üreges téglákon belül magas hőfokra hevített levegő áramlott, aminek következtében a padló és a falak felmelegedtek, azoktól pedig, a helyiség levegője. A kőpadlót mintegy 80 cm magas oszlopok tartották. A padló alatt és a falban elhelyezett szellőzőnyílások segítségével idéztek elő huzatot. Egy külön alagsori helységben farönköket, faszenet égettek, s az így keletkezett hő áradt szét a „szellőző-csatornáknak”. Mivel a rómaiak a kéményt nem ismerték az elhasznált meleg levegő és füst-gáz együtt áramlott ki az üreges téglákon az épületből. Ez a fűtési mód máig a legegészségesebb; a láb melegedett fel, a szoba levegője is egyenletesen meleg maradt. Igaz, hőtechnikai számítások szerint az eljárás nem a leggazdaságosabb, mind az építése, mind az üzemeltetése költséges volt. [88]

A kőpadló miután átmelegedett, jól tartotta a meleget, ám rengeteg tüzelőanya-got és külön fűtőszemélyzetet igényelt. Ezért csak az egykori arisztokrácia tagjai, az előkelők engedhették meg maguknak, akik jobbra a házi fürdőhelyiségeik fűtésénél alkalmazták. A nagy közfürdők szinte elképzelhetetlenek voltak e fűtési rendszer nélkül. Egyes vélemények szerint a hipocaustumhoz néhol már kimondott, mai értelemben vett kémény is kapcsolódott. A háztartások zöménél mindenesetre teljesen ismeretlen volt a füsttelenítés e vívmánya. Főzésre és fűtésre parázsállványt használtak. Serpenyőben faszenet égettek, vagy pedig bronzból, vasból készült hordozható tartályokba raktak izzó faszenet, azt körülülve melegítették meg elgémberedett tagjaikat. [88]

Meglehet, a rómaiak már elvétve alkalmazták, azonban a jelek szerint az antik világ elmulasztotta felfedezni a kéményt. A középkor elején a tüzet még a ház közepén, egy gödörben vagy mélyedésben, a tetőbe vágott nyílás alatt rakták, amelyet, amikor a tűz leégett, vagy este aludni tértek, egy fa fedéllel elzártak. Akkoriban csaknem mindenütt törvény írta elő, hogy az est egy bizonyos órájában, amelyet harangkondulással jeleztek - ki kell oltani a tüzet és lezárni a fedelet.

Az embereknek, pedig le kellett feküdniük, vagy legalábbis otthon lenniük, hogy ne hagyják őrízetlenül a tüzet. Már jócskán benne járt az emberiség a középkorban, amikor feltűnt a kémény. A legelső megjelenését sokan a IX. században a szentgalleni kolostornál vélik felfedezni. Egyértelmű adataink a XII. század derekától vannak a mai értelemben vett füstelvezető építményre, egy-szerre Európa több pontjáról is: Angliából, Franciaországból, Itáliából. A bajorországi Nürnbergben, 1137-ben egyenesen arról történik említés, hogy ún. mászókémménnyel láttak el lakóhelyiségeket. A XIII. században, Skandináviában és több jel mutat arra, hogy már Magyarországon is felbukkan a füstelvezetés eme módja. [88]

Egy az 1933-ban írt tanulmány a kémény második, középkori feltalálását az araboknak tulajdonította. Abból indult ki, hogy a megbízható adatok mindegyike az első keresztes hadjáratot (1096-1099) követő időpontból való. A Szentföld, amelynek visszafoglalására hét ízben indultak keresztes csapatok, ekkoriban az arab világ övezetéhez tartozott. Az is valószínűsíti az e kultúrkörből való eredeztetést, hogy a mai Spanyolország nagy részét a VIII. századtól XII. századig megszállva tartó mórok, a cordovai kalifátusának fényes városaiban, nemcsak kövezett és kivilágított utcák voltak, de fürdők is, amelyeknek kiterjedt fűtési rendszerében - feltételezése szerint - kéménynek is kellett lennie. Meglehet, talán nem is annyira második feltalálásról van szó, mint inkább – az emberi művelődés történetében nem először – egy antik kultúrelem megőrzéséről.

A dolog eredeztetése egyáltalán nem elképzelhetetlen, hiszen tudvalévő, a mai kultúránk számos elemét az araboktól vettük át, s Európa országai mindazt, ami az igényesebb életmódhoz tartozott, a közép-kor folyamán voltaképpen két helyről merítették; e kényelmet és pompát szerető néptől, vagy Itáliából. Nem kizárt, hogy esetünkben az arab és az itáliai tényező más-más vetületben ugyan, de egyaránt érvényesült - igaz, az előbbieket szerepe vitatható és még további bizonyításra szorul. Már pusztán azért is, mert a „második feltalálás” másokhoz is fűződhet, nem csak az arabokhoz. Ugyanis nem lehet véletlen, hogy néhány európai nyelvben ugyanazt a kifejezést (is) használják az egyik fajta tüzelő berendezés és a füstelvezető szerkezet megnevezésére. Így az olasz camino, a francia cheminée, a német Kamin nemcsak kandallót, hanem kéményt is jelent. A feltételezést az is alátámasztja, hogy a falnak támaszkodó kandalló éppen a XII. században, vagyis a kéményekkel egyidőben jelenik meg. Nem szabad elfeledkezni még egy körülményről: a többemeletes házak építése mind határozottabban felvetette a füstmentesítés kérdését. A XII. századra egyre sürgetőbbé vált, hogy az építőmesterek megoldják ezt a problémát. [88]



14. ábra. A levegő ipari mértékű (balra) és háztartások általi szennyezése (jobbra). Forrás: [94,95]

A kémény- és a kandalló elterjesztésében azonban az olasz közreműködés egyértelműen kimutatható. A kőműves és kőfaragó szakma a taljánok nemzeti mesterségének számított, a kezük nyomán szerte Európában számos épület nőtt ki a földből. Minden bizonnyal ezzel magyarázható, hogy térben, nagy távolságban lévő helyeken, jóformán egyidőben jelent meg a kémény. Az svájci a várépítészetben már igen korán, a XII. századtól kezdve megjelentek a különböző füstelvezetési módok, közöttük az igazi megoldást jelentő kémények is. Ahogy napjainkban a tudomány legnagyobb horderejű eredményei először a hadiiparban jelentkeznek, s onnan egy idő múltán átkerülnek a polgári életbe, előbb egy szűk réteg használatába, és végül hétköznapi cikké alakulva szinte mindenki számára elérhetővé válnak, hasonlóan történt ez a kémény esetében is.

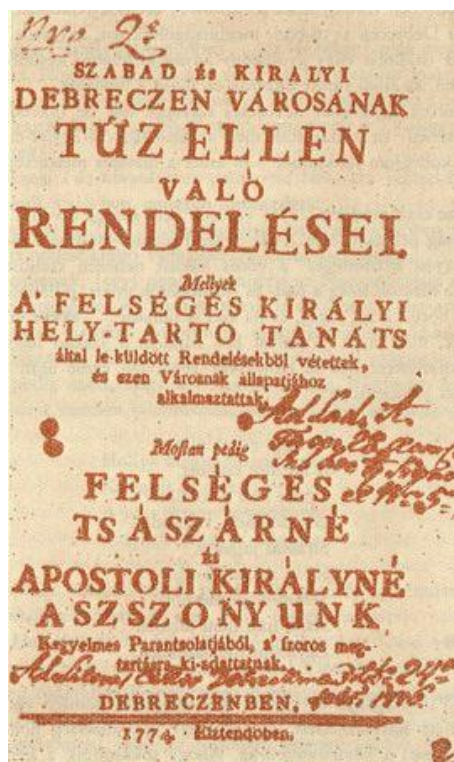
2.2 Tűzrendészeti előírások kialakulása és fejlődése

Mind a kémény, mind az ezt karbantartó, ellenőrző foglalkozás meghonosodásában komoly szerepet játszott a „vörös kakastól” való félelem, hiszen egy-egy tűzvész, virágzó településeket is hosszú évekre, évtizedekre visszavetett a fejlődésben olykor a település teljes pusztulását okozva. Ahogy a városiasodás során a települések mérete és a lakosság száma egyre jobban meghaladta az emberi léptéket, mind szükségesebbé vált írásba foglalni az együttélés szabályait, mindenkre kötelező normáit. Az élet- és vagyonbiztonság védelme miatt az első intézkedések között volt a tűzrendészeti előírások megalkotása. Az első szabályozás a tűzhely őrzését írta elő különösen az éjszakai órákban nem lehetett őrizetlenül hagyni a tüzet.

Egyik helyen a lakosságnak a tűz oltásában való részvételét, másutt az építkezést szabályozták, vagy éppen a város őrzését, vízkészlet biztosítását írták elő. London polgármestere 1189-ben például a fa építési anyagok helyett a kő és téglá használatát szorgalmazta. Egyik utóda később már egyenesen megtiltotta, hogy az új házakat sással, náddal, zsúppal és kóróval fedjék, ezek helyett csak követ, ónt, zsindelyt és deszkát lehetett beépíteni. Az 1230. körül keletkezett ún. szász tükör (Sachsenspiegel) kimondta, hogy a tüzelő helyeket a szomszéd ház sövényétől

legalább három láb távolságra kell elhelyezni, s hogy minden ember vigyázzon a tűzhelyére, nehogy a kicsapódó lángok más házában kárt tegyenek. Párizsban többször is (pl. 1371, 1395, 1400) eltiltják a szalma utcán való elégetését, s kötelezték arra a lakosságot, hogy házaik előtt vizet tartsanak. E sokféle rendelkezések természetesen még nem kiforrott és részletesen kidolgozott tűzrendészeti szabályrendeletek. Ilyeneket csak a XIV. századtól kezdve bocsátottak ki. A házakon korábbi, ritkaságszámba menő feltűnés után éppen e századtól kezdve jelentek meg mind gyakrabban a kémények. Nem lehet véletlen ez az időbeli egybeesés: mindkét, voltaképpen egymást erősítő felismerés a mind tudatosabbá váló megelőző tűzrendészeti gondolkodás terméke. [96]

A középkor évszázadaiban a kézművesek céhekbe tömörültek. A céh rendszerint egy adott településen az azonos mesterséget űzők érdekvédelmi, gazdasági, szociális, munka- és vallási szervezeteként működött. Ahol az egy szakmabéliek kevesen voltak, összeálltak a rokonfoglalkozásúakkal, vagy több településre is kiterjedő céhet alapítottak. A kéményseprők számára az utóbbi tűnt járhatónak. Az út kiépítésében nagy szerepet játszott egy, a német-római birodalomban, érvényben lévő szokás magyarországi meghonosítása.



15. ábra. Debrecen város tűzrendtartásának címlapja (1774) (bal) Forrás: [97]. A Pesti Tűzoltó-egylet, illetve a főfoglalkozású (hivatásos) tűzoltóság megalapítója (1870) (jobb) Forrás: [96]

A XVII. század végén, a XVIII. század első felében mind nagyobb számban keresték fel Magyarországot a zömmel olasz kéményseprők. Számításaikat megtalálhatták, mert igyekeztek

letelepedni. Főként olyan helyen, amely nemcsak egy vidéknek, hanem valamely főúri, kincstári vagy egyházi birtoknak is központja volt. Szerződést kötöttek a földesúrral, s az engedély fejében kötelezték magukat, hogy az – olykor hatalmas kiterjedésű – uradalom területéhez tartozó mezővárosok, falvak és puszták mindennemű épületeinek kéményeit rendszeres időközönként tisztítják. Ennek tisztességes elvégzésére az immár mesteri címet viselő kéményseprő nem egyszer igen sok segédet foglalkoztatott. [96]

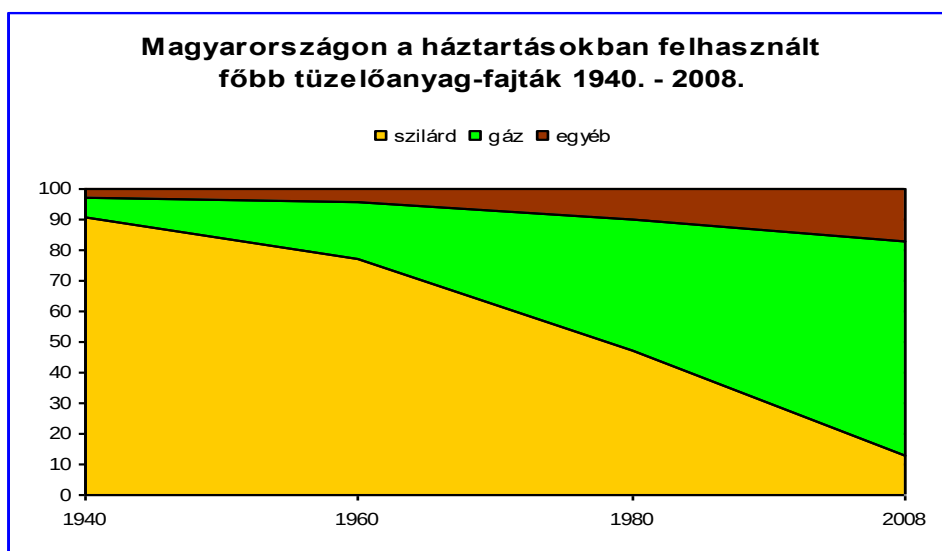
Tűzrendészeti tevékenységükre tekintettel, mentesítést kaptak a katonai szolgálat alól, s munkaruhájuk hivatalos, egyenruha jellegűt nyert azzal, hogy kétfejű sasos császári címeres derékszíjcsatot kellett viselniük, egészen az 1867-es kiegyezésig. Elsőként a török hódoltság hatóköréből kieső, vagyis a kevésbé hadviselt nyugat- és észak-magyarországi városok kéményseprői tették meg társadalmi elfogadtatásuk irányában mérföldkönek számító lépést. A XVIII. század derekán a hazai kéményseprők a javadalmaik alapját adó, kiváltságokat elismerés és megerősítés végett Mária Terézia királynő elé terjesztette." 1748 februárjában előbb a Győr, majd június 15-én a Buda körül csoportosuló mesterek kaptak céhlevelet. A győri kéményseprők a poroszországiakkal szinte teljesen egyidőben, csupán egy nap eltéréssel kapták meg privilégiumaikat. [88,89,96]

A céhalapítással az addig meglehetősen lebecsült és megvetett kéményseprő foglalkozás szinte azonnal hatalmas presztízsemelkedést ért el. Mária Terézia kiváltságleveleinek legfőbb vonása az volt, hogy elvileg rögzítette a kéményseprő kerületeket, s megvetette az úgynevezett reáljog alapjait. A kéményseprő munkájának díjazása és a seprés gyakorisága megegyezés tárgyát képezte. Az első magyar általános ipartörvény 1872. évi VII. törvénycikként került a magyar törvények tárába. Ez csekély módosítással voltaképpen az 1859-es Iparrendtartás előírásait tartalmazta, s a korábbi szabályozásokkal szemben már a magyar alkotmányjog szerint is érvényes rendelkezés volt. Szinte teljesen kötetlenné tette az iparűzést. Kimondta a céhrendszer megszüntetését, s ezzel betetőzte az iparrendtartások által megkezdett folyamatot. A jogi feltételek megteremtésével, előmozdította az ipari vállalkozások fejlődését, szabad utat engedett a szakmailag képzetlen tőkés vállalkozásnak. Célkitűzéseivel egyezően csak szűk körre szabta az iparszabadság hatósági korlátozását. A kéményseprő ipart is azon foglalkozások közé sorolta, amelyeknél közérdekből felhatalmazta a törvényhatóságokat, hogy gyakorlásukra nézve kötelező szabályokat hozzanak: tűzrendészeti szempontok figyelembe vételével kijelölik a munkakerületeket és meghatározzák a díjszabást. Amennyiben az önálló iparűzésre jogosult kéményseprő abbahagyni szándékozta iparát, köteles volt ezt az iparhatóságnak előre bejelenteni és annak rendelkezésére azt még legfeljebb

4 hétig folytatni. Az új inas nemzedék főként napszámos és más kétékezi munkáscsaládokból került ki. Ezek esetlegesen meglévő, iskolai végzettségének hiányát nem ellensúlyozta a kéményseprő műhelyekben az alaposabb képzés. Sőt, sok helyen a korábbinál jóval kevesebb gondot fordítottak erre. Nem csoda tehát, hogy a tűzrendészeti viszonyok továbbra is olyan ziláltak maradtak, mint a kiegyezés előtt. A módosított ipartörvény kedvezőbb helyzetet teremtett a szakma számára, az iparosodással együtt nagyobb piaca lett a kéményseprésnek is. A technikai fejlődés ekkor még csak a tüzelőberendezések teljesítményének, hatásfokának emelését okozta. Tüzelőanyag tekintetében mind az ipar, mind a háztartás esetében a szilárd tüzelőanyag volt a számottevő, szinte kizárólagos. A tűzvédelmi előírások a rendszeres söprést, tömörség ellenőrzést követelték meg. [89]

2.3 A modern kori levegőszennyezés változásai

Az első-, majd a második világháború a tüzeléstechnika feltételein nem sokat változtatott. A tüzelőanyagok a több évszázada alkalmazottakkal azonosak voltak és maradtak. A második világháború után a kéményseprő ipart sem kímélte meg államosítás. A szovjet befolyási övezetbe került országokban azonban nem mindenütt terjesztették ki az állami fennhatóságot erre a foglalkozásra, a kelet-német területeken például meghagyták e sajátos tűzrendészeti szolgáltatóipart magán kezelésben. Magyarországon, a 9289/1-1949. III-3. számú belügyminisztériumi rendelettel kimondta a szakma államosítását.



16. ábra. Magyarországon a háztartásokban felhasznált főbb tüzelőanyag-fajták 1940-2008. Forrás: készítette a szerző, a KSH adatai alapján

A mesteri kar jelentős hányadát, mert vagy eleve nem is alkalmazták, vagy ha mégis, meglehetősen hamar kisépték a szakmából. Ez nagy tudásbeli veszteséget jelentett, mivel ezek között nagyon sok alaposan képzett szakember volt. A mesterség presztízse rendkívüli mértékben visszaesett. Az államosítás voltaképpen az idő tájt valósult meg, amikor szerte a világon megindult az új tüzelőrendszerek megjelenése, az új energiahordozók térhódítása. A kéményseprő vállalatok meglehetősen sokáig – de az egyéb, érdekelt intézmények sem mutattak különösebb hajlandóságot – nem követték a tüzeléstechnika, a tüzelőberendezések fejlődését, a gáz-energiahordozó széles körű elterjedését.

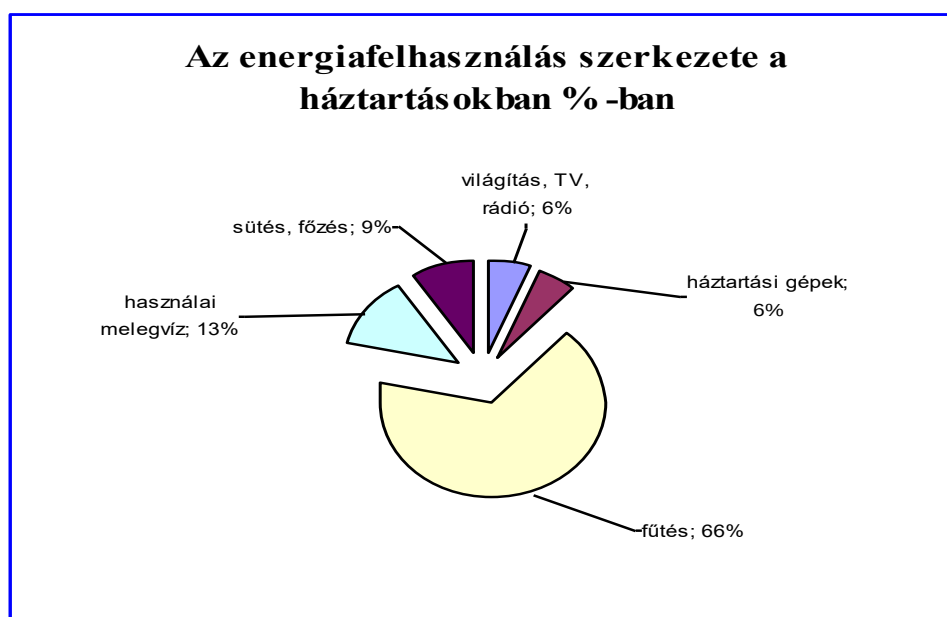
A fentiek alapján elmondható, hogy a modernizálódó energiahordozó szerkezet ellenére nem járt ezzel együtt a kéménytechnika fejlődése sem, az építő- és szerelőanyag-iparnak a kéménytechnikával kapcsolatos választéka, igen alacsony színvonalú volt. Ráadásul időközben elavult és korszerűtlenné vált a kéményseprőipar gyakorlásáról szóló szabályozás is. A változás, mint azt annyi más téren is történt, a hatvanas évek végétől számíthatjuk. Az energiahordozókban beállott forradalmi változás a kéményseprő szakmától is fejlődést, az eddigi tevékenységünk korszerűsítését követelte. A szakma fejlesztése azoknak az új technológiáknak, műszeres vizsgálatoknak az összességét jelenti, amelyek a lakosság optimális fűtési lehetőségeit – életvédelmi és tűzrendészeti szempontok szerint is – biztosítják. A kéményseprő a füstjáratok, csatornák, a kéménykürtök tisztításával, a tüzelőberendezések koromtalanításával, fűtési panaszok esetén szakmai tanácsadásával fűtésteknikusként tevékenykedett. Amit megtanultak és évszázadokon át jól alkalmaztak a szilárd tüzelőanyagok esetén, azt kell most magasabb szinten a gáz és az olajfűtésnél is alkalmazniuk.

A kéményseprők szerepe a tűz megelőzésben régen és napjainkban is kiemelkedő jelentőséggel bír. A modern városi és települési környezetben, ahol a levegőszennyezés csökkentése kiemelt célkitűzés, a kéményseprők feladata továbbra is meghatározó. A megfelelően karbantartott fűtési rendszerek hozzájárulnak a káros anyagok – például korom, füst (PM10), szén-monoxid és nitrogénoxidok – minimális kibocsátásához, ezzel csökkentve a levegőszennyezést és az egészségügyi kockázatokat. A szakma folyamatos fejlődése, valamint a korszerű tanácsadás elősegíti a környezeti ártalmak mérséklését és az energiahatékonyság javítását. Magyarországon az elmúlt évtizedekben jelentős műszaki átalakulás ment végbe az energiafelhasználás terén, amely a tüzelőanyagok és fűtési technológiák modernizálását eredményezte. Ugyanakkor ez nem mindig vezetett az energiafogyasztás csökkentéséhez, így a korábbi, pazarló energiahasználat még mindig jelen van.

Ennek ellenére a tüzelőberendezések korszerűsödésével a szemléletmód és a szabályozás is változott, még ha nem is minden tekintetben elegendő mértékben. [98]

2.4 Levegőminőségi kérdések vizsgálata

Hazánk nagy településeinek légszennyezettségében elsősorban a nitrogénoxidok és a szén-monoxid koncentrációja a meghatározó. Ezek fűtési, valamint közlekedési kibocsátások eredményeként vannak jelen a levegőben. A lakások és épületek fűtését két nagyobb csoportra oszthatjuk, úgy mint a szükséges hőt helyben előállító, illetve távhő. Levegőterhelési szempontokat figyelembe véve a távhő szolgáltatás kedvezőbb. Az egyedi fűtések során kibocsátott szennyezőanyagok mennyiségét a felhasznált fűtőanyagok mennyisége és minősége kapcsán csak megbecsülni lehet. Egy pontos, egyedi mérés megvalósításához azonban több készülék egyidejű mérése, hosszabb számítási folyamatok és megfelelő anyagi háttér is szükséges lenne. Hátránya továbbá, hogy a számításokat tovább nehezíti, sőt bizonytalanná teszi, az hogy az égési paramétereket csak átlagértékekkel lehet figyelembe venni, a kazánok típusbizonyítványai szerint. Ennek következtében az ilyen típusú mérések lehetőségét elvetem. [86] A háztartások energiaszervezésének megoszlását az 1. ábra mutatja be.



17. ábra. Energiaszervezés szerkezete a háztartásokban. Készítette a szerző. Forrás: [86]

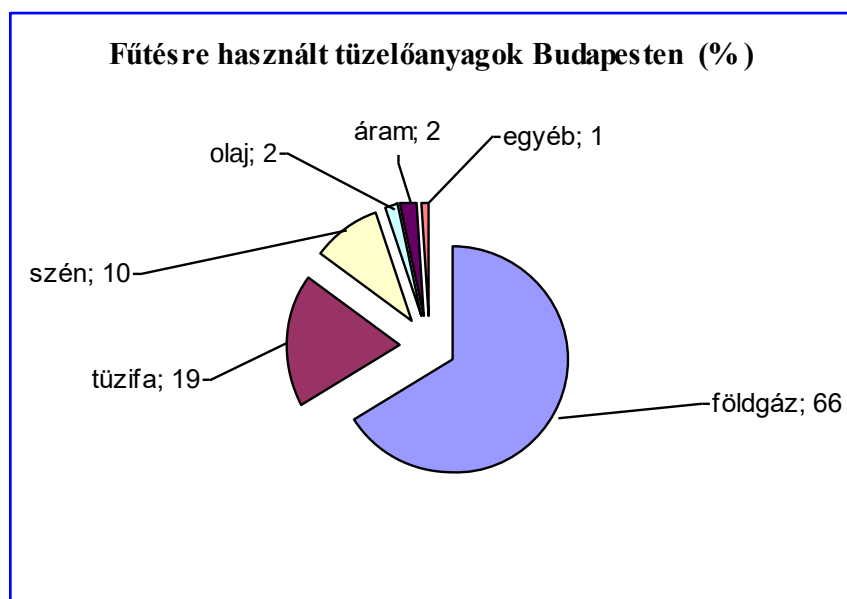
Az ábra alapján megállapítható, hogy a háztartásokban felhasznált energia 2/3 részét fűtésre használják, amelyet a melegvíz-előállítás és a sütés-főzés követ. Ez a három terület adja a háztartásban felhasznált energia csaknem 90%-át. A területen használt energia előállítása a legtöbb esetben tüzelőanyagok elégetésével történik. A 2. ábra a fűtésre és a melegvíz

előállítására felhasznált energiahordozók eloszlását mutatja be. Az ábra alapján megállapítom, hogy leggyakoribb fűtési célra felhasznált tüzelőanyag a gáz, de jelentősebb mennyiségben a szilárd tüzelőanyagok is jelen vannak (elsősorban fa és szén). Már megjelent viszont meghatározó mennyiségben a vízfelmelegítésére a leghatékonyabban átalakítható villamosenergia, kisebb mértékben a távfűtés, a napenergia.

A levegőminőség (immisszió) megmutatja a különböző szennyező anyagok koncentrációját a levegőben. Társadalmi célunk nem lehet más, mint a levegő szennyezettségének korlátozása, amelynek érdekében környezetvédelmi jogszabályokat hoztak létre. Rendeleti szinten van szabályozva az agglomerációk és zónák kijelölése a légszennyezettség szempontjai alapján. A rendelet mellékletében találjuk a települések légszennyezettség szerinti agglomerációba és zónákba való besorolását, az egyes zónacsoportok megjelölése mellett. Az agglomeráció és zónák területét a rendeletben megnevezett települések közigazgatási határa mutatja meg. A hatályos jogszabályok alapján a légszennyezettségi agglomerációnak nyilvánított főváros és környéke területén kötelező a légszennyezettség méréssel történő ellenőrzése [90,91].

Az Európai Unió csatlakozást követően átvett levegővédelmi szabályozás hatására megmérésre kerülnek a szálló por $10\text{ }\mu\text{m}$ alatti részei. Mérési szempontból elsősorban a szálló por azon frakciója, amelynek minimum 50%-a a $10\text{ }\mu\text{m}$ -es, vagy annál kisebb mérettartományba esik a szelektív szűrőn történő leválasztáskor. A porrészecskék toxikus anyagokat (pl. fémeket, karcinogén, mutagén anyagokat), illetve vírusokat, baktériumokat valamint gombákat adszorbeálnak, ezzel elősegítik a szervezetbe történő bejutásukat. Emiatt megítélésem szerint fontos ezeknek ellenőrzése és megengedett szint alatti tartása [86].

A másik fontos szennyezőanyag a nitrogéndioxidok, amelyek a kezdeti gyors levegőminőség csökkenés után egy egyenletes lassú emelkedés jellemzi a fűtési szezonok során, amelyet a nem fűtési időszakokban mért értékek stagnálása követ. Ma már tudjuk azt is, hogy a fűtési kibocsátások a város levegőminőségének, egyik meghatározó faktora, a közlekedési kibocsátásokkal egyező mennyiségűvé vált. Köztük a legnagyobb különbség az, hogy míg a járművek kibocsátás szerinti ellenőrzése ma már megvalósult, a kibocsátás tekintetében jelenleg nincs érdemi visszatartó erővel bíró hatósági ellenőrzés. A kéményseprő ugyan ellenőrzi a kémény alkalmasságát, azonban a berendezés általi kibocsátási értékeket már nem. Ebben az a legnagyobb veszély, hogy ha egy berendezés elhasználódása vagy a nem megengedett hulladékanyagok eltüzelése miatt a füstgáz nem képes eljutni a kéményig. Így az onnan nem áramlik ki akadálymentesen, tehát a helyiségben feldúsulva akár halált okozó koncentráció mennyiség is kialakulhat.



18. ábra. Fűtésre használt tüzelőanyagok Budapesten. Készítette a szerző. Forrás: [86]

2.5 Drónok fejlesztése levegőminőség ellenőrzésre

A különböző híradások gyakran szemléltetnek drónok által készített légi felvételeket, elsősorban épített geodéziai, geológiai és környezetvédelmi problémák kapcsán. A védelmi szféra (honvédelem, rendészet, katasztrófavédelem) szervei, szervezetei előszeretettel használják őket a különböző felderítési feladatok ellátására. A levegőtisztaság ellenőrzése, mint a közjót befolyásoló tényező általánosságban a környezetvédelemhez tartozik, súlyos szennyezés, veszélyes anyagok nem szándékolt szabadba jutása esetén pedig a katasztrófavédelemhez (seveso). A levegőtisztaság drón alapú méréséhez korábban is láthattunk példákat [79,80], egy hatósági tevékenységet is ellátni képes rendszer létrehozásához azonban nyilvánvalóan szükség van az egyes elemeinek célirányos fejlesztésére, továbbfejlesztésére. Egy hatékony rendszer kialakításához a következő elemeket tartom szükségesnek:

- Olyan célfeladatnak megfelelő szenzor, amely mérete, tömege és egyéb tulajdonságai révén (pl. rezgésre való érzékenység) lehetővé teszi, hogy azt a drónra lehessen installálni, illetve repülés közbeni működése üzembiztos;
- A szenzor fedélzetre történő installálásához megfelelő rögzítő panel, keret vagy talpazat kifejlesztése, ami biztosítani tudja az szennyezés zavartalan eljutását a mérőeszközhöz;
- A drónok védelmének fejlesztése a kémiai szempontból agresszív égéstermékekkel szemben;

- A drónok repülés utáni mentesítésének kidolgozása, a biztonságos üzemeltetés és tárolás körülményeinek megteremtése;
- A szennyező források mérésére optimalizált repülési eljárásrend kifejlesztése, az egyszerű üzemeltetés biztosítása;
- Adatátviteli rendszer fejlesztése adatgyűjtő, elemző és kiértékelő funkcióval, amely tudja fogadni a repülés közbeni mérések eredményeit;
- A repülés közben szerzett információk térinformatikai alapú megjelenítéssel és értékeléssel, a környezetvédelmi hatósági eljárás lefolytatására alkalmas minőség biztosításával;
- Pontos helyi azonosítás biztosítása (GPS), amely vizuális észlelés esetén a külsőre megállapítható műszaki hibákat, szabálytalan létesítéseket, balesetveszélyes állapotot képes megfelelő módon dokumentálni.

A fentiek alapján meggyőződésem, hogy kialakítható egy olyan drónra alapozott szenzortechnológiai megoldás, amely valós idejű levegőminőség-elemzést tesz lehetővé városi környezetben. A rendszer fő célja, hogy a fűtési eredetű kibocsátások folyamatos nyomon követésével, a kibocsátó források azonosításával és elemzésével biztosítsa a levegőminőség megfelelő szintű védelmét. Az eszköz lehetőséget biztosíthat a légszennyezettség forrásainak feltérképezésére, valamint sürgős esetekben azonnali beavatkozási intézkedések támogatására.

Ez a rendszer egy olyan, repülési idejét tekintve nagy teljesítményű, autonóm drónplatform lenne, amely különböző típusú, a levegőben található szennyező anyagok detektálására alkalmas érzékelőkkel van felszerelve. A rendszer komponenseire az alábbi javaslatot teszem:

- Multimodális gáz- és részecskemérő szenzorok:
 - szálló por érzékelők,
 - CO₂, CO, NO₂, SO₂ és VOC (illékony szerves vegyületek) érzékelők
 - hőmérséklet, páratartalom és légnyomás monitorozására képes érzékelő.
- Mesterséges intelligencia alapú valós idejű adatfeldolgozás:
 - az érzékelők által gyűjtött adatokat egy beépített AI-alapú elemző rendszer dolgozza fel, amely azonnali figyelmeztetéseket és javaslatokat tud adni mind a kezelő személyzet, mind a hatóságok számára.
- Georeferálás és térinformatikai integráció:
 - az adatok GPS koordinátákkal ellátva kerülnek rögzítésre és archiválásra,

- az adatok idővonal alapján is megjeleníthetők GIS-alapú térképrendszerben.
- Automatikus repülési útvonaltervezés:
 - a drón előre tervezett és szükség szerint repülés közben is optimalizálható repülési pályát követ,
 - a repülési pálya figyelembe veszi a meteorológiai viszonyokat, a kibocsátó források helyzetét és a szennyező források koncentrációját.
- Valós idejű adatátvitel és távoli elérés:
 - a rendszer integrálható környezeti monitoring központokkal, önkormányzatokkal és hatóságokkal,
 - az adatok távolról is nyomon követhetők egy operatív központon keresztül,
 - véleményem szerint ez a központ akár a katasztrófavédelem valamelyik központjához is csatlakoztatható lenne.

A fenti rendszer számos területen nyújthat hatékony megoldást a légszennyezés folyamatos ellenőrzésére és az ebből származó problémák kezelésére. Az alábbiakban bemutatom, hogy elképzelésem szerint melyek a rendszer legfontosabb alkalmazási területei és azoknak milyen szerepe lehet a környezetvédelmi és biztonsági intézkedésekben.

- Önkormányzatok és környezetvédelmi hatóságok: A városi levegőminőség nyomon követése, a szennyező források beazonosítása, szabályozási intézkedések támogatása.
- Tűzvédelem és kéményseprő szolgáltatások: A fűtési rendszerek kibocsátásainak ellenőrzése, az illegális vagy veszélyes égetési tevékenységek azonosítása.
- Ipari létesítmények és környezetvédelmi auditok: Üzemek és erőművek kibocsátásának folyamatos nyomon követése, a határértékek túllépésének korai felismerése.
- Egészségügyi és tudományos kutatások: A drón lehetőséget biztosít hosszú távú levegőminőségi adatok gyűjtésére és elemzésére, amely segítheti az egészségügyi kutatásokat és akár a klímavédelmi programokat is.

A fentiek alapján a drónalapú levegőminőség-monitoring rendszer széles körű alkalmazhatósága lehetővé teszi a környezetvédelmi és egészségügyi kockázatok csökkentését, valamint a szabályozási és hatósági ellenőrzések hatékonyságának növelését. Az innovatív technológia hozzájárulhat a fenntartható városi fejlődéshez, valamint az ipari kibocsátások minimalizálásához is. Meggyőződésem, hogy a rendszer megvalósítása jelentős előrelépést jelenthet a levegőminőség hosszú távú megőrzésében és javításában.

A drónok alkalmazására alapozott levegőminőség-monitoring rendszer számos előnyt kínál a hagyományos mérési módszerekkel szemben, hiszen lehetővé teszi a gyorsabb, hatékonyabb és

pontosabb adatgyűjtést. A technológia alkalmazása nemcsak a környezetvédelmi ellenőrzésekben nyújthat eredeti megoldást, de pl. a BM OKF hatósági munkáját és az ipari folyamatokat is optimalizálhatja.

Az alábbiakban bemutatom azokat a főbb előnyöket, amelyek meggyőződésem szerint a rendszer széles körű alkalmazhatóságát biztosítják.

- Mobilitás és rugalmasság: A drón végezhet előre programozott ún. járőröző repüléseket, de akár alkalomszerűen is (gyorsan) bevethető, amellyel alkalmazkodik a különböző környezeti viszonyokhoz.
- Pontos és gyors adatelemzés: Az AI-alapú feldolgozórendszer segítségével az adatok azonnal kiértékelésre kerülnek és a minősítésüktől függően a megfelelő szervek által szükség szerint elérhetők.
- Távvezérelt és autonóm működés: Lehetőség van előre programozott és valós idejű kézi vezérlésre is. A rendszer integrálható a már meglévő környezetvédelmi monitoring rendszerekbe is.
- Költséghatékony: A drónok viszonylag alacsony üzemeltetési költségei miatt a hagyományos mérési módszerekhez képest csökkentett üzemeltetési és karbantartási költségek.

A fenti előnyök számomra egyértelműen igazolják, hogy a drónalapú monitoring rendszer jelentős technológiai fejlődést képvisel a levegőminőség ellenőrzésében. Meggyőződésem, hogy a rendszer bevezetése hosszú távon hozzájárulhat a fenntarthatóbb és egészségesebb környezeti feltételek megteremtéséhez.

