



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS

HELL PÉTER MIKSA

Drónok alkalmazhatóságának vizsgálata rendkívüli helyzetekben

Témavezető: Dr. Varga Péter János PhD

**BIZTONSÁGTUDOMÁNYI
DOKTORI ISKOLA**

Budapest, 2022. október 24.

Szigorlati/komplex vizsga bizottság:

Elnök:

Prof. Dr. Rajnai Zoltán egyetemi tanár, ÓE

Tagok:

Prof. Em. Dr. Berek Lajos professor emeritus

Dr. habil. Berek Tamás egyetemi docens, külső - NKE

Nyilvános védés teljes bizottsága:

Elnök:

Prof. Dr. Rajnai Zoltán egyetemi tanár, ÓE

Titkár:

Dr. Pető Richárd adjunktus, ÓE

Tagok:

Dr. habil. Farkas Tibor egyetemi docens, külső - NKE

Dr. Szűcs Endre, külső

Prof. Em. Dr. Berek Lajos professor emeritus

Bírálok:

Dr. Illési Zsolt, főiskolai docens, külső – MFE

Dr. Schuster György egyetemi docens, ÓE

Nyilvános védés időpontja:

2023.

NYILATKOZAT
A MUNKA ÖNÁLLÓSÁGÁRÓL, IRODALMI FORRÁSOK
MEGFELELŐ MÓDON TÖRTÉNT IDÉZÉSÉRŐL

Alulírott **Hell Péter Miksa** kijelentem, hogy a **Drónok alkalmazhatóságának vizsgálata rendkívüli helyzetekben** című benyújtott doktori értekezést magam készítettem, és abban csak az irodalmi hivatkozások listáján megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint, vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, a forrás megadásával egyértelműen megjelöltem.

Budapest, 2022.11.24

.....*Hell Péter*.....

Hell Péter Miksa

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	1
A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA	3
AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI.....	4
A TÉMA KUTATÁSÁNAK HIPOTÉZISEI	5
KUTATÁSI MÓDSZEREK	6
1. A KATASZTRÓFAVÉDELMI SZERVEZETEK ÉS A DRÓNTECHNOLÓGIA KAPCSOLATA	8
BEVEZETÉS	8
1.1. A dróntechnológia alapfogalmai.....	9
1.2. A drónok rendszerezése, csoportosítása	11
1.3. A drónhasználat törvényi szabályozása	16
1.4. Pilóta nélküli civil és állami légi járművek	17
1.5. Műveleti kategóriák és osztálybesorolás	19
1.6. Drónos feladatvégzések és műveleti kategóriák kapcsolata	31
1.7. Drónhasználat a magyarországi katasztrófavédelmi és kutató-mentő szolgálatoknál	33
1.8. A katasztrófa és katasztrófaesemények meghatározásai.....	36
1.9. A dróntechnológia alkalmazhatóságát kockáztató tényezők Magyarországon ...	40
ÖSSZEGZÉS	43
2. DRÓNRENDSZEREK BIZTONSÁGOS ÜZEMÉT BEFOLYÁSOLÓ RÁDIÓFREKVENCIÁS INFOKOMMUNIKÁCIÓS TÉNYEZŐK	44
BEVEZETÉS	44
2.1. A vezeték nélküli távvezérelt légijárművek információtechnológiai fejlődése ...	45
2.2. Drónrendszerek logikai architektúrája.....	45
2.3. Drónrendszerek peer to peer kommunikációs megoldásai	51
2.4. A P2P kommunikációs technológiák elemzése	54

2.5. Rádiós alrendszerek üzemzavara	59
ÖSSZEGZÉS	62
3. A KATASZTRÓFAVÉDELMI, KUTATÁS-MENTÉSI DRÓNRENDSZEREK ÉS A KATASZTRÓFÁK KAPCSOLATI ÖSSZEFÜGGÉSEI.....	65
BEVEZETÉS	65
3.1. Katasztrófahelyzetekben és kutatás-mentési feladatok során alkalmazható drónrendszer összetevői	65
3.1.1. A Katasztrófaesemény típusa – első pillér.....	66
3.1.2. A katasztrófavédelmi, kutatás-mentési feladatra alkalmazható drónrendszer – második pillér.....	71
3.1.3. A katasztrófavédelmi és rendészeti feladatvégzések humán összetevői – harmadik pillér	80
3.2. Katasztrófaspecifikus drón – kapcsolati mátrix kialakítása	82
3.2.1. Tűzvészek, tüzek okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támog....	83
3.2.2. Veszélyes anyag okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támog.....	86
3.3.3. Árvíz, belvíz okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támogatása...	91
3.3.4. Földrengés, földcsuszamlás okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támogatása.....	94
3.3.5. Járvány okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támogatása	96
ÖSSZEGZÉS	98
4. SPECIÁLIS DRÓNKOMPONENS ALKALMAZÁSÁNAK VIZSGÁLATA A KUTATÁS-MENTÉS FOLYAMATOKBAN	99
BEVEZETÉS	99
4.1. Objektumfelismerő alkalmazás.....	100
4.1.1. Emberi alakzat felismerő algoritmus vizsgálata	101
4.1.2. Objektumfelismerő algoritmus integrálása hőkamerával	103
4.1.3. Testhelyzetfelismerés vizsgálata kombinált hőkamerával.....	106
4.1.4. Hőkamrás alakzatfelismerés vizsgálat eltérő környezeti hőmérs. mellett ..	108

4.2. Rádiófrekvenciás kereső drónkomponens vizsgálata	109
4.3. Mobiltelefon felederítő rendszer.....	112
4.3.1. Az SOS-SSID rendszer felépítése.....	112
4.3.2. Vészjelző adóállomás felépítése	113
4.3.3. A felderítő drón felépítése	114
4.3.4. Földi irányítóközpont felépítése	115
4.4. A vizsgálati helyszínek	116
4.4.1. A vizsgálati terület programozott útvonaltervezése.....	116
4.4.2. Vizsgálati módszerek.....	117
4.4.3. Vizsgálatok sűrűn lakott övezetben – első mérési helyszín.....	118
4.4.4. Vizsgálatok nyílt, gyéren lakott terepen - második mérési helyszín	119
ÖSSZEGZÉS	120
ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK.....	122
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	125
AJÁNLÁSOK, JAVASLATOK.....	126
IRODALOMJEGYZÉK	127
A TÉZISPONTOKHOZ KAPCSOLÓDÓ TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK.....	144
ÁBRAJEGYZÉK.....	146
TÁBLÁZATJEGYZÉK.....	148
RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK.....	149
MELLÉKLETEK.....	151
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	156

BEVEZETÉS

Az elmúlt két évtizedben a technikai modernizáció elfogadása és a technológiai megoldások társadalmi beágyazottsága jelentős méreteket öltött. A pilóta nélküli légi járművek, köznyelven drónok technológiája mára kilépett a hadászati alkalmazás közegeiből és egyre több területen sikerrel alkalmazzák. Elmondható, hogy napjainkra az egyik legdinamikusabban fejlődő iparágga nőtte ki magát. A mikroelektronikai, finommechanikai és informatikai rendszerek fejlődésével a drónok tudása, de leginkább megbízhatósága olyan szintre emelkedett, ami túlmutat a szabadidős célú felhasználásokon. Magyarországon a közszolgálati drónalkalmazás rövid múltra tekint vissza, de a 2021-ben megszületett drónszabályozás inspirálta a résztvevőket, hogy egyre intenzívebben kezdjenek el alkalmazási lehetőségeket keresni és drónokat alkalmazni saját feladatuk ellátására [1]. Magyarországon leginkább a Rendőrség alkalmazza látványos sikerrel a repülőeszközöket általános közlekedésbiztonsági feladatok támogatására. Az ilyen jellegű feladatvégzések többnyire jó előre tervezhetők, ellentétben a katasztrófavédelmi és rendészeti feladatok egy részével, ahol a drónos műveletek tervezhetőségét, szervezését, sikerességét és kimenetelét rendkívül sok tényező befolyásolja [2]. A 2012-ben megújított katasztrófavédelmi törvény alapján megalakult katasztrófavédelemi szervezet és a katasztrófavédelem rendszere folyamatosan fejlődött, hatásköre és jogköre is bővült. Az elvégzendő feladatok egyre növekvő száma viszont újabb és újabb kihívásokat eredményez a sikeres és eredményes teljesítéshez, ami viszont egyre több innovációt, erőforrásigényt von maga után [3]. A dróntechnológia felhasználási területe a fejlettség jelenlegi szakaszában alapvetően rendkívül sokrétű lehetne, ennek ellenére még mindig az általános vizuális információszerzés a legelterjedtebb. A feladatspecifikus képességek számos olyan további lehetőséget rejtenek magukban, melyek jelenleg kiaknázatlanok. Ezen eszközök alkalmazása hatalmas előnyökkel járna rendkívüli helyzetben, mind a katasztrófavédelmi szervezet tevékenységében, mind pedig a katasztrófavédelem komplex rendszerében. A dróntechnológiai újítások bevonása magasabb szintre emelné a tervezhetőséget és a sikeres műveletek számát. Korábbi kutatásim eredményeit figyelembe véve meggyőződésem, hogy a megfelelő dróntechnológia és a drón „tudásának” megfelelő kiválasztása minden egyes szakmai területen nagymértékben javíthatná a rendszer eredményességét és produktivitását.