A fenti előnyöket igyekeztem tovább gondolni és a drónok, az informatikai lehetőségek és a mesterséges intelligencia fejlődési ütemének figyelembevételével további lehetőségeket keresni. A drónalapú levegőminőség-monitoring rendszer már a fenti formájában is jelentős előnyöket kínál a környezetvédelmi ellenőrzések területén, azonban a technológia folyamatos fejlesztése véleményem szerint további lehetőségeket nyújthat a hatékonyság növelésére és az alkalmazási területek bővítésére. Következtetéseim alapján az alábbi lehetőségeket azonosítottam:

- Flotta rendszer (swarm) kialakítása: Nagyvárosi vagy regionális szintű (kiterjedtebb ipari zónák, pl. Borsod-Abaúj-Zemplén megye) monitoring érdekében több drón párhuzamos alkalmazása.

- Szenzortechnológia fejlesztése: Újabb érzékelők beépítése (pl. radioaktív sugárzás, metán detektálás) [99].
- Automatikus adatfeldolgozás és döntéstámogatás: Mesterséges intelligencia alapú rendszer fejlesztése, amely előrejelzéseket és akár szennyezési trendeket is tudna azonosítani.
- Lakossági riasztórendszer integrálása: Valós idejű értesítések és figyelmeztetések a lakosság számára mobilapplikáció vagy webes platform segítségével (BM OKF tevékenységének integrálásával).

A technológia fent említett továbbfejlesztése nemcsak a környezetvédelmi és hatósági ellenőrzéseket segítheti elő, hanem közvetlenül hozzájárulhat a lakosság egészségének védelméhez és a fenntartható jövő megteremtéséhez.

2.6 A fejezet eredményeinek összefoglalása

Ebben a fejezetben azt a célt tűztem ki magam elé, hogy kidolgozok egy olyan drón alapú levegőminőség ellenőrzésre alkalmas rendszert, amely a jelenlegi megoldásnál hatékonyabban képes a levegőtisztaság védelmét szolgálni.

A fejezet elején az ember által okozott levegőszennyezés történeti áttekintésével bemutattam, hogy az a fejlődésünk természetes velejárója, a kezdetekben csupán a létfenntartást szolgálva a fűtéshez, főzéshez volt köthető. Az egyensúly megbomlása az ipari forradalomhoz köthető, ami a szennyezőanyagok kibocsátásának drasztikus növekedése mellett magával hozta a városiasodás kezdetét is. Az együttélés során már nem csak a szennyező személy volt kitéve a saját maga által okozott levegőszennyezésnek, de mások is, kezdetben inkább csak a szűkebb környezete, míg később – ahogyan napjainkban is láthatjuk – szinte már valamennyien. A levegőszennyezés a lakossági tevékenységet tekintve a tűzrakással, tüzeléssel kapcsolatos, ami a városiasodás miatt életre keltette a modern tűzrendészet kialakulását. Az iparosodás felgyorsult üteme a tűzrendészet fejlődése mellett életre hívta, vagy inkább kikényszerítette a katasztrófavédelem kialakulását és szervezetszerű kereteinek megteremtését.

A társadalmi-gazdasági fejlődés kihívásai a technikai lehetőségek újszerű kiaknázását is motiválta. A drónokat is – noha kezdetleges formái már több, mint száz évvel ezelőtt megjelentek – a legutóbbi technikai fejlődés eredményének tekinthetjük, amelyek alkalmazását a levegőszennyezés elleni védekezés érdekében is célszerű megvizsgálni, illetve fejleszteni. A cél ebben az esetben nem lehet más, mint egy integrált drónalapú levegőminőség-ellenőrzési

rendszer létjogosultságának igazolása, valamint a műszaki megvalósítás alapvető kritériumainak meghatározása.

A drónok egyre szélesebb körben kerülnek alkalmazásra a különböző közszolgálati területeken, így a levegőminőség ellenőrzésével kulcsfontosságú szerepet játszhat a környezetvédelemben és a lakosság egészségének megőrzésében. Ezért megvizsgáltam, hogy a drónok hogyan tehetők alkalmassá a kémények és fűtési rendszerek ellenőrzésére, valamint a légszennyezettségi adatok gyűjtésére.

A fejezethez kapcsolódó kutatásom során a levegőminőségi kérdések vizsgálatát tettem a fókuszba, különös tekintettel a hazai nagyvárosok, különösen Budapest légszennyezettségi problémáira. Megállapítottam, hogy a városi levegő szennyezettségét elsősorban a közlekedési és fűtési kibocsátások befolyásolják, ezek közé tartoznak a szén-monoxid, nitrogénoxidok, valamint a szálló por (PM10, PM2.5). A fejezetben megvizsgáltam a fűtési rendszerek típusait, a távfűtés és az egyedi fűtés közötti különbségeket, valamint ezek kibocsátási sajátosságait. Emellett elemeztem a légszennyező anyagok egészségügyi hatásait és a jogszabályi környezetet is, amely alapvetően meghatározza a légszennyezés ellenőrzésének módjait és a hatósági intézkedések lehetőségeit.

A fenti probléma megoldására egy drónalapú levegőminőség-monitoring kialakítására tettem javaslatot, amely új megoldást kínál a hagyományos mérési módszerek korlátainak áthidalására. A drónok szenzorokkal felszerelve képessé tehetők valós idejű mérésekre és gyors adatfeldolgozásra, ami különösen fontos a szennyezőanyagok forrásainak azonosításában és a környezetvédelmi szabályozások betartatásában. Rámutattam arra is, hogy a drónok alkalmazása lehetőséget ad olyan területek ellenőrzésére is, amelyek földi mérőállomásokkal nehezen elérhetők.

A drónok felhasználásával elérhető, hogy a levegőminőség folyamatosan nyomon követhető legyen, a szennyező források pedig gyorsan beazonosítók válnak. Ennek során a fűtési rendszerek kibocsátásai ellenőrzésre kerülnek, az illegális vagy veszélyes égetési tevékenységek pedig megszüntethetők, illetve szankcionálhatók. A lakossági felhasználókon túl, az ipari kibocsátások mérésait is pontosítani, illetve a technológiai lehetőségeket javítani lehet. A fentiekén túlmenően, tudományos és egészségügyi kutatások is támogathatóvá válnak, mind a közérzetre, mind az egészségünkre való hosszú távú hatásokat az adatok gyűjtésével igazolni lehet.

A fejezetben bemutattam, hogy a drónalapú levegőminőség-monitoring rendszer előnyei közé tartozik a mobilitás, a rugalmasság és gyors bevetethetőség, valamint a jövőre vonatkozóan a mesterséges intelligencia alapú adatfeldolgozás. További előny, hogy a távvezérelt és autonóm működés lehetősége biztosítja, hogy a drónok az azonnali véletlenszerű működtetés mellett akár előre programozott útvonalakon is járőrözhessenek. A fenti előnyöket tovább erősíti, hogy a rendszer költséghatékonyabb lehet, mint a hagyományos földi mérési módszerek.

A fejezetben további fejlesztési lehetőségekre is rámutattam, amelyek hozzájárulhatnak a technológia még hatékonyabb alkalmazásához. Ezek közé tartozik a drónflotta szükség szerinti kialakítása, amely lehetővé teszi nagyobb területek párhuzamos ellenőrzését is. További lehetőségeket mutat a szenzortechnológia fejlesztése, amely új mérési paraméterek (pl. metán, radioaktív sugárzás) beépítésével bővíthetné a rendszer alkalmazási körét. Emellett kiemelt szerepet kaphat a mesterséges intelligencia által segített adatfeldolgozás és döntéstámogatás, amely már az előrejelzések és szennyezési trendek azonosításának irányába mutat. Végül, rámutattam arra is, hogy a lakossági riasztórendszer integrálása is fontos fejlesztési irány, hiszen ezzel lehetővé válna, hogy a légszennyezés veszélyes szintjének elérésekor a lakosság azonnali figyelmeztetést kapjon egy mobilapplikáción vagy webes felületen keresztül.

Röviden összefoglalva, a fejezetben átfogó elemzést adtam egy drónalapú levegőminőség-monitoring rendszer alkalmazhatóságáról, illetve annak kialakításáról. A vizsgálataimmal rávilágítottam arra, hogy a hagyományos levegőminőség-ellenőrzési módszerek sok esetben nem biztosítanak elég gyors és pontos adatokat, amelyek ahhoz lennének szükségesek, hogy a környezetvédelmi intézkedéseket hatékonyan alkalmazni lehessen. Ezzel szemben egy olyan új, drón alapú megoldási javaslatot tettem, amivel egy gyorsan bevetethető, nagy területeket lefedni képes, és modern szenzorokkal felszerelve részletes adatokat gyűjteni képes rendszer alakítható ki. A fejezet végkövetkeztetése, hogy egy műszakilag fejlett, integrált drónrendszer létrehozása a levegőminőség ellenőrzésére nemcsak hogy indokolt, hanem elengedhetetlen lépés is a környezetvédelmi kihívások hatékony kezelésében.

Más aspektusból megközelítve, a levegőminőség ellenőrzésére irányuló drónalapú rendszerek fejlesztésének vizsgálata során meggyőződésem, hogy sikerült olyan technológiai és gyakorlati eredményeket elérnem, amelyek jelentősen előmozdíthatják a légszennyezés elleni küzdelem hatékonyságát. A fejezetben bemutatott történelmi áttekintés rávilágított arra, hogy a levegőszennyezés problémája évszázadok óta jelen van, de a modern kor technológiai és társadalmi kihívásai új megközelítéseket igényelnek. A drónok alkalmazása e téren olyan

innovatív megoldást kínál, amely képes a hagyományos mérési módszerek korlátait áthidalni, különösen a nehezen hozzáférhető területeken végzett adatgyűjtés terén.

A levegőszennyezés változásainak és hatásainak elemzése során kiderült, hogy a drónok által biztosított rugalmasság és gyorsaság kulcsfontosságú a valós idejű monitoring és a szennyező források azonosítása szempontjából. A fejezetben ismertetett fejlesztési program, amely a multispektrális szenzorok és a drónok integrációjára épül, lehetővé tette a légszennyezés térbeli és időbeli mintázatainak pontosabb feltérképezését. Ez különösen fontos a városi környezetben, ahol a légszennyezés koncentrációja jelentős egészségügyi kockázatot jelent. A drónok által végzett mérések nem csupán pontosabb adatokat szolgáltatnak, hanem lehetővé teszik a gyors reagálást is, például a szennyező források lokalizálásával és a megfelelő intézkedések azonnali megtételével.

A fejezet eredményeivel úgy érzem, hogy sikerült alátámasztani a második hipotézisemet, miszerint a drónok alkalmazásával hatékonyabb levegőminőség-ellenőrzési rendszer dolgozható ki. A fejlesztett rendszer képes a légszennyezettség mérésére és a szennyező források gyors azonosítására, ami jelentős előrelépést jelent a jelenlegi, gyakran statikus mérőállomásokra épülő rendszerekhez képest. A drónok által gyűjtött adatok lehetőség szerinti integrálása a különböző térinformatikai rendszerekbe tovább növelheti a rendszer hatékonyságát, lehetővé téve a hosszú távú trendek elemzését és a preventív intézkedések tervezését. Megítélésem szerint ez a megközelítés nem csupán a légszennyezés elleni küzdelem technológiai eszköztárát bővíti, hanem hozzájárul a közszolgálati feladatok hatékonyabb ellátásához is.

A kutatás során szerzett tapasztalatok rámutattak arra, hogy a drónalapú levegőminőség-ellenőrzés sikeressége nem kizárólag a technológiai fejlesztéseken múlik. A szabályozási környezet, a kezelői készségek és a rendszerek integráltsága egyaránt kulcsfontosságú. Például a drónok légtérhasználatát szabályozó jogszabályok harmonizálása elengedhetetlen a technológia széles körű alkalmazásához. Emellett a kezelők képzése és a rendszerek interoperabilitása szintén kritikus tényezők, amelyek biztosítják a drónok hatékony és biztonságos használatát. A jövőbeni fejlesztéseknek ezért figyelembe kell venniük ezeket az aspektusokat, hogy a technológia teljes potenciálját kiaknázhassák.

A fejezet eredményeinek gyakorlati alkalmazhatósága különösen hangsúlyos a közszolgálati szféra számára. A drónalapú levegőminőség-ellenőrzés lehetővé teszi a hatóságok számára, hogy gyorsabban és pontosabban reagáljanak a légszennyezés okozta kihívásokra, például ipari kibocsátások vagy közlekedési szennyezés esetén. Ez nem csupán a környezetvédelem hatékonyságát növeli, hanem hozzájárul a lakosság egészségének védelméhez is. A drónok által gyűjtött adatok elemzése továbbá támogatja a hosszú távú környezetvédelmi stratégiák kidolgozását, például a fenntartható városfejlesztés vagy a kibocsátáscsökkentési programok tervezését.

A fejezet eredményei arra is rávilágítanak, hogy a drónok levegőminőség-ellenőrzési alkalmazása multidiszciplináris megközelítést igényel. A technológiai fejlesztések mellett figyelembe kell venni a társadalmi és gazdasági aspektusokat is. Például a drónok bevezetése a környezetvédelmi monitoringba új munkaerő-piaci igényeket generálhat, például a drónkezelők és adatanalitikusok képzése terén. Emellett a társadalmi elfogadottság növelése érdekében fontos a lakosság tájékoztatása a drónok előnyeiről és biztonságos használatáról. A fejezet eredményei tehát nem csupán a technológiai innovációkra fókuszálnak, hanem a közszolgálati szféra átfogó fejlesztésére is, összhangban a kutatás célkitűzéseivel és a társadalmi jólét növelésének céljaival.

A jövőbeni kutatásoknak és fejlesztéseknek ki kell terjedniük a drónok energiahatékonyságának és hatótávolságának növelésére, hogy a nagy kiterjedésű területek monitoringja még hatékonyabbá váljon. Emellett a mesterséges intelligencia és az adatfeldolgozó rendszerek integrálása lehetővé teheti a drónok által gyűjtött adatok valós idejű elemzését, ami tovább növelheti a közszolgálati műveletek hatékonyságát. A fejezet eredményei arra ösztönöznek, hogy a jövőben további erőfeszítéseket tegyünk a drónalapú levegőminőség-ellenőrzési rendszerek finomítására és széles körű alkalmazására, összhangban a fenntartható fejlődés és a környezeti biztonság céljaival.

A fentiek alapján azt a feltételezésemet (H2), miszerint a drónok alkalmazásával olyan új levegőminőség-ellenőrzési rendszer dolgozható ki, amely a jelenlegi megoldásnál hatékonyabban képes a légszennyezettség mérésére és a szennyező források beazonosítására, sikerült igazolnom.

Jövőbeni lehetőségek és távlati kilátások

A drónok levegőminőség-ellenőrzési alkalmazásának jövője jelentős potenciált rejt a légszennyezés elleni küzdelemben. A technológiai fejlődés, például a fejlett szenzorok és az autonóm drónok alkalmazása, lehetővé teszi a légszennyezés valós idejű, nagy felbontású monitorozását, akár nagyvárosi környezetben is. A mesterséges intelligencia integrálása a drónok adatfeldolgozó rendszereibe forradalmasíthatja a szennyező források azonosítását, lehetővé téve a prediktív modellek használatát a légszennyezési trendek előrejelzésére. Ez támogatná a preventív környezetvédelmi stratégiák kidolgozását, például a kibocsátáscsökkentési intézkedések célzottabb alkalmazását. Hosszú távon a drónok hálózatba kapcsolása és a felhőalapú adatkezelés lehetővé teszi a regionális és nemzetközi szintű légszennyezés-monitoring rendszerek kialakítását, amelyek hozzájárulnak a globális környezetvédelmi célok eléréséhez. A drónok energiahatékonyságának növelése, például hidrogéncellás meghajtással, tovább bővítheti alkalmazási lehetőségeiket, biztosítva a fenntartható és költséghatékony működést a közszolgálati feladatok ellátásában.

3 DRÓNOK ALKALMAZÁSÁNAK FEJLESZTÉSE NAPELEM ERŐMŰVEK ELLENŐRZÉSÉRE

Az előző fejezetben a hagyományos fűtési rendszerek okozta egyik problémát, a levegőszennyezést, illetve ehhez kapcsolódóan a levegőminőség-ellenőrzés lehetőségét vizsgáltam. Noha a vizsgálatom elsősorban a háztartási eredetű szennyezések kordában tartására irányult, az ipari szennyezés mértékét ugyanúgy mérsékelni szükséges. Az ipari mértékű levegőszennyezés egyik jól azonosítható forrása a hagyományos, vagyis a fosszilis üzemanyagokkal, szénnel, szénhidrogénekkel működő erőművek. A jelentős kibocsátás csökkentése érdekében különböző társadalmi elvárások jelentek meg, amelyek közé sorolhatjuk az ún. zöld energia térnyerése iránti elvárást is. Ezek közé tartoznak a fotovoltaikus erőművek, egyszerűbb elnevezéssel a napelem erőművek megjelenése is, amely technológia új kihívások elé állítja a szakembereket. Ezek közé ugyanúgy sorolhatók a tűzbiztonsági követelmények, mint az energiabiztonság védelme is.

Ebben a fejezetben bemutatom a napelemek és napelem erőművek működésének lényegét, jelentőségét és kihívásait, különös tekintettel azok ellenőrzésére és karbantartására. Kiemelten foglalkozom a dróntechnológia szerepével a napelem erőművek hatékony felügyeletében, feltárva az automatizált ellenőrzés előnyeit és a modern műszaki megoldások alkalmazási lehetőségeit a fenntartható energiatermelés területén.

A fejezetben felhasználok saját korábbi kutatásaimat is, így leginkább a drónok napelemparkok ellenőrzésével [100,101], a kismagasságú multispektrális érzékeléssel [11], valamint a drónok jövőbeli alkalmazási lehetőségeivel [12] kapcsolatban írt munkáimat.

Ebben a fejezetben célul tűzöm ki, hogy egy drón alapú napelempark felügyeletére alkalmas rendszert dolgozzak ki, amely képes garantálni a működés ellenőrzését és a jelentkező problémák azonnali észlelését.

3.1 A napelemek és hazai alkalmazásuk az energiatermelésben

A napenergia az egyik legígéretesebb és legdinamikusabban fejlődő megújuló energiaforrás, amely hosszú távon fenntartható megoldást kínál a globális energiaigények kielégítésére. A fosszilis energiahordozók csökkenése és az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások szükségessé teszik az alternatív energiatermelési módok elterjedését. Ebben a folyamatban a napelemek kulcsszerepet játszanak, mivel lehetővé teszik a napfény közvetlen átalakítását villamos energiává.

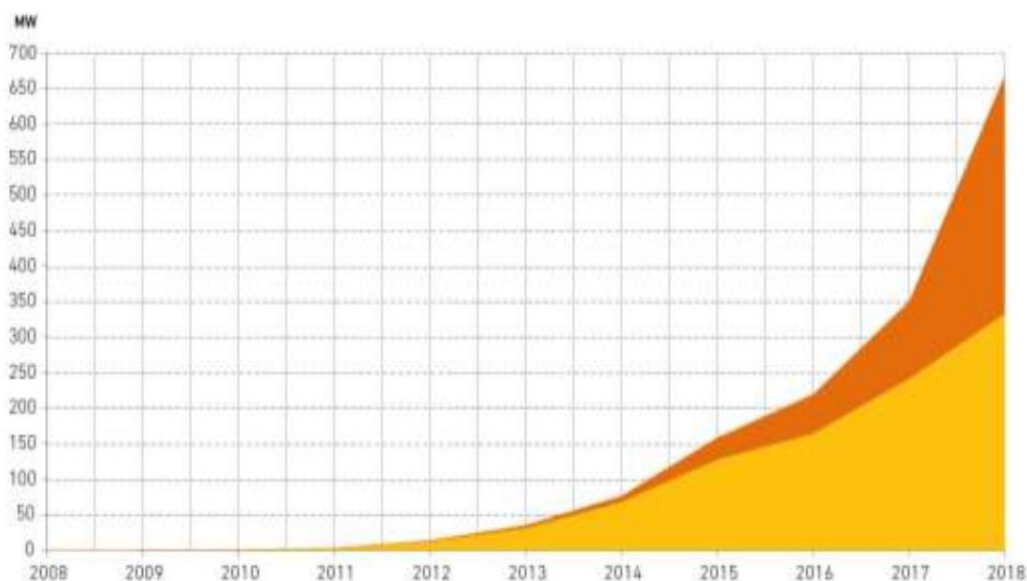
A napelemek (fotovoltaikus panelek) olyan eszközök, amelyek félvezető anyagok segítségével közvetlenül elektromos áramot állítanak elő a napsugárzásból. Az alapelv az úgynevezett fotovoltaikus hatás, amelyet már az 1800-as években felfedeztek, de ipari méretű alkalmazása csak a XX. század második felében vált jelentőssé. Az első nagyobb napelemes rendszereket az 1950-es években fejlesztették ki, elsősorban űrkutatási célokra. Napjainkban azonban már számos alkalmazási területen megtalálhatók, a lakossági energiatermeléstől kezdve az ipari méretű napelem erőművekig.

A világ energiafogyasztása egyre nő, amelyet a fejlett országok részben, vagy egészben igyekeznek környezetbarát módon kielégíteni. Ezek egyik lehetősége a napenergia felhasználása napelem erőművek segítségével. A napelem erőművek jellegzetessége, hogy jelentős területeket foglalnak el, így az esetleges működési problémák, üzemzavarok feltárása, az ellenőrzésük és karbantartásuk is nehézségekbe ütközhet.

A világ energiaéhsége egyre nagyobb, mindamelllett a megújuló, vagy zöld energia részaránya is folyamatosan nő. Ezek közé tartoznak a napelem erőművek, amelyek 2050-re a világ energiaigényének akár a 25% át is adhatják [102]. Hazai viszonylatban is azt láthatjuk, hogy egyre-másra adják át ezeket a parkokat, amellyel hazánk, a nemzetközi előírásoknak is igyekszik mielőbb megfelelni.

A magyarországi helyzetet jól jellemzi, hogy a legutóbbi időszakban Nógrád megye területén a Greentech Hungary Kft. épített 20 megawatt teljesítményű napelemparkot több mint 8 milliárd forintért. A társaság 21 darab 500 kilowattos kiserőművet csatlakoztatott a központi hálózathoz, amely a 25 évesre tervezett üzemideje alatt kb. 11.500 család teljes villamosenergia igényét fogja biztosítani, ami hosszabbítással akár újabb 25 évvel is megnövelhető. Az erőmű 45 hektáros területen épült meg, összesen 71.720 db napelemmel. A napelemparkhoz tartozik még 40 darab transzformátorállomás és további 360 darab 50 kilowattos inverter is [103]. A Magyar Napelem Napkollektor Szövetség közlése alapján a napelemes beruházások sora tovább folytatódik, Bocsfölde határában épül az ország eddigi legnagyobb, összesen 24 megawatt teljesítményű erőműve. Ezekkel az erőművekkel a Magyarországon beépített kiserőművi napelem teljesítménye 31,6 MWp¹⁰, teljes portfóliójának teljesítmény pedig 84,5 MWp-re nő. A magyarországi beruházások összértéke meghaladja a 32 milliárd forintot, éves várható termelése pedig elérheti a 938 GWh-t [104].

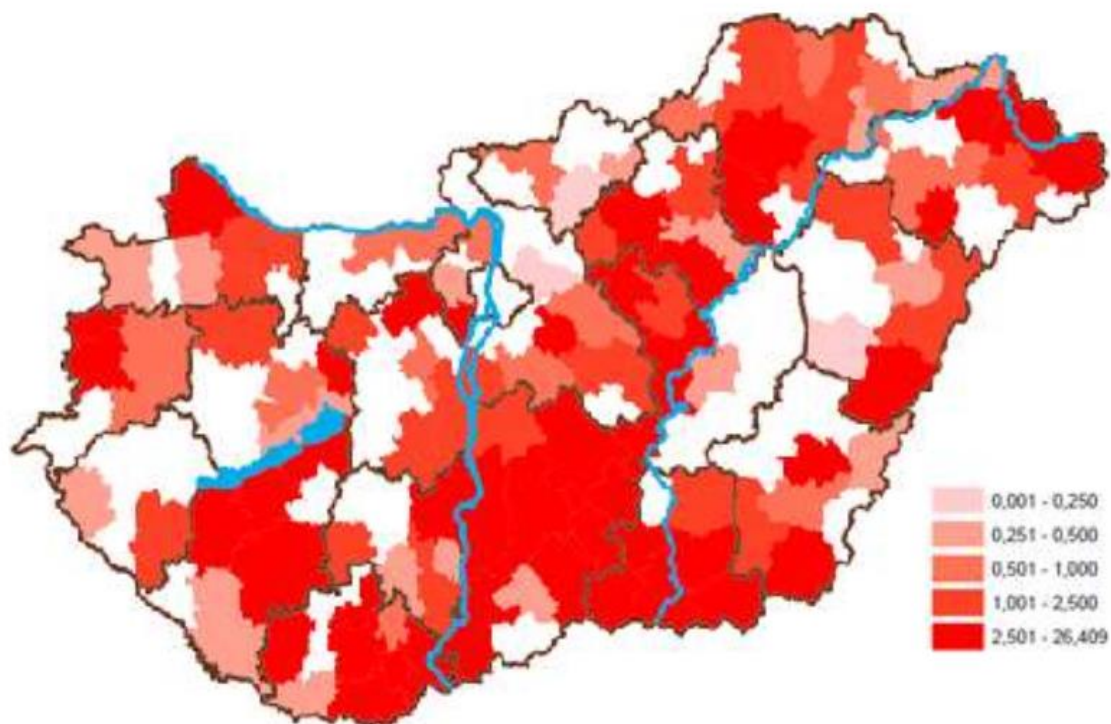
¹⁰ A kWp, vagyis a kilowattpeak egy kifejezetten napelemek esetében alkalmazott mértékegység, mely hivatalosan nem az SI rendszer része.



19. ábra. A háztartási méretű, az engedély köteles és nem engedélyköteles fotovoltaikus kiserőművek beépített teljesítőképességének változása. Forrás: [100]

A napelem erőművek jellemzője, hogy az egyes panelek hatékonyságától függően, a területük arányos a teljesítményükkel, így a nagyobb teljesítményűek értelemszerűen nagyobb területet is igényelnek. A nagyobb terület egyidejű technológiai felügyelete csak első ránézésre tűnik egyszerűnek, az elfoglalt terület növekedésével együtt az egyes paneleknél bekövetkező meghibásodások, elsősorban túlmelegedések száma is nő, noha arányaiban nyilvánvalóan ez nem nagyobb, mint az ugyanolyan típusú, de kisebb területű erőművekkel összehasonlítva. Ennek alapján a napelem erőművek területe elérhet akár olyan nagyságot is, ahol a folyamatos, hagyományos ellenőrzés mellett felvetődhet a levegőből kis magasságon végzett ellenőrzések lehetősége, szükségessége is [105].

Ahogy korábban a bevezetőben is igazolta, a klímatudatosság növekedésével az ún. fotovoltaikus kis- és nagyerőművek egyre meghatározóbb szerepet töltenek be a megújuló energiatermelésben. A számos hazai ösztönzőnek köszönhetően a háztartási méretű kiserőművek mellett jelentősen növekszik naperőművek beépített teljesítménye is.



Termelő erőművek 2018. december 31-i állapot szerint.
 Operating power plants as of 31 December 2018
2018. évben termelő naperőművek teljesítőképessége: 393,91 MW
 Installed capacity of operating solar power plants in 2018: 393,91 MW
Nem tartalmazza a háztartási méretű kiserőműveket.
 Figures do not include small-scale household power plants.

20. ábra. A nem HMKE (háztartásinál nagyobb) fotovoltaikus rendszerek eloszlása járásonként.
 Forrás: [106]

A kötelező átvételi tarifa (KÁT) feltételei miatt 500 kW, majd a megújuló támogatási rendszer (METÁR) lehetőségével élve, valamint az önfogyasztásra épült erőművekkel pedig kb. 1 MW méretű rendszerek épültek. Olyan művelésből kivont földterületeken valósultak meg ezek a projektek, melyekhez kellően közel voltak a közép feszültségű csatlakozási pontok, valamint az építetők kaptak csatlakozási engedélyt is a hálózati engedélyestől. A telephelyeket távfelügyelettel és vagyonvédelmi rendszerekkel látták el és minden esetben készült ún. IEC 61724-1:2017 szerinti „Performance Ratio” mérés a kezdeti teljesítőképesség meghatározásához. Így a későbbi vizsgálatok a mérései mellett jelentős historizált adattömeg is rendelkezésre áll.

A magas erőműszám miatt a tűzvédelmi kockázatok is nyilvánvalóan magasabbak lettek, országos szintűvé váltak, vagyis, ma már ezek nem csak egy – egy régió unikális kihívásait jelentik. A kihívás azonban lehetőséget is generált, így alkalmas szakmai terület lehet a közcélú – ipari innováció vizsgálatára is.

3.2 A napelemek működési elve, típusai és alkalmazásuk

A napelem panelek több rétegből állnak, amelyeket általában szilíciumból készítenek. A panelekben lévő fotovoltaiikus cellák a beérkező napfény fotonjait elnyelik, és ennek hatására elektronokat szabadítanak fel, amelyek az elektromos tér hatására irányított mozgást végeznek. Ez az áram egyenáramú (DC), amelyet egy inverter alakít váltóárammá (AC), így az az elektromos hálózatba integrálható.

A napelemek különböző típusokban érhetők el, attól függően, hogy milyen technológiát alkalmaznak a cellák előállításához:

- Monokristályos napelemek: A legmagasabb hatékonyságúak, egyetlen szilíciumkristályból készülnek, és kedvezőbb teljesítményt nyújtanak alacsonyabb fényviszonyok között is.
- Polikristályos napelemek: Több kisebb kristályból épülnek fel, olcsóbbak, de alacsonyabb hatékonyságúak.
- Vékonyfilmes napelemek: Rugalmasságuk miatt könnyebben telepíthetők, de hatékonyságuk alacsonyabb, mint a kristályos típusoké.

Ma már bármerre megyünk, láthatjuk, hogy a napelemeket számos területen alkalmazzák, a háztartásoktól kezdve az ipari méretű energiatermelésig. A kisebb rendszerek alkalmasak arra, hogy egy-egy épület energiaigényét részben vagy teljes egészében fedezzék, míg a nagyobb napelem parkok közüzemi méretű energiatermelést biztosítanak.

- A háztartási méretű kiserőművek lehetővé teszik, hogy a felhasználók saját energiát termeljenek, csökkentve ezzel az elektromos hálózattól való függőséget. A modern rendszerek gyakran tartalmaznak energiátároló akkumulátorokat is, amelyek a napközben megtermelt áramot elraktározzák az esti vagy borús időszakokra.
- A napelem erőművek nagyobb méretű energiatermelő létesítmények, amelyek több hektárnyi területet foglalnak el, és több ezer háztartás áramellátását biztosíthatják. Az ilyen erőművek jelentős szerepet játszanak a fenntartható energiamix kialakításában, különösen olyan országokban, ahol a napsütéses órák száma magas.



21. ábra. Napelempark drónos megfigyelése. Forrás: [107]

3.3 A napelem rendszerek kihívásai és karbantartása

A napelem rendszerek egyik legnagyobb előnye, hogy alacsony karbantartási igényűek, és akár 25-30 évig is működőképesek maradnak. Ugyanakkor a hatékonyságuk érdekében rendszeres ellenőrzésre és tisztításra van szükség. Az időjárási körülmények, a por, a madárürülék és egyéb szennyeződések csökkenthetik a panelek teljesítményét, ezért fontos azok időszakos karbantartása. [100]

A nagy méretű napelem erőművek ellenőrzése azonban kihívást jelenthet, mivel a területük akár több tíz hektárt is elérhet. A hagyományos földi vizsgálati módszerek időigényesek és költségesek, ezért egyre nagyobb szerepet kapnak a drónok, amelyek gyors és hatékony ellenőrzést tesznek lehetővé. A napelemparkok ellenőrzésének nehézségei között az alábbiakat azonosítottam:

- A napelem rendszerek karbantartásának kihívásai a hagyományos technológiákkal: A napelem rendszerek hosszú élettartamuk és alacsony karbantartási igényük ellenére folyamatos ellenőrzést és tisztítást igényelnek a hatékonyság fenntartása érdekében. A hagyományos karbantartási módszerek azonban több szempontból is kihívást jelentenek, különösen a nagy területű napelem parkok esetében.
- Mechanikai és emberi erőforrás-igény: A legtöbb karbantartási eljárás manuális beavatkozást igényel, amely során a munkavállalóknak nagy területeket kell bejárniuk és egyenként ellenőrizniük a paneleket. A hibás vagy sérült panelek azonosítása hagyományos eszközökkel (pl. vizuális inspekción, kézi hőkamerás vizsgálat) rendkívül időigényes, és jelentős emberi erőforrást igényel.

- Időjárási és környezeti tényezők: A napelem parkok gyakran nyílt, kiterjedt területeken helyezkednek el, ahol az időjárási viszonyok – például por, hó, madárürülék, vagy esővíz lerakódása – befolyásolják a panelek hatékonyságát. A hagyományos tisztítási módszerek, mint például a nagynyomású vízsugaras tisztítás vagy a kézi mosás, nem mindig hatékonyak és gyakran időszakosan, korlátozottan végezhetők el. Emellett a vízhasználat nem minden esetben optimális, különösen vízhiányos területeken.
- Elektromos és biztonsági kockázatok: A napelemek karbantartása során fennáll a veszélye az elektromos kisüléseknek és egyéb áramütési kockázatoknak, különösen nagyobb rendszerek esetén, ahol több ezer panel van összekapcsolva egyetlen hálózatba. Az ellenőrzés és karbantartás során speciális védőfelszerelés és óvintézkedések szükségesek, amelyek további költségeket és erőforrásokat igényelnek.
- Hagyományos diagnosztikai módszerek korlátai: A panelek teljesítményének nyomon követésére használt hagyományos eszközök, mint az inverterek és teljesítménymérők, csak összesített adatokat szolgáltatnak, és nem teszik lehetővé a konkrét hibák, például egyetlen cella túlmelegedésének vagy részleges árnyékolásának gyors és pontos azonosítását. A kézi hőkamerás vizsgálatok és villamos tesztek szintén időigényesek és nem feltétlenül adnak teljes képet a rendszer állapotáról.
- Nagy léptékű erőművek ellenőrzésének nehézségei: A több hektáros területen elhelyezkedő napelem parkok manuális ellenőrzése logisztikai szempontból is kihívást jelent. Az ellenőrzések rendszerint szakaszosan zajlanak, így a hibás panelek akár hosszabb ideig is észrevétlenek maradhatnak, ami termeléskiesést okoz. Egy teljes erőmű kézi átvizsgálása napokig vagy hetekig is eltarthat, míg az újabb technológiák, például a drónok és automatizált rendszerek ezt jelentősen lerövidíthetik.

A fent említett problémák miatt egyre inkább előtérbe kerülnek az automatizált és távfelügyeleti megoldások, amelyek jelentősen javíthatják a napelem rendszerek karbantartásának hatékonyságát és csökkenthetik az üzemeltetési költségeket. Meggyőződésem, hogy a drónok automatizált repülési lehetőségei, megfigyelési képességei a fenti problémák jelentős részére adhatnak különböző szintű megoldásokat.



22. ábra. Tűzoltói beavatkozás egy kigyulladt napelemparkban Forrás: [108]

3.4 Drónok lehetőségei a napelem erőművek ellenőrzésében

A drónokkal végzett légi felmérések jelentősen hatékonyabbá tehetik a napelem erőművek karbantartását. A saját tapasztalataim, valamint a szakirodalmi feldolgozások alapján a drónokra szerelt hőkamerák és nagy felbontású optikai kamerák segítségével könnyen azonosíthatók a hibás panelek, a túlmelegedő elemek, valamint az egyéb szerkezeti problémák. A drónokkal végzett eddigi repüléseim alapján a következő gyakorlati tapasztalatokat tudom az ellenőrzés előnyei közé sorolni:

- Gyorsaság és hatékonyság: Egy nagyobb napelem park ellenőrzése gyalogosan körbejárva több napot is igénybe vehet, de drónokkal néhány óra alatt is elvégezhető.
- Pontos adatgyűjtés: A hőkamerás vizsgálatok segítségével kimutathatók a meghibásodott (zárlatos) cellák, amelyek szabad szemmel nem vehetők észre, vagy már csak túl későn láthatók.
- Költségcsökkentés: A rendszeres drónos ellenőrzés csökkentheti a karbantartási költségeket, mivel a problémák gyorsan észlelhetők és még a súlyosabb problémák kialakulása (tűz) előtt célzottan javíthatók.
- Biztonság: A hagyományos ellenőrzési módszerekkel ellentétben a drónok használata nem igényli a dolgozók veszélyes magasságokba történő mászását vagy hosszú földi bejárásokat.

A jövőben a mesterséges intelligenciával támogatott drónrendszerek tovább növelhetik az ellenőrzések pontosságát és hatékonyságát, automatizált hibafelismerési technológiákkal és előrejelző karbantartási rendszerekkel. Egy hőkamerás mérés jellemzően akkor végezhető el megfelelő pontossággal, ha a külső hőmérséklet és a panelcella hőmérséklete közt megfelelő különbség képződik. Ez természetesen függ az adott szenzor típusától, érzékenységétől.