Korábbi munkáim számos tudományterülettel kapcsolhatók össze, mint például műszaki tudományok és biztonságstudomány, ezért megalapozva kutatási területemet, célszerű feltárni az eddig nem ismert összefüggéseket a fejlett drónrendszerek, valamint azok rendészeti és katasztrófavédelmi alkalmazási lehetőségei között és új összefüggések felismerésével teszek új tudományos megállapításokat. Ennek okán kutatásaim egyik alapcéljaként szükségesnek látom feltárni, rendszerezni azokat a témát érintő területeket, melyek meghatározzák egy-egy drónnal támogatott rendészeti és katasztrófavédelmi feladat összetevőit.

Kutatásom második célja megvizsgálni azokat a rendkívüli helyzeteket, katasztrófavédelmi helyzeteket és eseményeket, melyeknél a drónos műveletek nemcsak az eddig ismert és természetessé vált vizuális segítséget adhatják, hanem egyéb más – eddig nem alkalmazott – módon is képesek támogatni a tevékenységeket. Kutatásaim során megvizsgálom, hogy létrehozható-e egy kapcsolati tér, mely a katasztrófavédelem rendszerében alkalmazott feladatok és a drónrendszerek összefüggésében értelmezhető. A vizsgálatok területei érintik a drónrendszereket, informatikai rendszereket, katasztrófavédelmi szervezet tevékenységeit, katasztrófatípusokat és jogi szabályozásokat. Megelőző elméleti kutatómunkám során igény mutatkozott a funkcionális és technikai eszközinnovációs megvalósíthatóság vonulatának erősítésére.

Kutatásom harmadik célja egy általam fejlesztett drónkomponens hatékonyság vizsgálata, amelynek elvi és gyakorlati megvalósítása nagy segítséget nyújthat rendészeti feladatok támogatására. Célul tűztem ki, hogy olyan tudományos munka szülessen, amely megfelelő alapot ad a drónok rendkívüli helyzetekben való alkalmazási területeinek további vizsgálatára, elemzésére és tudományos igényű, gyakorlatorientált kutatására.

A kutatásomhoz és disszertációmhoz nyílt forrásból származó információkat használtam fel. A kutatásomat 2021. 06. 28-án fejeztem be.

A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

A dróntechnológia polgári célú alkalmazása jelentős változáson ment át az elmúlt években. Ahogy az egész világon, Magyarországon is nőtt a drónhasználat. 2021-ben 70-80 ezerre becsülték a regisztrált és nem regisztrált drónok számát. Jelenleg a szabadidős célú felhasználás teszi ki a gépállomány használatának 90%-át, a kereskedelmi alkalmazás 9%-ot és összesen csak 1% a közszolgálati szektor által üzemeltetett drónok száma [4] [5]. Magyarországon a közszolgálati drónokat a rendőrség alkalmazza nagyobb százalékban. A katasztrófavédelmi szervezetek és a kutató-mentő társszervek jelenleg csak egy-két olyan saját drónnal rendelkeznek, amely éles helyzetben bevethető és valamilyen katasztrófavédelmi szervezeti, rendészeti feladatot képes ellátni. Ahhoz, hogy ez az arány javuljon, meg kell vizsgálni az okokat a katasztrófavédelmi- és kutató-mentő szervezetek vonatkozó tevékenysége, a szervezeteken belüli általános szemlélet és az alkalmazható dróntechnológia tekintetében. Egy előre nem tervezett katasztrófavédelmi művelet kimenetelének sikeressége a jó és kevésbé jó döntések meghozatalán múlik, amit befolyásol többek között az információk hitelessége, mennyisége, pontossága és beérkezésük gyorsasága. Minél kevesebb információ és adat áll rendelkezésre, annál valószínűbb a hibás döntés, ezért minden olyan technológiát be kell vetni, mely elősegíti, hogy az adott körülmények között ideális döntést hozhassunk. A jelenlegi helyzetet értékelve, a lehetőségeken túlmenően is kutatni kell azokat a még nem ismert felhasználási körülményeket, feladatokat és eszközinnovációkat, amelyek tovább növelhetik a drónrendszerek alkalmazási lehetőségeit. Mindezen összetevők ismeretében fontosnak tartom a konkrét rendészeti, katasztrófavédelmi kompetenciák, feladatok során alkalmazható feladatspecifikus drónrendszerek hatékonysági vizsgálatát, tesztelését és a rendszerbe való beállításának lehetőségét is.

Tudományos kutatásom kiterjed egy drónkomponens fejlesztésére is, mely rendkívüli helyzetekben, vagy katasztrófahelyzetben eltűnt, bajba jutott személy(ek) felkutatásának elősegítésére alternatív támogatást nyújthat. A komponens kifejlesztése során figyelembe veszem az alapkutatásom során felmerült – a konkrét témával kapcsolatos – releváns problémákat, illetve korábbi fejlesztéseim, tapasztalataim ismeretanyagát. A vizsgálatokat labor- és szimulált környezetben végzem el, az eredmények hitelessége érdekében.

AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI

- Megvizsgálni a nem katonai felhasználású drónok témakörét a katasztrófavédelmi és kutatás-mentési feladatokra való alkalmasság tekintetében
- Megvizsgálni a katasztrófavédelmi és rendészeti ágazatok vonatkozó tevékenységeit, feladatköreit, az azokat támogató drónhasználat szempontjából
- Megvizsgálni a katasztrófavédelmi és kutatás-mentési feladatokat támogató drónokkal szemben támasztott követelményeket
- Feltárni azokat a katasztrófavédelmi és kutatás-mentési feladatvégzéseket, amelyekben a drónos műveletek támogathatják egy bajba jutott személy felkutatásának esélyeit
- Elemezni a katasztrófák és katasztrófaesemények típusait
- Áttekinteni a drónhasználattal kapcsolatos törvényi szabályzókat műszaki szempontok figyelembevételével
- Áttekinteni a Katasztrófavédelem működésével kapcsolatos törvényi szabályzókat műszaki szempontok figyelembevételével
- Megvizsgálni a drónrendszerek üzemeltetését, biztonságát érintő és befolyásoló külső tényezőket, különös tekintettel a rádiófrekvenciás infokommunikációs egységek tekintetében
- Feltárási a drónrendszerek kommunikációs megoldásainak jelenlegi és jövőbeni lehetséges alternatíváit
- Megvizsgálni a drónok tájékozódásához és ütközésmentes irányításához szükséges szenzorrendszerek összetételét
- Kidolgozni egy vizsgálati teret, amiben meghatározható a katasztrófaspecifikus drón fogalma és ezek összetevői
- Javaslatokat tenni katasztrófavédelmi és kutatás-mentési műveleteket támogató feladatspecifikus drónkomponens alkalmazására
- Megvizsgálni azokat a lehetőségeket és a lehetőségek ötvözését, melyek drónkomponensként támogatják egy bajba jutott személy felkutatását
- Hatékonyságvizsgálatot végezni és igazolni egy saját tervezésű drónkomponensen a katasztrófavédelmi feladatellátás aspektusából
- Elvi megoldásokat adni és javaslatot tenni a saját tervezésű drónkomponensek alkalmazási lehetőségeiről

A TÉMA KUTATÁSÁNAK HIPOTÉZISEI

A következő hipotéziseket fogalmaztam meg:

Hipotézis I.

Feltételezem, hogy megalkotható egy olyan struktúra, amely tartalmazza a katasztrófavédelmi és kutatás-mentési feladatokat befolyásoló műszaki tényezőket, és a műveletek során felhasználható drónrendszerek kapcsolatát.

Hipotézis II.

Feltételezem, hogy meghatározhatók a drónrendszerek biztonságos üzemeltetését befolyásoló tényezők közül, az infokommunikációs alrendszerek csoportjába tartozó azon megoldások, melyek alkalmazhatók a katasztrófavédelmi feladatok ellátása során.

Hipotézis III.

Feltételezem, hogy a nevesített katasztrófa típusok időbeli struktúrájához egyértelműen meghatározható egy olyan kapcsolati mátrix, mely tartalmazza a feladatvégzés ellátására alkalmas drónosztályt, típus besorolást és a hozzájuk rendelhető drón komponenseket.

Hipotézis IV.

Feltételezem, hogy megalkotható egy olyan hibrid felderítő – rádiófrekvenciás összetevőt is tartalmazó – drón-komponens, amely alkalmas a mobilhálózatoktól függetlenül felderíteni a segítségnyújtásra szoruló személy mobil készülékének tartózkodási helyét, kiegészítve a hagyományos és az infravörös képalkotás lehetőségével.

KUTATÁSI MÓDSZEREK

Értekezésem elkészítése során elsősorban a drón témakörben született műszaki kutatási eredmények tanulmányozását, feldolgozását és elemzését tűztem ki célul. A téma sokrétősége indokolja más tudományterületek összefüggéseinek feldolgozását is. Az értekezés egy részében a már létező és publikált tudományos eredményekre alapozva keresem, melyek a drónalkalmazások katasztrófavédelmi célú hasznosítási lehetőségei. Kutatómunkám során feltérképezem a vonatkozó tématerületet kvalitatív, kvantitatív és empirikus módon. Tudományos cikkek, esettanulmányok, interjúk és saját gyakorlati mérések, vizsgálatok eredményeit használtam fel a meghatározott célok eléréséhez.