Ilyenkor meghatározó még a panelre érkező direkt sugárzás mértéke, valamint a szél iránya és sebessége is. Ebből következik, hogy a lokális meteorológiai adatok és a külső szolgáltatók raszterekre szolgáltatott időjárás-előrejelzései alapján kell meghatározni a repülésre alkalmas időszakokat, az ún. időablakokat. Egy ilyen időablakban a repülés technikai korlátja a drónokba szerelt akkumulátorok kapacitása. Ezen egységek 30 perc alatti repülési ideje már nem elegendő pl. egy 0,5 MW és az ezen felüli beépített teljesítménnyel rendelkező telephelyek felméréséhez. Ezért, a tapasztalatok szerint az erőművek területét blokkokra kell osztani és ezeket a blokkokat kell külön egységenként felmérni.

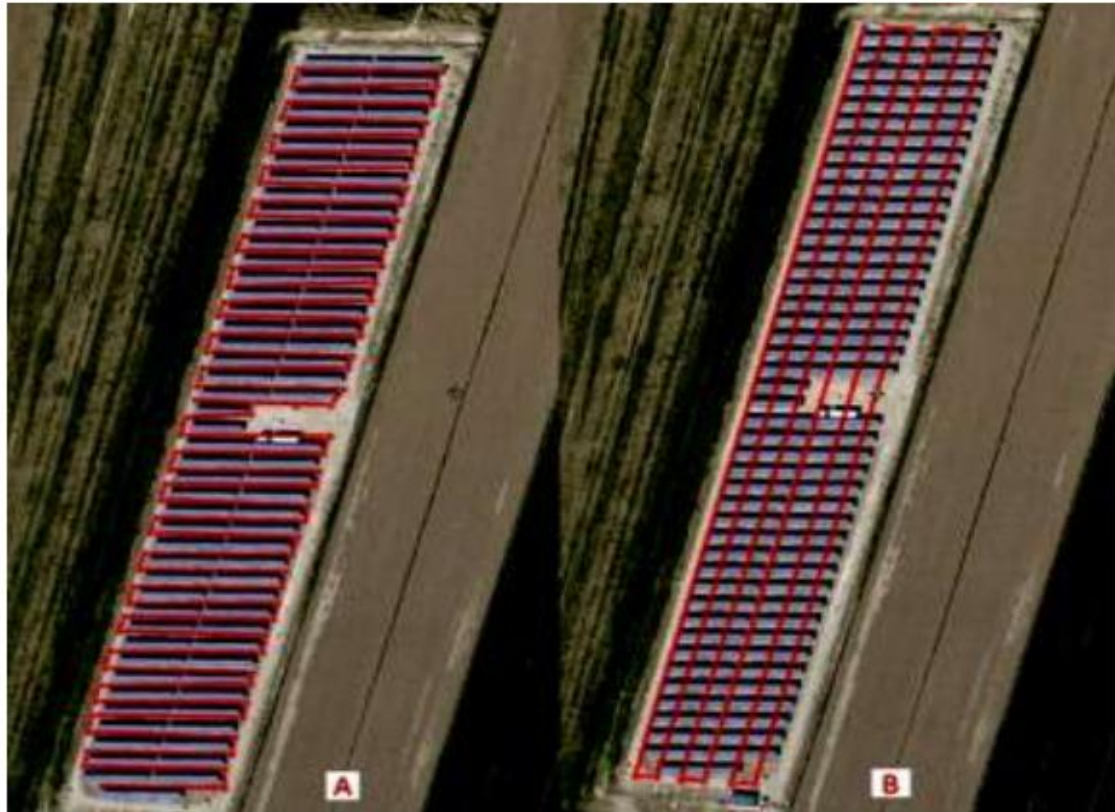
Egy adott terület fölötti útvonal megtervezésére számos elvi lehetőség létezik. Amennyiben a kamera megfigyelési szöge adott és a nem változtatjuk a sebességet, sík terület fölött egy-egy pixel láthatóságára mindig ugyanannyi idő marad. Pixeles (napelem panel) felosztás alapján az útvonal hossza egyforma, függetlenül a repülési útvonal formájától [69]. Ettől függetlenül a repülés fordulói kisebb megfigyelt terület esetén mérhető veszteséget okozhatnak, ezért célszerű az útvonalat úgy megtervezni, hogy az minél több hosszú szakaszt foglaljon magába [100].



23. ábra. A drón ellenőrző repülésének egyszerű szemléltetése. Forrás: [107]

Ezek előre rögzíthető útvonalak, melyeken kívül felvehetők még további preferált pontok, pl. transzformátor állomás, inverter, vagy a vagyonvédelmet elősegítő egyedi vizsgáló pontok is, amelyeket a repülés során az útvonalba be lehet iktatni. Az útvonalak tervezésében nagy szabadságot adhat a kamerákat rögzítő képstabilizátorok programozható mozgatása, illetve az olyan intelligens kamerarendszerek, amelyek bizonyos határok között az útvonal helyétől

függetlenül is a meghatározott pontra, irányba tekintve végzi a felvételezést. Saját tervezésem alapján az útvonaltervezést már konkrét példán mutatja be a 24. ábra, ahol a panel blokkok fölött A esetben keresztirányú, míg a B esetben hosszirányú repülést terveztem [100].



24. ábra. Fotovoltaikus rendszerek pásztázó repülésének lehetséges útvonalai. Forrás: [100]

A drón az általa készített felvételeket repülés közben is képes lehet továbbítani, így lehetőség van akár a valós idejű kiértékelésre is, noha a tapasztalatok azt mutatják, hogy ez általában nem történik meg azonnal [107]. A hőkamera és a kamera képeit feldolgozhatjuk különböző automatizált képfeldolgozási eljárásokkal is. Ezeket a képeket ún. GPS-bélyeggel ellátva hozzárendelhetjük a konkrét panelekhez. A képek adatának ún. gradiensvizsgálata mutatja meg azokat a lényegi éles hőmérséklet-változási jelenségeket, melyek anomáliákra utalnak. A tapasztalatok alapján ezek főleg gyártási és kivitelezési hibákra utalnak, de előfordult már ilyen anomália nem tervezett külső fizikai hatásra is.

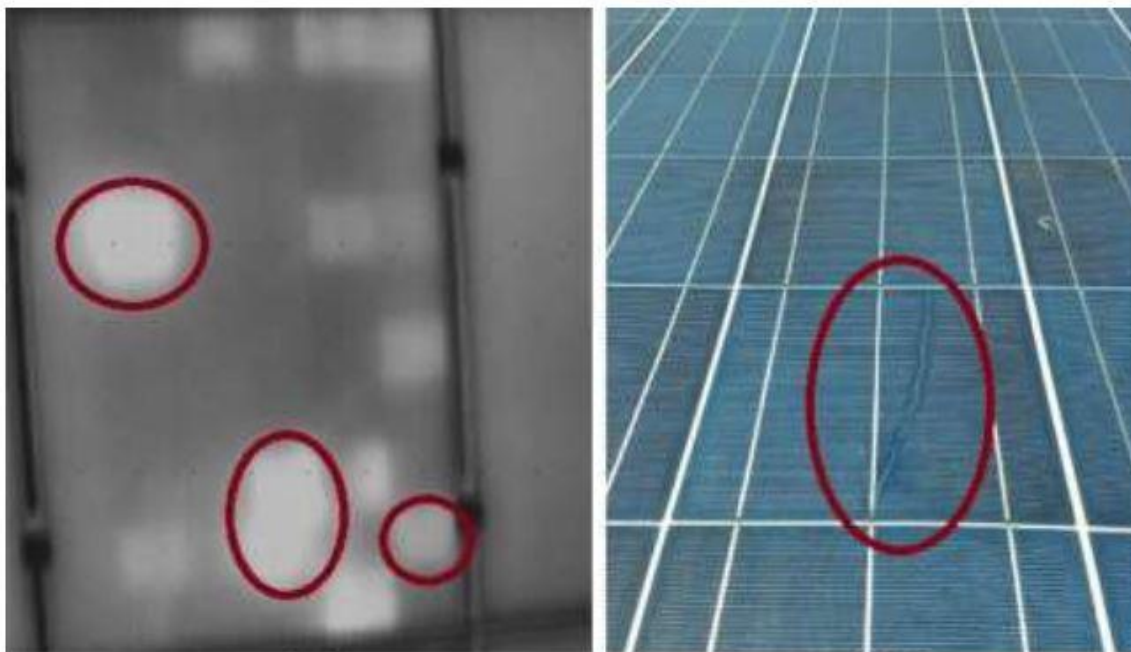
Ezen vizsgálatok – megelőző karbantartási célokkal, vagy nem várt avulások feltárására – viszonylag jól automatizálhatók és ütemezhetően végezhetők. A jelenlegi tapasztalatok azt mutatják, hogy a feladatok végrehajtása során az automatizmusok alkalmazása mellett az emberi tevékenység még nem hagyható el. Az autonóm rendszerek elvégzik a terepi adatgyűjtéseket és méréseket, a távfelügyelettel és monitoringgal pedig nagymennyiségű adatot

adnak a műszaki szakértők részére. Jelenleg a feldolgozott és kiértékelt adatriportok emberi ellenőrzése, áttekintése nem kihagyható, azonban a jövőbeli automatizáláshoz, az ipari innovációs folyamatok jellege miatt, ez a köztes lépcső vezethet. Úgy gondolom, hogy ilyen fokozatos lépések útján kell keresni az új innovációs lehetőségeket a közszolgálati felhasználások keresése során is.



25. ábra. Útvonaltervezés kiterjedt napelempark esetén. Forrás: [107]

Az egyes iparterületek és közműszektori telephelyek autonóm és félautonóm drón alkalmazásai a jövőben várhatóan egyre gyakoribbak lesznek. Ezen telephelyek jellemzően valamilyen fokozott kockázatot jelentenek katasztrófavédelmi szempontból. A jövőben érdemesnek tartom megvizsgálni, hogy az olyan ipari eszközök, mint a karbantartási célú naperőművi vizsgálatok drónjai milyen előnyöket jelenthetnek a katasztrófavédelem, vagy egyéb állami szervek, szervezetek számára. Ezentúl érdemes lehet a szektor innovációs elfogadását közös területeken erősíteni. Ilyen terület lehetne az terepi drón rendszerrel felszerelt erőművek és ipari területek szabványos kommunikációjának kiépítése a katasztrófavédelem részére. A terepi inspekción megelőzheti, vagy csökkentheti a baleset utáni gazdasági károkat.



26. ábra. Különböző meghibásodások detektálása a napelem paneleken. Forrás: [100]

3.5 A feladatvégrehajtás kihívásainak vizsgálata

A bemutatott drón alkalmazás közmű és energiaszektorban való használatának két fő akadálya van. Az első a hazai szabályozás problémáját jelenti, amely a technológia civil felhasználását korlátozza. A másik akadály inkább technikai jellegű és az eszközök optimális kihasználásának problémájára mutat rá.

A hatályos magyar légiközlekedési követelmények körülményessé teszik az eseti légtérhasználatot. Az, hogy az operátornak szabad szemmel látnia kell a drónt, egyértelműen akadályozza az autonóm és félautonóm repülési gyakorlatot alkalmazni akarókat. Továbbá, a szabályozási hézagok lassítják az innovációs erőfeszítéseket. A nemzetközi korlátozások közül az exportkorlátozások a legmeghatározóbbak. Kiváló példa lehet erre saját tapasztalatom, amikor egy hőkamera európai beszerzése során az általános kereskedelmi forgalomban szereplő termék 9 Hz exportálható képrátát engedélyez a 30 Hz műszaki képességet lekorlátozva. Az ilyen, véleményem szerint teljesen fölösleges korlátozások csak jelentős adminisztratív többletterheléssel kerülhetők el.

A szabályozói kockázatot jelenti a káresemények felelősségének megállapítása, valamint a személyiségi jogok esetleges megsértése is [109]. Az alkalmazás közben esetlegesen előforduló meghibásodások okai és az operátorok személyes felelősségének kivizsgálása nehezen lesznek megítélhetők [44,85]. A drónok lényegesen alacsonyabban és lassabban repülnek az általános

légijárművektől, melyek sokkal részletesebb adatgyűjtést tesznek lehetővé a természetes személyekről, civilekről is.

A fentiek mellett figyelmet kell fordítani az információ biztonsági előírások és ajánlások betartására és betartatására is. Különösen fontosnak látom, hogy az adatok titkosítása és esetleges kiszivárgásának védelme is kellő gondossággal történjen. A drónok irányíthatóságának technikai feltételei folyamatosan javulnak, azonban további műszaki kihívásokat tartogathat az esetleges szándékos zavarok és véletlenszerű meghibásodások üzem közbeni kezelése.

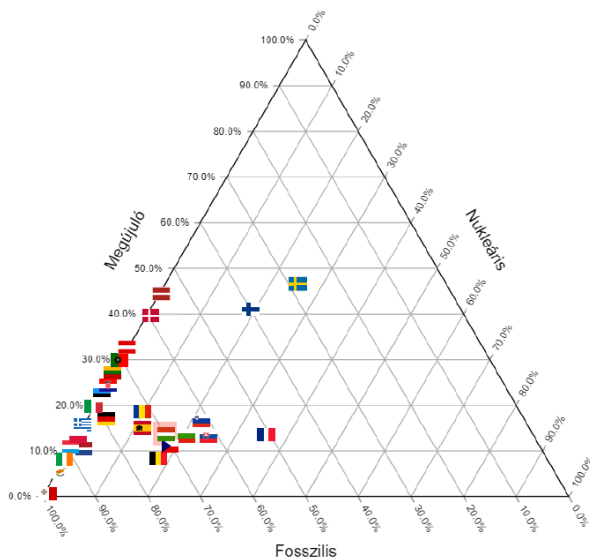
3.6 Témaszpecifikus drón fejlesztés

Annak érdekében, hogy megértsük milyen tényezők lassítják a drónok közszolgálati felhasználását, összehasonlításként meg lehet vizsgálni a kereskedelmi szektor drón rendszereinek fejlesztési folyamatait. A vizsgálat eredményeként látni fogjuk, hogy melyek azok a tényezők, amelyek a közszolgálati szektornál is jelen lehetnek, illetve, hogy milyen egyedi kihívások jelentkezhetnek. Az eddigi tapasztalataim alapján, jelenleg számomra a legcélravezetőbbnek az energetikai és hulladékgazdálkodási, közműszektori innovációk vizsgálata tűnik. Az elkerített naperőművek zárt telephelyek, amelyek biztonságos környezetet nyújthatnak különböző rendszerek hatékonyságának tesztelésére is. Azt gondolom, hogy az energiaközösségek megjelenésével az olyan infrastruktúra elemek, mint a fotovoltai és közcélú villamos energiatároló rendszerek lényegesen közelebb lesznek a beépített területekhez, mint napjainkban. Ebből kifolyólag fokozott figyelmet, illetve fejlesztést érdemel a közműszektor digitalizált felügyelete.

A fentiek alapján látható, hogy a modern napelem erőművek egyre nagyobb szerepet játszanak a fenntartható energiatermelésben, azonban arra is rámutattam, hogy a hatékony üzemeltetésük számos kihívást rejt magában. A nagy kiterjedésű napelem parkok ellenőrzése hagyományos módszerekkel rendkívül időigényes és költséges, miközben az üzemzavarok és teljesítménycsökkenések így gyakran csak későn kerülnek felismerésre. Ennek megoldására egy olyan drónalapú intelligens felügyeleti és karbantartási rendszer fejlesztését javaslom, amely valós idejű adatgyűjtéssel, precíz diagnosztikával és automatizált elemzéssel javíthatja a napelem parkok karbantartásának hatékonyságát.

A rendszer gerincét egy autonóm drón alkalmazás jelentené, amely egy fejlett hőkamerás távérzékelő szenzorral van felszerelve. Ez lehetővé teszi a napelemek állapotának folyamatos monitorozását, az azonnali hibafelismerést és számos esetben a megelőző karbantartást. A

mesterséges intelligenciával támogatott adatelemzés biztosítja, hogy az üzemeltetők időben észleljék a problémákat, minimalizálva ezzel az energia-veszteséget és az üzemzavarokat.



27. Az európai országok energiamix megoszlása 2022-ben. Forrás:[110]

Az automatikusan működtethető drón önállóan repül az előre programozott repülési útvonalon és monitorozza a teljes napelem parkot. A rendszer képes önállóan is navigálni, szükség szerint döntést hozni, amely optimalizálhatja mind a repülési időt, mind a megfigyelt részek megfigyelési gyakoriságát. A rendszer egy olyan intelligens akkumulátorrendszerrel és a valós idejű adatkapcsolattal biztosítja a folyamatos működést, amely képes azonnali visszacsatolást adni az üzemeltetők felé.

A drón fedélzetére szerelt különböző szenzorok alkalmasak a pontos diagnosztikához, amelyek a következő területeken képesek részletes elemzést adni:

- Hőkamera (IR) a túlmelegedő vagy sérült napelemek gyors azonosítására,
- Multispektrális kamera a szennyeződések, a nagymennyiségű lokális por és az esetlegesen felmerülő szükségtelen árnyékolási problémák detektálására,
- Időjárás-érzékelő állomás a lokális meteorológiai adatok integrálásával a hatékonyság növelése érdekében.

A javaslatom alapján az összegyűjtött adatok elemzését egy mesterséges intelligencia alapú szoftver végezné, amely képes az észlelt hibák automatikus felismerésére és osztályozására. Emellett előre jelzi a potenciális meghibásodásokat és ennek alapján javaslatot tesz a megfelelő karbantartási ütemtervre, ezáltal optimalizálva az üzemeltetési folyamatokat. A rendszer

integrálható lenne a meglévő energiagazdálkodási és távfelügyeleti rendszerekbe is, biztosítva az adatáramlás és az energiafelhasználás hatékony nyomon követését. Továbbá, az egész rendszert olyan felhasználóbarát kiszolgálórendszerrel kellene megépíteni, amely akár írásos riportokat is képes lenne generálni (tablet, notebook), amelyek segítik nem csak a vállalatirányítás felső vezetőit, de a karbantartó csoportokat is a gyors és pontos döntéshozatalban.

A rendszer működése az alábbi lépésekből áll:

1. Automatikus drón indítás és útvonaltervezés: Az előre programozott drón a felméréshez optimalizált időjárási körülmények figyelembevételével indul útnak, és a napelem park teljes területét végig pásztázza.
2. Adatgyűjtés és diagnosztika: A szenzorok segítségével a drón precíz adatokat gyűjt a panelek állapotáról, azonosítva a hőmérsékleti eltéréseket, szennyeződéseket és elektromos meghibásodásokat.
3. Valós idejű hibafelismerés és jelentéskészítés: A rendszer azonnali hibatérképeket generál, amelyek segítik a karbantartó csapatok gyors reagálását és a célzott beavatkozásokat.
4. Megelőző karbantartás és optimalizáció: Az alkalmazott mesterséges intelligencia elemzi az időbeli adatokat, és előre jelzi a potenciális problémákat, így segítve a költséghatékony, proaktív karbantartási stratégiát.

A fenti rendszer természetesen tovább is fejleszthető, de a fenti formájában is számos előnyt kínál az ipari és közszolgálati alkalmazások területén:

- Gyors és pontos diagnosztika, amely saját vállalatirányításban szerzett tapasztalataim alapján akár 80%-kal is csökkentheti a hibafelismerés időigényét.
- Költséghatékonyság, hiszen a célzott karbantartás csökkenti az üzemeltetési költségeket.
- Biztonságos működés, minimalizálva az emberi munkaerő szükségességét és a potenciális balesetek kockázatát.
- Integrálhatóság más szervezetek (pl. katasztrófavédelem) rendszereivel, elősegítve a gyorsabb reagálást vészhelyzet esetén.
- Fenntartható működés, amely hozzájárul a napelem parkok hosszú távú hatékony működéséhez és az energiahasznosítás optimalizálásához.

A rendszer megítélésem szerint tovább bővíthető, integrálható és fejleszthető az alábbi innovatív megoldásokkal:

- Autonóm drónflotta, amely teljes mértékben emberi beavatkozás nélkül is képes lenne a rendszeres ellenőrzésekre.
- 5G és IoT ¹¹ integráció, amely még gyorsabb és hatékonyabb valós idejű adatfeldolgozást biztosít.
- Legalább részben robotizált karbantartás (ez azonban nem drón alkalmazást jelent), amely a meghibásodott panelek javítását vagy cseréjét is el tudja végezni.
- Automatikus drónos tisztítórendszer, amely a szennyeződésekkel képes eltávolítani a napelemek felületéről, növelve ezzel az energiatermelési hatékonyságot.

Ez utóbbi felvetheti a nem szimmetrikus robotok kifejlesztésének szükségességét, amely számomra kifejezetten érdekes új kutatási területet fog jelenteni a jövőben. A fenti fejlesztések révén a rendszer még szélesebb körben alkalmazhatóvá válhat, nemcsak napelem parkokban, hanem akár más ipari és közműszektori létesítményekben is, elősegítve az intelligens és fenntartható energiafelhasználást.

3.7 A fejezet eredményeinek összefoglalása

A fejezet elején célul tűztem ki, hogy olyan drón alapú napelempark felügyeletére alkalmas rendszert dolgozzak ki, amely képes garantálni a működés ellenőrzését és a jelentkező problémák azonnali észlelését.

A fejezetben megvizsgáltam, hogy a pilóta nélküli légitárművek, azaz drónok, milyen módon és hatékonysággal alkalmazhatók a napelem erőművek működésének felügyeletére, karbantartására és ellenőrzésére. A fókuszban a fotovoltaiikus rendszerek technológiai sajátosságai és a karbantartási nehézségek álltak, valamint annak feltérképezése, hogy a modern dróntechnológia és szenzorrendszerek hogyan járulhatnak hozzá ezek leküzdéséhez. Célom volt továbbá annak bemutatása is, hogy a kereskedelmi szektorban már bevált megoldások miként ültethetők át a közszolgálati és közműszektori gyakorlatba.

A fejezetben kvalitatív megközelítést alkalmaztam, amely a saját tapasztalataim mellett technológiai áttekintésre, esettanulmányokra és gyakorlati példákra épül. A vizsgálatom során bemutattam a napelem erőművek működését, a hagyományos ellenőrzési és karbantartási eljárások korlátait, valamint az ezekre adható drónalapú megoldásokat. A dróntechnológia alkalmazását tematikusan bontva vizsgáltam: a repülés megtervezésétől kezdve az adatgyűjtésen és feldolgozáson át egészen a hibadetektálásig és a megelőző karbantartásig. A

¹¹ IoT – Internet of things: a dolgok internete. Különböző elektronikai eszközök, amelyek képesek felismerni a lényegi információkat és azt egy internet alapú hálózaton egymás közt megosztják.

rendszer működésének lépései egyszerű folyamatként tekinthetők. A fejlesztés bemutatásán keresztül a technikai megvalósítás lehetőségeit és előnyeit is részleteztem.

A vizsgálatom során arra a következtetésre jutottam, hogy a napelem erőművek ellenőrzése hagyományos technológiákkal (pl. kézi hőkamerás vizsgálatok, vizuális ellenőrzések) idő- és munkaerőigényes, költséges, valamint az eredményei nem is mindig megbízhatók. Ezzel szemben egy intelligens, szenzorokkal felszerelt, autonóm drónrendszer jelentős előnyöket kínál: gyorsabb, pontosabb, biztonságosabb adatgyűjtést, automatizált hibaaazonosítást és megelőző karbantartást biztosít.

A fejlesztés eredményterméke egy komplex, mesterséges intelligenciával támogatott drónalapú rendszer lehet, amely a napelem parkokat automatikusan pásztázza, valós idejű hibafelismerést végez, és adatai integrálhatók a már meglévő energiagazdálkodási rendszerekbe. A rendszer vizuális hibatérképeket és döntéstámogató jelentéseket generálna, megkönnyítve a karbantartó csoportok munkáját, ezzel is csökkentve az üzemzavarokból eredő esetleges kieséseket, veszteségeket.

A fentiek alapján az a végkövetkeztetésem, hogy a közműszektorban – különösen a zárt, elkerített napelem erőművek esetén – a drónos megoldás nemcsak technológiailag kivitelezhető, de stratégiai jelentőségű fejlesztési irány is lehet a közszolgálati digitalizáció és fenntartható infrastruktúrafejlesztés területén.

A fejezet eredményeit más aspektusból megközelítve, a napelemparkok ellenőrzésére irányuló drónalapú rendszerek fejlesztésének vizsgálata során azt gondolom, hogy sikerült olyan technológiai megoldásokat kidolgozni, amelyek jelentősen növelik a napelemes energiatermelés biztonságát és hatékonyságát. A fejezetben bemutatott elemzések rávilágítottak arra, hogy a megújuló energiaforrások, különösen a napelemek, kulcsfontosságú szerepet játszanak a légszennyezés csökkentésében és az energiafüggetlenség biztosításában. A drónok alkalmazása e területen olyan innovatív megközelítést kínál, amely képes a hagyományos ellenőrzési módszerek korlátait áthidalni, különösen a nagy kiterjedésű napelemparkok esetében.

A napelemek működési elveinek és karbantartási kihívásainak elemzése során kiderült, hogy a drónok által biztosított gyors és pontos adatgyűjtés kulcsfontosságú a műszaki hibák azonnali észlelésében. A fejezetben ismertetett fejlesztési program, amely a multispektrális és hőkamerás szenzorok integrációjára épül, lehetővé tette a napelemek állapotának valós idejű monitorozását. Ez különösen fontos a meghibásodások, például az ún. „*hotspotok*” vagy a

felületi szennyeződések azonosításában, amelyek jelentős hatással lehetnek az energiatermelés hatékonyságára. A drónok alkalmazásával végzett ellenőrzések nem csupán időt és költséget takarítanak meg, hanem csökkentik a karbantartási műveletek során felmerülő kockázatokat is, például a magasban végzett munkák során.

Meggyőződésem, hogy a fejezet eredményei alátámasztják a harmadik hipotézisemet, miszerint a drónok alkalmazásával a napelemparkok műszaki felügyelete hatékonyan megvalósítható, és a működési zavarok gyorsan észlelhetők. A fejlesztett rendszer képes a napelemek állapotának folyamatos monitorozására, ami lehetővé teszi a preventív karbantartási stratégiák alkalmazását. Ez nem csupán a rendszerek élettartamát növeli, hanem hozzájárul a megújuló energiaforrások gazdasági fenntarthatóságához is. A drónok által gyűjtött adatok térinformatikai rendszerekbe történő integrálása tovább növeli a rendszer hatékonyságát, lehetővé téve a hosszú távú teljesítményelemzést és az optimalizációs lehetőségek azonosítását.

A kutatás során szerzett tapasztalataim rámutattak arra, hogy a drónalapú napelempark-ellenőrzés sikeressége a technológiai fejlesztések mellett a kezelői készségeken és a rendszerek integráltságán is múlik. A kezelők képzése kulcsfontosságú a drónok hatékony és biztonságos használatához, különösen a komplex szenzorok által gyűjtött adatok elemzése során. Emellett a rendszerek interoperabilitása, például a drónok és a napelemparkok kezelőszoftverei közötti adatáramlás biztosítása, szintén kritikus tényező. A jövőbeni fejlesztéseknek ezért figyelembe kell venniük ezeket az aspektusokat, hogy a technológia teljes potenciálját kiaknázhassák.

A fejezet eredményeinek gyakorlati alkalmazhatósága különösen hangsúlyos az energiatermelés és a közszolgálati szféra számára. A drónalapú napelempark-ellenőrzés lehetővé teszi az energiatermelő rendszerek hatékonyságának növelését, ami hozzájárul a megújuló energiaforrások szélesebb körű elterjedéséhez. Ez nem csupán a környezetvédelem szempontjából fontos, hanem a gazdasági és társadalmi fenntarthatóság szempontjából is. A drónok által gyűjtött adatok elemzése továbbá támogatja a hosszú távú energiatermelési stratégiák kidolgozását, például a napelemparkok kapacitásának optimalizálását vagy a karbantartási költségek csökkentését.

A fejezetben elért eredményeim arra is rávilágítanak, hogy a drónok napelempark-ellenőrzési alkalmazása multidiszciplináris megközelítést igényel. A technológiai fejlesztések mellett figyelembe kell venni a társadalmi és gazdasági aspektusokat is. Például a drónok bevezetése az energiatermelési szektorban új munkaerő-piaci igényeket generálhat, például a drónkezelők és adatanalitikusok képzése terén. Emellett a társadalmi elfogadottság növelése érdekében

fontos a lakosság tájékoztatása a drónok előnyeiről és biztonságos használatáról. A fejezet eredményei tehát nem csupán a technológiai innovációkra fókuszálnak, hanem az energiatermelés átfogó fejlesztésére is, összhangban a kutatás célkitűzéseivel és a fenntartható fejlődés céljaival.

A jövőbeni kutatásoknak és fejlesztéseknek ki kell terjedniük a drónok energiahatékonyságának és hatótávolságának növelésére, hogy a nagy kiterjedésű napelemparkok ellenőrzése még hatékonyabbá váljon. Emellett a mesterséges intelligencia és az autonóm rendszerek integrálása lehetővé teheti a drónok által gyűjtött adatok valós idejű elemzését, ami tovább növelheti a közszolgálati műveletek hatékonyságát. A fejezet eredményei arra ösztönöznek, hogy a jövőben további erőfeszítéseket tegyünk a drónalapú napelempark-ellenőrzési rendszerek finomítására és széles körű alkalmazására, összhangban a közszolgálati célokkal és az energiafüggetlenség biztosításával.

A fentiek alapján azt a feltételezésemet (H3), miszerint a drónok alkalmazásával a napelemparkok műszaki felügyelete hatékonyan megvalósítható, a működési zavarok pedig gyorsan észlelhetők, igazoltam.

Jövőbeni lehetőségek és távlati kilátások

A drónok napelempark-ellenőrzési alkalmazásának jövője kiemelkedő lehetőségeket kínál a megújuló energiatermelés támogatására. A technológiai fejlődés, például a hőkamerák és multispektrális szenzorok továbbfejlesztése, lehetővé teheti a napelemek állapotának még pontosabb monitorozását, minimalizálva az energiaveszteségeket. Az autonóm drónok és a mesterséges intelligencia integrálása prediktív karbantartási rendszereket hozhat létre, amelyek előre jelzik a potenciális meghibásodásokat, növelve a napelemparkok élettartamát és hatékonyságát. Hosszú távon a drónok hálózatba kapcsolása valós idejű adatmegosztást biztosíthat az energiatermelő rendszerek és a kezelők között, optimalizálva a karbantartási folyamatokat. Ez különösen fontos a nagy kiterjedésű, távoli napelemparkok esetében, ahol a költséghatékonyság kulcsfontosságú. A drónok energiahatékonyságának növelése, például újratölthető vagy napenergiával működő rendszerekkel, tovább támogathatja a fenntartható energiatermelést, hozzájárulva az energiafüggetlenség és a környezetvédelem céljainak eléréséhez a közszolgálati szférában.

4 DRÓNOK ALKALMAZÁSÁNAK FEJLESZTÉSE AZ IPARBIZTONSÁG TERÜLETÉN

A katasztrófavédelmi tevékenységek egyik sarkalatos pontja az iparbiztonság [111-114]. A fejlett társadalmak jellemzője, hogy gazdaságuk gerincét az ipari tevékenységek adják, amely maga után vonja azt is, hogy számos olyan technológiát alkalmaznak, amelyek meghibásodás esetén a környezetükre az átlagosnál jelentősen nagyobb káros hatást gyakorolhatnak. Éppen ezért célszerű lehet a veszélyes üzemek különböző tevékenységeinek, műszaki ellenőrzési folyamatainak innovatív támogatása dróntechnológiai megoldások alkalmazásával. Meggyőződésem, hogy egy integrált drónplatform és szenzorrendszer fejlesztése, amely képes ellátni az ipari környezetben előforduló veszélyes üzemek folyamatos ellenőrzését, műszaki felügyeletét, hatékonyan támogatná az iparbiztonsági tevékenységek hatékonyságát. Az általam javasolt rendszer lehetővé teheti ipari létesítmények működésével kapcsolatos egyes kritikus paraméterek mérését, adatgyűjtését, továbbítását, és ezen adatok valós idejű elemzését, értékelését. A fejlesztés célja az, hogy csökkentse a veszélyes munkakörnyezetből fakadó munkavédelmi kockázatokat, növelje az ellenőrzések hatékonyságát és pontosságát, miközben csökkenti az ehhez kapcsolódó idő- és költségigényt.

A fejezetben felhasználom saját korábbi kutatásaimat is, így leginkább a drónok veszélyes üzemeknél történő alkalmazásának vizsgálatával [115-117], az alkalmazások biztonsági kérdéseivel [85,87], a térinformatika alkalmazásával [91], a kismagasságú spektrális távérzékeléssel [11], valamint a drónok jövőbeli alkalmazási lehetőségeivel [12] kapcsolatban írt munkáimat.

A fejezetben célul tűzöm ki, hogy olyan drón alapú ipari tevékenységek felügyeletére és ellenőrzésére alkalmas rendszert dolgozzak ki, amely a jelenleginél hatékonyabban szolgálja a balesetek megelőzését és a bekövetkezett balesetek elhárítását.

4.1 Veszélyes üzemek általános jellemzői és magyarországi helyzete

A katasztrófavédelem hazai újjászervezése során három fő pillér került kialakításra: a megelőző és mentő tűzvédelem, a polgári védelem és az iparbiztonság [118]. A drónok alkalmazására a tűzvédelem területén már mind hazai [119,120], mind nemzetközi tekintetben [121-124] több korai példát is találunk. A hazai katasztrófavédelem másik két pillérének tekintetében azonban már kevesebb tapasztalattal rendelkezünk [82].

A drónok erdőtűzeknél történő alkalmazásáról részletesen a témavezetőm ír értekezésében [125]. Vázlatosan bemutatta a merev és forgószárnyas légi járművekkel végrehajtható feladatokat, a levegőből történő tűzoltás eszközeit és feltételeit, de ezen felül meghatározta a légi tűzoltás gazdaságossági kritériumait is. Szintén a fent említett értekezésében megalkotta a drónok mentő tűzvédelmi alkalmazásának követelményrendszerét, megvizsgálta és meghatározta a szakmai és gazdaságossági szempontú hatékony alkalmazás szélső értékeit. Kutatásának legfontosabb eredményeként meghatározta a tűzoltás során is hatékonyan alkalmazható drónokkal szembeni egyes követelményeket. Ezeken túlmenően a tűzoltóságok között elsőként a világon készenlétbe állítással bizonyította a drónok gyakorlati megvalósíthatóságát a szendrői tűzoltóságon [126]. A kezdetek után a drónos repülések száma itthon is gyors emelkedést mutatott, ma pedig már senkinek sem ismeretlenek ezek az eszközök, amelyeknek az alkalmazását már jogszabály is korlátozza [127].

Az iparbiztonság feladatrendszere rendkívül összetett, célja pedig nem lehet más, mint a társadalom és a gazdaság folyamatos működőképességének egy speciális szempontból való hatékony biztosítása. Ha a drónok használatával ez a hatékonyság mind szakmai, mind gazdaságossági szempontok alapján növelhető, úgy a drónok alkalmazása már nem csak egy egyszerű lehetőség a szakemberek kezében, de sokkal inkább erkölcsi kötelesség is.

A veszélyes üzemek olyan ipari létesítmények, amelyek működésükből adódóan jelentős kockázatokat hordoznak, legyen szó akár az emberi egészség veszélyeztetéséről, akár környezeti károkozásról. Ezek az üzemek tipikusan olyan technológiákat alkalmaznak, amelyek során nagy mennyiségű veszélyes anyagot tárolnak, kezelnek vagy dolgoznak fel [5]. Ilyenek például a vegyi üzemek, petrokémiai létesítmények, olaj- és gázipari telepek, nukleáris erőművek, gyógyszergyártó vállalatok, valamint különböző robbanásveszélyes anyagokkal dolgozó egységek. A veszélyforrások jellegét tekintve ezek az anyagok lehetnek mérgezők, gyúlékonyak, robbanásveszélyesek, sugárzó anyagok, illetve maró hatású vegyületek is.

Ezek az iparágak az emberi fejlődés, gazdasági növekedés és társadalmi jólét szempontjából nélkülözhetetlenek, ugyanakkor működésük során különösen fontos a biztonságos és ellenőrzött körülmények biztosítása [111]. A veszélyes üzemek működtetése komoly kihívások elé állítja a vállalatokat, hiszen nemcsak a technológiai folyamatokat kell folyamatosan optimalizálni, hanem a létesítmények műszaki állapotát, működési biztonságát, valamint a környezeti hatásokat is rendszeresen ellenőrizni kell [112]. Az üzemek biztonságos működtetéséhez szükséges szabályozás nemzetközi és hazai szinten is folyamatosan

szigorodik, ezzel párhuzamosan növelve a felügyeleti tevékenység és ellenőrzési eljárások fontosságát és komplexitását [112].

A veszélyes üzemek működéséből fakadó potenciális balesetek következményei rendkívül súlyosak lehetnek, nem csupán az üzem dolgozóira nézve, hanem a környező lakosságra és természeti környezetre is. A balesetek bekövetkezésének oka legtöbbször a berendezések műszaki meghibásodása, emberi mulasztás vagy a biztonsági protokollok betartásának hiányosságai. Ezért a veszélyes üzemekben működő vállalatok számára elengedhetetlen a megfelelő vészhelyzeti tervek kidolgozása, a rendszeres ellenőrzések végrehajtása, valamint a folyamatos műszaki és technológiai fejlesztések [113].

A technológiai fejlődés eredményeként egyre több innovatív megoldás áll rendelkezésre, amelyek hatékonyan támogatják a veszélyes üzemek biztonságos működtetését. Ezek közé tartoznak a különböző monitoring rendszerek, érzékelők és automatizált ellenőrzési, riasztási folyamatok, amelyek valós időben képesek észlelni a veszélyes helyzeteket és jelezni azokat a felelős személyzet számára [128-130]. E technológiák között kiemelkedő szerepet kaphatnak a drónok, amelyek mobilitásuknak, gyors bevetethetőségüknek, és magas fokú integrálhatóságuknak köszönhetően új dimenziót nyitnak a veszélyes üzemek ellenőrzési tevékenységeiben.



28. ábra. A Paks II. beruházás makett terve (bal) és a Tiszaújvárosban megvalósult Poliol projekt.
Forrás: [131,132]

Magyarország iparszerkezete az elmúlt évtizedekben jelentős átalakuláson ment keresztül, amelynek eredményeként számos nagy volumenű veszélyes üzem működik az ország területén. Ezek között kiemelt jelentőségű a vegyipar, a petrokémia, az energiaipar, valamint a nukleáris energetikai létesítmények. A hazai gazdaságfejlesztési stratégiák egyértelműen támogatják a nagy volumenű ipari beruházásokat, amelyeket azonban szigorú műszaki felügyeleti és biztonsági követelmények mellett lehet csak megvalósítani.

A Paksi Atomerőmű bővítése Magyarország legnagyobb energetikai beruházása [131], amely jelentős műszaki kihívásokkal jár, és amelynek ellenőrzése során innovatív technológiák, például drónok alkalmazása is előtérbe kerülhet. Emellett a MOL csoport petrokémiai beruházásai, különösen a Tiszaújvárosban létesült legutóbbi Poliol projekt, további nagy volumenű, veszélyes anyagokat kezelő üzemeket hozott létre [132]. Ezek mellett számos kisebb, de veszélyes anyagokkal dolgozó vállalkozás is működik hazánkban, amelyek műszaki ellenőrzése ugyancsak kiemelt fontosságú.

Magyarországon a veszélyes üzemek műszaki ellenőrzése a hagyományos módszerekkel végrehajtva jelentős idő- és erőforrásigényes tevékenység, gyakran veszélyes munkakörülmények között kell elvégezni a helyszíni vizsgálatokat. Ezen ellenőrzések hatékonyságának és biztonságának növelése érdekében egyre nagyobb igény mutatkozik innovatív technológiák, mint például drónok bevezetésére, amelyek jelentősen csökkenthetik a kockázatokat, és hatékonyabbá, gazdaságosabbá tehetik a műszaki ellenőrzési folyamatokat.

Az alkalmazott kutatásom egyik iránya olyan kereskedelemben nem beszerezhető drón eszközökre, mint szállító platformra telepíthető szenzor vagy szenzor csoport kialakítása, illetve kifejlesztése. A fejlesztés eredményeként kifejlesztett mérések elvégzésére optimalizált drón eszközök zárt láncú adatátvitelen keresztül egybekapcsolhatók és alkalmasak a tapasztalati vagy mért adatok továbbítására. A saját helyváltoztatásukat saját maguk biztosító drón eszközre telepített mérőeszközök alkalmasak lehetnek veszélyes üzemek ember vezérelt, vagy autonóm vizsgálatára, illetve a felügyeletükhöz szükséges folyamatos mérések elvégzésére.

Kutatásom következő lépése megállapítani, hogyan használhatók a drónok a veszélyes üzemek működésével összefüggő műszaki adatok mérésére, illetve a kifejlesztett drón platformra felépített mérőeszközök milyen módon lehetnek alkalmasak ezen üzemek működésének felügyeletét ellátó mérőeszközök közé történő integrációra. A veszélyes üzemek működéséhez szükséges hatósági működési engedélyek elbírálásához szükséges vizsgálatoknál, valamint az ipari berendezések műszaki felügyeleti munkái során a legtöbb esetben nehezen megközelíthető és veszélyes munkakörülmények között, nagy tapasztalattal rendelkező szakembereknek kell az ipar területeken vagy az üzemelő berendezéseken dolgozniuk. [133]

A közvetlen, manuálisan irányított mérések és vizuális ellenőrzések adatait helyszíni vizsgálat után további irodai munka során dolgozzák fel, dokumentálják, majd elemzik az eredményeket. Ezeket az ellenőrzési, felügyeleti munkákat olykor jelentős állványozási, daruzási előkészítő munkák előzik meg. Ez mind időigényes feladat, valamint jelentős költségeket is jelent. Ezt a

valós piaci igényt felismerve a kutatási feladataim sorába illesztettem egy olyan drónszenzoros rendszer fejlesztését, amely mind a veszélyes üzemeket működtető vállalkozások életében, mind pedig a mérőeszköz gyártó vállalkozások életében egyedülállónak és újdonságnak számítana. A fejlesztési folyamat eredményeként létrehozni kívánt drón eszközre telepített mérőeszköz vagy mérőeszköz csoport jelentősen csökkentené az üzemi vizsgálati munkák, mérések időtartamát, növelné a kiértékelés pontosságát, egyszerűsíthatja az ismétlődő vizsgálatok elvégzését, továbbá igen fontos szempontként növelné az egyre szigorodó munkavédelmi és egészségvédelmi előírások betarthatóságát. [115,116]

A kitűzött műszaki fejlesztési célok elérése esetén költséghatékonyabb eszközök állnának rendelkezésre a veszélyes üzemek működtetői az üzemeltetők, illetve létesítésükkor azok beruházói és kivitelezői részére is. Célszerű lenne egy olyan szenzor csoport létrehozása, amelyek drónnal egybekapcsolhatók, és a tapasztalt, mért adatok továbbítására, egy megfelelő adatátviteli rendszer segítségével képesek. Véleményem szerint a tervezett eredménnyel két felhasználói csoportot is ki lehetne szolgálni. Egyrészt a műszaki felügyeleti terheket képes majd csökkenteni, továbbá hatékonyabb megoldást kínál az ellenőrzésre és vizsgálatokra is. A vizsgálatokat követő dokumentáció elkészítése és archiválása is lényegesen könnyebbé tehető. Ezen folyamatok eredményeképpen a veszélyes üzemeket felügyelő hatósági munka átláthatóbbá és a feljük benyújtandó dokumentumok kezelhetősége is lényegesen könnyebbé válna. [117]



29. ábra. A drónok iparbiztonsági célú alkalmazásának lehetőségei. Forrás: Restás [82] munkája alapján átdolgozva a szerző

A drónok iparbiztonsági célú alkalmazását részletesebben témavezetőm vizsgálta; ennek során az iparbiztonsági tevékenységekhez sorolta a veszélyes áruk szállítását is [82]. A katasztrófavédelmi alkalmazásokhoz hasonlóan a drónok alkalmazási lehetőségére it is alapvetően három időszakban van lehetőség: az ipari balesetek bekövetkezése előtt, a baleset bekövetkezése utáni elsődleges beavatkozások támogatása során, valamint az elsődleges beavatkozások után, a normál üzemmód helyreállítása érdekében.

Általánosan elfogadott megállapítás, hogy a megelőző tevékenységekre fordított költségek mindig olcsóbb megoldást jelentenek, mint a káresetek okozta veszteségek megtérítése. A megelőzésre fordított költségekről olykor heves vita folyik, de a társadalom egészét tekintve és komplexen vizsgálva a kérdést, a megelőzés bizonyosan olcsóbb. Ez a megállapítás különösen is igaz lehet az olyan iparágakban, ahol a balesetek esetén jelentős károkat tudnak okozni. Nyilvánvalóan ide sorolhatjuk a veszélyes anyagok gyártásával, előállításával foglalkozó ipari üzemeket is. Ezért, a veszélyes ipari balesetek megelőzésének fontossága vitathatatlan. Ezzel magyarázható az is, hogy a legutóbbi magyarországi katasztrófavédelmi rendszer megújítása különös fontosságúnak tekintette azt a szakterület is. A hatékony megelőző tevékenységek hatására csökkenthető a balesetek kockázata, de ezzel együtt növelhető a környezetre veszélyt jelentő ipari tevékenységek társadalmi elfogadtatása is.



30. Valós példa drónok ipari szennyezés drón alkalmazásával történő beazonosítására. Forrás:[82]

4.2 Az iparbiztonsági drón alkalmazások potenciális lehetőségei

Az alkalmazások potenciális lehetőségeit a különböző felhasználói célcsoportok számbavételével lehet körvonalazni. Magyarországon folyamatosan emelkedik a beruházások száma, ezzel együtt elkerülhetetlen a műszaki felügyelet, ellenőrzés és tervezés. Mivel ez sokszor időigényes, költséges és olykor veszélyes tevékenység, ennek érdekében ki kell dolgozni a drónok alkalmazásának lehetőségeit.

Összességében a híradásokból is tudható, hogy az előttünk álló időszakban a Paksi beruházás helyszíni munkavégzésre megadott előzetes száma 10,3 milliárd dollárra tehető [131], a közelmúltban befejezett MOL Poliol üzeme 1,8 milliárd dollár értékű [132]. A műszaki felügyeleti tevékenység piaci volumene ilyen nagyságrendű beruházásoknál a költségek 1,5-3%-át teheti ki. Ha csupán csak ezt a két tételt vizsgáljuk, akkor is láthatjuk, hogy jelentős piaci potenciál van jelen.

Magyarországon többezer olyan vállalat tevékenykedik, amelyek fő tevékenysége valamilyen veszélyes anyag kezeléséhez köthető. A drónnal támogatott műszaki felügyeleti tevékenység bevezetésével egyrészt ezen piaci szegmens biztonsága növelhető, másrésztől a technológia elterjesztésével – képzések, tréning, tanácsadás – az üzemeltetők számára egy innovatív technológia bevezetése segíthető elő. [117]

Megítélésem szerint elengedhetetlen mindazon potenciális felhasználók meghatározása, amelyek ahhoz kellene, hogy megfelelően hasznosítani tudjuk a fejlesztésünket. Ez igaz akkor is, ha saját erőből történik a fejlesztési tevékenység finanszírozása és különösen igaz, ha külső erőforrást (pályázati támogatás, pénzügyi hitel) veszünk igénybe.

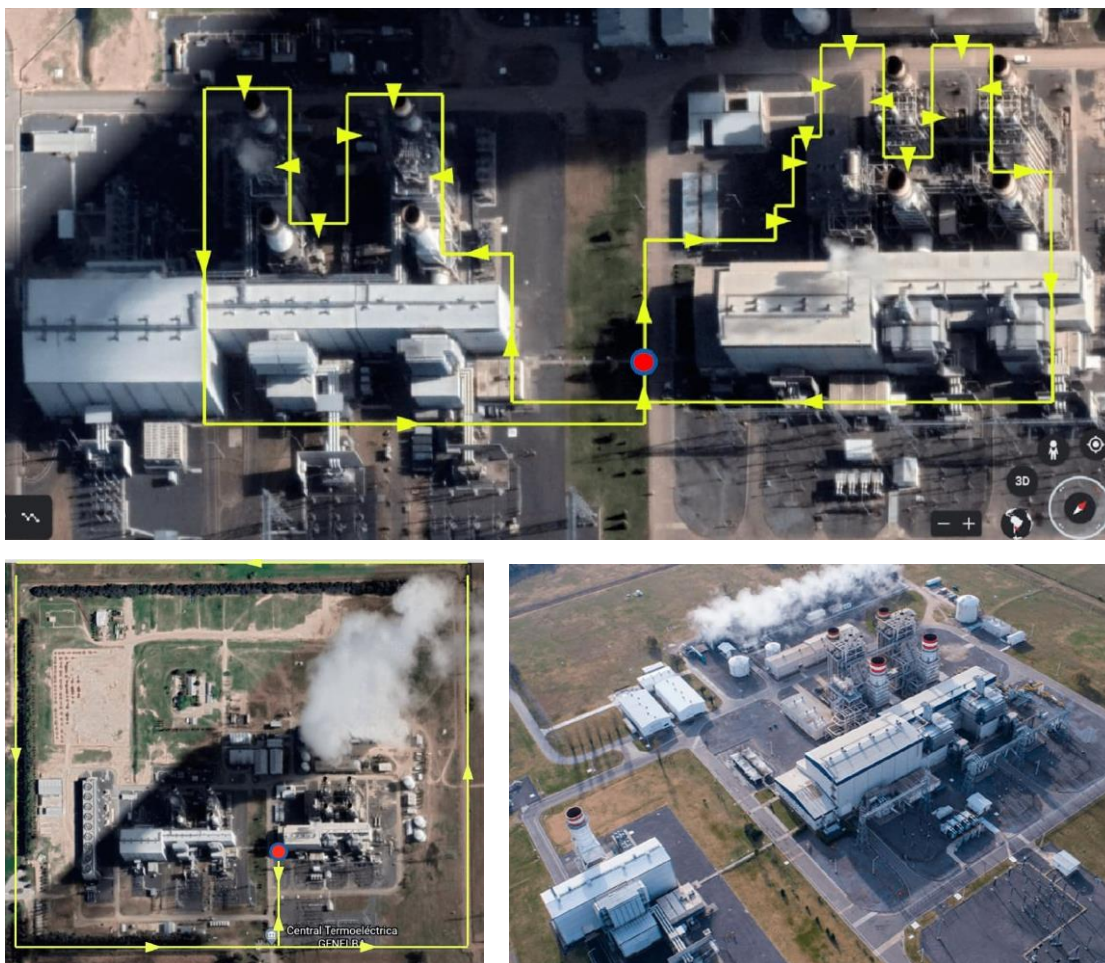
A műszaki fejlesztést megelőzően pontosan meghatározható, hogy kinek, milyen csatornákon keresztül juttathatjuk el az egyes termékek hírét és üzenetét. A drón alkalmazásra kifejlesztett technológiát általánosságban azon cégeknek lehet értékesíteni, amelyek valamilyen nagyobb beruházást végeznek, ezáltal szükségük van műszaki felülvizsgálati, ellenőrzési folyamatra. Ilyen beruházások mindig is lesznek – ezt bizonyítja az is, hogy a KSH adatai alapján a beruházások értéke évről évre folyamatos növekedést mutat. Ezen beruházások legnagyobb részét a feldolgozóipari vállalkozások adják. A fejlesztés hasznosításához két célcsoportot azonosítottam:

Egyrészt, azokat a mikro-, kis- és középvállalkozásokat az egész ország területén, amelyek olyan beruházásokat végeznek, ahol szükséges a műszaki felügyeleti tevékenység, de cégük méretéből adódóan nem rendelkeznek saját műszaki felügyeleti kapacitással, saját mérésügyre szakosodott szervezeti egységgel, illetve állandó saját főállású műszaki ellenőrrel. Ennek a jövőbeni tervezése során figyelembe kell vennünk a hivatalos gazdasági mutatókat tartalmazó statisztikát, miszerint főleg a feldolgozóipari vállalkozások adják az ipari beruházások nagy részét, akkor a KSH adatai szerint Magyarországon több mint 75.000 ilyen cég van. A fejlesztési tervezett technológiai megoldás számukra gyorsabb és gazdaságosabbá teheti a működésüket.

Másrészt, a kifejlesztett drónszenzorok alkalmazásával elsősorban az olaj, gáz és energetikai ipari létesítmények – fizikai méretek, kiterjedés, tömeg és megközelíthetőségi speciális adottságok alapján – műszaki felügyeletéhez szükséges, a hagyományos inspekciós tevékenységek részbeni kiváltását lehet érteni. Zöld- és barnamezős beruházások, üzemeltetés közbeni ellenőrzések, nagyleállások (tervezett karbantartások), részbeni vagy teljes üzemi környezetet érintő rekonstrukciós munkák. Ilyen területeken a drónos szenzor alkalmazása idő és jelentős mellékköltség

megtakarítást eredményezhet, továbbá pontosabb és akár visszakereshető, rekonstruálható műszaki tartalmú fejlesztést tehet majd lehetővé. Ki szeretném emelni, hogy ilyen veszélyes környezetben előtérbe kerülnek a dolgozók munkaegészségügyi, munkavédelmi szempontjai, amelyek talán kevésbé támaszthatók alá gazdasági számításokkal, viszont az általános biztonsági szint javításával és a dolgozók egészségének megóvásával járulhatnak hozzá az adott üzemi környezet működési biztonságához.

A fentiekén kívül a mérési és észlelési eredmények helyszíni kiértékelése kevesebb tapasztalt szenior szakértő munkájával oldható meg, enyhítve ezzel a munkaerő állandósult piaci hiányát. Potenciális fejlesztési partnerek, illetve igénybe vevők lehetnek kiemelten a magyar gazdaságban jelen lévő nagyberuházásokat indukáló petrokémiai ipar és az energetikai szektor, azon belül az erőművi körön kívüli szerelési munkák, hagyományos erőművek terv szerinti nagyleállásának, karbantartási munkálatainak műszaki felügyelete.



31. Valós drón alkalmazás iparbiztonsági célokra a Pampa Energía vállalatnál (Argentína). Útvonaltervezés (fent) és jellemző képek a tevékenység során (lent). Forrás: [134]

4.3 A tervezett fejlesztéssel szemben támasztott követelmények

Célszerű lehet olyan kereskedelemben nem beszerezhető szenzor csoport kialakítása, illetve kifejlesztése, amelyek drónnal, - mint szállító platformmal - egybekapcsolhatók és alkalmasak a mért adatok továbbítására, egy megfelelő adatátviteli rendszerrel egybekapcsolva.

Kutatásom során kétirányú fejlesztési irányt azonosítottam:

1. Szenzorok szállítására alkalmas drón platform kialakítása;
2. A mérésekhez szenzorok fejlesztése a kereskedelemben kapható alapegységekből.

Az eddigi tapasztalataim alapján összegyűjtöttem azokat az elemeket, amelyek hasznosak lehetnek a fenti fejlesztéshez:

- műszaki létesítmények, veszélyes üzemi környezetében alkalmazható drón eszközök;
- gázérzékelő szenzorok;
- hőmérséklet és gőztelítettségmérők;
- rezgésmérők;
- roncsolásmentes felület és anyag falvastagság mérők;
- felületi védelem rétegvastagság mérők;

A kutatás a fejlesztésére, továbbfejlesztésére és a fentiek működési integrációjára irányulna, elsődlegesen kiegészítve a mérési eredmények valós idejű továbbítására alkalmas adatátviteli és adat kiértékelő alkalmazások egyidejű fejlesztésével vagy integrációjával. Felismerve, hogy a műszaki felügyeleti és vizsgálati munkák sokszor veszélyes körülmények között végezhetők el, valamint igencsak időigényesek és egyáltalán nem költséghatékonyak, ezért célszerű lehet egy olyan egyedülálló drónszenzoros rendszer létrehozását tervezni, amely segítségével a fenti problémák megszüntethetők, vagy nagymértékben javíthatók. Hozzáadott értéke a drónszenzoros vizsgálati ellenőrzési felügyeleti technológiának a beruházók, kivitelezők és üzemeltetők számára az alábbiakban foglalható össze:

- I. Csoport: Beruházók és üzemeltetők számára a műszaki felügyeleti munkák elvégzése, készségi százalékok megállapítása, terv-tény eltérések rögzítése, banki fedezéshez szükséges alátámasztó műszaki dokumentációk szolgáltatása, nagyberuházások üzembe helyezéséhez szükséges dokumentációk nyomonkövetése, reprodukálható előállítás.
- II. Csoport: Üzemeltetők számára az üzem közbeni állapotok ellenőrzése (hőmérséklet, korrózió, védőfestések, kopások folyamatos monitoringja, szivárgások, veszélyes gázok, gőzök kilépési helyének meghatározása), tervezett revíziós leállások vagy nagyjavítások során a berendezések gyorsított állapotfelmérése, állapot-

meghatározáshoz adatszolgáltatás. Konkrétan mérhető eredmények a következők lehetnek: Beruházások során kivitelezők teljesítmények naprakész nyomonkövetése: „*terv – tény*” állapot folyamatos ellenőrzése. A kritikus eltérési pontok megszüntetésére azonnali intézkedéseket lehet így megtenni, például a nagyberuházások során jelenlevő több kivitelező közötti együttes munkavégzés során egyszerűen szabadíthatók fel a munkaterületek. Utómunkálatok esetében a hiánylisták megszüntethetők, a berendezések javításának ellenőrzése állványozási költség, időkiesés, valamint területfoglalási, engedélyeztetési eljárások nélkül véghezvihető. Üzemeltetés során: olaj, gáz és energetikai berendezések műszaki ellenőrzése, a magas költségű egészségügyi és munkavédelmi követelmények szükséges biztosítása nélkül. Továbbá lehetséges a rendszer által a védőbevonatok, szigetelések állapotának ellenőrzése, korróziós károsodások további terjedésének megakadályozására, munkaterület előkészítése üzemzavarokhoz, valamint meghatározhatóvá válnak a leálláshoz vezető hibák (pl. tömítetlenség, anyagfogyás, stb.), és a károsodás degradációja. Tervezett leállások, rekonstrukciós munkák során: átfogó állapotfelméréshez, elemzéshez gyors adatszolgáltatást nyújt, a tervezett karbantartási munkák helyét, terjedelmét pontosítani tudja, ezáltal növeli a költséghatékonyságot, valamint az újraindításhoz szükséges műszaki adatok is nyomon-követhetőek lesznek.

A szenzor kifejlesztéséhez az alábbi eszközök szükségességét azonosítottam:

- Adattárolók, elektromos és villamostechnikai eszközök beszerzése,
- Drón beszerzése (alapegység + optikai képalkotó rendszer + hőmérséklet mérés)
- Különböző szenzorok beszerzése (négy alaptípus: rezgésmérés, falvastagság mérés, rétegvastagság mérés, valamint gázdetektor)

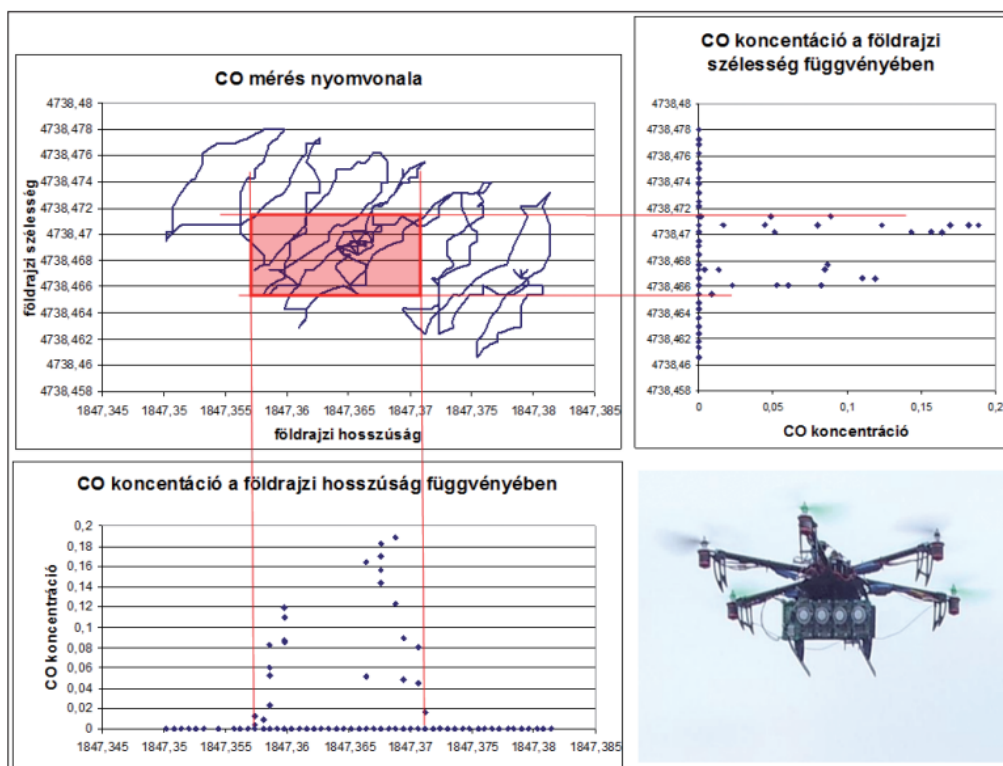
A fentiekén túlmenően a szoftver fejlesztése is szükséges, valamint figyelembe kell venni, hogy a drónos rendszer kialakításához, illetve a repülésekhez szükséges lehet hatósági engedélyekre is.

4.4 A gőzök, gázok térbeli kiterjedésének mérése

Az első fejezetben már hivatkoztam Molnár munkájára, aki a légi alkalmazhatóság igazolására a szenzorokat egy gépjárműre szerelte, majd folyamatosan mérte a szennyezettségi értékeket. A légszennyezettség grafikus kiértékelésének eredményei a 10. ábrán láthatók [79]. Az eredmények azt mutatták, hogy az adott hely (útvonal) változásával a szenzorok azonnal

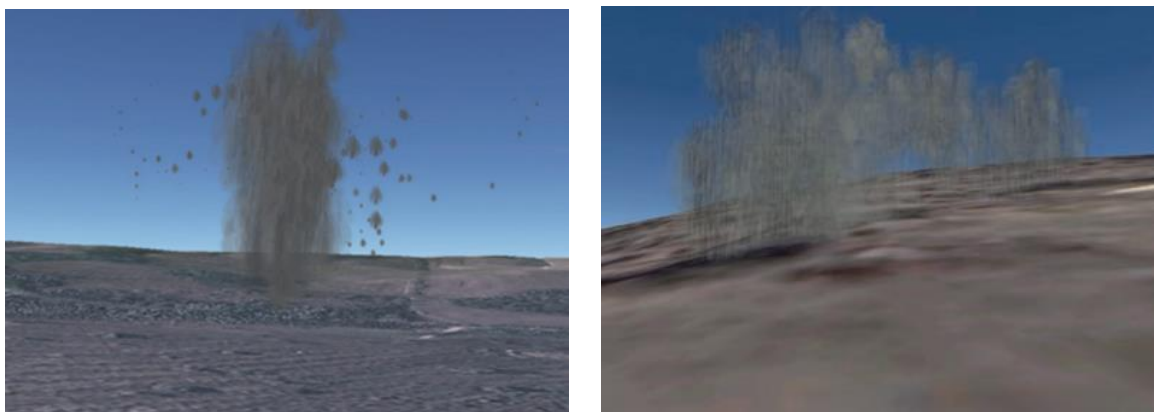
képesek voltak a szénmonoxid szennyezés kimutatására. A fentiek azt igazolták, hogy a szenzorok alapvetően képesek lehetnek nem csak egy adott helyen mérést végezni, de folyamatos haladás mellett is adatokat tudnak gyűjteni. A fejezetben rámutattam arra, hogy a földi tesztek igazolták az adatgyűjtés lehetőségét mozgó járműről, sőt azt is, hogy a levegőben való adatgyűjtés már háromdimenziós teret jelent.

Az iparbiztonság vonatkozásában a mindennapi működés során beszélhetünk a levegőszennyezésről, azonban a veszélyes anyagok nem szándékolt szabadba jutása, baleset, ipari katasztrófa esetén ettől jóval többről van szó. A balesetek során közvetlenül gőz, gáz kiáramlással, vagy ún. folyadéktócsa keletkezésével és párolgásával találkozhatunk. Ez utóbbi jellegzetességeit több tanulmány is feldolgozta már [135,136]. Míg korábban, vagyis a szennyezés esetén a szennyezés helyhez kötöttségére, a szennyező forrás helyére voltunk inkább kíváncsiak, addig baleset, katasztrófa esetén a kiterjedés mértékére és a szennyezés súlyosságára. Ebben az esetben is azt feltételezem, hogy a szennyezés háromdimenziós kiterjedésének ismerete összefügg a talaj közelben mérhető párolgás (tócsa), kiáramlás (gázvezeték) mértékével. A szennyezettség drónos mérésénél ezért itt is képesnek kell lennünk arra, hogy nem csak egy adott helyről tudjuk megmondani a szennyezés mértékét, de ahogyan a felszíni mérésnél, itt is rá tudjuk rajzolni a repülési görbére a mért adatokat. [79]



32. ábra. Egy tesztrepülés földrajzi koordinátái és a mérés során kapott szén-monoxid-koncentrációk függvényeinek harmonizált ábrája, valamint a mérést végző drón a fedélzetre installált szenzorokkal. Forrás: [79]

A korábbiakkal azonos módon, a repülési útvonaltól függően a mérési helyek egy térbeli ponthalmazt alkotnak, amelyekhez itt is hozzárendelhetjük a mért értékeket. Az azonos értékkel rendelkező pontokat összekötve megkapjuk a szennyezés rheológiai görbéit, amely nem csak lehatárolja térben az azonos szennyezettségű területeket, de a szennyezettség súlyosságáról is kaphatunk információkat. A fenti eljárás segítségével kapott eredményt grafikusán színezve jól behatárolható a szennyezés kiterjedése és akár súlyossága is. [80] Meggyőződésem, hogy Molnár eljárása a levegő szennyezettségének kimutatására és mérésére alkalmas lehet ipari balesetek esetén a mérgező anyagok kimutatására és terjedésének meghatározására is.



33. ábra. Tesztrepülések mérésének eredményeként szén-monoxid felhők grafikus megjelenítései.
Forrás: [79,80]

A fentiek alapján igazolva látom, hogy a drónok alkalmasak lehetnek olyan mérőeszközök, szenzorok szállítására, amely képes támogatni az egyes közszolgálati feladatok hatékonyságának javítását.

4.5 A drónok biztonságos alkalmazása – mentesítés

A drónok veszélyes anyagok közelében, ipari balesetek okozta mérgező anyagok felhőjében történő alkalmazása a biztonsággal kapcsolatos problémákat is felvet. Amennyiben egy mérgező anyag felhőjén keresztül történik a repülés, úgy annak magára a repülésre bár nincs hatással, de a drónt kezelő személyzetre a repülés végrehajtása után már lehet. Ennek oka, hogy a szennyezett felhőben történő mintavételezés, mérés során maga a drón, mint a mérőműszer szállító eszköze is szennyezetté válik. A drón a méréseket követően a felületére rakódott szennyező anyagok miatt tulajdonképpen a szennyezést is tovább viszi, illetve „kihozza” a szennyezett területről a még nem szennyezett területre. Ezért, a szennyezettség mértékétől függően – amit a mérési adatokból a drónt kezelő személyzet is azonnal megtud – a drónt mentesíteni szükséges.

A drónok mentésével kapcsolatos szakirodalom megítélésem szerint egyértelműen hiányos, kifejezetten erre fókuszálva csupán egy hazai [137] és egy nemzetközi [138] irodalmat találtam. A drónra a mentéssel kapcsolatban említve inkább, mint a feladatot végrehajtó eszközként tekintenek [139-141] és nem, mint annak tárgyára. Az értekezésem következő fejezete, vagyis, amikor fertőtlenítőszerrel mentesítünk egy adott területet, részletesen fogja tárgyalni. Az értekezésem második fejezetében – noha a füstszennyezéseknél is tárgyalhattam volna – nem tartottam olyan mértékűnek a problémát, mint az iparbiztonsági alkalmazásoknál, ezért ennek részleges kibontását itt szerettem volna megtenni.

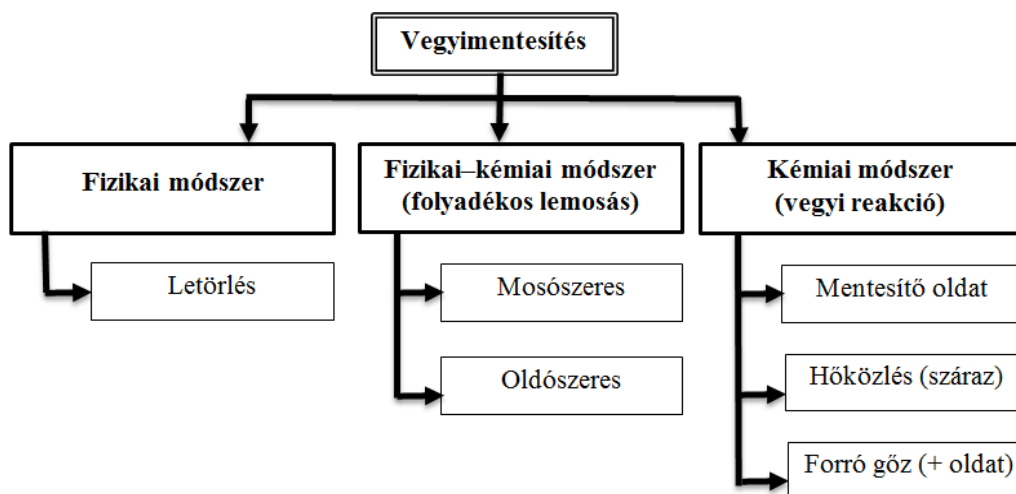


34. Drón mentesítése egy gyakorlat során. Forrás: [138]

A veszélyes anyag tulajdonságától, a szennyezés jellegétől függően a különböző járművek, eszközök, épületek mentésére jól kidolgozott katonai protokollokat találhatunk, azonban ezek a drónok esetére még nincsenek kidolgozva. Azt gondolom, hogy az alapvető mentesítési eljárások itt is alkalmazhatók, figyelembe véve a drón és a rajta lévő szenzorok tulajdonságait.

Mivel az iparbiztonság témaköre nem csak a veszélyes anyagokkal, de a sugárzó anyagokkal kapcsolatos különböző tevékenységeket is magában foglalja, így ennél a résznél szeretném kiemelni, hogy az utóbbi esetben a mentesítési eljárások lehetőségei részben eltérnek a veszélyes anyagokétól, amit nyilvánvalóan figyelembe kell venni mind a drón alkalmazása,

mind a mentesítés során. Azt feltételezem, hogy a veszélyes anyagoknál történő alkalmazásoknál a mentesítés lehetősége szinte mindig fennáll, míg sugárzó anyagok esetében – pl. egy nukleáris baleset során, amely időben is elhúzódik – nem föltétlenül kell mentesíteni a drónt. Amennyiben annak üzemeltetése a szennyezett területen belül marad, úgy a drónt a használat után a megfelelő védőintézkedések betartása mellett, a jogszabályoknak megfelelő módon kell, mint sugárszennyezett anyagot deponálni.



35. ábra. A drónok veszélyes anyag környezetében való alkalmazása utáni mentesítésének elvi lehetőségei. Forrás: [137]

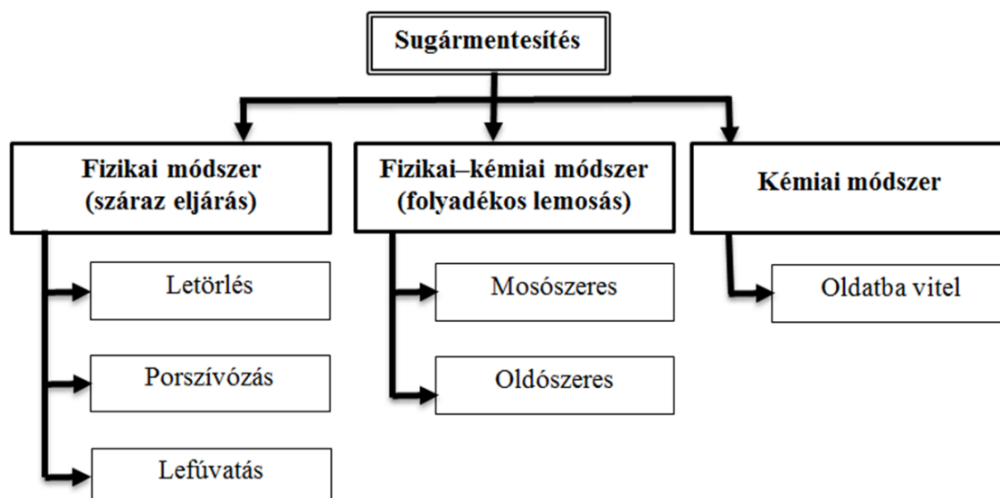
Mind a veszélyes anyagok, mind sugárszennyezés körzetében végzett repüléseknél figyelembe kell venni:

- a fel-, és leszállóhely meghatározását,
- a szélirányt, annak változásait,
- a drónt kiszolgáló személyzet védelmét,
- a drón használata ne jelentsen további kockázatot a művelet végrehajtása során.

Az első esetben, amikor a fel és leszállóhelyet kell meghatározni, alapvetően a szennyezett területhez való viszonyunkra kell figyelni. Ha a művelet végig a szennyezett területen belül van, úgy a drón kezelő, kiszolgáló személyzet védelméről kell gondoskodni, míg ha kívül, akkor figyelembe kell venni, hogy a drón a szennyezett területen repülve a felületén a szennyezést is kihozza magával, így célszerűen mentesíteni szükséges.

A drón műveletre való további kockázata során arra gondolok, hogy pl. egy éghető folyadék felhőjén keresztülrepülve az ne jelenthessen gyújtóforrást. Noha a drónok ma használatos

elektromos motorjainál már ez a veszély nem áll fenn, a korábbiakban ezzel is számolni kellett volna. A fedélzeten lévő egyéb eszközök ettől még persze tekinthetők gyújtóforrásnak (szikra).



36. A drónok sugárveszélyes környezetében való alkalmazása utáni mentesítésének elvi lehetőségei.
Forrás: [137]

4.6 A fejezet eredményeinek összefoglalása

A fejezetben célul tűztem ki, hogy olyan drón alapú ipari tevékenységek felügyeletére és ellenőrzésére alkalmas rendszert dolgozzak ki, amely a jelenleginél hatékonyabban szolgálja a balesetek megelőzését és a bekövetkezett balesetek elhárítását.

A kutatásom során egy olyan technológiai megoldás kidolgozását szerettem volna elérni, amely egyrészt a veszélyes üzemekben történő műszaki állapotellenőrzési és felügyeleti tevékenységek hatékonyságát képes jelentősen növelni, másrészt a bekövetkezett balesetek esetén az elsődleges beavatkozók munkáját tudná hatékonyabbá és biztonságosabbá tenni. Mindezekon túlmenően, a rendszer elősegítené, hogy csökkenjen a humán erőforrás kitettség veszélyes környezeti tényezők jelenléte esetén. A veszélyes üzemek gazdasági-társadalmi hatásukat tekintve különös jelentőséggel bírnak, így a szabályos és biztonságos üzemeltetésük bár a vállalatirányítás körébe tartozik, de a felügyeletük és ellenőrzésük már közszolgálati tevékenységeket is érinthet.