A kutatómunka meghatározóbb módszerei:

1. Kutatómunkám kezdetén a témát érintő alapinformációk gyűjtését és rendszerezését végeztem a hazai és nemzetközi katasztrófavédelmi szervezetek nyilvánosan elérhető publikált adataiból.
2. Irodalomkutatást végeztem a drónrendszerekről nyílt forrásból elérhető hazai és idegennyelvű publikációk, szabványok, rendszerdokumentációk és a vonatkozó jogszabályok tekintetében.
3. Interjúkat készítettem, konzultáltam a kutatásom témakörét érintő szervezetek munkatársaival, többek között a katasztrófavédelem, távközlés és informatika területén.
4. Gyakorlati kutatást és összehasonlító elemzéseket végeztem a vezeték nélküli hálózatok alkalmazási sajátosságainak feltérképezésére.
5. Esettanulmányokat olvastam és közösségi média videótartalmakat elemeztem, és dolgoztam fel.
6. Áttekintettem a drónhasználattal kapcsolatos hazai és nemzetközi jogszabályi környezetet, valamint a Katasztrófavédelemre vonatkozó, releváns törvényeket, szabályokat, utasításokat és intézkedéseket.
7. Vizsgálatokat, méréseket, kísérleteket hajtottam végre az általam tervezett, megépített drónon és a drónkomponensen, melynek vizsgálati eredményeiből következtetéseket vontam le.
8. Megfigyeléseket végeztem a napi mérnöki és oktatói munkám során, mely lehetőséget adott a téma aktualitásának fenntartására.

Alaki és formai megjelenés

A szakirodalomból felhasznált részeket, ábrákat, képeket értekezésem törzsszövegében, az előfordulás sorrendjében, a műszaki szakirodalmi hivatkozásoknak megfelelően [szögletes zárójelben], arab számokkal ellátva alkalmaztam és az „Irodalomjegyzék” fejezetcím alatt rendeztem. Az értekezésemben megjelenített ábrákat a forrás megjelölésével az Ábra jegyzék című fejezetben, a táblázatokat a forrás megjelölésével a Táblázat jegyzék fejezetben soroltam fel. Az értekezés végén a folyószövegben előfordult rövidítéseket abécé rendszerben a Rövidítések jegyzék alatt soroltam fel. A mellékletek részben a törzsszövegben hivatkozott mellékletek kerültek elhelyezésre.

1. A KATASZTRÓFAVÉDELMI SZERVEZETEK ÉS A DRÓNTECHNOLÓGIA KAPCSOLATA

Általánosan elmondható, hogy a katasztrófavédelmi szervezetek műveleti feladatai elsősorban gyakorlatias, problémacentrikus hozzáállást követelnek meg. A döntéshozatal azonnali és sok esetben megmásíthatatlan, ami tükrözi a feladat nehézségét. Úgy gondolom, hogy a valós idejű döntések soha nem lesznek tökéletesek, ezért a hatékonyság és biztonság érdekében minden olyan technológiát be kell vetni, mely elősegíti, hogy az adott feladatvégzéshez az megfelelő döntést meghozhassuk. Ehhez viszont meg kell ismerni minden tényezőt, amely támogatja azt, s melyek alapján az ágazat tevékenységei és a dróntechnológia alkalmazási lehetőségei kapcsán olyan fogalmi meghatározások és összefüggések állíthatók fel, melyek elemzésével meghatározható egy vizsgálati tér, melyben értelmezhető a rendkívüli helyzetekben alkalmazható drónok köre. A fejezetben tárgyalom a releváns dróntechnológiai ismereteket és terminológiákat, katasztrófavédelmi szervezetek tevékenységeit, valamint katasztrófák jellemzőit.

BEVEZETÉS

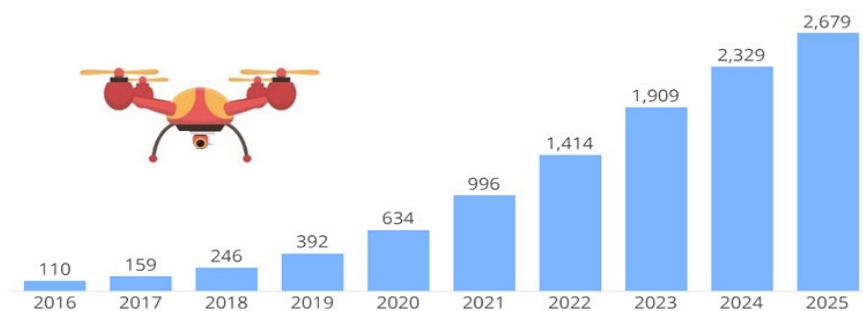
A katasztrófavédelmi, rendészeti szervezetek és mentőalakulatok tevékenységeit, a feladatvégzések tervezhetőségét, szervezését, a műveletek végrehajtását rendkívül sok tényező befolyásolja. Az alkalmazott technológia fejlettsége, annak ismerete és kihasználtsága rendkívüli hatással van a végső kimenetelre és annak sikerességére. A drónrendszerek fejlődése, az eszközök tudása magával hozta az alkalmazási lehetőségek egyre gyorsabb kiszélesedését is, ami a katasztrófavédelmi műveletek egy részében már jelen van. A technológia jelenleg többnyire egy kiegészítő lehetőség, mely nem pótolja a bevált módszereket, csupán a felhasználók látókörét tágítja. A drónalkalmazások felhasználási lehetőségei szélesíthetők, ha feltárjuk a lehetséges fejlődés irányait, megkeressük azokat a feladattípusokat, melyben az eddigi drónos műveletek nem voltak ismertek. Amennyiben a sokféle technológia közül a megfelelőt választjuk minden egyes szakmai területre, jelentős mértékben javíthatnánk az eredményességet. Ennek értelmében, felállítható egy vizsgálati tér, melynek alappillérei meghatározzák az egy-egy adott feladatra alkalmas feladatspecifikus drón- és drónrendszer fogalmát.

1.1. A dróntechnológia alapfogalmai

A pilóta nélküli repülőgép olyan repülőeszköz, melynek fedélzetén nincs szükség pilótára, és valamilyen ön- vagy távvezérléssel, illetve a kettő kombinációjával irányítható. A drone (drón) kifejezés egy gyűjtőfogalom. A Cambridge-i értelmező szótár szerint az eszközök által keltett hanghatás miatt adhatták az elnevezést, eszerint alacsony szintű, monoton, folyamatos zajforrás, mint például méhek, rovarok duruzsolása, zöngése. Éppen emiatt minden olyan járművet, amelyet vezeték nélküli távirányítással irányítunk – függetlenül attól, hogy az a földön, vízen, vagy a levegőben működik – általánosságban drónnak nevezünk. A drónokra használt általános kifejezések nemcsak a fogalmak egyszerű magyarázatát képviselik, hanem a technológia fejlődéstörténetét is követik. Ugyanis a meghatározásokat általában az újabb technológiák megjelenése következtében naprakészé kell. Példaként: a második világháború előtt az első kifejezések között már megtalálható volt a drón, majd később, a hetvenes évektől napjainkig a következő elnevezések váltották egymást: 1973 és 1990 között távirányított repülőeszköz (Remotely Piloted Vehicle, továbbiakban: RPV). 1990-től pilóta nélküli légi jármű (Unmanned Aerial Vehicle, továbbiakban: UAV), amely nem hordoz fedélzetén személyzetet, aerodinamikai erőket használ a jármű megemeléséhez, autonóm vagy távvezérelhető, szükség esetén feláldozható. A 2000-es évektől használatos fogalom a pilóta nélküli légi rendszer (Unmanned Aircraft System, továbbiakban: UAS), illetve a távirányítású repülőgép-rendszer (Remotely Piloted Aircraft System, továbbiakban: RPAS) [6]. A polgári szférában való elterjedés óta ismét visszakerült a köznyelvben egyszerűbben érthető és beszédesebb drón megnevezés, ezért értekezésemben az UAV, UAS meghatározások mellett leginkább a drón kifejezést használom [7] [8].

A drónok történeti áttekintéséhez, a drónok és drón-rendszerek átláthatóságához először vissza kell tekinteni a múltba odáig, ahonnan elkezdődött és fejlődésnek indult ez a technológia. A dokumentumok szerint 1849. július 2-án az osztrák seregek az SMS Vulkán gőzhajóról felengedett és 25-30 kg robbanóanyaggal töltött papír léggömbökkel támadták meg az olaszországi Velence városát. Az úgynevezett ballon-bombák az időjárás kiszámíthatatlansága, a technikai „fejletlenség” miatt nem feleltek meg az irántuk támasztott elvárásoknak, de ennek ellenére a légitámadásoknak ez az első próbálkozása akkoriban úttörő jelentőségű volt, valamint elgondolása is messze megelőzte a kor akkori technikai lehetőségeit. A drónok rádiótechnikai irányítással történő korai változatának következő jelentősebb bevetése az első világháború közepén,

1916-ban következett be, amikor a DH82B Queen Bee nevű repülőeszközök kezdetben légi célpontként, majd nem sokkal később Hewitt-Sperry automata repülőgép torpedóként alkalmaztak. Az I. világháborút követő években egyre nagyobb hangsúlyt fektettek a pilóta nélküli repülőeszközök fejlesztésére, mivel hamar belátták, hogy pilótaáldozat nélkül is el lehet végezni különböző harcászati feladatokat. A következő technikai ugrást az 1930-as évektől az Amerikai Egyesült Államok (a továbbiakban amerikai) haditengerészet hajtotta végre a Project Fox elnevezésű, Curtiss N2C-2, PQ-8, PQ-14, TDN1, stb. típusú drónjaival. Ezek az eszközök már kamerával is fel voltak szerelve és akár harminc kilométer távolságról vezérelve támadást hajthattak végre. A drónok tömeges bevetésére azonban már nem került sor, mert a II. világháború véget ért. A fejlesztések a hidegháború alatt sem álltak le és napjainkra nemcsak a harcászatban fejlődött óriásit az eszközök tudása és felhasználási területe, hanem a polgári célú eszközöké is. (Természetesen a katonai és civil felhasználás között hatalmas különbségek vannak mind technológiai, mint pedig a felhasználás célja és fejlettségi szintje között is.) A gyorsuló ütemű globalizáció fokozatosan döntötte le a gazdasági és politikai korlátokat, a mikroelektronika és a kommunikációs technológiák fejlődése pedig gyors ütemben tette hozzáférhetővé széles közönség számára is a korábban kiváltságos csoportok, szervezetek, vállalatok által alkalmazott technológiákat [9].