A fentiek középpontjában egy integrált, autonóm működésre is képes drónplatform, és az ehhez illesztett, többféle szenzortípust tartalmazó mérőrendszer fejlesztési lépéseinek meghatározása áll. A kifejlesztésre javasolt rendszer lehetővé teszi az ipari létesítmények üzemi körülmények közötti valós idejű adatgyűjtését, adatfeldolgozását és értékelését, különös tekintettel a kritikus

paraméterek – például hőmérséklet, különböző veszélyes anyag szivárgások, korrózió, védőbevonatok állapota, valamint gázkoncentrációk – nyomon követésére.

A fejlesztés során első fázisként fel kell térképezni azokat az ipari szükségleteket, amelyek indokolják egy drónalapú diagnosztikai rendszer létrehozását. Ezt követően a rendszer követelményrendszerének meghatározására és a specifikációs dokumentáció elkészítése kell törekedni, majd a műszaki fejlesztés ütemeit kell megfogalmazni. A drónplatform kiválasztása során a repülési stabilitás, a teherbírás, az autonóm navigációs képességek és az energiahatékonyság szempontjai egyaránt hangsúlyosan kell, hogy mérlegelésre kerüljenek. Az általam javasolt szenzoros alrendszerhez négy alaptípusra tettem javaslatot: rezgésmérő, falvastagságmérő, rétegvastagság-érzékelő, valamint többféle gázdetektor, amelyek együttesen biztosítják a vizsgált objektum komplex állapotdiagnosztikáját. Az érzékelők által gyűjtött adatok tárolása és feldolgozása helyben, a fedélzeti egységen, illetve felhőalapú rendszeren keresztül is megvalósítható lenne, lehetővé téve a távérzékelés és távdiagnosztika legalább részbeni alkalmazását.

Az esetleges balesetek idején a drónokra szerelt szenzorokkal jól behatárolhatóvá válhatnak nem csak a veszélyes anyagok nem szándékolt szabadba jutásának forrásai, de a folyadéktócsák helyének és kiterjedésének meghatározása is. Ezen túlmenően, kifejezetten újszerűnek tartom, hogy a párolgó anyagok felhőinek a kiterjedését, a valós terjedését és a koncentráció mértékét is meg tudjuk majd határozni. Ez utóbbi újszerűségét abban látom, hogy eddig csupán terjedési modellek adataira támaszkodhattunk, amelyeket földi állomások mérései alapján tudtuk visszaigazolni, míg a javasolt fejlesztéssel valós idejű és térbeli pontokhoz rendelt adatokat tudunk kapni.

A kutatásom során arra is rámutattam, hogy a drónok veszélyes anyagoknál, illetve sugárszennyezett területen való alkalmazása a biztonság szempontjából eddig részletesen még nem vizsgált problémát is felvet. Fontos annak felismerése, hogy az ilyen környezetben végzett munka nem csak információszerzést jelent, de a drón alkalmazásával maga a szennyezés is kikerülhet az adott területről, amellyel a szennyezés jellegétől függően kell foglalkoznunk. Az ilyen műveleteknél az eset jellegétől függően a mentesítés kérdését mindig szem előtt kell tartani.

A vállalatirányításban szerzett eddigi tapasztalataim azt mutatják, hogy egy ilyen rendszer a fentiekén túlmenően képes lehet egy-egy fejlesztés során már akár a kivitelezési szakaszban is segíteni a menedzsment munkáját. A különböző alvállalkozók teljesítményének objektív megítélésére, az előírt munkafolyamatok „nem betartásának” esetleges észlelésére is alkalmas

lehet a rendszer. Ez egyfajta megelőző tevékenységet is jelenthet egyben. Meggyőződésem, hogy a fentiek további előnye közé sorolhatók, hogy a rendszer bevezetésével a műszaki ellenőrzési tevékenységekhez kapcsolódó idő- és költségigény kellően csökkenthető, miközben a munkavédelmi előírások betartása is akár kevesebb egészségügyi biztosítás és személyi védőeszköz használata mellett is garantálható. Korábbi tapasztalataim alapján az egyik további előnye lehet a rendszernek, hogy az egyes beruházások esetén a munkaterület felszabadítása is egyszerűsíthetővé válhat, így a nagyberuházások ütemezése és biztonsága is javulhat.

A kutatásom eredményeként javasolt rendszer nemcsak technológiai szempontból hozna áttörést, hanem az ipari gyakorlatban is alkalmazható, gazdaságilag indokolt és munkavédelmileg is előremutató megoldást nyújtana a veszélyes üzemek műszaki felügyeletének modernizálására.

A fentieket más aspektusból megközelítve, az iparbiztonság területén végzett drón alapú fejlesztések vizsgálata során meggyőződésem, hogy sikerült olyan technológiai megoldásokat kidolgoznom, amelyek jelentősen növelhetik a veszélyes üzemek biztonságát és a balesetek megelőzésének hatékonyságát. A fejezetben bemutatott elemzések rávilágítottak arra, hogy az ipari tevékenységek fenntarthatósága és biztonsága kulcsfontosságú a társadalmi jólét és a gazdasági stabilitás szempontjából. A drónok alkalmazása e területen olyan innovatív megközelítést kínál, amely képes a hagyományos ellenőrzési és monitoringját módszerek korlátait áttörni, különösen a veszélyes anyagokkal kapcsolatos kockázatok kezelésében.

A veszélyes üzemek jellemzőinek és az iparbiztonsági kihívások elemzése során kiderült, hogy a drónok által biztosított gyors és pontos adatgyűjtés kulcsfontosságú a potenciális kockázatok azonosításában. A fejezetben ismertetett fejlesztési program, amely a gázok és gőzök térbeli kiterjedésének mérésére és a mentesítési feladatok támogatására épül, lehetővé teszi a veszélyes üzemek környezetének valós idejű monitorozását. Ez különösen fontos a balesetek megelőzésében, valamint a bekövetkezett események gyors és hatékony elhárításában. A drónok alkalmazásával végzett mérések nem csupán pontosabb adatokat szolgáltatnak, hanem lehetővé teszik a nehezen hozzáférhető területek biztonságos felderítését is, csökkentve a kezelők kockázatát.

Meggyőződésem, hogy a fejezet eredményei alátámasztják a negyedik hipotézisemet, miszerint a drónok alkalmazásával az ipari tevékenységek hatékonyan felügyelhetők, és a káresetek hatékonyabban megelőzhetők és elháríthatók. A fejlesztett rendszer képes a veszélyes anyagok kibocsátásának valós idejű monitorozására, ami lehetővé teszi a preventív intézkedések

azonnali megtételét. A drónok által gyűjtött adatok integrálása térinformatikai rendszerekbe tovább növelheti a rendszer hatékonyságát, lehetővé téve a hosszú távú kockázatelemzést és a biztonsági stratégiák optimalizálását.

A kutatás során szerzett tapasztalataim rámutattak arra, hogy a drónalapú iparbiztonsági rendszerek sikeressége a technológiai fejlesztések mellett a szabályozási környezet és a kezelői készségek fejlesztésén is múlik. A drónok légtérhasználatát szabályozó jogszabályok harmonizálása elengedhetetlen a technológia széles körű alkalmazásához. Emellett a kezelők képzése és a rendszerek interoperabilitása szintén kritikus tényezők, amelyek biztosítják a drónok hatékony és biztonságos használatát. A jövőbeni fejlesztéseknek ezért figyelembe kell venniük ezeket az aspektusokat, hogy a technológia teljes potenciálját kiaknázhassák.

A fejezet eredményeinek gyakorlati alkalmazhatósága különösen hangsúlyos az iparbiztonság és a közszolgálati szféra számára. A drónalapú iparbiztonsági rendszerek lehetővé teszik a hatóságok számára, hogy gyorsabban és pontosabban reagáljanak a veszélyes anyagokkal kapcsolatos kockázatokra, például vegyi balesetek vagy gázszivárgások esetén. Ez nem csupán a balesetek megelőzését segíti elő, hanem hozzájárul a környezeti és társadalmi biztonság növeléséhez is. A drónok által gyűjtött adatok elemzése továbbá támogatja a hosszú távú iparbiztonsági stratégiák kidolgozását, például a veszélyes üzemek kockázatkezelési terveinek optimalizálását.

A fejezet eredményei arra is rávilágítanak, hogy a drónok iparbiztonsági alkalmazása multidiszciplináris megközelítést igényel. A technológiai fejlesztések mellett figyelembe kell venni a társadalmi és gazdasági aspektusokat is. Például a drónok bevezetése az iparbiztonsági szektorban új munkaerő-piaci igényeket generálhat, például a drónkezelők és adatanalitikusok képzése terén. Emellett a társadalmi elfogadottság növelése érdekében fontos a lakosság tájékoztatása a drónok előnyeiről és biztonságos használatáról. A fejezet eredményei tehát nem csupán a technológiai innovációkra fókuszálnak, hanem az iparbiztonság átfogó fejlesztésére is, összhangban a kutatás célkitűzéseivel és a fenntartható ipari fejlődés céljaival.

A jövőbeni kutatásoknak és fejlesztéseknek ki kell terjedniük a drónok autonóm működésének és adatfeldolgozási képességeinek növelésére, hogy a nagy kiterjedésű ipari létesítmények monitoringja hatékonyabbá váljon. Emellett a mesterséges intelligencia integrálása lehetővé teheti a drónok által gyűjtött adatok valós idejű elemzését, ami tovább növelheti a közszolgálati műveletek hatékonyságát. A fejezet eredményei arra ösztönöznek, hogy a jövőben további

erőfeszítéseket tegyünk a drónalapú iparbiztonsági rendszerek finomítására és széles körű alkalmazására, összhangban a közszolgálati célokkal és a fenntartható ipari fejlődés céljaival.

A fentiek alapján azt a feltételezésemet (H4), miszerint a drónok alkalmazásával az ipari tevékenységek hatékonyan felügyelhetők, a bekövetkezett káresetek pedig az eddigieknél hatékonyabban elháríthatók, igazoltam.

Jövőbeni lehetőségek és távlati kilátások

A drónok iparbiztonsági alkalmazásának jövője jelentős lehetőségeket kínál a veszélyes üzemek kockázatainak csökkentésére. A technológiai fejlődés, például a speciális gázérzékelő szenzorok és a valós idejű adatfeldolgozó rendszerek integrálása, lehetővé teszi a veszélyes anyagok kibocsátásának azonnali észlelését, minimalizálva a balesetek kockázatát. Az autonóm drónok és a mesterséges intelligencia alkalmazása prediktív kockázatelemző rendszereket hozhat létre, amelyek előrejelzik a potenciális veszélyeket, támogatva a preventív intézkedések tervezését. Hosszú távon a drónok hálózatba kapcsolása valós idejű adatmegosztást biztosíthat a hatóságok és az üzemeltetők között, növelve a koordinált reagálás hatékonyságát. A drónok energiahatékonyságának növelése, például újratölthető rendszerekkel, tovább támogathatja a fenntartható működést, különösen nagy kiterjedésű ipari létesítmények esetében. Ezek a fejlesztések hozzájárulnak a közszolgálati feladatok ellátásának hatékonyságához, biztosítva a társadalmi és környezeti biztonság hosszú távú fenntartását.

5 A DRÓNOK ALKALMAZÁSÁNAK FEJLESZTÉSE FERTŐTLENÍTÉSRE

A drónok fertőtlenítésre történő alkalmazási lehetőségének vizsgálatát a SARS-CoV-2, köznapin néven az új koronavírus okozta pandémia közben átélt saját tapasztalataim motiválták. A pandémia idején a Fővárosi Hulladékhasznosító Műben dolgoztam, a beosztásomat tekintve felelős voltam a vállalat tevékenységének mindennemű biztonságáért. A vállalat dolgozói gyűjtötték össze a főváros lakossági hulladékát és noha a védelmi intézkedések talán legalapvetőbb része volt a fertőzésveszélytől való távolságtartás, a dolgozóim aligha tehettek ezt meg, hiszen pontosan az volt a feladatuk, hogy a másoktól – így a fertőzöttektől is – származó hulladékot begyűjtsék. A dolgozók egyértelműen közvetlen veszélynek voltak kitéve, hiszen nemhogy távol tudták volna tartani maguktól a fertőzött hulladékot, de valójában házhoz is mentek érte. A fertőzés kockázatának csökkentése érdekében, illetve a dolgozók biztonságának növelése céljából vetődött fel annak lehetősége, hogy drónnal juttatunk ki fertőtlenítőszer a hulladékot gyűjtő autókra. Az értekezésem ezen fejezete azért is kifejezetten értékes a számomra, mert egy olyan drón alkalmazást dolgoztam ki, amelynek első formáját élesben, valós körülmények között kellett végrehajtani. A veszély elmúltával témavezetőm és Prof. emeritus Óvári Gyula útmutatásai alapján elemeztem a kijuttatás hatékonyságát, amely támogatásért ezúton is hálás vagyok nekik. A kijuttatás hatékonyságának növelési lehetőségeit azért vizsgáltam, hogy a jövőben szakmailag megalapozott döntést lehessen hozni hasonló esetekben. Az ezzel kapcsolatos eredményeimet nemzetközi szinten is igyekeztem megmérettetni [142]. A fejezet célja annak bemutatása, hogy a drónok, különösen a precíziós mezőgazdaságban használt drónok, hogyan alkalmazhatók hatékonyan fertőtlenítési feladatokra a különböző járványhelyzetek idején. A tanulmány vizsgálja a fertőtlenítéshez kapcsolódó technikai és működési paramétereket, a repülési jellemzők és a kijuttatott anyagok hatékonyságának összefüggéseit, valamint a különböző eszközök és módszerek gyakorlati alkalmazását a közegészségügyi védekezés szolgálatában.

A fejezetben felhasználom saját korábbi kutatásaimat is, így leginkább a drónok permetezési paramétereinek vizsgálatával [142], valamint a drónok jövőbeli alkalmazási lehetőségeivel [12] kapcsolatban írt munkáimat.

A fejezetben célul tűzöm ki, hogy kidolgozom a dróntól függő paraméterek változásának összefüggéseit és hatását fertőtlenítés esetére, így a repülési magasság, a repülési sebesség, valamint a fertőtlenítőszer áramának egymásra hatását.

5.1 A koronavírus idején jellemző drón alkalmazások

A korábbi fejezetekkel is igazolható, hogy drónok – még ha az egyes alkalmazások fejlesztést is igényelnek – milyen széleskörűen használhatók a különböző feladatokra. A drón alkalmazásokkal kapcsolatban már számos részterületet feltérképeztek, korábban igyekeztem a hazai példákat összegyűjteni, viszont nemzetközi szinten is foglalkoztak a jogszabályi környezettel [143-145], az általános és speciális alkalmazási lehetőségekkel [146-151], az irányítás és szabályozás korlátaival [152-154], az útvonaltervezés dilemmáival [155-157], a hatékonyság kérdésével [158,159], de humán tényezőkkel is [160,161]. Az elmúlt időszakban a témában megjelenő publikációk száma ugrásszerűen nőtt [145,162], így a drónhasználók már nemcsak szakkönyvekből [163,164], hanem a fejlesztők online felületeiről is tájékozódhatnak [165,166]. A technológia rohamos fejlődése felvetette annak lehetőségét, hogy a drónok alkalmazhatók-e, és ha igen, hogyan a koronavírus elleni küzdelemben.

A drónok koronavírus elleni küzdelemben való bevonásának lehetőségét témavezetőm munkájának rövid összefoglalása alapján szeretném bemutatni [13,64]. Restás összesen hat, egymástól jól elkülöníthető alkalmazást azonosított, ezek közül egy kommunikációval, kettő adatgyűjtéssel és három logisztikával kapcsolatos.



37. ábra. A pandémia idején azonosított, leginkább jellemző hat drón alkalmazás grafikus megjelenítése. Forrás: Restás munkája [64] alapján a szerző

Vizuális megfigyelés

A hagyományos kamerák alkalmazása esetén egy adott terület megfigyelésére kerül sor, amelynek során a drónt üzemeltető szervezet többnyire az előírt szabályok követését ellenőrzi. Így például a kijárási tilalmat megszegők észlelését és azonosítását, a személyek egymástól való távolságtartásának betartását, a személyi védőeszközök (maszk) használatát, a gyülekezési

szabályok megtartását, esteleg bűnmegelőzési célú megfigyelést. Ez az alkalmazás inkább áttekintő jellegű és nagyobb terület megfigyelésére vonatkozik.

Hőkamera alkalmazása

A hőkamera alkalmazása esetén egy kifejezett célja van az alkalmazóknak, mégpedig, hogy az esetleges lázas betegeket ki tudjuk szűrni a tömegből. A koronavírus fertőzés egyik jellegzetes megnyilvánulása, hogy a fertőzöttek lázasakká válnak. A magasabb testhőmérséklet hőkamerával való észlelése segíthet kiszűrni azokat a személyeket, akik a fertőzöttség ellenére elhagyják az otthonukat, így kockáztatva a fertőzés továbbadását.

Hangszóró alkalmazása

A drón fedélzetére a kamerák helyett, vagy inkább annak kiegészítéseként hangszóró is felszerelhető, amellyel célzott kommunikáció folytatható egy csoporttal, de akár egy kiválasztott személlyel is. A kommunikáció célja lehet információ átadás, tájékoztatás adása, figyelem felhívás, de akár egy határozott instrukció, „parancs” adása is. A kommunikációs lehetőségek persze bővíthetők, a hangszóró mellett akár speciális projektor vagy lézeres kivetítő, esetleg QR-kód alkalmazásával is alkalmazható.



38. Kommunikációs drón alkalmazások a pandémia idején. Hangszóró (bal) és QR-kód (jobb) alkalmazás. Forrás: [167,168]

Általános logisztikai feladatok

Ehhez az alkalmazási csoporthoz sorolhatjuk mindazokat az alkalmazásokat, amikor a drónok a lakossági igényeket szolgálják ki kifejezetten abból a célból, hogy a fizikai érintkezés lehetőségének csökkentésével a fertőzés kockázatát is csökkentsék. Ilyen például a létfenntartáshoz szükséges élelmiszerek, esetleg egyszerűbb szolgáltatások drónok segítségével történő ideiglenes megoldása.

Speciális logisztikai feladatok

Ehhez a csoporthoz sorolhatók mindazon alkalmazások, amikor a drónok használata a pandémia alatt leginkább terhelt szervezet, szolgáltatás, azaz az egészségügy tevékenységét segíti valamilyen formában. Ilyen alkalmazás lehet, amikor a fertőzöttek orvosi ellátását a szükséges gyógyszerek légi utánpótlásával biztosítjuk, vagy a feltételezett betegek vérmintáinak vizsgálatához, teszteléséhez való szállítását drónok segítségével egyszerűsítjük. A drónos alkalmazással kifejezetten azon személyek fizikai kapcsolatát csökkentjük, akik nagy valószínűséggel már fertőzöttek, ezáltal egyértelműen csökkenthető a fertőzés továbbadásának kockázata.

Egyedi logisztikai feladatok

Ehhez az alkalmazáshoz tartoznak a drónok fertőtlenítésre való használata. Mivel a fejezet témájának fókuszában éppen ez az alkalmazás áll, így ezt részletesebben is elemzem.



39. ábra. Permetező drón alkalmazása a mezőgazdaságban vegyszer (bal) és a pandémia alatt fertőtlenítőszer (jobb) kijuttatására. Forrás: [169,170]

5.2 Az egészségügyi alkalmazás lehetőségének vizsgálata - fertőtlenítés

Az egészségügyi feladatok logisztikai támogatására már a korábbi években is történtek erőfeszítések. A fejlettebb országokban a drónokat például defibrillátorok gyors helyszínre juttatására vagy gyógyszer szállításra alkalmazták, míg a fejlődő régiókban – például Afrikában – ezek az eszközök az alacsony szintű egészségügyi ellátás fejlesztésében játszanak szerepet, többek között a *Rainbow for Africa* program keretében, valamint a Zipline projekt Ghánában is sikeresen működik ilyen célból [171]. Egy másik példa, a dengue-láz megelőzésére irányuló drónalapú beavatkozás Afrikában [172].

A járványok hatékony kezelésében kiemelten fontos a személyes érintkezések minimalizálása, a fertőzés továbbterjedésének megelőzése, valamint a gyors tesztelés és gyógyszerellátás. A drónokkal történő mintavétel lehetővé teszi, hogy a tesztelés személyes kontaktus nélkül, sorban állás és tömegközlekedés elkerülésével történjen. A folyamat lényege, hogy a beteg panaszait elektronikusan jelzi, amely alapján a kórház drónt küld a helyszínre a mintavételi eszközökkel. A minta visszakerül a drónra, amely azt a laborba szállítja, majd az eredményektől függően a szükséges gyógyszert is eljuttathatja a beteghez – mindezt anélkül, hogy a páciens bárkivel is személyesen érintkezett volna. Ilyen alkalmazásokra Dél-Koreában, Indiában, Kanadában és Kínában is találunk példákat [173,174].

A sikeres működéshez azonban elengedhetetlen a biztonságos alkalmazás biztosítása. A drónokat szükség szerint fertőtleníteni kell, hogy ne váljanak a fertőzés továbbvivőjévé. A fertőtlenítés módszereit a szállított anyag és a drón szerkezeti jellemzői alapján kell megválasztani, amelyet az előző fejezetben részleteztem. A fertőzések elkerülése érdekében járványok esetén a vegyi mentesítés módszereit célszerű figyelembe venni. Ez lehet fizikai (pl. fertőtlenítő törlés), fizikai-kémiai (mosószeres, oldószeres lemosás), valamint kémiai (fertőtlenítő oldatokkal végzett kezelés), vagy akár száraz/nedves hőkezelés is. A részletes módszereket a járvány idején kiadott szakkönyv külön fejezet részletezi [175]. A fertőző anyagot szállító drónokat egyértelmű, figyelmeztető jelzéssel kell ellátni, a kezelőszemélyzet számára pedig megfelelő védőfelszerelés biztosítása, illetve saját mentesítésük is szükséges.

A repülési magasságot és sebességet a távolsági repülések biztonsági előírásai szerint kell megválasztani, lehetőség szerint lakott területeket elkerülve, vagy azokat minimálisra csökkentve. A drón fel- és leszállási helye minden esetben felügyelt terület legyen, ismeretlen fertőzés esetén pedig a hozzáférést korlátozni szükséges.

A mezőgazdasági drónok járványhelyzeti alkalmazása szintén elterjedt: Kínában például növénypermetezésre használt drónokat alakítottak át fertőtlenítési célokra, amelyek 7 és 4,5 méteres szélességben képesek permetezni, teljesítményük pedig akár 18 hektár terület is lehet óránként [176].

Számos további példa említhető, a járvány végére talán nem is volt olyan ország, ahol valamilyen formában ne alkalmazták volna a drónokat. A fejlettebb országok hőkamerát, kommunikációs eszközöket is alkalmaztak, esetleg permetezésre is használták őket, míg mások inkább csak megfigyelésre.

5.3 Drónok alkalmazása fertőtlenítésre

A kutatásaim során számos országban találtam példát arra, hogy a drónokat fertőtlenítési célokra alkalmazzák, ezzel támogatva a járványhelyzet kezelését. A beszámolók alapján egyértelművé vált, hogy a mezőgazdasági drónok átalakított használata dominál ezekben az esetekben. Mivel a mezőgazdasági célú drónhasználat a leggyorsabban fejlődő szakterületnek számít, így a legtöbb ország már rendelkezik a szükséges technikai háttérrel. Ezek a drónok elsősorban mezőgazdasági célra készültek, de gyakorlatilag alkalmasak nemcsak vegyszerek, de fertőtlenítőszer kijuttatására is. A fertőtlenítőszer kijuttatása a mezőgazdaságban alkalmazott permetezési eljárásokhoz hasonlóan történik: meghatározott magasságon és sebességgel haladva, a beállított folyadékáram segítségével, szivattyúkon keresztül történik a permetezés.

A saját tervezésű permetezés kivitelezése előtt egészségügyi szakemberek segítségét kértem, ami alapján egyértelművé vált számomra, hogy a hatékony fertőtlenítés alapelveit nem a drón kezelőjének, hanem virológus szakembereknek kell meghatározni, így:

- pontosan meg kell adni az egységnyi felület takarásához szükséges fertőtlenítőszer mennyiségét,
- a kijuttatott oldat bekeverési arányát,
- a kívánt fedettségi szintet,
- a permetezés gyakoriságát.

A mezőgazdasági technológia veszélyhelyzetben való azonnali alkalmazása ugyan hatékonynak tűnt, de hosszabb távon szükség van szabályozott protokollok kidolgozására. Már csak azért is, mert a mezőgazdasági alkalmazások esetében is csupán néhány olyan hatóanyag létezik, amely megkapta a drónos (légi) kijuttatáshoz szükséges hatósági engedélyt. A nyilvánosságra hozott adatok alapján a fertőtlenített terület nagysága változó, drón teljesítményétől és a permetezési minőségtől függően naponta 10–40 hektár között mozgott, ami nagyjából megfelel a mezőgazdaságban tapasztalt értékeknek [174].

A fertőtlenítéshez leggyakrabban klór tartalmú vegyszereket alkalmaztak, jellemzően 1–3% közötti bekeverési arányban. Bár a felületi takarásról pontos adatok nem állnak rendelkezésre, szakértőkkal folytatott személyes konzultációm alapján nem a kipermetezett fertőtlenítőszer mennyisége, hanem sokkal inkább az egyenletes, filmszerű fedés a fontos. A mezőgazdasági gyakorlat és a Fővárosi Hulladékhasznosítási Műveknél végzett saját tesztrepüléseim alapján ez a takarás korlátozottan biztosítható: egy 1,5 méteres repülési magasság mellett az átlagos

cseppsűrűség kb. 200 csepp/cm², amely 12% fedettséget jelent. A repülési magasság növelésével persze nő a lefedett szélesség, viszont csökken a felületi takarás aránya. A mezőgazdasági alkalmazás esetén a beszórt szélesség kb. 7 méter, precíziós alkalmazásnál pedig kb. 4,5 méter [176]. A gyakorlatban az optimalizált eljárásrend még nem alakult ki, és a fertőtlenítési folyamat sem tekinthető kiforrottnak – noha ma már különböző országokban számos példát találhatunk ezekre.

A korábbiakban már bemutatott módon, a drónokat többféleképpen lehet osztályozni, például a fel- és leszállótömeg változása szerint is. A korábbi időszakban főként képi információszolgáltatás céljára használták őket, napjainkban azonban a logisztikai, szállítási funkciók is előtérbe kerültek. Az első típus esetén szenzor vagy kamera a fedélzeti egység, míg a másodiknál maga a szállított termék a központi elem. A harmadik típusnál – például mezőgazdasági permetező drónoknál – a felszálló tömeg csökken a repülés során, mivel a permetlevet vagy műtrágyát fokozatosan juttatják ki. Itt a cél az, hogy a lehető legtöbb anyagot a lehető legnagyobb területre juttassák ki megfelelő hatóanyag-koncentrációval, leegyszerűsítve: a felület minél jobban legyen az oldattal letakarva.

A fertőtlenítőszer drónos kijuttatása természetesen számos más felhasználási lehetőséget is magában rejt. Így, véleményem szerint ez a megoldás kiváló lehetőséget nyújthat szűnyoggyérítéshez közegészségügyi célból, vagy árvizek utáni fertőtlenítéshez katasztrófavédelmi célból. Természetesen, valamennyi esetben – így a koronavírus járvány elleni védekezés esetén is – meg kell vizsgálni, hogy a fertőzés terjedésének csökkentése drónos fertőtlenítés esetén milyen hatékonyságú. A vizsgálat során számomra alapvetően két kérdés merült fel: technológiailag biztosítható-e a megfelelő szóróhatékonyság, illetve milyen fejlesztési lehetőségek vannak a kijuttatás továbbfejlesztésére.

A szemétszállító autók fertőtlenítésére irányuló alkalmazás során a drónos technológiával kifejezetten a sík tető- és oldalfelületek kezelésére fókuszáltunk. A függőleges permetezés jól alkalmazható a tetőre, viszont az oldalfalaknál vizsgálni kell, hogy a drón mozgása – lebegés, lassú haladás vagy gyorsabb átrepülés – mellett hogyan és milyen szögben célszerű a szórófejek beállítása. Az értekezésemhez az első esetet, vagyis a sík felületek drónos fertőtlenítésének hatékonyságát vizsgáltam.



40. ábra. Tesztrepülések a Fővárosi Hulladékhasznosítási Műveknél a koronavírus járvány idején.
Forrás: szerző

5.4 A permetezés hatékonyságát befolyásoló paraméterek

A sík felületre történő fertőtlenítőanyag-kijuttatás során négy fő paraméter vizsgálata indokolt: kettő a repülési tulajdonságokra, kettő pedig a fertőtlenítőszer fizikai jellemzőire vonatkozik. A repülés szempontjából a sebesség és a magasság, míg a fertőtlenítőanyag oldaláról a kijuttatott mennyiség és a bekeverési arány tekinthető kulcsfontosságúnak.

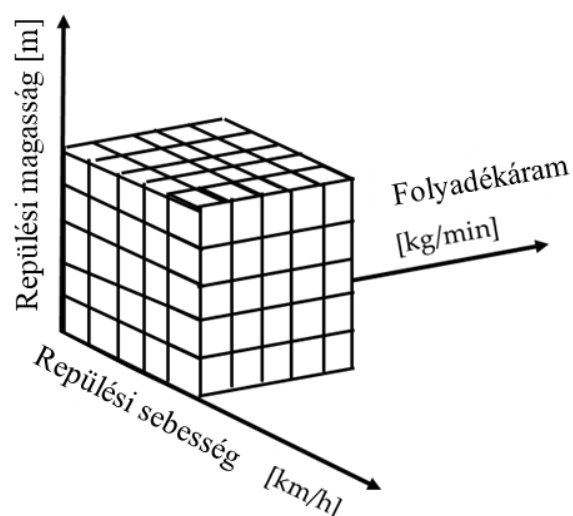
1. Bekeverési arány: A hatékony fertőtlenítőszer összetételét virológus szakemberek határozzák meg. Bár ez közvetlenül nem volt része a repülési teszteknek, az oldat arányait mégis befolyásolhatja a repülések során tapasztalt fedettség egyenletessége és az egységnyi felületre kijuttatott anyagmennyiség. E tényezők visszacsatolása alapján szükség lehet az arányok módosítására.
2. Repülési sebesség: A drón sebessége közvetlen hatással van a fertőtlenítés hatékonyságára. Minél nagyobb a sebesség, annál nagyobb területet lehet lefedni adott idő alatt, azonban az egységnyi felületre jutó fertőtlenítőszer mennyisége ezzel arányosan csökken. Ezért a sebesség csak addig növelhető, amíg a kívánt fedettség biztosítható. A vizsgálatomhoz az alábbi sebességtartományokat vettem alapul: 10 km/h, 20 km/h, 30 km/h, 40 km/h, 50 km/h.
3. Repülési magasság: A magasság szintén kulcsparaméter, hiszen a kijuttatás szórás képe ezzel arányosan szélesedik. A cél a lehető legnagyobb hatékonyság elérése, ugyanakkor itt is fennáll a veszélye annak, hogy a ritkuló permetcseppek miatt nem lesz elegendő az anyagmennyiség a kívánt hatás eléréséhez. A vizsgálatomhoz az alábbi magasságokkal számoltam: 2 m, 3 m, 4 m, 5 m, 6 m.

4. Folyadékáram: Az egységnyi idő alatt kijuttatott permet mennyisége jelentősen befolyásolja, hogy milyen repülési sebesség és magasság mellett tartható fenn a megfelelő fedettség. Mivel a legtöbb mezőgazdasági permetező drónhoz tervezett fúvóka kapacitása korlátozott, a kijuttatási tartományt a gyártók által megadott értékekhez célszerű igazítani. A vizsgálatomnál a következő értékekkel számoltam: 1 l/min, 2 l/min, 3 l/min, 4 l/min, 5 l/min (pl. a DJI Agras T16 maximális értéke 5 l/p).

Összességében látható, hogy ezek a paraméterek külön-külön is hatással vannak a fertőtlenítés hatékonyságára, ugyanakkor egymással is szoros kölcsönhatásban állnak. Ezért úgy gondoltam, hogy minden változót szükséges rendszerszinten, egymással kombinálva is értékelni, hogy meghatározható legyen az optimális fertőtlenítési stratégia.

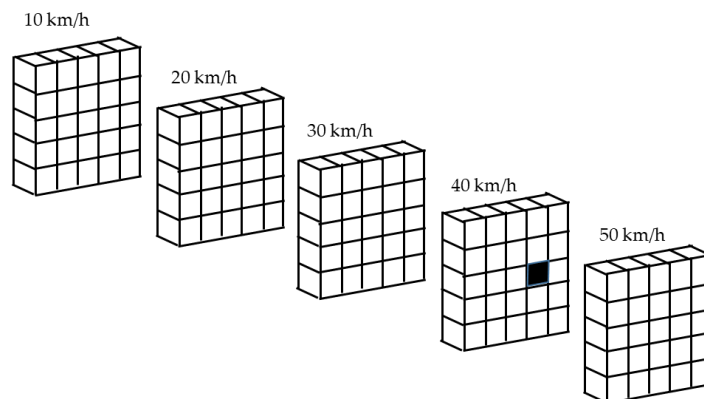
5.4.1 A vizsgálatához alkalmazott térmátrix

A fentiek alapján egy háromdimenziós mérési térmátrixot állítottam össze, amely maximálisan $5 \times 5 \times 5$, azaz 125 tesztrepülést igényelne. Úgy gondolom azonban, hogy ez inkább egy elméleti lehetőség, a gyakorlatban a vizsgálatok megfelelő sorrendjének megválasztásával a szükséges repülések száma akár jelentősen is csökkenthető. Ha elsőként a várhatóan hatékony fertőtlenítési paraméterkombinációkat vizsgáljuk, majd ezek eredményei alapján folytatjuk a tesztelést mind a növekvő, mind a csökkenő irányba, akkor az eredményektől függően a tesztek száma optimalizálható. Bár minden egyes repülés hozhat értékelhető adatot, a kutatás szempontjából a nem releváns eredményekkel járó repülések elhagyása ésszerű a rendelkezésre álló idő és költségkeret figyelembevételével.



41. A vizsgálati térmátrix tengelyei: repülési sebesség, repülési magasság és kiáramló fertőtlenítőszer áram. Forrás: szerző

A térmátrix egyes elemei három fő paraméter kombinációjából állnak: a repülési sebességből (V), a repülési magasságból (H) és a kibocsátott fertőtlenítőszer mennyiségéből (M). A sebességsorozatot „V” jelöli (pl. V10, V20, V30, V40, V50), a magasságot „H” (H1–H5), a kibocsátást pedig „M” (M1–M5). Így például a 10 km/h sebességgel, 1 méter magasságban, 1 l/p kibocsátással végrehajtott repülés jele: V10H1M1, míg egy 40 km/h sebességű, 3 méter magasságú, 5 l/p kibocsátással végzett repülésé: V40H3M5. Ez a jelölés véleményem szerint egyszerű, könnyen értelmezhető és jól kódolható.



42. ábra. A vizsgálati térmátrix elemei. Az egyes kockák egy-egy mérési adatot jelölnek a repülési sebesség, a repülési magasság, valamint a kiáramló fertőtlenítőszer mennyiségének függvényében. A sötét mérési kocka jele: V40H3M4, amely 40 km/h sebességgel 3 m magasságból 4 l/perc folyadékárammal végrehajtott kísérlet értékét jelöli. Forrás: szerző

A cél a megfelelő mennyiségű és egyenletesen eloszló fertőtlenítőszer kijuttatásának biztosítása. Ennek értékeléséhez minden teszthez két mérési eredmény társítható: egy mennyiségi érték (pl. g/m²), amely megmutatja a kijuttatott anyag tömegét, illetve egy minőségi érték, amely eldönti, hogy az eredmény elfogadható-e (Y/N). Ugyanígy a szóráskép egyenletességét is minősíteni kell (szintén Y/N). Csak azok a paraméterkombinációk tekinthetők elfogadható repülési protokollnak, amelyek mindkét szempontból megfelelnek – például: V30H2M4 – 12Y (mennyiség: 12 g/m² + megfelelőség: megfelel) vagy V30H2M4 – YY (minőségi értékelés: megfelel+megfelel). Az első jelölés a szakértői döntéshez (pl. virológus), a második a drónt kezelő szakemberek munkáját támogatja.

Úgy gondolom, hogy a tesztek időigénye viszonylag alacsony, ha megfelelően előkészítjük a méréseket. A méréseket úgy javasolom előkészíteni, hogy 1 m²-es nedvszívó vagy közepesen nedvszívó papírlapokra (A0) javasolt kisebb, például A4-es méretű papírlapokat (mérőlapokat) rögzíteni. Ezt egyszerűen, kétoldalas ragasztóval meg lehet oldani. Célszerű, ha minden alaplapon legalább 8 db nedvszívó és legalább 3 db nem nedvszívó mérőlap található.

A nedvszívó alaplap előnye kettős: véleményem szerint egyszerűsíti a kihelyezést, gyűjtést és dokumentálást, illetve lehetővé teszi a mérések egymástól független végrehajtását, mivel védi a mérőlapokat az előző permetezések hatásától.

A nedvszívó mérőlapok segítenek meghatározni a kijuttatott fertőtlenítőszer mennyiségét és az eloszlás egyenletességét, míg a nem nedvszívó felületeken a cseppek megjelenése vizuálisan is rögzíthető (pl. fotóval). Egy A4-es lap felülete kb. 0,0625 m², így 8 mérőlap alkalmazásával fél négyzetméteres mintafelületet kapunk.

Egy méréshez minimum egy alaplap szükséges, de kiterjesztett vizsgálat esetén 3 vagy akár 5 alaplap is használható. Ezek egymás mellé helyezésével – 1 méteres távolságokat hagyva – akár 9 méter széles vizsgálati sáv is kialakítható. Az alaplapok használata során célszerű figyelembe venni a vizsgálat célját és a fizikai lehetőségeket is: például 2 méteres repülési magasság esetén valószínűleg elegendő az „1 mérés – 1 alaplap” elv, mivel a szélső mérések adatai várhatóan nem hoznának releváns eredményt.

5.4.2 A tesztrepülések javasolt végrehajtása

A tesztrepülések gyors és hatékony lebonyolításához elengedhetetlen egy részletes repülési terv elkészítése, amely meghatározza a mérési térmátrix alapján végrehajtandó repülések sorrendjét. A tényleges mérések megkezdése előtt célszerűnek tartok három próbarepülést végezni, tetszőlegesen választott paraméterekkel. Ezek célja, hogy biztosítsák, hogy a térmátrix egyes elemeihez tartozó paraméterek a valódi tesztek során pontosan és stabilan reprodukálhatók. A repüléseket szélcsendes időben, az alaplap középpontja felett kell végrehajtani, a repülés irányát is ehhez igazítva.

A vizsgálati sorrend optimalizálása érdekében a kezdő paraméterkombinációt érdemesnek tartom a következőképp megválasztani: a repülési sebesség legyen a sorozat közepe, azaz 30 km/h (V30); a magasság minimális, vagyis 1 m (H1); a folyadékáram pedig maximális, vagyis 5 l/p (M5). Ennek megfelelően az első vizsgált térmátrix elem: V30H1M5. Ha e paraméterekkel végzett teszt elfogadható eredményt ad, a további vizsgálatok során fokozatosan növelhető a sebesség és a magasság, illetve csökkenthető a folyadékáram – mindaddig, amíg a kijuttatás hatékonysága megfelelő marad.

A várható eredmények értelmezésének megkönnyítése érdekében az elméleti számítások során egyszerűsítéseket alkalmaztam, még akkor is, ha tudatában vagyok annak, hogy ezek esetenként bizonyos mértékű torzítást okozhatnak. Feltételeztem például, hogy a drón kibocsátása egyetlen

pontra koncentrálódik, míg a fúvókák szórásszögét $\alpha = 53^\circ$ rögzítem, amely jól illeszkedik a mezőgazdasági gyakorlatban megszokott értékekhez. Ezzel a beállítással a szórási sáv hozzávetőlegesen megegyezik a repülési magassággal – például 2 méteres repülési magasságnál a szórás sávszélessége is kb. 2 méter.

A tesztek optimalizálásához és a mátrixban szereplő repülési kombinációk előzetes szűréséhez érdemesnek tartom áttekinteni, hogy mely paraméterkombinációk eredményeznek hatékony fertőtlenítést. Azokat a konfigurációkat, amelyeknél előre láthatóan nem biztosítható elegendő kijuttatás, célszerű kihagyni. E célból ideális – tehát veszteségektől mentes – körülményekkel számolunk, ahol a fertőtlenítés szempontjából a lehető legjobb eredmény érhető el, miközben a repülés szempontjából a legtöbb opció vizsgálható. A fertőtlenítés szempontjából kedvező térmátrix-elemeket virológus szakértőnek kell meghatározni. Fontosnak tartom azonban megjegyezni, hogy a valós körülmények általában kevésbé kedvezőek, így a ténylegesen végrehajtandó tesztek száma is csökkenhet.

A térmátrix elemek szűréséhez megvizsgáltam, hogy az adott paraméterek mellett mekkora felületre jut el a fertőtlenítőszer. E számításokat az adott repülési és kibocsátási jellemzők alapján készítettem, és kulcsfontosságúnak tartom a mérési terv pontosításához.



Droplet Density: 152drops/c..		Volume Median Diameter (VMD) 291µm	
Drop Coverage: 10.43%		Sample Location: -1.0M	
DV1: 183µm		DV5: 291µm	
DV9: 431µm			
50~100µm: 95		100~150µm: 76	
150~200µm: 98		200~250µm: 73	
250~300µm: 39		300~350µm: 19	
350~400µm: 11		>400µm: 5	

43. A permetezés eloszlása egy tesztrepülés során. Forrás: szerző

5.4.3 A mérési mátrix elméleti értékei

Elsőként 10 km/h értéknél számoltam ki a fertőtlenítő anyag egységnyi felületen lévő elméleti mennyiségét g/m² –ben kifejezve a repülési magasság és a folyadékáram függvényében. A kapott értékeket az 1. sz. táblázatban foglaltam össze.

1. sz. táblázat. Egységnyi felületre jutó fertőtlenítő anyag [g/m²]

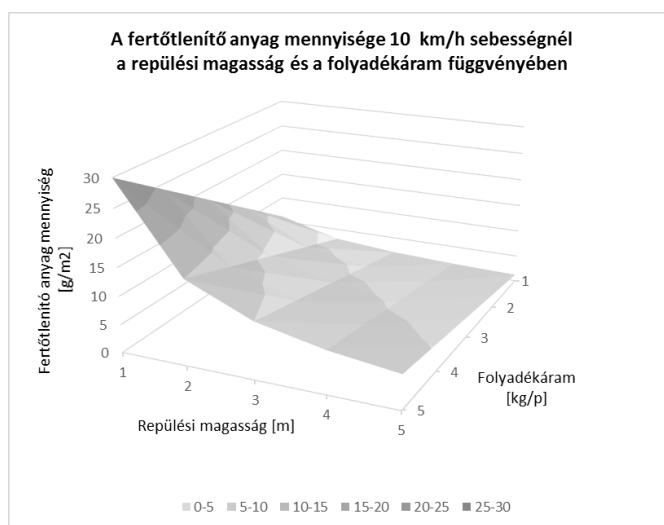
Folyadékáram [kg/perc]	Repülési magasság [m]				
	1	2	3	4	5
5	30	15	10	7,5	6
4	24	12	8	6	4,8
3	18	9	6	4,5	3,6
2	12	6	4	3	2,4
1	6	3	2	1,5	1,2

A fedettségi szint meghatározása után arra is kíváncsi voltam, hogy az adott értékek mellett 10 kg fertőtlenítőszerrel mekkora nagyságú terület lennének képesek elméletileg lefedni. Ezt a 2. sz. táblázatban foglaltam össze.

2. sz. táblázat. A tartály tartalmával (10 kg) lefedhető terület [m²]

Folyadékáram [kg/perc]	Repülési magasság [m]				
	1	2	3	4	5
5	333	667	1000	1333	1667
4	417	833	1250	1667	2083
3	556	1111	1667	2222	2778
2	833	1667	2500	3333	4167
1	1667	3333	5000	6667	8333

A lefedettség értékének változását 10 km/h repülési sebességnél grafikusán is ábrázoltam, amelyet a következő ábra mutat.



44. ábra. A lefedettség értékének változása a repülési magasság és a folyadékáram függvényében 10 km/h sebességnél. Forrás: szerző

Másodikként 20 km/h értéknél számoltam ki a fertőtlenítő anyag egységnyi felületen lévő elméleti mennyiségét szintén g/m^2 –ben kifejezve a repülési magasság és a folyadékáram függvényében. A kapott értékeket az 3. sz táblázatban foglaltam össze.

3. sz. táblázat. Egységnyi felületre jutó fertőtlenítő anyag $[\text{g/m}^2]$

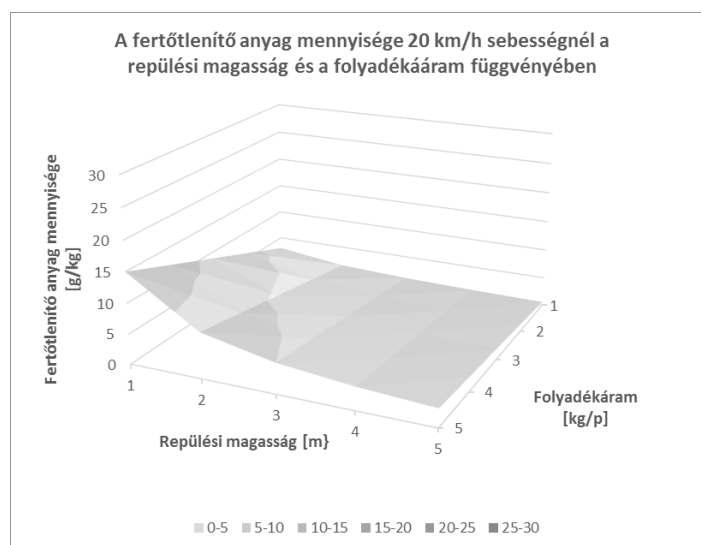
Folyadékáram [kg/perc]	Repülési magasság [m]				
	1	2	3	4	5
5	15	7,5	5	3,75	3
4	12	6	4	3	2,4
3	9	4,5	3	2,25	1,8
2	6	3	2	1,5	1,2
1	3	1,5	1	0,75	0,6

A fedettségi szint meghatározása után itt is kíváncsi voltam, hogy az adott értékek mellett 10 kg fertőtlenítőszerrel mekkora nagyságú terület lennének képesek elméletileg lefedni. Ezt a 4. sz. táblázatban foglaltam össze.

4. sz. táblázat. A tartály tartalmával (10 kg) lefedhető terület $[\text{m}^2]$

Folyadékáram [kg/perc]	Repülési magasság [m]				
	1	2	3	4	5
5	667	1333	2000	2667	3333
4	833	1667	2500	3333	4167
3	1111	2222	3333	4444	5556
2	1667	3333	5000	6667	8333
1	3333	6667	10000	13333	16667

A lefedettség értékének változását 20 km/h repülési sebességnél grafikusán is ábrázoltam, amelyet a következő ábra mutat.



45. ábra. A lefedettség értékének változása a repülési magasság és a folyadékáram függvényében 20 km/h sebességnél. Forrás: szerző

A következőként 30 km/h értéknél számoltam ki az értékeket, továbbra is g/m² –ben kifejezve a fertőtlenítő anyag egységnyi felületre eső értékét. A kapott eredményeket az 5. sz. táblázatban foglaltam össze.

5. sz. táblázat. A tartály tartalmával (10 kg) lefedhető terület [m²]

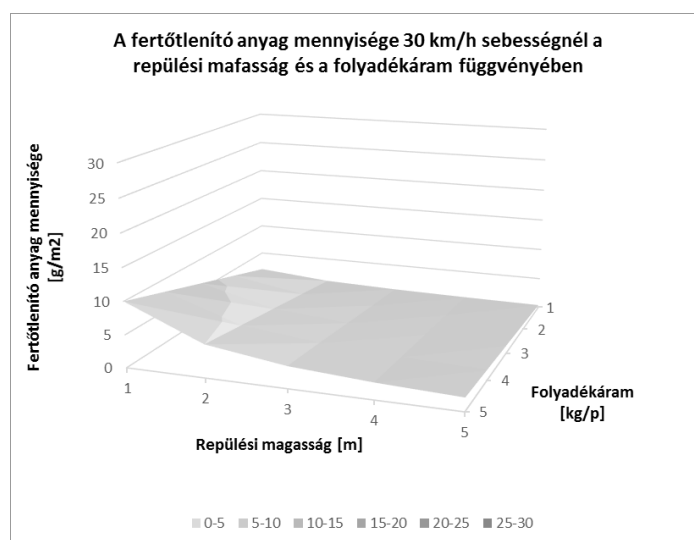
Folyadékáram [kg/perc]	Repülési magasság [m]				
	1	2	3	4	5
5	10	5	3,3	2,5	2
4	8	4	2,7	2	1,6
3	6	3	2	1,5	1,2
2	4	2	1,3	1	0,8
1	2	1	0,67	0,5	0,4

A fedettségi szint meghatározása után itt is folytattam a számításaimat az elméletileg lefedhető terület nagyságára vonatkozóan. A 10 kg fertőtlenítőszerrel elméletileg lefedhető értékeket a 6. sz. táblázatban foglaltam össze.

6. sz. táblázat. A tartály tartalmával (10 kg) lefedhető terület [m²]

Folyadékáram [kg/perc]	Repülési magasság [m]				
	1	2	3	4	5
5	1000	2000	3000	4000	5000
4	1250	2500	3704	5000	6250
3	1667	3333	5000	6667	8333
2	2500	5000	7692	10000	12500
1	5000	10000	14925	20000	25000

A lefedettség értékének változását 30 km/h repülési sebességnél grafikusán is ábrázoltam, amelyet a következő ábra mutat.



46. ábra A lefedettség értékének változása a repülési magasság és a folyadékáram függvényében 30 km/h sebességnél. Forrás: szerző

Folytatva az előzőket, a fertőtlenítő anyag egységnyi felületen lévő elméleti mennyisége g/m^2 –ben kifejezve 40 km/h repülési sebesség esetén a repülési magasság és a percenkénti folyadékáram függvényében a 7. táblázatban foglaltam össze.

7. sz. táblázat. A tartály tartalmával (10 kg) lefedhető terület $[\text{m}^2]$

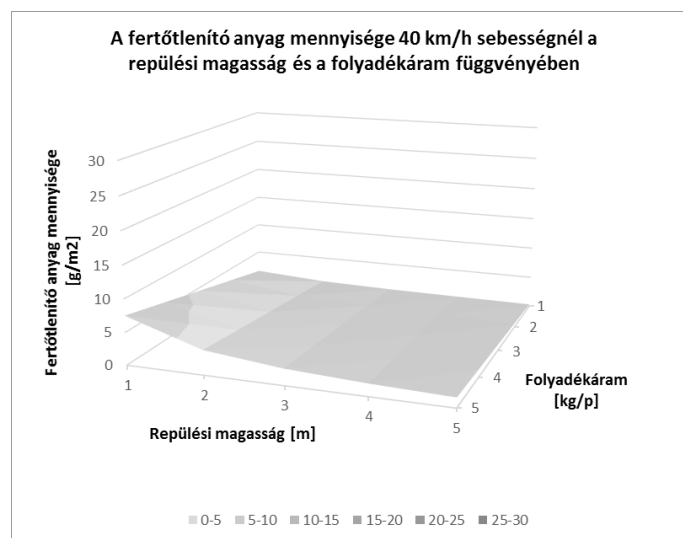
Folyadékáram [kg/perc]	Repülési magasság [m]				
	1	2	3	4	5
5	7,5	3,75	2,5	1,88	1,5
4	6	3	2	1,5	1,2
3	4,5	2,25	1,5	1,13	0,9
2	3	1,5	1	0,75	0,6
1	1,5	0,75	0,5	0,38	0,3

A fedettségi szint meghatározása után ennél az értéknél is folytattam a számításaimat az elméletileg lefedhető terület nagyságára vonatkozóan. A 10 kg fertőtlenítőszerrel elméletileg lefedhető értékeket a 8. sz. táblázatban foglaltam össze.

8. sz. táblázat. A tartály tartalmával (10 kg) lefedhető terület $[\text{m}^2]$

Folyadékáram [kg/perc]	Repülési magasság [m]				
	1	2	3	4	5
5	1333	2667	4000	5319	6667
4	1667	3333	5000	6667	8333
3	2222	4444	6667	8849	11111
2	3333	6667	10000	13333	16667
1	6667	13333	20000	26315	33333

A lefedettség értékének változását 30 km/h repülési sebességnél grafikusán is ábrázoltam, amelyet a következő ábra mutat.



47. ábra. A lefedettség értékének változása a repülési magasság és a folyadékáram függvényében 40 km/h sebességnél. Forrás: szerző

Végül, 50 km/h repülési sebességre számoltam ki a fertőtlenítő anyag egységnyi felületen lévő elméleti mennyiségét g/m^2 –ben kifejezve a repülési magasság és a percnkénti folyadékáram függvényében. Ennek értékeit a 9 táblázatban foglaltam össze.

9. sz. táblázat. A tartály tartalmával (10 kg) lefedhető terület $[\text{m}^2]$

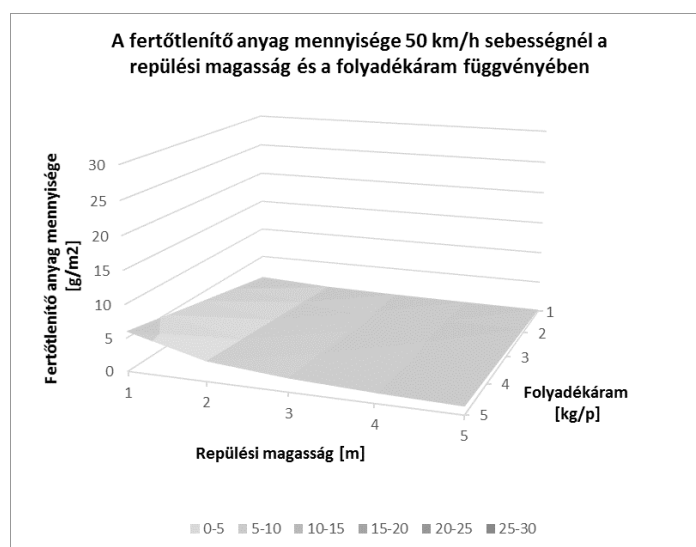
Folyadékáram [kg/perc]	Repülési magasság [m]				
	1	2	3	4	5
5	6	3	2	1,5	1,2
4	4,8	2,4	1,6	1,2	0,96
3	3,6	1,8	1,2	0,9	0,72
2	2,4	1,2	0,8	0,6	0,48
1	1,2	0,6	0,4	0,3	0,24

A fedettségi szint meghatározása után ennél az értéknél is folytattam a számításaimat az elméletileg lefedhető terület nagyságára vonatkozóan. A 10 kg fertőtlenítőszerrel elméletileg lefedhető értékeket a 10. sz. táblázatban foglaltam össze.

10. sz. táblázat. A tartály tartalmával (10 kg) lefedhető terület $[\text{m}^2]$

Folyadékáram [kg/perc]	Repülési magasság [m]				
	1	2	3	4	5
5	1667	3333	5000	6667	8333
4	2083	4167	6250	8333	10417
3	2778	5556	8333	11111	13889
2	4167	8333	12500	16667	20833
1	8333	16667	25000	33333	41667

A lefedettség értékének változását 30 km/h repülési sebességnél grafikusán is ábrázoltam, amelyet a következő ábra mutat.



48. ábra. A lefedettség értékének változása a repülési magasság és a folyadékáram függvényében 50 km/h sebességnél. Forrás: szerző

A táblázat értékeiből látható, hogy a paraméterek változtatásával a fertőtlenítő folyadék felületi mennyisége meglehetősen tág határok között mozog. A legnagyobb értéket kis repülési sebesség (10 km/h), alacsony repülési magasság (1 m) és nagy folyadékarám (5 l/p) mellett érjük el (30 g/m^2). A felületi mennyiség legalacsonyabb értékét nagyobb repülési sebesség (50 km/h), nagyobb repülési magasság (5 m) és kis folyadékarám mellett érjük el ($0,24 \text{ g/m}^2$). A legkisebb és a legnagyobb felületi anyagmennyiség között kb. 125-szörös a különbség. Ebből azt a következtetést vonom le, hogy a drón irányítója a repülési paraméterek, valamint a folyadékarám változtatásával meglehetősen széles spektrumban tudja változtatni a felületi anyagmennyiséget. Ez lehetővé teszi, hogy az eltérő tulajdonságú, különböző fertőtlenítő folyadékok is olyan mennyiségben kerüljenek a felületre, amely már biztosítja a hatékony fertőtlenítést. A mátrix értékeiből az is látható, hogy egy adott felületi anyagmennyiség sokszor többféle paraméterrel is elérhető. Így, pl. a 2 g/m^2 értéket valamennyi sebesség és magasság, valamint folyadékarámmal el lehet érni (V10H3M1, V20H3M2, V40H3M4, V50H3M5, továbbá a 30 km/h táblázat esetén 5 alkalommal is).

A drón alkalmazás hatékonyságának megítéléséhez a felületi anyagmennyiséget át kell konvertálni a felületet takaró filmréteg vastagságára. A legnagyobb érték, a 30 g/m^2 folyadékmennyiség ideális esetben $30 \text{ }\mu\text{m}$ vastag egyenletes filmréteget jelent, míg a legalacsonyabb érték, a $0,24 \text{ g/m}^2$ folyadékmennyiség 240 nm vastagságút. Természetes, hogy a vastagságok között is ugyanúgy, ahogyan a tömegek között is, kb. 125-szörös a különbség. A korábbiakban már igazoltam, hogy a hatékony fertőtlenítéshez közel tetszőlegesen vékony, akár néhány nm vastagságú egyenletes filmréteg is megfelelő hatékonyságú; mások munkái alapján elfogadottnak tekintem a 100 nm vastagságot [178,179]. Ez alapján a sima, egyenletes felületen akár a legkisebb érték is megfelelően hatékony lehet.

Nyilvánvaló, hogy a természetben a legritkább esetben találunk olyan sima felületet, ahol az adott anyagmennyiséggel, pl. a 240 g/m^2 fertőtlenítő folyadékkal kialakítható az ideális, ebben az esetben a 240 nm vastagságú egyenletes filmréteg. Az anyagok alakeltérései, a hullámossága és az érdessége miatt okkal feltételezhető, hogy a filmréteg vastagsága nem fog optimálisan alakulni. A drónos permetezés célja az, hogy a felület minden pontján, vagy legalább olyan arányban, amelyet a virológus megfelelőnek tart, az elfogadottnak tekinthető 100 nm vastagságú felületi takarás meglegyen. A számításaim azt mutatják, hogy ehhez a legkisebb értéknél 2,4-szeres biztonsági tartalékkal rendelkezünk, míg a legnagyobbánál 300-szorossal. A biztonsági tartalék minimális szintjének meghatározásához javaslatom alapján további kutatások szükségesek.

5.5 A fejezet eredményeinek összefoglalása

A fejezet elején célul tűztem ki, hogy kidolgozom a dróntól függő paraméterek változásának összefüggéseit és vizsgálom hatását fertőtlenítés esetére, így a repülési magasság, a repülési sebesség, valamint a fertőtlenítőszer áramának összefüggéseit és egymásra hatását.

Ebben a fejezetben arra kerestem a választ, hogyan alkalmazhatók hatékonyan a mezőgazdasági drónok fertőtlenítési feladatokra járványhelyzetek során. Célom az volt, hogy feltérképezzem a drónos fertőtlenítés technológiai lehetőségeit, működési paramétereit, valamint gyakorlati alkalmazhatóságát, különösen közegészségügyi, katasztrófavédelmi és közszolgálati szempontok alapján.

A vizsgálatot elsősorban kvalitatív módszerekkel végeztem, ötvözve a technikai, egészségügyi és logisztikai aspektusokat. A kutatás során saját gyakorlati tapasztalataimat, vizuális megfigyeléseimet, internetes forrásokat, esettanulmányokat, videódokumentációkat és korábbi kutatási eredményeket is felhasználtam. Ezeken túlmenően különös figyelmet fordítottam a permetező drónok repülési és permetezési paramétereire.

A kutatásom elősegítéséhez egy háromdimenziós térmátrixot állítottam fel, amely segített meghatározni az optimális beállításokat a fertőtlenítő folyadékok kijuttatásához. Ezen túlmenően vizsgáltam a drónos hangosbemondó rendszerek kommunikációs hatékonyságát, valamint az egészségügyi mintaszállítás és logisztikai támogatás lehetőségeit is.

A kutatásom megerősítette, hogy a drónok fertőtlenítési célú alkalmazása gyors, rugalmas és hatékony megoldás lehet, különösen olyan helyzetekben, ahol a hagyományos fertőtlenítési módszerek nehezen vagy lassan kivitelezhetők.

A kutatásaim alapján meggyőződésem, hogy a mezőgazdasági drónok fertőtlenítési célokra is rövid idő alatt alkalmazhatóvá tehetők, és így egy nap alatt a gyakorlatban akár 10–40 hektár területet is képesek lehetnek lefertőtleníteni. Ugyanakkor azt tapasztaltam, hogy a fertőtlenítési hatékonyság nagymértékben függ a repülési magasságtól, sebességtől, a permetezési szélességtől, valamint a használt folyadék tulajdonságaitól. Szeretném kiemelni, hogy ugyanígy fontos lehet a szóráskép egyenletességének biztosítása, valamint az előírt bekeverési arányok betartása is.

A fertőtlenítő permetezés vizsgálata előtt arra is felhívtam a figyelmet, hogy a drónok pandémia idején egyéb hasznos tevékenységre is igénybe vehetők. Mások munkája alapján hat különböző, egymástól jól elkülöníthető tevékenység azonosítható. Vizuális kamera alkalmazásával

ellenőrizhetjük, vagy felügyelhetjük egy-egy terület tevékenységét, az ott tartózkodók nyomkövető magatartását. Hőkamerával a fertőzött, lázas betegeket lehet kiszűrni a tömegből, míg hangosbemondó alkalmazásával közvetlenül tudunk kommunikálni egy, vagy akár több személlyel is egyidejűleg. Ez a fajta kommunikáció nemcsak technikailag lehet hatékony, de pszichológiai szempontból is hozzájárulhat a lakosság tájékozottságához és szabálykövető magatartásához. Az egészségügyi logisztikai alkalmazásokat – mint például mintaszállítás, gyógyszer vagy védőeszköz kijuttatása – szintén kiemelten hasznos területnek találtam, különösen elzárt vagy nehezen megközelíthető térségek esetében.

Összességében úgy látom, hogy a dróntechnológia hatékony és sokoldalú eszköze lehet a járványok elleni védekezésnek. Ugyanakkor fontosnak tartom a szabályozási környezet továbbfejlesztését, a működési protokollok pontosítását, valamint az eddigi tapasztalatok további rendszerezését. Meggyőződésem, hogy a jelenlegi mezőgazdasági drónok mellett hosszú távon szükség lesz olyan speciálisan fertőtlenítésre fejlesztett eszközökre is, amelyek még nagyobb precizitást és biztonságot nyújtanak majd a jövőbeli egészségügyi kihívásainak kezelésében.

A fentieket más aspektusból megközelítve, a drónok fertőtlenítési célú alkalmazásának vizsgálata során meggyőződésem, hogy sikerült olyan technológiai és gyakorlati eredményeket elérnem, amelyek jelentősen növelik a járványok elleni védekezés hatékonyságát. A fejezetben bemutatott elemzések rávilágítottak arra, hogy a drónok alkalmazása a pandémiás helyzetekben nem csupán kiegészítő eszközként szolgálhat, hanem kulcsfontosságú szerepet játszhat a fertőtlenítési feladatok gyors és biztonságos végrehajtásában. A koronavírus-járvány során szerzett tapasztalataim alapján egyértelművé vált számomra, hogy a drónok rugalmassága és sokoldalúsága új lehetőségeket nyit meg a közszolgálati feladatok ellátásában, különösen az egészségügyi kihívások kezelésében.

A fertőtlenítési feladatok paramétereinek elemzése során kiderült, hogy a repülési magasság, a repülési sebesség és a permetezési szélesség kulcsfontosságú tényezők a hatékonyság szempontjából. A fejezetben ismertetett fejlesztési program, amely a permetezési paraméterek optimalizálására és a szóráskép egyenletességének biztosítására épül, lehetővé tette a fertőtlenítési feladatok precíz végrehajtását. Ez különösen fontos a nagy kiterjedésű vagy nehezen hozzáférhető területek, például közterületek vagy egészségügyi létesítmények fertőtlenítése során. A drónok alkalmazásával végzett fertőtlenítési műveletek nem csupán időt

és erőforrásokat takarítanak meg, hanem csökkentik a kezelők egészségügyi kockázatát is, ami kritikus jelentőségű a járványhelyzetekben.

Meggyőződésem, hogy a fejezet eredményei alátámasztják az ötödik hipotézisemet, miszerint a drónok fertőtlenítési alkalmazhatóságát a dróntól függő paraméterek jelentősen befolyásolják. A fejlesztett rendszer képes a fertőtlenítési feladatok hatékonyságának növelésére, különösen a permetezési paraméterek pontos szabályozásával. A drónok által végzett fertőtlenítési műveletek integrálása a járványügyi protokollokba tovább növelheti a rendszer hatékonyságát, lehetővé téve a gyors és célzott beavatkozásokat. A kutatás során szerzett tapasztalatok rámutattak arra, hogy a drónok alkalmazása e területen nem csupán technológiai innováció, hanem a közszolgálati feladatok újragondolását is jelenti.

A kutatás során szerzett tapasztalataim arra is rávilágítottak, hogy a drónalapú fertőtlenítési rendszerek sikeressége a technológiai fejlesztések mellett a szabályozási környezet és a kezelői készségek fejlesztésén is múlik. A drónok légtérhasználatát szabályozó jogszabályok harmonizálása elengedhetetlen a technológia széles körű alkalmazásához. Emellett a kezelők képzése és a rendszerek interoperabilitása szintén kritikus tényezők, amelyek biztosítják a drónok hatékony és biztonságos használatát. A jövőbeni fejlesztéseknek tehát figyelembe kell venniük ezeket az aspektusokat, hogy a technológia teljes potenciálját kiaknázhassák.

A fejezet eredményeinek gyakorlati alkalmazhatósága különösen hangsúlyos az egészségvédelem és a közszolgálati szféra számára. A drón alapú fertőtlenítési rendszerek lehetővé teszik a hatóságok számára, hogy gyorsabban és hatékonyabban reagáljanak a járványügyi kihívásokra, például nagy kockázatú területek fertőtlenítése során. Ez nem csupán a járványok terjedésének lassítását segíti elő, hanem hozzájárul a lakosság egészségének védelméhez is. A drónok által végzett fertőtlenítési műveletek elemzése továbbá támogatja a hosszú távú járványügyi stratégiák kidolgozását, például a fertőtlenítési protokollok optimalizálását vagy a vészhelyzeti reagálási tervek fejlesztését.

A fejezet eredményei arra is rávilágítanak, hogy a drónok fertőtlenítési alkalmazása multidiszciplináris megközelítést igényel. A technológiai fejlesztések mellett figyelembe kell venni a társadalmi és gazdasági szempontokat is. Például a drónok bevezetése a járványügyi szektorban új munkaerő-piaci igényeket generálhat, például a drón kezelők és adatanalitikusok képzése terén. Azonkívül a társadalmi elfogadottság növelése érdekében fontos a lakosság tájékoztatása a drónok előnyeiről és biztonságos használatáról. A fejezet eredményei tehát nem

csupán a technológiai innovációkra fókuszálnak, hanem az egészségvédelem átfogó fejlesztésére is, összhangban a kutatási célokkal és a fenntartható egészségügyi rendszerek fejlesztésével.

A jövőbeni kutatásoknak és fejlesztéseknek ki kell terjedniük a drónok permetezési képességeit és autonóm működését optimalizáló rendszerekre, hogy a fertőtlenítési feladatok még nagyobb precizitással történjenek. A mesterséges intelligencia integrálása lehetővé teszi a drónok által végzett műveletek valós idejű optimalizálását, ami tovább növelheti a közszolgálati hatékonyságot. A fejezet eredményei arra ösztönöznek, hogy a drón alapú fertőtlenítési rendszerek finomításával és szélesebb körű alkalmazásával támogassák a közszolgálati célokat és a fenntartható egészségügyi rendszerek fejlesztését.

A fentiek alapján azt a feltételezésemet, miszerint a fertőtlenítésre való alkalmazhatóságot a dróntól függő paraméterek a védekezés hatékonyságát meghatározó módon befolyásolják, igazoltam. (H5)

Jövőbeni lehetőségek és távlati kilátások

A drónok fertőtlenítési célú alkalmazásának jövője jelentős potenciált rejt a járványok elleni védekezés terén. A technológiai fejlődés, például a permetezési rendszerek precizitásának növelése és a fertőtlenítőszer kijuttatására alkalmas drónok fejlesztése, lehetővé teszi a nagy kiterjedésű területek gyors és hatékony kezelését. Az autonóm drónok és a mesterséges intelligencia integrálása intelligens rendszereket hozhat létre, amelyek valós időjűen optimalizálják a fertőtlenítési folyamatokat, figyelembe véve a környezeti tényezőket és a célterület sajátosságait. Hosszú távon a drónok hálózatba kapcsolása és a felhőalapú adatkezelés lehetővé teszi a koordinált műveletek végrehajtását, például járványügyi gócpontok célzott fertőtlenítését. A drónok energiahatékonyságának növelése, például napenergiával működő rendszerekkel, biztosíthatja a fenntartható működést, különösen vészhelyzetekben. Ezek a fejlesztések hozzájárulnak a közszolgálati feladatok hatékonyságának növeléséhez, támogatva a lakosság egészségének védelmét és a fenntartható egészségügyi rendszerek kiépítését.

AZ ÉRTEKEZÉS-TERVEZET ÖSSZEFOGLALÁSA

Az értekezésem elején tudományos problémaként fogalmaztam meg, hogy a drónok alkalmazásának exponenciális növekedésével hogyan lehet a különböző feladatokat – a vizsgált témakörömet tekintve egyes közszolgálati tevékenységeket is – hatékonyabbá tenni. Ezért, fontosnak tartottam, hogy az általánosan alkalmazott megoldások bemutatása mellett, egyes közszolgálati feladatok alkalmazási lehetőségei is részletesebb vizsgálat alá kerüljenek, vagyis kutatással a különböző területek témaspecifikus fejlesztési lehetőségei feltárássra kerüljenek.

Az *első fejezetben* azt a célt tűztem ki magam elé, hogy műszaki, technológiai kapcsolatot keresek a drónok alkalmazási lehetőségei és a közszolgálati tevékenységek hatékonyságának javítása között.

A célkitűzésem teljesítéséhez elsőként áttekintettem a drónok kialakulásának és fejlődéstörténetének általam fontosabbnak tartott állomásait, majd a jelenleg kereskedelmi forgalomban lévő drónok csoportosítási lehetőségeit vettem számba. Ezek után az alkalmazási lehetőségek kategorizálását tekintettem át, amely során bemutattam azt a 6K modellt, amelyben a közszolgálati alkalmazások jól elkülöníthetően külön csoportot alkotnak.

A fejezet domináns részét képezi a már meglévő műszaki, technológiai lehetőségek bemutatása és a jövőbeni lehetőségek keresése a különböző közszolgálati alkalmazások hatékonyságának javítása érdekében. Ezek során arra törekedtem, hogy bemutassam a drónokkal végzett különböző adatgyűjtési lehetőségeket, így a multispektrális távérzékelés alkalmazhatóságát, a képfeldolgozás és távérzékelés lehetőségeit, a levegőből való légi mintavétel előnyeit, amelyek mind képesek hasznos támogatást nyújtani a környezeti vizsgálatok állapotértékelésének területén. Arra törekedtem, hogy rendszerszinten ismertessem mind a technológiai alapokat – ideértve az eszközparkot és a szenzorokat –, mind a gyakorlati megvalósítás lépéseit, valamint azok lehetséges kimeneteit és értelmezési szempontjait is. Rámutattam a multispektrális szenzorok működésére, különös tekintettel a reflektancia spektroszkópia elveire, valamint az egyes spektrális csatornák szerepének a fontosságára.

Az elemzés során arra a következtetésre jutottam, hogy a kismagasságú drónos adatgyűjtés különböző formái, a távérzékelés, különösen multispektrális megközelítéssel, alkalmas precíz, helyspecifikus információk gyűjtésére a környezet állapotáról. A megfelelő eszköz- és szenzorkiválasztással, valamint gondosan megtervezett repülési és feldolgozási eljárással megbízható eredmények érhetők el. Ez az épített környezeten túlmenően különösen értékes

lehet a precíziós mezőgazdaság, az ökológiai monitoring, illetve a környezeti változások nyomon követésében is.

A fentiek alapján arra az első fejezetben arra a következtetésre jutottam, hogy az épített, az iparosított, valamint a természetes környezetben végzett eddigi drón alkalmazások, vagy az alkalmazások lehetséges adaptációi a közszolgálati alkalmazások esetében is részben, vagy teljesen, esetleg további fejlesztés útján, de megvalósíthatók. A drónok, mint szállító eszközök és a fedélzetükre szerelt adatgyűjtő eszközök között tehát található olyan műszaki, technológiai kapcsolat, amely a közszolgálati tevékenységek hatékonyságát javíthatják.

A fentiek alapján úgy érzem, hogy azt a feltételezésemet (H1), miszerint a drónok jelenlegi alkalmazásai műszaki, technológiai szempontból potenciálisan már képesek kielégíteni egyes közszolgálati tevékenységek igényeit, sikerült igazolnom.

A második fejezetben azt a célt tűztem ki magam elé, hogy kidolgozok egy olyan drón alapú levegőminőség ellenőrzésre alkalmas rendszert, amely a jelenlegi megoldásnál hatékonyabban képes a levegőtisztaság védelmét szolgálni.

A fejezet elején az ember által okozott levegőszennyezés történeti áttekintésével bemutattam, hogy az a fejlődésünk természetes velejárója. Az egyensúly megbomlása az ipari forradalomhoz köthető, ami a szennyezőanyagok kibocsátásának drasztikus növekedése mellett magával hozta a városiasodás kezdetét is. Az együttélés során már nem csak a szennyező személy volt kitéve a saját maga által okozott levegőszennyezésnek, de mások is, kezdetben inkább csak a szűkebb környezete, míg később – ahogyan napjainkban is láthatjuk – szinte már valamennyien. Az iparosodás felgyorsult üteme a tűzrendészet fejlődése mellett életre hívta, vagy inkább kikényszerítette a katasztrófavédelem kialakulását és szervezetszerű kereteinek megteremtését.