1. ábra: A drónok globális piacának alakulása 2025-ig (darabszám ezerben) [10]

A civil felhasználás napjainkra már egy szerteágazó piaccá fejlődött, szinte bármilyen területen lehet drón-rendszereket alkalmazni, az eszközök tudása, technológiai felszereltsége elhatározás és pénz kérdése [11] [12]. A 1. ábra a globális dróneladások bevételét mutatja az elmúlt évi és előjelzett adatok alapján.

1.2. A drónok rendszerezése, csoportosítása

Amennyiben a drónokkal elvégezhető feladatokat tekintjük elsődleges kiindulási paraméternek, abban az esetben a drónok általános kategorizálását nem az osztályba sorolás és a műveleti kategória szerint érdemes csoportosítani. Természetesen a jogi értelemben vett kategorizálás is fontos, de kutatómunkám alatt szerzett információim szerint elsődlegesen a gép fizikai, műszaki paraméterei, amelyek meghatározzák a felhasználási területre való alkalmazhatóságot. Ennek alapján a következő csoportosítást célszerű vizsgálni:

- Felépítés (merev-, forgószárnyas és hibrid)
- Meghajtás módja (dugattyús belsőégésű, gázturbinás, elektromotoros)
- Irányítás, vezérlés módja (valós idejű, autonóm, kombinált)
- Fel- és leszállás módja (vízszintes, függőleges)
- Repülési jellemzők (sebesség, magasság, hatósugár, repülési időtartam szerint)
- Visszatérés módja (leszállással, ejtőernyővel, elfogóhálószerűen)
- Rendeltetési feladat (felhasználási terület, alkalmazás, „tudás”)

A gyártócégek a fejlesztések során folyamatosan változtatnak, javítanak a felsorolt paramétereken, amiből az következik, hogy a drónok műszaki tudásának határértékei is folyamatosan változnak, javulnak. A fenti besorolások tételei sokszor összefüggnek egymással, az egyik paraméter sokszor a másik függvénye, valamint egy drón alap fizikai, geometriai tulajdonságai alpból meghatározzák a felhasználási lehetőségeit. Eszerint a következő főbb felhasználási kategóriák alakíthatók ki: [13] [14] [15]

- Rekreációs / hobbi reptetés
- Csomagszállítás
- Fényképezés / filmkészítés
- Felderítés / kutatómunka
- Biztonsági feladatok
- Térképészet / 3D modellezés
- Közszolgálati feladatok

Drónok rendszerezése geometriai méret szerint

A méret alapján való csoportosítás talán a legkézenfekvőbb, és alapvetően minden civil felhasználású drónt kategorizál. A jogszabályokban foglaltak is leginkább eszerint

határozzák meg a besorolásokat. Ezek alapján általánosságban öt (mikro, mini, kis, közepes és nagy) kategóriát különböztetünk meg: [13]

A mikro kategóriába tartozó drónok felhasználásukat tekintve a két végletkategóriába sorolhatók. Egyrészt az olcsó játék kategória, ami alakját tekintve hasonlít csak a nagyobb testvéreihez, de működési paramétereiben meg sem közelíti azt. Illetve a professzionális (titkosszolgálati), vagy valamilyen kutatási célt szolgáló, esetleg kísérleti drón. Ebbe a kategóriába tartozó drónok geometriai mérete maximálisan 50 cm lehet.

A mini kategóriába tartozó drónok a legelterjedtebbek. Méretük megegyezik az átlagos hobbidrónok méretével. Ez már több polgári feladat ellátására is alkalmas. Például filmfelvétel, rendfenntartás, katasztrófavédelmi feladatok, térképészeti felmérés. Ebbe a kategóriába tartozó drónok geometriai mérete maximálisan 50 cm lehet.

A kis kategóriába tartozó drónoknak méretüket tekintve 50 cm és 200 cm között kell lenniük. Itt már a géptest kialakítására vonatkozó forgószárnyas és merevszárnyas kategória is megjelenik. Ezek a drónok professzionálisabb távirányítással rendelkeznek és komolyabb feladatokat is képesek elvégezni.

A közepes kategóriába tartoznak azok a légi járművek, melyeket ember már nem tud felemelni. A merevszárnyas kategóriába tartozó drónok szárnyfesztség 5 és 10 méter között van, a teherbírása akár 200 kg is lehet. Ez a drónkategória sokkal nagyobb távolságot képes megtenni, mint a kisebbek, és a polgári felhasználás mellett már katonai célokra is alkalmazhatók.

A nagy kategóriába tartozó légi járművek mérete már összemérhető a pilótákkal ellátott repülőeszközökével. Polgári célú felhasználásban nem találhatók, kizárólag katonai felhasználásuk jellemző. Hatótávolságuk több száz kilométer is lehet, hasznos teherbírása 200 kg feletti. Geometriai mérete meghaladja a 10 métert [16] [17].

Drónok rendszerezése a fel- és leszállás módja szerint

A fel- és leszállás módjaként megkülönböztetünk két fő kategóriát és ezek keverékét:

- Vízszintesen fel- és leszálló (HTOL - Horizontal Take Off and Landing)
- Függőlegesen fel- és leszálló (VTOL - Vertical Take Off and Landing)
- Az előző kettő kombinálása

A HTOL, vagyis a vízszintesen fel- és leszálló drónok fel- és leszállásához szükséges a kifutópálya szükséges, illetve léteznek olyan drónok, melyeket felszálláshoz valamilyen kezdeti sebességet adó startgép szükséges. Ezek a drónok többnyire merevszárnyú sárkányszerkezettel rendelkeznek. Egy ilyen magyar fejlesztésű légitármű látható a 2. ábrán.



2. ábra: Uaviator – magyar fejlesztésű drón [18]

A VTOL, vagyis a függőlegesen fel- és leszálló drónok sok szempontból előnyösek, az egyik ilyen kedvező paramétere a le- és felszálláshoz szükséges hely mérete, amely ideális esetben nem sokkal nagyobb, mint a gép geometriai mérete. A 3. ábrán egy defibrillátort szállító hexakopter látható.



3. ábra: Forgószárnyas defibrillátort szállító hexakopter drón [19]

A hibrid gépek több szempontból is univerzálisnak mondhatók: a fel- és leszállás módja, a meghajtás típusa, és a sárkányszerkezet kialakítása. Ezek a légitárművek rendszerint merevszárnyúak, de meghajtásuk lehetővé teszi a vertikális fel- és leszállást például forgatható sugárhajtóművek segítségével.

Drónok rendszerezése a meghajtás módja szerint

A drónok levegőben tartása, meghajtása ugyanolyan elvek szerint működik, mint a pilóta által vezetett légi járművéké. Léteznek gázturbina meghajtású drónok is, de a polgári felhasználásban nem jellemzők, ezek leginkább a katonai felhasználású és a nagy kategóriába tartoznak. A légszárny meghajtást tekintve létezik toló és vonó kialakítású. Merevszárnyú drónoknál a géptest kialakítása határozza meg, melyik változatot alkalmazzák. A függőlegesen felszálló (VTOL) járműveket a köznyelvben helikoptereknek is szoktuk nevezni, ezek különböző elrendezésű, számú és kialakítású forgószárnyal rendelkeznek. A HTOL, merevszárnyú repülőgépek alapelve, hogy a géptest szárny szerkezete alatt és felett fellépő légnyomáskülönbség előre haladó mozgás közben felhajtóerőt generál. A VTOL-ok működési elve ugyanígy a légnyomáskülönbséget hasznosítja, azzal a különbséggel, hogy nem a jármű sárkányszerkezetén képződik a felhajtóerő, hanem a forgószárnyakon, köznyelvben rotorlapátokon. Helikoptereknél a géptörzs a rotor forgásának reakciónyomatéka miatt a rotorral ellentétes irányba mozdulna el, amit kompenzálni kell. Hagyományos helikopter felépítés esetén a rotor forgatásának reakciónyomatékát egy kisebb, vízszintes tengelyű faroklégszárnyal ellensúlyozzák. Egy másik megoldás, amikor kettő, vagy több egyforma méretű és szárnyfelületű forgószárnyat helyeznek el egymás felett (koaxiális elrendezésű rotor), illetve egy harmadik megoldás, amikor a gép tengelye mentén, hosszirányban, szimmetrikusan helyezik el. Ezt hívják tandem rotoros gépnek.