A társadalmi-gazdasági fejlődés kihívásai a technikai lehetőségek újszerű kiaknázását is motiválta. Rámutattam, hogy a drónokat is – noha kezdetleges formái már több, mint száz évvel ezelőtt megjelentek – a legutóbbi technikai fejlődés eredményének tekinthetjük, amelyek alkalmazását a levegőszennyezés elleni védekezés érdekében is célszerű megvizsgálni, illetve fejleszteni. A cél ebben az esetben nem lehet más, mint egy integrált drónalapú levegőminőség-ellenőrzési rendszer létjogosultságának igazolása, valamint a műszaki megvalósítás alapvető kritériumainak meghatározása.

A fejezetben példákkal igazoltam, hogy a drónok egyre szélesebb körben kerülnek alkalmazásra a különböző közszolgálati területeken, így a levegőminőség ellenőrzésében is kulcsfontosságú szerepet játszhat a környezetvédelem és a lakosság egészségének megőrzése tekintetében. A fentiek miatt megvizsgáltam, hogy a drónok hogyan tehetők alkalmassá a kémények és fűtési rendszerek ellenőrzésére, valamint a légszennyezettségi adatok gyűjtésére.

A fejezethez kapcsolódó kutatásom során a levegőminőségi kérdések vizsgálatát tettem a fókuszba, különös tekintettel a hazai nagyvárosok, különösen Budapest légszennyezettségi problémáira. Megállapítottam, hogy a városi levegő szennyezettségét elsősorban a közlekedési és fűtési kibocsátások befolyásolják, ezek közé tartoznak a szén-monoxid, nitrogénoxidok, valamint a szálló por is. A fejezetben vizsgáltam a fűtési rendszerek típusait, rámutattam a távfűtés és az egyedi fűtés közötti különbségekre, valamint ezek kibocsátási sajátosságaira. Mindezek mellett elemeztem a légszennyező anyagok egészségügyi hatásait és a jogszabályi környezetet is, amely alapvetően meghatározza a légszennyezés ellenőrzésének módjait és a hatósági intézkedések lehetőségeit.

A fenti probléma megoldására egy drónalapú levegőminőség-monitoring kialakítására tettem javaslatot, amely új megoldást kínál a hagyományos mérési módszerek korlátainak áthidalására. A drónok szenzorokkal felszerelve képessé tehetők valós idejű mérésekre és gyors adatfeldolgozásra, ami különösen fontos a szennyezőanyagok forrásainak azonosításában és a környezetvédelmi szabályozások betartatásában. Rámutattam arra is, hogy a drónok alkalmazása lehetőséget ad olyan területek ellenőrzésére is, amelyek földi mérőállomásokkal nehezen megvalósíthatók.

Mások munkáit is felhasználva igazoltam, hogy a drónok felhasználásával elérhető, hogy a levegőminőség folyamatosan nyomon követhető legyen, a szennyező források pedig gyorsan beazonosítóká váljanak. Ennek során a fűtési rendszerek kibocsátásai is ellenőrzésre kerülhetnek, az illegális vagy veszélyes égetési tevékenységek pedig megszüntethetők, illetve szankcionálhatóká válnak. Rámutattam, hogy a lakossági felhasználók túl, az ipari kibocsátások méréséit is pontosítani, illetve a technológiai lehetőségeket javítani lehet, továbbá, a fentiek túlmenően, tudományos és egészségügyi kutatások is támogathatók.

Igazoltam, hogy a drónos levegőminőség-monitoring rendszer előnyei közé tartozik a mobilitás, a rugalmasság és gyors bevetethetőség, valamint lehetőség van a mesterséges intelligencia alapú adatfeldolgozásra is. További előny, hogy a távvezérelt és autonóm működés lehetősége biztosítja, hogy a drónok az azonnali véletlenszerű működtetés mellett akár előre

programozott útvonalakon is járőrözhesse. A fenti előnyöket tovább erősíti, hogy a rendszer költséghatékonyabb lehet, mint a hagyományos földi mérési módszerek.

A fejezetben további fejlesztési lehetőségekre is rámutattam, amelyek hozzájárulhatnak a technológia még hatékonyabb alkalmazásához. Ezek közé tartozik a drónflotta szükség szerinti kialakítása, amely lehetővé teszi nagyobb területek párhuzamos ellenőrzését is. További lehetőségeket mutat a szenzortechnológia fejlesztése, amely új mérési paraméterek (pl. metán, radioaktív sugárzás) beépítésével bővíthetné a rendszer alkalmazási körét. Emellett kiemelt szerepet kaphat a mesterséges intelligencia által segített adatfeldolgozás és döntéstámogatás, amely már az előrejelzések és szennyezési trendek azonosításának irányába mutat. Végül, rámutattam arra is, hogy a lakossági riasztórendszer integrálása is fontos fejlesztési irány, hiszen ezzel lehetővé válna, hogy a légszennyezés veszélyes szintjének elérésekor a lakosság azonnali figyelmeztetést kapjon egy mobilapplikáción vagy webes felületen keresztül.

A fentiek alapján a fejezet átfogó elemzés adott egy drón alapú levegőminőség-monitoring rendszer alkalmazhatóságáról, illetve annak kialakításáról. A vizsgálataimmal rávilágítottam arra, hogy a hagyományos levegőminőség-ellenőrzési módszerek sok esetben nem biztosítanak elég gyors és pontos adatokat, amelyek ahhoz lennének szükségesek, hogy a környezetvédelmi intézkedéseket hatékonyan alkalmazni lehessen. Ezzel szemben egy olyan új, drón alapú megoldási javaslatot tettem, amellyel egy gyorsan bevethető, szükség szerint akár nagy területeket is lefedő, modern szenzorokkal felszerelt és részletes adatokat gyűjteni képes rendszer alakítható ki. A fejezet alapján az a végkövetkeztetésem, hogy egy műszakilag fejlett, integrált drón rendszer létrehozása a levegőminőség ellenőrzésére nemcsak hogy indokolt, hanem elengedhetetlen lépés is a környezetvédelmi kihívások hatékonyabb kezelésében.

A fentiek alapján azt a feltételezésemet (H2), miszerint a drónok alkalmazásával olyan új levegőminőség-ellenőrzési rendszer dolgozható ki, amely a jelenlegi megoldásnál hatékonyabban képes a légszennyezettség mérésére és a szennyező források beazonosítására, sikerült igazolnom.

A harmadik fejezet elején célul tűztam ki, hogy olyan drón alapú napelempark felügyeletére alkalmas rendszert dolgozzak ki, amely képes garantálni a működés ellenőrzését és a jelentkező problémák azonnali észlelését.

A fejezetben megvizsgáltam, hogy a pilóta nélküli légi járművek, azaz drónok, milyen módon és hatékonysággal alkalmazhatók a napelem erőművek működésének felügyeletére, karbantartására és ellenőrzésére. Kutatásom fókuszban a fotovoltaikus rendszerek technológiai sajátosságai és a karbantartási nehézségek álltak, valamint annak feltérképezése, hogy a modern dróntechnológia és szenzorrendszerek hogyan járulhatnak hozzá ezek leküzdéséhez. Célom volt továbbá annak bemutatása is, hogy a kereskedelmi szektorban már bevált megoldások miként ültethetők át a közszolgálati és közműszektori gyakorlatba.

A fejezetben kvalitatív megközelítést alkalmaztam, amely a saját tapasztalataim mellett technológiai áttekintésre, esettanulmányokra és gyakorlati példákra épült. A vizsgálatom során bemutattam a napelem erőművek működését, a hagyományos ellenőrzési és karbantartási eljárások korlátait, valamint az ezekre adható drónalapú megoldásokat. A dróntechnológia alkalmazását tematikusan bontva vizsgáltam a repülés megtervezését, az adatgyűjtést és feldolgozást, valamint a hibadetektálás és a megelőző karbantartás lehetőségét. A fejlesztés bemutatásán keresztül a technikai megvalósítás lehetőségeit és előnyeit is részleteztem.

A vizsgálatom során arra a következtetésre jutottam, hogy a napelem erőművek ellenőrzése hagyományos technológiákkal idő- és munkaerőigényesek, költségesek, valamint az eredményei sem mindig megbízhatók. Ezzel szemben egy intelligens, szenzorokkal felszerelt, autonóm drónrendszer jelentős előnyöket kínálhat, így gyorsabb, pontosabb, biztonságosabb adatgyűjtést, automatizált hibaazonosítást és megelőző karbantartást biztosít.

A fejlesztés eredményterméke egy komplex, mesterséges intelligenciával támogatott drónalapú rendszer lehet, amely a napelem parkokat automatikusan pásztázza, valós idejű hibafelismerést végez, és adatai integrálhatók a már meglévő energiagazdálkodási rendszerekbe. A rendszer vizuális hibatérképeket és döntéstámogató jelentéseket generálna, megkönnyítve a karbantartó csoportok munkáját, ezzel is csökkentve az üzemzavarokból eredő esetleges kieséseket, veszteségeket.

A fentiek alapján a fejezetben azt a végkövetkeztetést vontam le, hogy a közműszektorban – különösen a zárt, elkerített napelem erőművek esetén – a drónos megoldás nemcsak technológiailag kivitelezhető, de stratégiai jelentőségű fejlesztési irány is lehet a közjót szolgáló digitalizáció és fenntartható infrastruktúrafejlesztés területén.

A fentiek alapján azt a feltételezésemet (H3), miszerint a drónok alkalmazásával a napelemparkok műszaki felügyelete hatékonyan megvalósítható, a működési zavarok pedig gyorsan észlelhetők, igazoltam.

A negyedik fejezetben célul tűztam ki, hogy olyan drón alapú, ipari tevékenységek felügyeletére és ellenőrzésére alkalmas rendszert dolgozzak ki, amely a jelenleginél hatékonyabban szolgálja a balesetek megelőzését és a bekövetkezett balesetek elhárítását.

A kutatásom során egy olyan technológiai megoldás kidolgozását szerettem volna elérni, amely egyrészt a veszélyes üzemekben történő műszaki állapotellenőrzési és felügyeleti tevékenységek hatékonyságát képes jelentősen növelni, másrészt a bekövetkezett balesetek esetén az elsődleges beavatkozók munkáját tudná hatékonyabbá és biztonságosabbá tenni. Mindezeken túlmenően, a rendszer elősegítené, hogy csökkenjen a humán erőforrás kitettség veszélyes környezeti tényezők jelenléte esetén. A veszélyes üzemek gazdasági-társadalmi hatásukat tekintve különös jelentőséggel bírnak, így a szabályos és biztonságos üzemeltetésük bár a vállalatirányítás körébe tartozik, de a felügyeletük és ellenőrzésük miatt már közszolgálati tevékenységeket is érinthet.

A fentiek miatt a kutatásom középpontjában egy integrált, autonóm működésre is képes drónplatform, és az ehhez illesztett, többféle szenzortípust tartalmazó mérőrendszer fejlesztési lépéseinek meghatározása állt. A kifejlesztésre javasolt rendszer lehetővé teszi az ipari létesítmények üzemi körülmények közötti valós idejű adatgyűjtését, adatfeldolgozását és értékelését, különös tekintettel a kritikus paraméterek – például hőmérséklet, különböző veszélyes anyag szivárgások, korrózió, védőbevonatok állapota, valamint gázkoncentrációk – nyomon követésére.

Rámutattam, hogy a fejlesztés első fázisaként fel kell térképezni azokat az ipari szükségleteket, amelyek indokolják egy drónalapú diagnosztikai rendszer létrehozását. Ezt követően a rendszer követelményrendszerének meghatározására és a specifikációs dokumentáció elkészítésére kell törekedni, majd a műszaki fejlesztés ütemeit kell megfogalmazni. A drónplatform kiválasztása során a repülési stabilitás, a teherbírás, az autonóm navigációs képességek és az energiahatékonyság szempontjai egyaránt hangsúlyosan kell, hogy mérlegelésre kerüljenek. Az általam javasolt szenzoros alrendszerhez négy alaptípusra tettem javaslatot: rezgésmérő, falvastagságmérő, rétegvastagság-érzékelő, valamint többféle gázdetektor, amelyek együttesen biztosítják a vizsgált objektum komplex állapotdiagnosztikáját. Az érzékelők által gyűjtött adatok tárolása és feldolgozása helyben, a fedélzeti egységen, illetve felhőalapú rendszeren

keresztül is megvalósítható lenne, lehetővé téve a távérzékelés és távdiagnosztika legalább részbeni alkalmazását.

Igazoltam, hogy ipari balesetek idején a drónokra szerelt szenzorokkal jól behatárolhatóvá válhatnak nem csak a veszélyes anyagok nem szándékolt szabadba jutásának forrásai, de a folyadéktócsák helyének és kiterjedésének adatai is. Ezen túlmenően, kifejezetten újszerűnek tartom, hogy a párolgó anyagok felhőinek a kiterjedését, a valós terjedését és a koncentráció mértékét is meg tudjuk majd határozni. Ez utóbbi újszerűségét abban látom, hogy eddig csupán terjedési modellek adataira támaszkodhattunk, amelyeket földi állomások mérései alapján tudtuk visszaigazolni, míg a javasolt fejlesztéssel valós idejű és térbeli pontokhoz rendelt adatokat tudunk kapni.

A kutatásom során arra is rámutattam, hogy a drónok veszélyes anyagoknál, illetve sugárszennyezett területen való alkalmazása a biztonság szempontjából eddig részletesen még nem vizsgált problémát is felvet. Fontosnak tartom annak felismerését, hogy az ilyen környezetben végzett munka nem csak információszerzést jelent, de a drón alkalmazásával maga a szennyezés is kikerülhet az adott területről, amellyel a szennyezés jellegétől függően mindenképpen foglalkoznunk kell. A kutatásom során kiemeltem, hogy az ilyen műveleteknél az eset jellegétől függően a mentesítés kérdését mindig szem előtt kell tartani.

A vállalatirányításban szerzett eddigi tapasztalataim azt mutatják, hogy egy ilyen rendszer a fentiekben túlmenően képes lehet egy-egy fejlesztés során már akár a kivitelezési szakaszban is segíteni a menedzsment munkáját. A különböző alvállalkozók teljesítményének objektív megítélésére, az előírt munkafolyamatok „nem betartásának” esetleges észlelésére is alkalmas lehet a rendszer. Rámutattam, hogy ez tulajdonképpen egyfajta megelőző tevékenységet is jelenthet egyben. Meggyőződésem, hogy a fentiek további előnye közé sorolhatók, hogy a rendszer bevezetésével a műszaki ellenőrzési tevékenységekhez kapcsolódó idő- és költségigény kellően csökkenthető, miközben a munkavédelmi előírások betartása is akár kevesebb egészségügyi biztosítás és személyi védőeszköz használata mellett is garantálható. Korábbi tapasztalataim alapján az egyik további előnye lehet a rendszernek, hogy az egyes beruházások esetén a munkaterület felszabadítása is egyszerűsíthetővé válhat, így a nagyberuházások ütemezése és biztonsága is javulhat.

Meggyőződésem, hogy a fenti kutatás eredményeként javasolt rendszer nemcsak technológiai szempontból hozna áttörést, de az ipari gyakorlatban is alkalmazható, gazdaságilag indokolt és munkavédelmileg is előremutató megoldást nyújtana a veszélyes üzemek műszaki felügyeletének modernizálásában.

A fentiek alapján azt a feltételezésemet (H4), miszerint a drónok alkalmazásával az ipari tevékenységek hatékonyan felügyelhetők, a bekövetkezett káresetek pedig az eddigieknél hatékonyabban elháríthatók, igazoltam.

A kutatásom zárásaként, az ötödik fejezet elején célul tűztem ki, hogy kidolgozom a dróntól függő paraméterek változásának összefüggéseit és vizsgálom hatását fertőtlenítés esetére, így a repülési magasság, a repülési sebesség, valamint a fertőtlenítőszer áramának összefüggéseit és egymásra hatását.

Ebben a fejezetben arra kerestem a választ, hogyan alkalmazhatók hatékonyan a mezőgazdasági drónok fertőtlenítési feladatokra járványhelyzetek során. Célom az volt, hogy feltérképezzem a drónos fertőtlenítés technológiai lehetőségeit, működési paramétereit, valamint gyakorlati alkalmazhatóságát, különösen közegészségügyi, katasztrófavédelmi és közszolgálati szempontok alapján.

A vizsgálatomat elsősorban tapasztalati módszerekkel végeztem, ötvözve a technikai, egészségügyi és logisztikai aspektusokat. A kutatás során saját gyakorlati tapasztalataimat, vizuális megfigyeléseimet, internetes forrásokat, esettanulmányokat, videódokumentációkat és korábbi kutatási eredményeket is felhasználtam. Ezeken túlmenően különös figyelmet fordítottam a permetező drónok repülési és permetezési paramétereire.

A fertőtlenítő permetezés vizsgálata előtt áttekintettem, hogy pandémia idején a drónok milyen egyéb hasznos tevékenységre vehetők még igénybe. Mások munkája alapján hat különböző, egymástól jól elkülöníthető tevékenység azonosítható. Vizuális kamera alkalmazásával ellenőrizhetjük, vagy felügyelhetjük egy-egy terület tevékenységét, az ott tartózkodók nyomkövető magatartását. Hőkamerával a fertőzött, lázas betegeket lehet kiszűrni a tömegből, míg hangosbemondó alkalmazásával közvetlenül tudunk kommunikálni egy, vagy akár több személlyel is egyidejűleg. Ez a fajta kommunikáció nemcsak technikailag lehet hatékony, de pszichológiai szempontból is hozzájárulhat a lakosság tájékozottságához és szabálykövető magatartásához. Az egészségügyi logisztikai alkalmazásokat – mint például mintaszállítás, gyógyszer vagy védőeszköz kijuttatása – szintén kiemelten hasznos területnek találtam, különösen elzárt vagy nehezen megközelíthető térségek esetében.

A kutatásaim alapján megerősítem, hogy a mezőgazdasági drónok fertőtlenítési célokra is rövid idő alatt alkalmazhatóvá tehetők, és így egy nap alatt a gyakorlatban akár 10–40 hektár területet is képesek lehetnek lefertőtleníteni. Ugyanakkor azt tapasztaltam, hogy a fertőtlenítési

hatékonyság nagymértékben függ a repülési magasságtól, sebességtől, a permetezési szélességtől, valamint a használt folyadék tulajdonságaitól. Szeretném kiemelni, hogy ugyanígy fontos lehet a szóráskép egyenletességének biztosítása, valamint az előírt bekeverési arányok betartása is.

Összességében úgy látom, hogy a dróntechnológia hatékony és sokoldalú eszköze lehet a járványok elleni védekezésnek. Ugyanakkor fontosnak tartom a szabályozási környezet továbbfejlesztését, a működési protokollok pontosítását, valamint az eddigi tapasztalatok további rendszerezését. Meggyőződésem, hogy a jelenlegi mezőgazdasági drónok mellett hosszú távon szükség lesz olyan speciálisan fertőtlenítésre fejlesztett eszközökre is, amelyek még nagyobb precizitást és biztonságot nyújtanak majd a jövőbeli egészségügyi kihívásainak kezelésében.

A fentiek alapján azt a feltételezésemet, miszerint a fertőtlenítésre való alkalmazhatóságot a dróntól függő paraméterek a védekezés hatékonyságát meghatározó módon befolyásolják, igazoltam. (H5)

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Bizonyítottam, hogy egyes közszolgálati feladatok szükségletei valamint a drónok alkalmazása, illetve a fedélzetükre installálható eszközök között létrehozható olyan műszaki, technológiai kapcsolat, amely hatékonyabbá teheti a közszolgálati feladatok végrehajtását, ellátását.
2. Drónok alkalmazásával támogatott olyan új levegőminőség-ellenőrzési rendszer lehetőségét dolgoztam ki, amely a jelenlegi megoldásnál hatékonyabban képes a levegőtisztaság védelmére, valamint a légszennyezettség mérésére és a pontforrások beazonosítására.
3. Drónok alkalmazásával támogatott olyan új napelempark felügyeleti rendszer lehetőségét dolgoztam ki, amely a jelenlegi megoldásnál hatékonyabban képes a normál működés ellenőrzésére, valamint a műszaki meghibásodások beazonosítására és gyors észlelésére.
4. Drónok alkalmazásával támogatott olyan új ipari tevékenységek felügyeletére alkalmas rendszer lehetőségét dolgoztam ki, amely a jelenlegi megoldásnál hatékonyabban képes a veszélyes üzemek biztonságos működését ellenőrizni, a baleseteket megelőzni, valamint a bekövetkezett balesetek szakszerű elhárítását elősegíteni.
5. A permetező drónok fertőtlenítésre való hatékony alkalmazáshoz feltártam a dróntól függő paraméterek – így a repülési magasság, a repülési sebesség, valamint a fertőtlenítőszer árama – közötti összefüggéseket, és kidolgoztam a fertőtlenítés lehetőségét járványveszély esetére.

AJÁNLÁSOK

Doktori értekezés-tervezetem, amely a pilóta nélküli légitáncművek (drónok) közszolgálati alkalmazásának kutatás-fejlesztési potenciálját vizsgálja, tudományos megközelítéssel feltárt eredményeket prezentál a Magyarországon és az Európai Unióban közszolgálati feladatokat ellátó szervezetek számára. A kutatás a dróntechnológia multidiszciplináris alkalmazhatóságát elemzi olyan releváns területeken, mint a levegőminőség-monitorozás, a napelemparkok műszaki felügyelete, a veszélyes üzemek iparbiztonsági ellenőrzése, valamint a fertőtlenítési műveletek, közvetlen gyakorlati támogatást biztosítva az olyan magyar szervezetek alapfeladataihoz, mint az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (BM OKF), az önkormányzatok, az önkormányzati rendészeti szervek, a zöldhatósági feladatokat ellátó kormányhivatalok, a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, valamint a munkavédelmi és műszaki biztonsági feladatokat végző kormányhivatali szervek. Az Európai Unióban hasonló mandátummal rendelkező szervezetek, például a tagállami környezetvédelmi ügynökségek, energiatermelési hatóságok és iparbiztonsági felügyeleték szintén releváns alkalmazási lehetőségeket azonosíthatnak a kutatási eredményekben.

A kutatás integrált eredményei – a drónalapú rendszerek fejlesztése a levegőminőség-ellenőrzés, az energiatermelési infrastruktúrák felügyelete, az iparbiztonsági kockázatkezelés és a fertőtlenítési műveletek területén – következetesen alátámasztják, hogy a dróntechnológia alkalmazása jelentősen optimalizálja a közszolgálati szervezetek operatív folyamatait. Magyarországon a katasztrófavédelmi szervek számára a drónok valós idejű adatgyűjtési kapacitása lehetővé teszi a veszélyes anyagok emissziójának gyors detektálását és a katasztrófa helyszínek hatékony felderítését, minimalizálva a munkatársak expozícióját veszélyes környezetekkel szemben, például vegyipari incidensek esetén. Az önkormányzatok és rendészeti szervek a drónok fertőtlenítési és felügyeleti képességeit hasznosíthatják közterületek – például parkok, piacok – kezelésére, jelentősen csökkentve a fertőző ágensekkel való közvetlen kontaktus kockázatát, különösen pandémiás helyzetekben. A zöldhatósági feladatokat ellátó kormányhivatalok a drónok multispektrális távérzékelési technológiájával nagy pontosságú légszennyezési adatokat nyerhetnek, ami csökkenti a hagyományos mérési eljárások erőforrásigényét, miközben a szennyezett területek elkerülésével növeli a munkatársak biztonságát. Az Energiahivatal és az önkormányzatok által felügyelt napelemparkok esetében a drónok gyors hibadiagnosztikai képességei kiküszöbölik a magasban végzett munkák baleseti kockázatait, miközben biztosítják az energiatermelési rendszerek

folytonosságát. A munkavédelmi és műszaki biztonsági feladatokat végző kormányhivatalok számára a drónok alkalmazása lehetővé teszi a veszélyes üzemekben végzett ellenőrzések során a precízebb kockázatértékelést, csökkentve a helyszíni vizsgálatok során felmerülő személyes veszélyeket.

Az Európai Unió kontextusában a kutatás eredményei szoros összhangban állnak az uniós szabályozási keretrendszerekkel és stratégiai prioritásokkal. Az EU levegőminőségi irányelve (2008/50/EK) szigorú monitorozási és beavatkozási követelményeket ír elő a tagállami környezetvédelmi ügynökségek, például a német Umweltbundesamt vagy a francia ADEME számára, ahol a drónalapú levegőminőség-ellenőrző rendszerek alkalmazása gyorsabb és célzottabb intézkedéseket tesz lehetővé a légszennyezés mérséklésére. A SEVESO III irányelv (2012/18/EU) által előírt iparbiztonsági standardok teljesítéséhez a drónok hatékony technológiai eszközt nyújtanak a veszélyes üzemek felügyeletére, amit a tagállami iparbiztonsági hatóságok, például a holland RIVM vagy az olasz ISPRA, eredményesen alkalmazhatnak. Az EU megújuló energiaforrásokra irányuló célkitűzései, amelyek a széndioxid-semleges energiatermelés arányának növelését célozzák (pl. Európai Zöld Megállapodás), összhangban állnak a napelemparkok drónos felügyeletével, amely költséghatékony megoldást kínál az olyan tagállami energiatermelési hatóságok számára, mint a spanyol IDAE vagy a lengyel URE. A fertőtlenítési műveletek terén a drónok alkalmazása erősíti a tagállami közegészségügyi hatóságok, például a svéd Folkhälsomyndigheten vagy a portugál DGS, pandémiás felkészültségét, növelve a munkatársak biztonságát a fertőző környezetek kezelésében.

A kutatási eredmények gyakorlati implementációjának elősegítése érdekében az alábbi ajánlásokat fogalmazom meg az érintett szervezetek és munkatársaik számára:

1. **Szakmai kompetenciafejlesztés:** A magyar katasztrófavédelmi szervek, önkormányzatok, kormányhivatalok, az Energiahivatal, valamint az uniós tagállami hatóságok munkatársai számára célzott képzési programok indítása, amelyek a kutatásban bemutatott drónkezelési és adatelemzési technológiákra fókuszálnak, biztosítva a technológia szakszerű alkalmazását.
2. **Technológiai infrastruktúrafejlesztés:** A drónok és kompatibilis szenzorok (pl. gázdetektorok, multispektrális képalkotó rendszerek) beszerzése a levegőminőség-monitorozás, iparbiztonsági feladatok, napelempark-felügyelet és fertőtlenítési műveletek specifikus igényeinek kielégítésére.

3. **Pilot projektek iniciálása:** A kutatási eredmények valós környezetben történő validálása célzott kísérleti programok révén, például levegőminőség-monitorozási projektek Budapesten vagy Berlinben, napelempark-felügyeleti programok vidéki erőművekben, illetve fertőtlenítési műveletek tesztelése közterületeken Lisszabonban vagy Varsóban.
4. **Regulatív keretrendszer optimalizálása:** A magyar és uniós drónszabályozások (pl. (EU) 2019/947 rendelet) továbbfejlesztése a közszolgálati alkalmazások előmozdítására, különös tekintettel a veszélyes üzemek és fertőtlenítési műveletek specifikus technológiai és biztonsági követelményeire.

Összegzésképpen, a kutatás tudományos módszertannal alátámasztja a drónok közszolgálati alkalmazásának multidiszciplináris potenciálját, közvetlen operatív és biztonsági előnyöket biztosítva a magyar katasztrófavédelmi szervek, önkormányzatok, rendészeti szervek, kormányhivatalok, az Energhivatal, valamint az uniós tagállami környezetvédelmi, energiatermelési és iparbiztonsági hatóságai számára. A dróntechnológia integrálása optimalizálja a munkafolyamatok hatékonyságát és költséghatékonyságát, miközben jelentősen csökkenti a munkatársak veszélyes környezetekkel szembeni expozícióját, hozzájárulva a társadalmi biztonság és a fenntartható fejlődés tudományos alapú előmozdításához. Ezért javaslom az érintett szervezetek számára, hogy a kutatási eredményeket szervesen építsék be stratégiai tervezési és operatív folyamataikba.

A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI FELHASZNÁLHATÓSÁGA

Meggyőződésem, hogy a drónok közszolgálati alkalmazásának jövője számos ígéretes lehetőséget rejt, különösen a levegőtisztaság védelme, a megújuló energiatermelés támogatása és az iparbiztonsági kockázatok csökkentése terén. A technológiai fejlődés, például a drónok autonóm működésének és energiahatékonyságának növelése, lehetővé teszi a nagy kiterjedésű területek hosszú távú, költséghatékony monitorozását, ami kulcsfontosságú a légszennyezés valós idejű feltérképezésében. A mesterséges intelligencia integrálása tovább finomíthatja az adatfeldolgozást, lehetővé téve a szennyező források azonnali azonosítását és a preventív intézkedések gyorsabb bevezetését. A megújuló energiatermelés területén a drónok fejlett szenzorokkal támogatott ellenőrzési rendszerei hozzájárulhatnak a napelemparkok hatékonyságának maximalizálásához, támogatva az energiafüggetlenség és a fenntartható fejlődés céljait. Az iparbiztonság terén a drónok jövőbeli fejlesztései, például a veszélyes anyagok detektálására specializált szenzorok, jelentősen csökkenthetik a balesetek kockázatát, növelve a veszélyes üzemek biztonságát. A távlati kilátások között szerepel a drónok hálózatba kapcsolása, amely lehetővé tenné a valós idejű adatmegosztást és a koordinált műveleteket, ezzel új szintre emelve a közszolgálati feladatok ellátásának hatékonyságát.

A drónok levegőminőség-ellenőrzési alkalmazásának jövője jelentős potenciált rejt a légszennyezés elleni küzdelemben. A technológiai fejlődés, például a fejlett szenzorok és az autonóm drónok alkalmazása, lehetővé teszi a légszennyezés valós idejű, nagy felbontású monitorozását, akár nagyvárosi környezetben is. A mesterséges intelligencia integrálása a drónok adatfeldolgozó rendszereibe forradalmasíthatja a szennyező források azonosítását, lehetővé téve a prediktív modellek használatát a légszennyezési trendek előrejelzésére. Ez támogatná a preventív környezetvédelmi stratégiák kidolgozását, például a kibocsátáscsökkentési intézkedések célzottabb alkalmazását. Hosszú távon a drónok hálózatba kapcsolása és a felhőalapú adatkezelés lehetővé teszi a regionális és nemzetközi szintű légszennyezés-monitoring rendszerek kialakítását, amelyek hozzájárulnak a globális környezetvédelmi célok eléréséhez. A drónok energiahatékonyságának növelése, például hidrogéncellás meghajtással, tovább bővítheti alkalmazási lehetőségeiket, biztosítva a fenntartható és költséghatékony működést a közszolgálati feladatok ellátásában.

A drónok napelempark-ellenőrzési alkalmazásának jövője kiemelkedő lehetőségeket kínál a megújuló energiatermelés támogatására. A technológiai fejlődés, például a hőkamerák és multispektrális szenzorok továbbfejlesztése, lehetővé teszi a napelemek állapotának még pontosabb monitorozását, minimalizálva az energiaveszteségeket. Az autonóm drónok és a mesterséges intelligencia integrálása prediktív karbantartási rendszereket hozhat létre, amelyek előre jelzik a potenciális meghibásodásokat, növelve a napelemparkok élettartamát és hatékonyságát. Hosszú távon a drónok hálózatba kapcsolása valós idejű adatmegosztást biztosíthat az energiatermelő rendszerek és a kezelők között, optimalizálva a karbantartási folyamatokat. Ez különösen fontos a nagy kiterjedésű, távoli napelemparkok esetében, ahol a költséghatékonyság kulcsfontosságú. A drónok energiahatékonyságának növelése, például újratölthető vagy napenergiával működő rendszerekkel, tovább támogatja a fenntartható energiatermelést, hozzájárulva az energiafüggetlenség és a környezetvédelem céljainak eléréséhez a közszolgálati szférában.

A drónok iparbiztonsági alkalmazásának jövője jelentős lehetőségeket kínál a veszélyes üzemek kockázatainak csökkentésére. A technológiai fejlődés, például a speciális gázérzékelő szenzorok és a valós idejű adatfeldolgozó rendszerek integrálása, lehetővé teszi a veszélyes anyagok kibocsátásának azonnali észlelését, minimalizálva a balesetek kockázatát. Az autonóm drónok és a mesterséges intelligencia alkalmazása prediktív kockázatelemző rendszereket hozhat létre, amelyek előrejelzik a potenciális veszélyeket, támogatva a preventív intézkedések tervezését. Hosszú távon a drónok hálózatba kapcsolása valós idejű adatmegosztást biztosíthat a hatóságok és az üzemeltetők között, növelve a koordinált reagálás hatékonyságát. A drónok energiahatékonyságának növelése, például újratölthető rendszerekkel, tovább támogatja a fenntartható működést, különösen nagy kiterjedésű ipari létesítmények esetében. Ezek a fejlesztések hozzájárulnak a közszolgálati feladatok ellátásának hatékonyságához, biztosítva a társadalmi és környezeti biztonság hosszú távú fenntartását.

A drónok fertőtlenítési célú alkalmazásának jövője jelentős potenciált rejt a járványok elleni védekezés terén. A technológiai fejlődés, például a permetezési rendszerek precizitásának növelése és a fertőtlenítőszer-kompatibilis drónok fejlesztése, lehetővé teszi a nagy kiterjedésű területek gyors és hatékony kezelését. Az autonóm drónok és a mesterséges intelligencia integrálása intelligens rendszereket hozhat létre, amelyek valós időjűen optimalizálják a fertőtlenítési folyamatokat, figyelembe véve a környezeti tényezőket és a célterület sajátosságait. Hosszú távon a drónok hálózatba kapcsolása és a felhőalapú adatkezelés lehetővé

teszi a koordinált műveletek végrehajtását, például járványügyi gócpontok célzott fertőtlenítését. A drónok energiahatékonyságának növelése, például napenergiával működő rendszerekkel, biztosíthatja a fenntartható működést, különösen vészhelyzetekben. Ezek a fejlesztések hozzájárulnak a közszolgálati feladatok hatékonyságának növeléséhez, támogatva a lakosság egészségének védelmét és a fenntartható egészségügyi rendszerek kiépítését.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Wright_brothers
2. Szabó Miklós: A Magyar Királyi Honvéd Légierő létrehozásával és továbbfejlesztésével kapcsolatos elméleti tevékenység. Hadtörténeti Közlemények 28(3) 1981 pp 450-480
3. Palik Mátyás: Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek. Nemzeti Közszerkesztési Egység, ISBN 978-615-5057-64-9
4. Christján László (2018): Rendszeri szervek. In.: Jakab András – Fekete Balázs (szerk.): Internetes Jogtudományi Enciklopédia (Alkotmányjog rovat, rovat szerkesztő: Bodnár Eszter – Jakab András). Online: <http://ijoten.hu/szocikk/rendszeri-szervek>
5. 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról.
6. Somogy Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság: A katasztrófavédelem története. Online: <https://somogy.katasztrofavedelem.hu/19290/katasztrofavedelem-tortenete> Letöltve: 2024.10.13.
7. Restás Ágoston: A drónok katasztrófavédelmi alkalmazása. Védelem Tudomány Különszám, 8 2023 pp. 111-118.
8. Egyed László: Drónok használatának lehetőségei a katasztrófavédelemben, különös tekintettel a tűzvédelmi prevencióra és a kárelhárításra. Védelem Tudomány 8(3) 2023 doi:10.61790/vt.2023.13092
9. Szalkai István: Pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának történelmi pillanatai és ezekből levonható következtetések. Repüléstudományi Közlemények 31(3) 2019 pp. 89-97.
10. Vajda András, Szalkai István: New Complex Military and Civil UAV/RPA Classification System for Registration, Administrative Purposes, and Special Operation Preparation. Repüléstudományi Közlemények 34(3) 2022 pp. 91-107.
11. Szalkai István: A pilóta nélküli légi járművek alkalmazása kismagasságú multispektrális távérzékelési feladatokban. Védelem Tudomány 7(3) 2022 pp. 64-77.
12. Szalkai István, Ercsey Tamás Zsolt, Szép, Károly: A pilóta nélküli légi járművek jövőbeli alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata. Repüléstudományi Közlemények 32(3) 2020 pp. 39-49.
13. Restás, Ágoston: A drónok alkalmazásának lehetőségei a Covid-19 elleni küzdelemben. In: Gaál, Gyula; Hautzinger, Zoltán (szerk.) Rendszer a rendkívüli helyzetekben : húsz éves a Szent László napi konferencia, Pécs, Magyarország: Magyar Hadtudományi Társaság (2021) pp. 105-110.
14. Holman Brett: The first air bomb: Venice, 15 July 1849. Online: https://airminded.org/2009/08/22/the-first-air-bomb-venice-15-july-1849/#identifier_0_2398 Letöltés ideje: 2019.06.19.
15. Wikipedia: Franz von Uchatius. Online: https://en.wikipedia.org/wiki/Franz_von_Uchatius Letöltés ideje: 2019.06.19.
16. Murfin Patrick: Heretic, Rebel, a think to Flout. Online: <http://patrickmurfin.blogspot.com/2016/08/nothing-new-under-sundrone-balloons.html>
17. NOVA Science: Pre-aviation UAVs Perley's Aerial Bomber (USA). Online: https://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs_01.html Letöltés: 2019.13.14.
18. NOVA Science: Pre-aviation UAVs Eddy's Surveillance Kite (USA) Online: https://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs_02.html Letöltés: 2019.13.14.