Polgári felhasználású drónok esetében jellemző a merevszárnyas vázszerkezet toló, vagy vonó légszárnyal, illetve a kizárólag forgószárnyas meghajtású drón. Ez utóbbi kialakítás jelenleg a legelterjedtebb. A géptesten szimmetrikusan helyezkednek el a forgószárnyak, és az egymással szemben lévő lapátok forgásiránya megegyező irányú, miközben az egymás mellett lévő forgószárnyak iránya egymással ellentétes forgásirányú. Az ellentétes irányból következik, hogy szárnykialakításuk is ellentétes dőlésszögű. A jelenkor legnépszerűbb polgári felhasználású drónjait több forgószárny emeli a magasba. (Ezek alapján is lehetne csoportosítani: Bikopter, Trikopter, Quadkopter, Pentakopter, Hexakopter, Oktokopter). A modern számítástechnika és finommechanika szintje eljutott oda, hogy a GYRO-stabilizált fedélzeti elektronika segítségével egyszerre tudják változtatni a forgószárnyak fordulatszámát, és ezzel növelni a könnyű manőverezhetőséget. Lényegében a mechanikai – és ezzel az üzembiztonsági – oldalról is nézve a rendszert, egyszerűbb a kialakítása, mint a hagyományos „rotoros”

helikoptereké, mivel a forgószárnyak dőlésszögét nem kell működés közben szabályozni. A hibrid drónok egyesítik a VTOL, HTOL, valamint a merevszárnyú és forgószárnyú drónok előnyös tulajdonságait. Ezeknél a repülőeszközöknél jellemzően elfordítható a légsavar forgástengelye, ezáltal a vízszintes irányú húzóerő függőlegessé változtatható és fordítva, de bonyolult rendszere miatt ezek a drónok a civil felhasználásban nem terjedtek el. A gázturbina meghajtású, valamint az elfordítható forgástengelyes légsavar a polgári célú felhasználású drónokat egyáltalán nem jellemzi sem hazai, sem világviszonylatban, ezért ezeket a későbbiekben nem vizsgálom [20] [21].

Drónok rendszerezése sárkányszerkezetük alapján

A drónok egyik legalapvetőbb csoportosítási formája a sárkányszerkezetük kialakítása, vagyis a levegőben tartózkodáshoz szükséges dinamikus felhajtóerő létrehozásának módja szerint történik. Eszerint két főcsoportra és ezek keverékére lehet osztani a drónokat:

- Merevszárnyas
 - Forgószárnyas
- } Ezek keveréke az úgynevezett hibrid

A merevszárnyas járművek általánosságban vízszintes fel- és leszállással (HTOL), míg a forgószárnyas kialakításúak függőleges fel- és leszállással (VTOL) jellemezhetők. A merevszárnyas pilóta nélküli repülőgépek igen változatos sárkányszerkezettel épülnek, amelyet alapvetően a végrehajtandó feladat és a terhelhetőség határoz meg. A szárny felülnézeti alaprajza szerint létezik egyenes, nyílazott, delta szárny, a szárny-törzs-vezérsík konfigurációja szerint pedig hagyományos, kacs- és csupaszárny elrendezés is. A szárny és törzs összekapcsolási helyének megfelelően alsó-, közép- és felsőszárnyú kialakítás jellemző. Annak ellenére, hogy a mindennapokban a függőleges felszállású drónokkal többet találkozunk, a vízszintesen felszálló pilóta nélküli járművek sokkal elterjedtebbek. Ez annak köszönhető, hogy technikai kialakításuk, irányításuk jóval egyszerűbb, hatótávolságuk, üzemidő, sebességük nagyobb, mint a függőlegesen felszálló gépeké. Éppen ezért bizonyos feladatok elvégzésére kimondottan ezek a géptípusok alkalmasak, hatékonyabbak [22] [21].

1.3. A drónhasználat törvényi szabályozása

Az európai drónpiac fejlődése az elmúlt tíz évben nem teljesítette azokat az elvárásokat, amelyeket az elemzők valószínűsítettek. A visszaesést a befektetési alapok helytelen elosztására, valamint a szabályozási nehézségekre vezették vissza. Az európai régió tőkebevonása 2012-2019 között töredéke volt az amerikai értékeihez képest. A nagyvállalatok egy része kivonult, ezzel a remélt térnyerés elmaradt. A helyzetet felismerve az EU fontos lépéseket tett, és létrehozott egy egységes európai piacot. Az uniós piac egyik akadályát jelentő országspecifikus szabályzókat egy egységes európai közös drónszabályozás létrejötte váltotta fel, ezzel lehetővé vált a pilóta nélküli légi járművek és légijármű-rendszerek szabad forgalomba bocsátása egyenlő versenyfeltételek biztosítása mellett. Ezt követően az EU ösztönözte az olyan kontingenst átszelő konzorciumok és projektek megvalósítását, mint az U-Space (új egységes európai drón irányításkészlet). Ennek következtében a téma újra erőre kapott. A piac újbóli fellendülése magával hozta a civil drónpiac erősödését és ezzel az állami pilóta nélküli légi jármű fejlesztések is megindultak [23].

A technológiai és a jogszabályi fejlődés sokáig nem tudott lépést tartani egymással. A technológiai fejlődés gyorsabban megtörtént, mint ahogy a jogalkotók ezt figyelembe tudták volna venni, így számos alkalommal előfordult, hogy joghézagok alakultak ki a drónhasználatban. A jogszabályi lemaradás főleg a civil drónok hobbi és kereskedelmi felhasználását nehezítette, de ezzel együtt az állami pilóta nélküli légijárművek alkalmazását is. A kezdeti jogszabályok, rendeletek már elavulttá váltak mind technikai, mind pedig a tevékenység gyakorlását tekintve. A legtöbb problémát a felkészületlen dróntulajdonosok elméleti tudásának hiánya, gyakorlatlansága, morális és erkölcsi hozzáállása okozta. Évekig csak a régi jogszabályok módosításával éltek, [24] majd Európában az Európai Bizottság megbízta az Európai Repülésbiztonsági Ügynökséget (European Union Aviation Safety Agency, a továbbiakban: EASA) a drónokra vonatkozó európai szabályozás kidolgozásával. Az elkészült egységes európai törvénycsomag (Commission Implementing Regulation) 2019-ben jelent meg és két rendeletet valósított meg [25].

- *BIZOTTSÁG (EU) 2019/945 FELHATALMAZÁSON ALAPULÓ RENDELETE – A pilóta nélküli légijármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légijármű-rendszerek harmadik országbeli üzemeltetőiről* [26]

- *BIZOTTSÁG (EU) 2019/947 VÉGREHAJTÁSI RENDELETE – A pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról* [25]

Az európai uniós (EU) rendeletekből, valamint a korábbi, magyarországi 1995.évi XCVII. légiközlekedésről [27] szóló törvény átdolgozásából megszületett a 2020. évi CLXXIX. törvény, az úgynevezett „dróntörvény”, amely 2021 január 1-én lépett hatályba. Ezzel Magyarország is eleget tett jogharmonizációs kötelezettségének. A drónszabályozás elfogadását követően további két kormányrendelet is elfogadásra került. A drónok üzemeltetésére és reptetésére vonatkozó új szabályokat megállapító jogszabálycsomag részeként: A 38/2021 (II. 2.) kormányrendelet a pilóta nélküli állami légi járművek repüléséről („Drónrendelet”), valamint a 39/2021 (II. 2.) kormányrendelet az egyes légiközlekedési tárgyú kormányrendeletek módosításáról [27] [28]. A kormányrendelet legfőbb célja a biztonságos drónhasználat elősegítése mellett a polgárok magánéletre és adatvédelemre vonatkozó igényeinek biztosítása is. Ezeken kívül a törvény tartalmazza a repülési szabályozásokat, eszközökkel szemben támasztott műszaki specifikációkat, az oktatási követelményeket és egyéb szabályozásokat.

A továbbiakban a jogszabályi környezetet és rendeleteket, mint mérnök vizsgálok, elsősorban a cikkekben és pontokban található műszaki paraméterek, valamint az üzemeltetésre vonatkozó szabályok figyelembevételével.

1.4. Pilóta nélküli civil és állami légi járművek

A pilóta nélküli légi járművek civil alkalmazása Magyarországon három nagy csoportra bontható:

- Pilóta nélküli játék légi járművek
- Pilóta nélküli légi járművek
- Pilóta nélküli állami légi járművek

Az első csoportba tartoznak a játék kategóriába tartozó repülőeszközök. A második csoportba tartozik minden olyan civil drón, amely szabadidős (hobbi), vagy kereskedelmi tevékenységet végez. A harmadik csoportba sorolhatók azok az alkalmazások, feladatvégzések, amelyeket az állami szervek, szervezetek közérdekből hajtanak végre. Ezeket együttesen nevezzük közszolgálati alkalmazásnak. Az állami légijármű alkalmazás irányulhat valamely szakfeladat hatékonyabb elvégzésére, például rendvédelem, környezetvédelem, határvédelem, segítségnyújtás és katasztrófavédelemi

tevékenységek. A második és harmadik csoport feladatkörei élesen nem különülnek el egymástól, lehet átfedés [7]. Annak függvényében, hogy milyen területen alkalmazunk egy ilyen rendszert, annak építőelemei nagyban el fognak térni egymástól, egészen a drón típusától, szerkezeti felépítésétől, méretétől kezdve, a feladat elvégzéséhez alkalmas kiegészítőig, mint például szenzorok, kamerák, de ide értjük a szoftveres támogatást is. Egy drónrendszer komplexitása az egészen egyszerű szabadidős rendszertől kezdve, a kereskedelmi tevékenységet, közfeladatot ellátó repülőeszközökön keresztül, a különböző tudományos kutatásokra alkalmazott, speciális tudással rendelkező struktúráig is terjedhet. Így tehát az alkalmazási terület nagyban befolyásolja, hogy milyen bonyolult rendszert is kell a valóságban létrehozni, mennyi összetevőből fog felépülni, milyen feladatokat kell elvégeznie és milyen pontossággal fogja megoldani a számára kitűzött célt. Éppen ezért a pilóta nélküli repülő eszközöket sokféle paraméter szerint lehet besorolni, csoportosítani. Sok esetben a fogalmak meghatározása terén sincs egyetértés abban, hogy melyik az elsődleges csoportosítási forma egy-egy tulajdonságra, funkcióra. Ennek a valószínű oka, hogy a drónok csak az elmúlt évtizedben terjedtek el és kerültek be a köztudatba, ezért még nem volt idő arra, hogy egy jól átgondolt szakmai besorolás kialakuljon [8].