19. Tewksbury Dawe: Fugos – Japan’s Balloon Bomb Attacks on North America - a GIS Exercise for Forensic Geology. Hamilton College, Clinton, NY USA. Poszter, Online: <https://www.hamilton.edu/documents/Balloonbombposter.pdf>
20. Mikes Robert: Smithonian annals of flight. Online: https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/18679/SAoF-0009-Lo_res.pdf?sequence=3&isAllowed=y Letöltés: 2019.06.19.
21. Maruf Sitara: Incredible Journey of a Japanese Ballon Bomb. LTA Science and Flight Magazine. 2017 Online: <http://www.ltaflightmagazine.com/japaneseballoonbombjourney/> Letöltés: 2019.06.19.
22. Restás Ágoston: Wildfire Management Supported by UAV Based Air Reconnaissance: Experiments and Results at the Szendro Fire Department. 1st Int’l Workshop on Fire Management, SIMFOR, Havanna, Kuba 2006 Online: https://gfmc.online/wp-content/uploads/Restas_hu_1.pdf Letöltés: 2022.01.15.
23. Restás Ágoston: The Regulation Unmanned Aerial Vehicle of the Szendro Fire Department Supporting Fighting Against Forest Fires 1st of the World. Forest Ecology and Management 234 (Suppl.) paper: S233 (2006)
24. Palik Máttyás, Restás Ágoston: A pilóta nélküli légijárművek alkalmazásának lehetőségei az árvízi védekezésben. Repüléstudományi Közlemények 26(3) 2014 pp. 57-65.
25. Manga László, Kátai-Urbán Lajos, Vass Gyula: Pilóta nélküli repülők a sugárfelderítésben. Védelem Tudomány 2(2) 2017 pp. 63-75.
26. Ambrusz József, Muhoray Árpád: A 2001. évi beregi árvíz következményeinek felszámolása, a kistérség rehabilitációjának megszervezése. Védelem Tudomány 1(1) pp. 108-125.
27. Restás Ágoston: Az UAV katonai alkalmazásának transzfere a polgári alkalmazás felé: Katasztrófavédelmi alkalmazások. *Repüléstudományi Közlemények*, 25(2) 2013 pp. 626–635.
28. 1995. évi XCVII. törvény a légiközlekedésről.
29. MinerK Tech: A drónokról kezdőknek 1 - Drón típusok. 2018 Online: https://minerkttech.blog.hu/2018/08/02/dronokrol_kezdoknek Letöltés: 2022.01.15.
30. Restás Ágoston: Drónok rendészeti alkalmazásai – kommunikációs lehetőségek. *Magyar Rendészet* 2024/Különszám pp. 179-207 doi:10.32577/mr.2024.ksz.12
31. Kovács Tibor, Viplak Armand Máté (2017): Drónok a biztonságtechnikában. *Hadmérnök*, 12(2), pp. 7–13. Online: http://hadmernok.hu/172_01_kovacs.pdf
32. Vigh András (2018): A drónok rendészeti alkalmazási lehetőségei. *Belügyi Szemle*, 66(10), 88–107. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2018.10.6>
33. Németh András (2018a): UAV-k alkalmazása a közfeladatok ellátása során I. *Hadmérnök*, 12(2), pp. 37–60. Online: http://www.hadmernok.hu/182_04_nemeth.pdf
34. Németh András (2018b): UAV-k alkalmazása a közfeladatok ellátása során II. *Hadmérnök*, 13(3), pp. 68–86. Online: http://www.hadmernok.hu/183_06_nemeth.pdf
35. Nyitrai Endre (2022): A drón szerepe a rendészeti munkában. *Ludovika.hu*, 2022. július 13. Online: <https://www.ludovika.hu/blogok/cyberblog/2022/07/13/a-dron-szerepe-a-rendeszeti-munkaban/>
36. Restás Ágoston (2017): A drónok közszolgálati alkalmazásának lehetőségei. *Új Magyar Közigazgatás*, 10(3), pp. 48–62.
37. ROTTler Violetta (2018): A drónhasználat jogi szabályozásának nemzetközi trendjei és hazai helyzete. *Magyar Rendészet*, 18(4), 157–171. Online: <https://doi.org/10.32577/mr.2018.4.9>
38. CSÁK Zsolt (2019): A drón kapcsán felmerülő egyes büntető anyagi és eljárásjogi kérdések. In MEZEI Kitti (szerk.): *A bűnügyi tudományok és az informatika*. PTE –

- MTA Társadalomtudományi Kutatóközpont, pp. 26–45. Online: https://jog.tk.hu/uploads/files/02_buntetojog_informatika_CSAKZS.pdf
39. GÁL Andor – SZOMORA Zsolt (2021): A drónnal történő megfigyelés kriminalizálása mint a büntetőjogi magánszféravédelem kiterjesztése. *Acta Universitatis Szegediensis. Forum Acta Juridica et Politica*, (11)3, pp. 101–108. Online: https://publicatio.bibl.u-szeged.hu/22807/1/juridpol_forum_011_003_101-108.pdf
 40. RIPSZÁM Dóra (2022): A pilóta nélküli légijárművel megvalósított jogsértő magatartások, különös tekintettel a tiltott adatszerzés új alapesetére. *Rendvédelem*, 11(2), pp. 48–57. <https://doi.org/10.53793/rv.2022.2.4>
 41. SZÉKELY Zoltán (2015): A pilóta nélküli és a pilóta által vezetett légijárművek lehetséges konfliktusai, a konfliktus feloldás lehetőségei. In *A nyílt információgyűjtés fejlődő területei*. Tanulmánykötet. Budapest: Belügyi Tudományos Tanács, pp. 81–87.
 42. HARKAI Dorina – FELFÖLDI Péter (2020): A pilóta nélküli légijárművek alkalmazási lehetőségei a közszolgálatban. In: MARTON Zsuzsanna et al. (szerk.): *IV. Turizmus és Biztonság Nemzetközi Tudományos Konferencia*. Tanulmánykötet. pp. 130–143. Online: https://www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/Konferenciak%C3%B6tet_2020.pdf
 43. AMBRÓZY Dorián et al. (2022): Drónok alkalmazása a rendvédelemben, különös tekintettel a mesterséges intelligencia-módszerekre a dróntechnológia területén. *Rendvédelem*, 11(2), pp. 33–47. Online: <https://doi.org/10.53793/rv.2022.2.3>
 44. TÓTH Veronika Zsófia (2023): A pilóta nélküli repülő szerkezetek (UAV-k) rendvédelemben betöltött szerepe, biztonságtechnikai kockázata, a rendvédelmi drónok jövőbeli fejlesztési iránya és a biztonságtechnikai kockázatok csökkentésének lehetőségei. *Rendvédelem*, 12(1), pp. 7–42. Online: <https://doi.org/10.53793/RV.2023.1.2>
 45. PETRÉTEI Dávid (2015a): Drónok bűnüldözési célú felhasználása. In *A nyílt információgyűjtés fejlődő területei*. Tanulmánykötet. Budapest: Belügyi Tudományos Tanács, pp. 121–131.
 46. PETRÉTEI Dávid (2015b): A drónok krimináltechnikai és rendészeti felhasználása. *Magyar Bűnüldöző*, 6(1–3), pp. 70–81.
 47. KOVÁCS Gábor (2022): A pilóta nélküli repülő eszközök (drón) határőrizeti alkalmazásának lehetőségei. In Baráth Noémi Emőke Mezei József (szerk.): *Rendészet – Tudomány – Aktualitások*. Rendészettudomány a fiatal kutatók szemével. Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége, pp. 39–52. Online: <http://hdl.handle.net/20.500.12944/18632>
 48. BOTTYÁN Sándor (2022a): Autonóm pilóta nélküli légijármű-rendszerek büntetés-végrehajtási szempontú vizsgálata. *Magyar Rendészet*, 22(3), pp. 145–159. Online: <https://doi.org/10.32577/mr.2022.3.9>
 49. BOTTYÁN Sándor (2022b): A drón mint kétpólusú tényező a büntetés-végrehajtásban. *Magyar Rendészet*, 22(4), pp. 57–77. Online: <https://doi.org/10.32577/mr.2022.4.4>
 50. DÉRI Attila (2022): Drónok alkalmazhatóságának lehetőségei a rendőrségen. *Rendvédelem*, 11(2), pp. 18–32. Online: <https://doi.org/10.53793/rv.2022.2.2>
 51. JAROLIN József (2019): Eljárások drónok felderítésére. *Belügyi Szemle*, 67(1), pp. 137–146. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2019.1.11>
 52. ROTTLER Violetta (2017): A drónok rendészeti alkalmazása. *Detektor Plusz*, 24(2), pp. 38–41. Online: <https://www.detektorplusz.hu/index.php?m=23684>
 53. HIDASI Rita (2022): A drónokkal kapcsolatos magánjogi problémák, különös tekintettel a pilóta nélküli légijárművek kárfelelősségének megítélésére. *Iustum Aequum Salutare*, 18(4), pp. 125–147. Online: https://ias.jak.ppke.hu/20224sz/10_HidasiR_IAS_2022_4.pdf

54. DUDÁS Zoltán – UJVÁRI Bence (2020): A drónelhárítás módszerei és lehetőségei. Repüléstudományi Közlemények, 32(3), pp. 135–141. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2020.3.11>
55. NEMES Dávid Róbert (2019): A távérzékelés árvízi védekezés során drónok alkalmazásával. OTDK-dolgozat. Óbudai Egyetem, Országos Tudományos Diákköri Konferencia. Polgári védelem szekció.
56. POTHÁRN Ágnes (2019): A robottechnika alkalmazási lehetőségei határvédelemben. OTDK-dolgozat. Óbudai Egyetem, Országos Tudományos Diákköri Konferencia. Pilóta nélküli légi járművek és robotika szekció.
57. UJVÁRI Bence (2020): Drónelhárító légtérvédelmi rendszerek. ITDK-dolgozat. Nemzeti Közszerológati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Tudományos Diákköri Konferencia.
58. DUDOMA Krisztián (2023): A pilóta nélküli légijármű hasznosítása egy közlekedési baleset helyszínén. ITDK-dolgozat. Nemzeti Közszerológati Egyetem, Rendészettudományi Kar, Tudományos Diákköri Konferencia. Közlekedésrendészeti tagozat.
59. HELL Péter (2023): Drónok alkalmazhatóságának vizsgálata rendkívüli helyzetekben. PhD-értekezés. Budapest: Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola.
60. RESTÁS, Ágoston (2015): Drone Applications for Supporting Disaster Management. World Journal of Engineering and Technology, 3(3B), 316–321. Online: <https://doi.org/10.4236/wjet.2015.33C047>
61. RESTÁS, Ágoston (2016): Drone Applications for Preventing and Responding HAZMAT Disaster. World Journal of Engineering and Technology, 4(3C), 76–84. Online: <https://doi.org/10.4236/wjet.2016.43C010>
62. RESTÁS Ágoston (2017): A drónok közszerológati alkalmazásának lehetőségei. Új Magyar Közizagzatás, 10(3), 48–62.
63. RESTÁS, Ágoston (2018): Water Related Disaster Management Supported by Drone Applications. World Journal of Engineering and Technology, 6(2B), 116–126. Online: <https://doi.org/10.4236/wjet.2018.62B010>
64. Restás Ágoston (2022): Drone Applications Fighting COVID-19 Pandemic. Towards Good Practices. Drones, 6(1), 1–20. Online: <https://doi.org/10.3390/drones6010015>
65. Restás Ágoston (2023): Disaster Management with Resource Optimization Supported by Drone Applications. In: PALADI, Florentin – DAPONTA, Pasquale (szerk.): Monitoring and Protection of Critical Infrastructure by Unmanned Systems. Amsterdam – Berlin – Washington, DC: IOS Press, 78–100. <https://doi.org/10.3233/NICSP230007>
66. Bodnár László – Restás Ágoston – Xu Qiang (2018): Conceptual Approach of Measuring the Professional and Economic Effectiveness of Drone Applications Supporting Forest Fire Management. Procedia Engineering, 211, 8–17. Online: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.132>
67. A Bizottság (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete (2019. március 12.) a pilóta nélküli légijármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légijármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról.
68. Cyulinyana Marie C., Ferrer Phil: Heat efficiency of a solar trough receiver with a hot mirror compared to a selective coating. South African Journal of Science 107(11-12) 2011 ISSN 1996-7489
69. Restás Ágoston: Path Planning Optimization with Flexible Remote Sensing Application. In: Aizzat Zakaria et al: Path Planning for Autonomous Vehicles - Ensuring Reliable Driverless Navigation and Control Maneuver. London, United Kingdom. p. 1-17.

70. Bakó Gábor: Távérzékelési Technológiák és Térinformatika Online. Hiperspektrális légifelvétel-térképek. RS&GIS 2011 ISSN 2062-8617 Online: <https://www.rsgis.hu/RS&GIS-2011-1-4.html>
71. Bodnár László, Restás Ágoston: Examination of the forest fires detection: the relationship between the fire and the detection. In: Viegas, Domingos Xavier (ed.) Advances in forest fire research 2018. Universidade de Coimbra (2018) pp. 995-1001.
72. Cimer Zsolt, Vass Gyula, Zsitnyányi Attila, Kátai-Urbán Lajos: Application of Chemical Monitoring and Public Alarm Systems to Reduce Public Vulnerability to Major Accidents Involving Dangerous Substances. Symmetry, 13(8) 2021, pp. 1-16. doi:10.3390/sym13081528
73. Guebsi Ridha, Mami Sonia, Chokmani Karem: Drones in Precision Agriculture: A Comprehensive Review of Applications, Technologies, and Challenges. Drones 2024, 8, 686. doi:10.3390/drones8110686
74. Keller Boglárka: A hiperspektrális távérzékelés lehetőségei a precíziós mezőgazdaságban. Előadás, Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ, Hermann Ottó Intézet, 2021.
75. Domonkos Csaba: Budapest levegője – Már a két háború között is mérték a légszennyezettséget a fővárosban, Pest-Buda, 2020.06.24. Online: https://pestbuda.hu/cikk/20200624_budapest_levegoje_mar_a_ket_haboru_kozott_is_mertek_a_szennyezettseget Letöltés: 2020.11.23.
76. Landgraf Monika: Air quality measurements in the sky over Europe, PhysOrg, Karlsruhe Institute of Technology, 2017.08.09. Online: <https://phys.org/news/2017-08-air-quality-sky-europe.html> Letöltés: 2020.11.23.
77. Pengelly Alice: MOASA: Using an adapted aeroplane to measure air pollution above UK cities, Clean Air Program, 2022.05.10. Online: <https://www.ukcleanair.org/2022/05/10/moasa-using-an-adapted-aeroplane-to-measure-air-pollution-above-uk-cities/> Letöltés: 2024.02.15.
78. Both Balázs: A budapesti levegő nitrogén-dioxid-szennyezettsége 2020. június 18-án, az Üllői út és a Nagykörút kereszteződésében. Multidéző, PestBuda, pestbuda.hu https://pestbuda.hu/cikk/20200624_budapest_levegoje_mar_a_ket_haboru_kozott_is_mertek_a_szennyezettseget Letöltés: 2020.11.23.
79. Molnár András: UAV-alkalmazások fejlesztése az Óbudai Egyetemen (Légköri jellemzők mérése pilóta nélküli repülőgéppel). Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások, Konferencia előadás, Szolnok, 2014. február 28.
80. Molnár András: Adatfúziós távérzékelési eljárások kis méretű pilóta nélküli légi járművek alkalmazásával. Haditechnika 56(1) pp. 2-8. 2022 doi:10.23713/HT.56.1.01
81. Stojcsics Daniel, Domozi Zsolt, Molnár András: Air pollution localisation based on UAV Survey. 2018 IEEE Int'l Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) Proceedings, Egyesült Államok, 2018 pp. 2546-2551. doi:10.1109/SMC.2018.00436
82. Restás Ágoston: A pilóta nélküli repülőgépek alkalmazása az iparbiztonság területén. Bolyai Szemle 24(3) pp. 157-174. 2015
83. Makó András, Elek Barbara: Talajok kapilláris nyomás-folyadéktelítettség görbéinek mérése és becslése olaj/levegő és víz/levegő rendszerekben. Erdei Ferenc III. Tudományos Konferencia: 2005. augusztus 23-24., Kecskeméti Főiskola, Kertészeti Főiskolai Kar (2005), pp. 757-761.
84. Gajdács László, Palik Mátyás, Dudás Zoltán: Drónok és hagyományos légi járművek közös légtérben történő alkalmazásának repülésbiztonsági kockázatai. Repüléstudományi Közlemények 33(1) 2021 pp. 157-170.

85. Szalkai István, Vajda András, Restás Ágoston, Óvári Gyula: A drónok alkalmazásának biztonsági kérdései. Katasztrófavédelem 2018 Konferencia: Veszélyes tevékenységek biztonsága. Budapest, pp. 344-344.
86. Szalkai István: Drónok alkalmazásának lehetőségei a kémények ellenőrzésében. Védelem Tudomány 5(4) 2020 pp. 170-187.
87. Szalkai István, Vajda András, Restás Ágoston, Óvári Gyula: A drónok alkalmazásának biztonsági kérdései. Katasztrófavédelem 2018 Konferencia, Budapest, (2018) 347 p. pp. 344-344., 1 p.
88. Szalkai István: Környezetvédelmi közigazgatás fejlődése. Szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Jogi Továbbképző Intézet, 2001.
89. Szalkai István, Verrasztó Zoltán: Környezeti hatástanulmány a természetvédelmi oltalom alatt álló pátyi Sasfészek tó revitalizációjához. Tanulmány. KM-KDVKI. 2001.
90. Szalkai István, Szerényi István, Verrasztó Zoltán: A környezeti adottságok változásainak elemzése a Kárpát-medence területére létrehozott környezeti adatbázis kidolgozásával. Előadás, Oktatási Minisztérium Széchenyi Terv Pályázat, Konferencia, 2002
91. Bártfai Zoltán, Szalkai István: Térinformatikai alapú döntéstámogató rendszer kialakítása településfejlesztési alkalmazásra. Előadás, MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő, 2004.
92. Digital Archaeologist: Ancient Greek Hearth. Online: https://rich_potter.artstation.com/projects/OyKxVe Letöltés: 2025.03.20.
93. Flickr: Ancestral Home: the Ancient Hearth. Online: <https://www.flickr.com/photos/strayshots/8124270273/in/photostream/> Letöltés: 2025.03.20.
94. McDougal Nicola: Air's Chemical Composition & Environmental Effects. Video, Online: <https://study.com/academy/lesson/video/airs-chemical-composition-environmental-effects.html> Letöltés: 2024.04.17.
95. Polak Grzegorz: Emissions from wood and coal burning stoves in residential areas. Fotolia.com, 2019.08.22. 926.
96. BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság honlapja. Mentő tűzvédelem. A tűzoltóság története. Online: <https://www.katasztrofavedelem.hu/212/mento-tuzvedelem> Letöltés: 2023.02.07.
97. Országos Levéltár: Debrecen város tűzrendtartásának címlapja. 1774. Online: <http://mek.niif.hu/04600/04683/html/rmme0031.html> Letöltés: 2023.02.02.
98. 4/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről. Jogtár.
99. Molnár, András, Kiss, Daniel, Domozi Zsolt: Radiation Source Localization Using a Model-Based Approach. Sensors 23(13) 5983 2023 doi:10.3390/s23135983
100. Szalkai István: Drónok alkalmazásának lehetőségei a napelem erőművek ellenőrzésében. Védelem Tudomány 6(1) 2021 pp. 122-136.
101. Szalkai István: Testing of an Energy Production Plant With Drone Devices. 2nd Fire Engineering & Disaster Management Conference, Védelem online, Book of extended abstracts, Budapest, 2022 pp. 181-183.
102. Tanulmány: Future of solar photovoltaic; IRENA (International Renewable Energy Agency) 2019. ISBN :978-92-9260-156-05
103. Almási Krisztina: Megépült Nógrád megye legnagyobb napelemparkja. Magyar Építők, 2019 Online: <https://magyarepitok.hu/mi-epul/2019/11/megepult-nograd-megye-legnagyobb-napelemparkja> Letöltés: 2020.9.30.

104. Kiss Ernő: Már épül az ország legnagyobb napelemparkja. Magyar Napelem Napkollektor Szövetség, 2020.02.13. Online: <https://alternativenergia.hu/mar-epul-az-orszag-legnagyobb-napelemparkja-video/89098> Letöltés: 2020.09.18.
105. Balog Richárd: Az időjárásfüggő egységek integrációjának hatása a magyar villamosenergia rendszerre. MAVIR adatpublikáció: A magyar villamosenergiarendszer (VER) 2018. évi adatai alapján, Online: <https://docplayer.hu/107615447-Az-idojarasfuggo-egysegek-integraciojanak-hatasa-a-magyar-villamos-energia-rendszerre.html> Letöltés: 2020.09.26.
106. MAVIR adatpublikáció: A magyarvillamosenergia-rendszer (VER) évi adatai. Online: <https://docplayer.hu/129579659-A-magyar-villamosenergia-rendszer-ver-evi-adatai-data-of-the-hungarian-electricity-system.html> Letöltés: 2020.10.20.
107. Hammer Missions: Top 5 things to consider while inspecting solar farms with drones. Report, 2022 Online: <https://www.hammermissions.com/post/top-5-things-to-consider-while-inspecting-solar-farms-with-drones> Letöltés: 2022.12.15.
108. Fox News: A fire destroyed hundreds of solar panels at a warehouse in Fresno in 2020. Videó (90s.) Online: <https://www.youtube.com/watch?v=1tay5dhaLgU> Letöltés: 2022.12.15.
109. 2011. évi CXII. törvény az információs önrendelkezési jogról és az információszabadságról.
110. Horváth Sebestyén: Európai energiamix-körkép. Tanulmány. Oeconomus Gazdaságkutató Intézet, 2024. Online: <https://www.oeconomus.hu/oecogram/europai-energiamix-korkep/> Letöltés: 2024.10.22.
111. Kátai-Urbán, Lajos: Veszélyes üzemek biztonsága – kézikönyv az iparbiztonsággal foglalkozó szakemberek részére. Budapest, Semmelweis Kiadó 2025 244 p. ISBN: 9789633316504
112. Vass Gyula, Varga Ferenc, Kátai-Urbán Lajos. Az iparbiztonsági hatósági tevékenység szervezeti fejlődéstörténete a képzés tükrében. Tanulmány. Magyar Rendészettudományi Társaság 2024 pp. 253-267. doi:10.37372/mrttvpt.2024.1.22
113. Kátai-Urbán Lajos, Mészáros István, Vass Gyula: Iparbiztonság, válsághelyzeti tervezés. A katasztrófa-készenlét, a reagálás és a beavatkozásbiztonság egészségügyi alapjai. Konferencia kötet, Semmelweis Kiadó 2019 pp. 48-83. ISBN: 9789633314920
114. Hoffmann Imre, Kátai-Urbán Lajos, Lévai Zoltán, Vass, Gyula: Iparbiztonsági kockázatok Magyarországon. Védelem online 2015 22(1) 546.
115. Szalkai István, Lágymányosi Attila, Korzenszky Péter, Lukács Aurél, Bártfai Zoltán: Application of drone technology for facility management mainly for hazardous plants. Mechanical Engineering Letters 2022 pp. 111-125.
116. Szalkai István: Continuous surveillance of warehouses for the purpose of hazard prevention and prevention with drone devices. American Journal of Research Education and Development 2022/3 pp. 23-34.
117. Szalkai, István: Veszélyes üzemek vizsgálata drón eszközökkel. Védelem Tudomány 7(4) 2022 pp. 198-211.
118. Bérczi László: A tűzvédelem a katasztrófavédelem rendszerében. Új Magyar Közigazgatás 5(6) 2012 pp. 2-8.
119. Restás Ágoston: Erdőtűzek felderítésének támogatása levegőből. Védelem 2004 11(6) pp. 47-49.
120. Restás Ágoston: Robot Reconnaissance Aircraft. Előadás 2004.01.27. UAVNET 9th meeting, Amsterdam, Hollandia
121. Hucaljuk Milivoj. Remote Sensing of Wild Fires by an Ultra-light Unmanned Aerial Vehicle. Előadás. 2024.05.25–27. 24th EARSeL Symposium New Strategies for European Remote Sensing, Dubrovnik, Horvátország

122. Vinkovic Mladen: FENIX Project. Előadás 2005.09.23. Regional UAVNET meeting, Szendrő
123. Hinkley Everette, Zajkowski Tom, Berthold Randy, Ambrosia Vincent, Herwitz Sawyer: Small UAV Remote Sensing Demonstration Project, Projekt dokument, 2005.07.12-14. NASA Ames Research Center-Moffett Field, California, Egyesült Államok
124. Ollero Anibal, Hommel Gomes, Gancet Juan, Gutierrez Garret, Viegas Domingoes, Forssén Emma, González Anny: COMETS: A multiple heterogeneous UAVsystem. Előadás 2004.05.24-26. IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics SSR 2004, Bonn, Németország
125. Restás Ágoston: Az erdőtűzek légi felderítésének és oltásának kutatás-fejlesztése. PhD értekezés, 2008, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
126. Restás Ágoston: The Regulation Unmanned Aerial Vehicle of the Szendro Fire Department Supporting Fighting Against Forest Fires 1st of the World. Forest Ecology and Management 2006 234(Suppl) S233 doi:10.1016/j.foreco.2006.08.260
127. 38/2021. (II. 2.) Korm. rendelet a pilóta nélküli állami légi járművek repüléséről
128. Szakál Béla, Kátai-Urbán Lajos, Vass Gyula: Veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezés keretében telepítendő monitoring rendszerek és lakossági riasztási rendszerek telepítési helyeinek kiválasztása. Tudományos Közlemények, Szent István Egyetem 2004, pp. 38-53.
129. Mesics Zoltán: Új jogi szabályozási követelmények a biztonsági irányítási rendszerekkel kapcsolatban. Védelem Tudomány 1(2) pp. 620-644.
130. Cimer Zsolt, Vass Gyula, Zsitnyányi Attila, Kátai-Urbán Lajos: Application of Chemical Monitoring and Public Alarm Systems to Reduce Public Vulnerability to Major Accidents Involving Dangerous Substances. Symmetry 2021 13(8) 1528 doi:10.3390/sym13081528
131. MTI: Paks 2: módosítanak a határidőket. 2019.03.21. Online: <https://www.mnnsz.hu/paks-2-modositanak-a-hataridoket/> Letöltés: 2024.04.12.
132. MolGroup Info: Átadták a MOL 1,3 milliárd euróból felépített poliol komplexumát Tiszaújvárosban. 2024.05.14. Online: <https://molgroup.info/hu/media-kozpont/sajtokozlemenyek/atadtak-a-mol-13-milliard-eurobol-felepitett-poliol-komplexumat-tiszaujvarosban> Letöltés: 2025.02.12.
133. Török Zoltán, Kovács László, Ozunu Alexandru: Ammonium nitrate explosions. Case study: the Mihăilesti accident (2004), Romania. Journal of Environmental Research and Protection, 2015 12 pp. 56-60.
134. Ghosh Baisali: How Pampa Energia is Leveraging the Drone-in-a-Box Solution to Optimize its Thermal Power Plant Inspections. Flytbase 2025. Online: <https://www.flytbase.com/blog/thermal-power-plant-inspection> Letöltés: 2025.04.30.
135. Sikanen Topi, Hostikka Simo: Modeling and Simulation of Liquid Pool Fires with In-depth Radiation Absorption and Heat Transfer. Fire Safety Journal 2016 80 pp. 95–109. doi:10.1016/j.firesaf.2016.01.002
136. Jinlong Zhao, Hong Huang, Grunde Jomaas, Maohua Zhong, Rui Yang: Experimental study of the burning behaviors of thin-layer pool fires. Combustion and Flame 2018 193 pp. 327-334. doi:10.1016/j.combustflame.2018.03.018
137. Restás Ágoston, Grósz Zoltán: A mentesítés kérdései a pilóta nélküli repülőgépek katasztrófavédelmi alkalmazása során. Bolyai Szemle 22(3) 2013 pp. 59-73.
138. French Sally: How to decontaminate drones from chemicals, viruses. The Drone Girl 2020.05.02 Online: <https://www.thedronegirl.com/2020/05/08/decontaminate-drones/> Letöltés: 2024.12.29.

139. Knight Taylor: UAV Systems Equipped With UVC Light for Decontamination Efforts. Defense Systems Information Analysis Center 2022.12.08. Online: <https://dsiac.dtic.mil/technical-inquiries/notable/uav-systems-equipped-with-uvc-light-for-decontamination-efforts/> Letöltés: 2024.12.29.
140. Kovalevsky Yves: Drones and Battlefield 4.0: Decontamination Capabilities Need to be Adapted. CBNW Magazin 2024.06.24. Online: <https://nct-cbnw.com/drones-and-battlefield-4-0-decontamination-capabilities-need-to-be-adapted/> Letöltés: 2024.12.29.
141. Gayathiri Rhami, Gaudham Paska, Rakesh Siram, Pradeep Mornaim, Saran Raj, Sudharshan Biriani: Sanitization Using Autonomous Drone. 2022 Int'l Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS), Chennai, India, 2022, pp. 1-6, doi:10.1109/ICPECTS56089.2022.10047532
142. Restás Ágoston, Szalkai István, Óvári Gyula: Drone Application for Spraying Disinfection Liquid Fighting against the COVID-19 Pandemic—Examining Drone-Related Parameters Influencing Effectiveness. Drones 2021, 5, 58. doi:10.3390/drones5030058
143. Cracknell Adam: UAVs: Regulations and law enforcement. International Journal of Remote Sensing 2017, 38, pp. 3054–3067. doi:10.1080/01431161.2017.1302115
144. Zwickle Adler, Farber Bern, Hamm J.Anne: Comparing public concern and support for drone regulation to the current legal framework. Behaviour Science 2018 37 pp 109–127. doi:10.1002/bsl.2357
145. Nikolaos Tsiamis, Loukia Efthymiou, Konstantinos P. Tsagarakis: Comparative Analysis of the Legislation Evolution for Drone Use in OECD Countries. Drones 2019, 3, 75. doi:10.3390/drones3040075
146. Hardin Perry, Hardin Thomas: Small-scale remotely piloted vehicles in environmental research. Geogr. Compass 2010, 4, pp. 1297–1311. doi:10.1111/j.1749-8198.2010.00381.x
147. Watts Andrew, Ambrosia Vincent, Hinkley Everette: Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. Remote Sensing 2012, 4, pp. 1671–1692. doi:10.3390/rs4061671
148. Kardasz Peter, Daskocz Judith, Hejduk Milan, Wijekut Pathric, Zarzyck Houres: Drones and Possibilities of Their Using. Journal of Civil Environment Engineering 2016, 6, 1–7.
149. Tang Lina, Shao Goufan: Drone remote sensing for forestry research and practices. J. For. Res. 2015, 26, pp. 791–797. doi:10.1007/s11676-015-0088-y
150. Leila A. Haidari, Shawn T. Brown, Marie Ferguson, Emily Bancroft, Marie Spiker, Allen Wilcox, Ramya Ambikapathi, Vidya Sampath, Diana L. Connor, Bruce Y. Lee: The economic and operational value of using drones to transport vaccines. Vaccine 2016, 34, pp. 4062–4067. doi:10.1016/j.vaccine.2016.06.022
151. Li Yan, Liu Chunlu: Applications of multirotor drone technologies in construction management. International Journal of Construction Management 2019, 19, pp. 401–412. doi: 10.1080/15623599.2018.1452101
152. Amir, M.Y.; Abbass, V. Modeling of quadrotor helicopter dynamics, presentation. In Proceedings of the International Conference on Smart Manufacturing Application, KINTEX, 2008.04.9-11. Goyang City, Korea
153. Martin Glenn: Modelling and Control of the Parrot AR. Drone. Journal of Undergraduate Engineering Results 2012, 5, pp. 1–14.
154. Zeeshan Kaleem, Mubashir Husain Rehmani: Amateur Drone Monitoring: State-of-the-Art Architectures, Key Enabling Technologies, and Future Research Directions. Wireless Communication 2018, 25, pp. 150–159. doi:10.1109/MWC.2018.1700152

155. Agatz, N.; Bouman, P.; Schmidt, M. Optimization Approaches for the Traveling Salesman Problem with Drone. ERIM Report Series Research in Management. ERS-2015-011-LIS. Erasmus Research Institute of Management. 2016. Online: <https://repub.eur.nl/pub/78472> Letöltés: 2021.03.31.
156. Poikonen Stefan, Wang Xingyin, Golden Bruce: The vehicle routing problem with drones: Extended models and connections. Network International Journal 2017, 70, pp. 34–43. doi:10.1002/net.21746
157. Murray C.Chase, Chu, Amanda: The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery. Transportation Research Part C Emerging Technology 2015, 54, pp. 86–109. doi:10.1016/j.trc.2015.03.005
158. Shi Weisen, Zhou Haibo, Li Junling, Xu Wenchao, Zhang Ning, Shen Xuemin: Drone Assisted Vehicular Networks: Architecture, Challenges and Opportunities. IEEE Network 2018, 32, pp. 130–137. doi:10.1109/MNET.2017.1700206
159. Finn, Rachel, Wright David: Unmanned aircraft systems: Surveillance, ethics and privacy in civil applications. Comput. Law Secur. Rev. 2012, 28, pp. 184–194. doi:10.1016/j.clsr.2012.01.005
160. Restás Ágoston, Dudás Zoltán: Some aspect of human features of the use of unmanned aerial systems in a disaster-specific division. Proceedings of the International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) Conference, 2013.05.31. Atlanta, GA, Egyesült Államok pp. 1030–1036.
161. Clarke Roger: The regulation of civilian drones' impacts on behavioral privacy. Computation and Law Security Review 2014, 30, pp. 286–305. doi:10.1016/j.clsr.2014.03.005
162. Chabot Dominique: Trends in drone research and applications as the Journal of Unmanned Vehicle Systems turns five. Journal of Unmanned Vehicle System. 2018, 6, pp. 6–15. doi:10.1139/juvs-2018-0005
163. Juniper, A. The Drone Pilot's Handbook; Octopus Publishing: London, UK, 2010; ISBN 978-1781573-785.
164. .Elliott Adler: Build Your Own Drone Manual: The Practical Guide to Safely Building, Operating and Maintaining an Unmanned Aerial Vehicle (UAV); Haynes Publishing: Sparkford, UK, 2016; ISBN 978 0 85733 813 6.
165. UN 2015. Study on Armed Unmanned Aerial Vehicles, Prepared on the Recommendation of the Advisory Board on Disarmament Matters. United Nations Publications. 2015. Online: <https://unoda-web.s3-accelerate.amazonaws.com/wp-content/uploads/assets/publications/more/drones-study/drones-study.pdf> Letöltés: 2021.04.12.
166. UAV Coach 2020. How to Fly a Drone. A Beginner's Guide to Multirotor Systems & Flight Proficiency. Online: <https://uavcoach.com/how-to-fly-a-quadcopter-guide/> Letöltés: 2020.05.20.
167. GT-Riport: China takes various measures to combat epidemic. GlobalTimesChina 2020.02.12. Online: <https://www.globaltimes.cn/page/202002/1179287.shtml> Letöltés: 2022.09.10.
168. AFP Riport: Israel, Jordan among Mideast countries deploying drones in virus response. The Times of Israel 2020.04.05. Online: <https://www.timesofisrael.com/israel-jordan-among-mideast-countries-deploying-drones-in-virus-response/> Letöltés: 2022.09.10.
169. Ball Mike: Hybrid Quadcopter Drone Tested for Precision Agriculture. UST-Unmanned Systems Technology 2020.01.11. Online: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2020/01/hybrid-quadcopter-drone-tested-for-precision-agriculture/> Letöltés: 2023.08.16.

170. Cho Joohee: New cases of coronavirus double in 24 hours in South Korea. ABC News 2020.02.21. Online: <https://abcnews.go.com/International/cases-coronavirus-double-24-hours-south-korea/story?id=69123135> Letöltés: 2023.08.16.
171. Bright Jake: Drone delivery startup Zipline launches UAV medical program in Ghana. TC-TechCrunch, 2019.04.24. Online: <https://techcrunch.com/2019/04/24/drone-delivery-startup-zipline-launches-uav-medical-program-in-ghana/> Letöltés: 2024.08.16.
172. WeRobotics: World's First-Ever Drone-led Dengue Prevention Campaign is a Success. Riport, 2020.03.09. Online: <https://werobotics.org/blog/drone-led-dengue-prevention/> Letöltés: 2024.08.16.
173. Antunes João: Drones on the Front Lines of the COVID-19 Pandemic. CUN-Commercial UAV News 2020.03.26. Online: <https://www.commercialuavnews.com/public-safety/drones-on-the-front-lines-of-the-covid-19-pandemic> Letöltés: 2024.08.16.
174. DJI Riport: Delivering the Future of Healthcare. Videó, Online: <https://www.youtube.com/watch?v=TnXySwo8g7M> Letöltés: 2024.08.16.
175. Hodges Norman, Baird Rosamund: Disinfection and Cleansing. In: Handbook of Microbiological Quality Control. CRC Press, 2020 Washington DC. Egyesült Államok ISBN 0-748-40614-X
176. XAG Riport: XAG XPlanet Agricultural UAS, The Ultimate Agricultural Drone. Online: <https://www.xa.com/en/xp2020> Letöltés: 2024.06.22.
177. Lewis Michelle: Spain is the first European country to use agricultural drones to fight COVID-19. Drone DJ 2020.04.01. Online: <https://dronedj.com/2020/04/01/spain-first-in-europe-agricultural-drones-covid-19/> Letöltés: 2024.08.16.
178. Davidge Jennifer: Sanitise with bleach sprays rather than antibacterials. Nursing Standard 2009, 23, pp. 33–34. doi:10.7748/ns.23.18.33.s47
179. Starov Victor, Velarde Manuel, Radke Clayton: Wetting and Spreading Dynamics; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2007; ISBN 9780429120176. doi:10.1201/9781420016178