A pilóta nélküli állami légi járművek esetén a drónos műveletek a szabadidős céltól egészen az állami szervek feladatvégzéséig terjednek, ennek értelmében a törvényi szabályozás a felhasználókat is rangsorolja. Az állami szerv feladata mindennel szemben elsőbbséget élvez. A 38/2021 (II. 2.) kormányrendelet szerint sem szabadidős, sem gazdasági célú drónos művelet nem jelölhető ki ugyanazon időszakra és légtérre, amennyiben állami szerv feladatának a végrehajtására kértek eseti légteret. Drónos műveletek rangsorolás szerint a következők:

- Állami szerv feladatának végrehajtása érdekében végzett művelet: a pilóta nélküli légijárművel valamely állami szerv vagy közfeladatot ellátó szervezet feladatának végrehajtása érdekében, az állami szerv vagy közfeladatot ellátó szervezet által vagy annak megbízásából végzett tevékenység
- Gazdasági célú művelet: a pilóta nélküli légi jármű megrendelésre vagy saját célra történő, gazdasági tevékenységként végzett vagy gazdasági céllal összefüggő használatát, ideértve különösen a filmforgatást, sajtótermékek előállítását vagy a kereskedelmi célból végzett képfelvételek készítését is.

- Szabadidős célú művelet: a pilóta nélküli légi jármű kedvtelési célú, gazdasági célú használatával össze nem függő, és nem állami szerv feladatának végrehajtása érdekében végzett használata [29].

A (38/2021. (II. 2.) Korm. rendelet szerint a pilóta nélküli légi jármű A1-B1 kategóriába sorolt eszközökre – ezzel együtt a katasztrófavédelmi célú felhasználású eszközökre is – vonatkoznak a kötelezettségek, mint például a dokumentumok megléte. (Üzemben tartó nyilvántartásba vétele, légi jármű műszaki dokumentáció és üzemeltetési utasítás, a pilóta nélküli állami légi jármű uniós jogharmonizációt végrehajtó jogszabályban rögzített követelményeknek való megfelelést igazoló CE jelölés, vagy a hatóságtól korábban megszerzett típusalkalmassági bizonyítvány, valamint a típusképzéshez és jártasság fenntartáshoz szükséges oktatási tematika.) De ugyanúgy szükséges a kockázatelemzés a végrehajtott műveletek egyedi jellemzői alapján, melyet a Hatóság hagy jóvá [23].

A nyílt, A2-es kategóriában a törvényhozó szerint a lakott terület vagy embertömeg feletti műveletvégzésre be kell szerezni az eseti légtér engedélyt, valamint szükséges minden érintett légtér hozzájárulása és a műveletvégzési kockázatelemzés elvégzése. Természetesen az állami célú repülések leginkább valamilyen munkavégzés céljából történnek, ezért a kategóriákhoz tartozó szabályoktól, műszaki követelmények megfelelésétől függetlenül elmondható, hogy a spontán speciális műveletvégzés (embertömeg, lakott terület felett végzett repülési művelet) engedély beszerzése gyorsabb és egyszerűbb, mint a nem állami felhasználású pilóta nélküli légi járművek esetén. Ilyen esetekben nem szükséges eseti légtér engedélyt kérni, mivel ezeket az eseményeket, valamint a drónműveleteket nem lehet előre tervezni, megjósolni. A 38/2021. (II. 2.) Korm. rendeletben foglaltak alapján mindig vannak kivételek. Az állami légi járművek tiltott légtérben is végezhetnek feladatot katasztrófa, veszélyhelyzet elhárítása, a nemzet biztonsága, a közrend és a közbiztonság fenntartása, helyreállítása érdekében, honvédelmi érdekek alapján, illetve kutatási célból [23].

1.5. Műveleti kategóriák és osztálybesorolás

Az EU 2019/945 rendelete, valamint a 2019/947 végrehajtási rendeletében foglaltak szerint a kutatást érintő drónhasználati szabályok értelmezése (kire és mire vonatkoznak) leginkább a drón geometriai méretétől, felszálló tömegétől és a drón által végrehajtható műveletektől (tudásától) függ. Ennek értelmében a végrehajtási rendelet 6. és 8. pontja

valamin a 3. és 7. cikke szerint a kockázati szinttel kapcsolatos kritériumok és az egyéb kritériumok alapján három műveleti kategóriát indokolt meghatározni: „nyílt”, „speciális” és „engedélyköteles” kategória.” Továbbá a nyílt kategóriába tartozó műveletek esetében további UAS-osztályokat, melyek a drónokra mint technikai eszközökre vonatkoznak.

- Nyílt (open) műveleti kategória: A1, A2 és A3 alkategóriákat és ezalatt üzemeltethető C0, C1, C2, C3 C4 drónosztályokat különböztet meg
- Speciális (specific) műveleti kategória: úgynevezett standard forgatókönyveket (STS-01, STS-02) nevez meg, C5, C6 drónosztályokban
- Minősített (certified) kategória: minden előírásban, feltételben a hagyományos légi járművekkel azonos előírásokat kell betartani

Nyílt műveleti kategória

A 2019/947 végrehajtási rendelet 8. pontja és 4. cikke szerint a nyílt kategóriába tartozó műveletek esetében a legkisebb kockázatot jelentő műveletek sorolandók. A műveletekhez nem szükséges előzetes engedély vagy pilótaengedély. A nyílt kategória meghatározása többnyire csak a műveletekre korlátozódna. Például megkövetelt a folyamatos rálátás a drónra, és embertömeg fölé nem szabad reptetni. De maximálja a repülési magasságot, vagy a drón felszálló tömegét. Ebben a kategóriában szabályozza a repülésművelet földrajzi területét és a tiltott övezet funkció betartását is. A nyílt kategóriában a drónok üzemeltetésére olyan korlátozásokat írnak elő, amelyek nem jelentenek szabályozásból eredő terheket és nem korlátozzák az innovatív felhasználást, ugyanakkor garantálják a külső személyek és tárgyak biztonságát. A kategóriában üzemeltethető drónok CE jelöléssel, valamint a drónosztálynak megfelelően C jelölést kapnak. A besorolások alól csak az úgynevezett játékdronok mentesülnek [30].

Játékdron alkategória

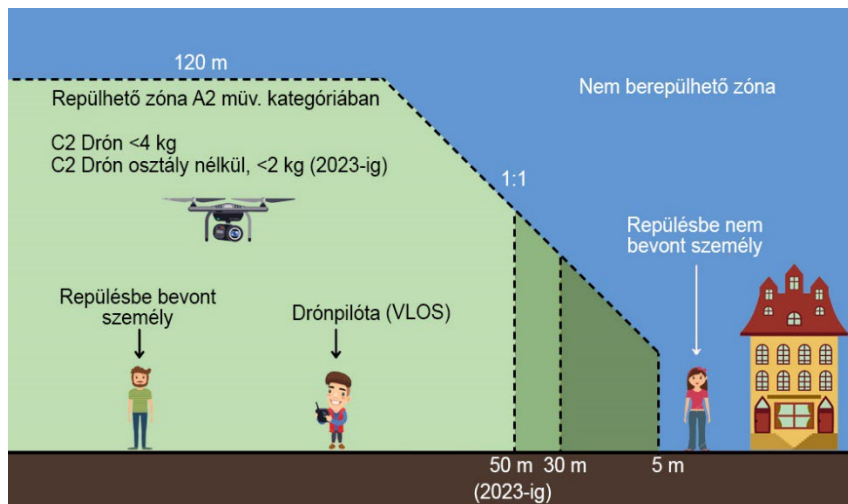
Az adott eszköz 100 méternél messzebb nem képes repülni a pilótától, a tömege nem haladja meg a 120 grammot és semmilyen vizuális (kamera) vagy egyéb adatrögzítési lehetőséggel nem rendelkezik. A felsoroltak közül bármelyik pont nem teljesülése, vagy megléte esetén már nem sorolható a játékok közé.

Nyílt műveleti kategória alkategóriák

A1-es műveleti alkategória: Idetartozik a C0-C1 osztálybesorolású eszközök üzemeltetésjogosultsága. A C0-ás osztályba sorolt és a házilag épített drónok tartoznak, melyeknek felszállótömege kisebb mint 250 gramm. A C0 osztálybesorolású, 250 gramm alatti gépekkel szabad a repülésbe nem beavatott személy felett elrepülni, de embertömeg felett tilos. A C1-es osztályba tartozó 900 gramm alatti, valamint az osztálybesorolás nélküli 500 grammnál kisebb tömegű drónokkal nem repülhetünk át a repülésbe nem beavatott személy és embertömeg felett.

A2-es műveleti alkategória: idetartoznak a C2-es osztálybesorolású, 4 kg-nál nem nagyobb tömegű és az osztálybesorolás nélküli 2 kg-nál kisebb tömegű drónok üzemeltetésjogosultsága. A kategóriában feltétel, hogy a C2-es osztálybesorolású, valamint az osztálybesorolás nélküli repülőeszközök nem reptethetők a műveletbe nem beavatott ember(ek) fölé. Az C2-es gépek esetén 50 méterre, az osztálybesorolás nélküli gépek esetén 30 méternél közelebb nem közelíthető meg a repülésbe nem beavatott személye. Amennyiben a gép rendelkezik alacsony sebességű üzemmóddal, abban az esetben 5 méter a minimum távolság.

A kategória minden esetben élesen elválasztható az A1 és A3-tól, mert kizárólag ebben a kategóriában van mód közel repülni az embertömeghez, épületekhez. A jogszabály szerint 2023. december 31-ig embertömeg és épületek közelébe csak a 2 kg-ot meg nem haladó drónnal repülhetünk. 2024-től pedig a C2 osztályba tartozó, 4 kg-nál nem nagyobb össztömegű drónok esetén tehető ez meg. Ez esetben emberek vagy embertömeg fölé repülni tilos, de a műveletbe nem bevont személyek 30 méterre megközelíthetők. Alacsony sebességű módban ez minimálisan 5 méter. Az osztálybesorolás nélküli, vagy házilag épített drónok esetén ez a távolság minimálisan 50 méter. A 4. ábra példaként szemlélteti az A2-es kategória C2-es osztálybesorolású repülés lehetőségét 2023. év végéig és azt követően [31].



4. ábra: A2-es műveleti kategória repülési szabályai C2-es osztálybesorolású repülés drónnal [31]
alapján készítette a szerző

A3-as műveleti alkategória: A kategóriába tartoznak a C2 - C4-es osztályba sorolt, 25 kg maximális felszálló tömeget meg nem haladó, valamint osztálybesorolás nélküli házilag építettek drónok üzemeltetése. A C2 - C3 osztályba sorolt eszközöknek rendelkezni kell aktív és aktualizált távoli azonosítási rendszerrel, valamint műholdas helymeghatározó rendszerrel is. További szabályok, hogy a repülésbe be nem vont személytől minimum 30 méter távolságot kell tartani betartva az 1:1-es szabályt, valamint a repülésbe be nem vont személy nem lehet közelebb, mint amennyit a drón a maximális sebességén két másodperc alatt megtesz. A kategória leszigorúbb rendelkezése a lakott, ipari vagy szabadidős területtől minimálisan 150 méter vízszintes repülési távolság betartása. Az A1 és A3 kategória biztonsági szempontból nagyjából azonos szintet képviselnek [25].

Nyílt műveleti kategória alá tartozó drónosztályok

Az egyes osztálybesorolásokat, valamint a hozzájuk tartozó műszaki követelményeket az (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete határozza meg. Ennek megfelelően a már korábban említett öt (C0 - C4), a nyílt kategóriában használható és további kettő, a speciális kategóriát érintő (C5-C6) drónosztályt határoz meg. A nyílt kategóriába tartozó drónműveletek esetében kell a legkevesebb feltételnek megfelelni ahhoz, hogy tevékenységet végezzünk. Ugyanakkor leginkább ebben a kategóriában korlátozott a végezhető műveletek köre és a drónok műszaki jellemzői, mint például geometriai méret, maximális felszállótömeg, navigációs képesség, szenzorok, érzékelők, kamera, adatrögzítés lehetősége.

A besorolást a gyártó rendeli hozzá a géphez, amit az eszközön feltüntet. Az öt osztályhoz tartozó fontosabb műszaki követelményeket a 1. táblázat foglalja össze. A civil felhasználású szabadidős, kereskedelmi és közfeladatot ellátó állami légi járművek többsége az öt osztály valamelyike alá sorolható [26] [32].

UAV OSZTÁLYOK	C0	C1	C2	C3	C4
Felszállótömeg	<250 g	<900 g, vagy max 80 J ütk. energia az emberi fejnek	<4 kg	<25 kg	<25 kg
Max geom. méret	-	<3 m		-	
Max. vízszintes repülés sebesség	19 m/s		nincs def. alacsony rep. módnak szüks.	-	
Követési mód max. távolság	50 m			-	
Max. repülési magasság	120 m		120 m vagy automata magasságkorlátozás		
Földrajzi helymeghatározás	-		van	-	
Közvetlen azonosítási képesség	-		van	-	
Adatkapcsolat- vesztes	-		Automatikus visszaállítás, vagy repülés megszakítás	Segítségnyújtás előre meghatározott rögzített helyzet ismeretében	
Fényjelzés	-		van	nincs specifikálva	

1. táblázat: Drónok osztályba sorolása a nyílt kategóriában [33] alapján készítette a szerző

A jelenleg forgalomban lévő gyári és épített osztálybesorolás nélküli, jelöletlen drónok az (EU) 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete alapján 2024. január 1-től az A1/A3 műveleti kategóriában repülhetnek.

Speciális műveleti kategória

A 2019/947 végrehajtási rendelet 9. pontja valamint 5. és 12. cikke, szerint a speciális, vagyis a közepes kockázatú kategória értelmében a tervezett művelet túllépi a nyílt kategória valamely korlátozásait az üzemeltetőnek minden esetben kockázatértékelést kell végezni, amely alapján a légiközlekedési hatóság jóváhagyja, vagy nem engedélyezi a műveletet. A speciális kategóriában B1, B2, C, D, E műveleti alkategóriák soroltak, amelyek meghatározzák például a 25 kg-ot meghaladó maximális felszállótömegű drónok

üzemeltetésére vonatkozó szabályokat, de ide tartozik a látótávolságon kívül végzett, vagy akár a 120 méter feletti repülési művelet is [26].

A speciális kategória a katasztrófavédelmi műveletvégzések szempontjából is valós, mivel elképzelhetők olyan helyzetek, ahol a nyílt kategória maximális rendelkezéseit meghaladja valamely fizikai paraméter. A C5-C6 drónosztályok úgynevezett standard forgatókönyvek szerinti műveletvégzésekhez tartozó osztálykövetelmények.

Speciális műveleti kategória alá tartozó standard forgatókönyvek

A 2019/947 végrehajtási rendelet 10. pontja a speciális kategóriára vonatkozóan további módosításokat hozott létre. Eszerint az alacsony kockázatú műveletek esetében, úgynevezett standard forgatókönyvet és részletes kockázatcsökkentő intézkedéseket határoztak meg. Például:

STS-01 forgatókönyv a látótávolságon belüli (Visual Line Of Sight, a továbbiakban: VLOS) lakott környezetben, 120 méter alatti, ellenőrzött földi területen belül, C5-ös osztályú drónnal végrehajtott műveletekre vonatkozik.

STS-02 forgatókönyv a látótávolságon kívül (Beyond Visual Line of Sight, a továbbiakban: BVLOS) és kiterjesztett szabad szemmel látva repülés (Extended Visual Line of Sight, a továbbiakban: EVLOS) ritkán lakott környezetben, a pilótától maximálisan 2 km-re eltávolodó, de légtérmegfigyelők jelenlétében, a földi terület felett maximum 120 m-es magasságig a C6-os osztályú UAV használatával végrehajtott műveletekre vonatkozik [26].

A kategória kiterjesztett osztályaira vonatkozó jellemző követelmények:

A C5 osztályban:

- Rögzített szárny nem engedélyezett
- A pilótának tudnia kell a drón magasságát a felszín vagy a felszállási pont felett
- A vízszintes és függőleges működési határértékek programozhatósága
- Kötelező a távoli motorleállító rendszer
- Programozható röppálya
- Jelminőség riport, motorleállás riport.

A C6 osztályban:

- Vízsíntes gépsebesség maximálisan 50 m/s (180 km/h) engedélyezett
- A pilótának tudnia kell a drón magasságát a felszín vagy a felszállási pont felett
- Vízsíntes és függőleges működési határértékek programozhatósága
- Kötelező a távoli motorleállító rendszer

Minősített (engedélyköteles) műveleti kategória

A 2019/947 végrehajtási rendelet 11-12. pontja és 6. cikke a minősített, engedélyköteles (magas kockázatú) kategória minden esetben engedélyköteles. Magában foglalja a nagy drónokkal végzett műveleteket ellenőrzött légterekben. Erre a kategóriára vonatkozó szabályok ugyanazok lesznek, mint a személyzettel való repülésnél. A drónokat légialkalmasságukra igazolni kell, hatósági tanúsítás alá kell vonni. A pilótáknak sokkal mélyebb elméleti és gyakorlati ismereteket szükséges elsajátítaniuk. Engedéllyel (jogosítvánnyal) kell rendelkezni. A drónoknak meg kell felelni az általános légijárművek tervezésére vonatkozó EU-s rendeletnek. A műveleti kategóriában (B, C, D, E) engedélyezett az embertömeg felett végzett repülés, személyszállítás, vagy akár veszélyes áruk szállítása is [34]. Ebben a kategóriában a katasztrófavédelmi, rendészeti, vagy mentőszervezetek által végzett drónos műveletvégzés nem releváns.

Az 2. táblázatban a nyílt, speciális és minősített műveleti kategóriák főbb alapjellemzője látható.

NYÍLT KATEGÓRIA	SPECIÁLIS KATEGÓRIA	MINŐSÍTETT KATEGÓRIA
Alacsony kockázatú működés	Nagyobb kockázatú működés	Hagyományos légijárművekkel azonos, nagy kockázatú működés
• Előzetes egyeztetés nem szükséges • Látótávolságon belül (VLOS) • Max. repülési magasság 120 m • Max. felszállótömeg <25 kg • A1, A2, A3 alkategória • CE és UAS-osztály jelöléssel ellátott UAV	• Speciális kategóriára vonatkozó kockázateértékelés alapján a hatóság által jóváhagyott működés • Standard forgatókönyvek • Könnyű UAV üzemeltetési tanúsítványokhoz tartozó privilégiumok • CE és UAS-osztály jelöléssel ellátott UAV használata egyes standard forgatókönyv szerinti végrehajtása	• UAV és az üzemeltető regisztrációja mellett eszköz tanúsítás is kell • UAV üzemeltető tanúsítás • A tanúsított UAV-nek meg kell felelni az általános légijárművek tervezése és gyártására vonatkozó EU-os rendeleteknek

2. táblázat: Műveleti kategóriák Magyarországon [30] alapján készítette a szerző

A kategóriák között nem éles az átmenet, de ha valamelyikben egy adott feltételnek eleget teszünk, akár a műszaki elvárásokkal, akár az üzemeltetéssel kapcsolatban, abban az esetben a kategóriát átlépjük.

Valós idejű drónvezérlés interakciói

Valós idejű drónvezérlés esetén három irányítási módot különböztetünk meg: (5. ábra)



5. ábra: Valós idejű drónvezérlés irányításának módjai [készítette a szerző]

VLOS: Szabad szemmel látva repülés esetén a drónpilóta folyamatos vizuális kapcsolatot tart fenn az UAV-val, vagyis a repülőgépnak mindig láthatónak kell lennie a pilóta számára, ezzel csökkentve az ütközés kockázatát más repülőeszközökkel, épülettel, növényzettel, tárgyakkal, emberekkel. A VLOS műveletek során a szemüveg, kontaktlencse használata engedélyezett, de a távcső használata már nem, mivel ezek a periférikus látást befolyásolhatják. A nyílt kategórián belüli összes műveletet VLOS feltételek mellett kell végrehajtani. Katasztrófavédelmi, mentési, rendészeti feladatok végrehajtás szempontból ez a repülési mód minden esetben megengedett. (A1-B1 műveleti kategória)

EVLOS: Kiterjesztett szabad szemmel látva repülés esetén a pilóta látókörén kívül, „kiképzett megfigyelők” segítségével lehet repülni, így a drón látótávolságon belül marad. A megfigyelők rádión keresztül továbbítják a kritikus repülési információkat, hogy segítsenek a pilótának biztonságos távolságot tartani. Az EVLOS műveletekhez külön légügyi hatósági engedélyre van szükség. Az adott kategórián belül a repülések csak a kockázátértékelésen alapuló működési engedély feltételei szerint hajthatók végre. Katasztrófavédelmi, mentési, rendészeti feladatok végrehajtás szempontból ez a repülési mód megengedett. (A1-B1 műveleti kategória)

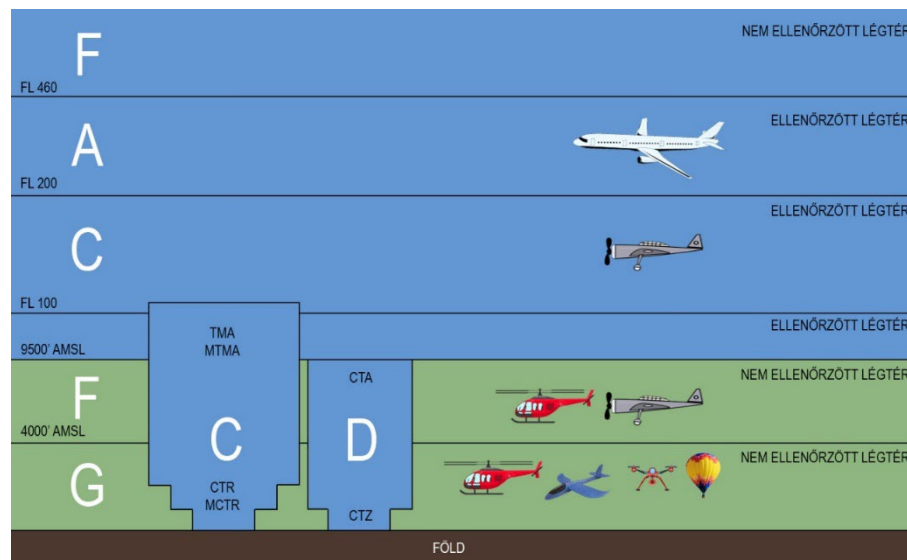
BVLOS: Szabad szemmel nem látva repülés esetén a pilóta a földi állomásról műszerek és valós idejű videókép segítségével vezérli a drónt. A BVLOS-t üzemeltetett UAV már nem rendelkezik a pilóta vagy a megfigyelő védelmével. A BVLOS műveletei rendkívül gondos tervezést, kockázatelemzést és műveleti forgatókönyvet igényelnek az üzemeltetőktől, és a repülési műveletet meg kell indokolni a légügyi hatóságok felé [35]

[36]. Katasztrófavédelmi szempontból a repülési mód a kockázatelemzést követően megengedett (C, D, E műveleti kategória).

Légtérhasználat Magyarországon

Magyarországon a 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet szabályozza a légtérhasználatot [19]. E szerint a légtér a földfelszíntől kezdődik és Magyarországon a Magyar Állam kizárólagos tulajdona. A légteret – a légi járművek elkülönítése szempontjából – A-G-ig osztályú légterekre osztjuk, attól függően, hogy milyen szigorúak a belépési feltételek. A légterek betűjelzése nemzetközileg szabályozottok. Az A-E osztályú légterek ellenőrzött légterek. Az F és G osztályú légterekben való repülés kockázata és felelősségvállalása leginkább a pilótáké. Idetartoznak a nyílt kategóriában működő pilóta nélküli légi járművek is. A légtér szerkezete a 6. ábrán látható. Ábramagyarázat:

- FL (Flight Level) – repülési magassági érték 100-zal szorozva (lábban)
- AMSL – közepes tengerszint feletti magasság (lábban)
- Repülőtéri irányító körzet, amely polgári (CTR) vagy katonai (MCTR) körzet
- Közelkörzeti irányítói körzet, amely polgári (TMA) vagy katonai (MTMA) körz.
- Egyéb polgári irányítói körzet (CTA)



6. ábra: A légtér szerkezete. [37] alapján készített a szerző

A katasztrófavédelmi feladatvégzés az állami célú légi közlekedéssel összefüggő feladatvégzésnek minősül, ezért korábban csak a katonai légügyi hatóság engedélyével végezheték feladatukat. Az új (38/2021. (II. 2.) Kormányrendelet értelmében a

műveletvégzéseket az állami pilóta nélküli légi járműre vonatkozó jogszabályban foglaltak alapján, valamint a „G” légtér osztályban tehetik meg [37].

Eseti légtérigénylés

Az eseti légtérigénylést a 38/2021. (II. 2.) Korm. rendelet foglalja össze és leginkább a magyar légtér igénybevételeiről szóló 4/1998. (I. 16.) Kormányrendelet legfontosabb változásait taglalja, ami szerint:

Lakott terület feletti drónhasználathoz eseti légtér kijelölése kötelező. A drónhasználat szabályai nem határozzák meg a lakott terület fogalmát, így arra a KRESZ általános szabályai irányadók. A légtér felső határa a talajszint felett legfeljebb 120 méterben határozható meg. Az eseti légtér kijelölése iránti kérelmet a tervezett használat előtt legalább harminc nappal a katonai légügyi hatósághoz (Honvédelmi Minisztérium Állami Légügyi Főosztály) kell benyújtani [38]. Eszerint eseti légtérrel kell kijelölni a légiközlekedés biztonságának fenntartása érdekében a következő esetekben:

- Ha törvény előírja (A törvény írja elő, Lt. 5. § (3) bekezdése alapján például a lakott terület feletti műveletek esetében)
- Ha az 2019/947 EU) rendeletben foglalt általános szabályok szerint nem hajtható végre a művelet

A magyar légtér igénybevételeiről szóló 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet szabályai szerint nem hajtható végre a művelet. Többek között:

- Védett létesítmények, védett személyek, kiemelten fontos létesítmények vonatkoztatási pontjától számított 200 méteres körzetben. (Háttérjogszabályok: 2012. évi XXXVI. tv.; 160/1996. (XI. 5.) Korm. rendelet, 24/1997. (III. 26.) BM rendelet).
- Forgalmi tájékoztató körzetben, kivéve, ha a repülőter üzemeltetője hozzájárult.
- Kiemelt nemzeti emlékhelyek, kijelölt európai és nemzeti létfontosságú rendszerelemek vonatkoztatási pontjától 500 méteres körzetben (Háttérjogszabályok: 2001. évi LXIV. tv; 2012. évi CLXVI. tv.)
- III. és IV. osztályú repülőterek vonatkoztatási pontjától számított 2 km sugarú körben, kivéve hozzájárulással.
- V. osztályú repülőterek vonatkoztatási pontjától számított 750 méter sugarú körben, kivéve hozzájárulással.

- Drope Zone légtérben annak üzemideje alatt, kivéve hozzájárulással és egyéb feltételek teljesülésével.
- Tiltott légtérben, (kivéve: katasztrófa, veszélyhelyzet elhárítása, a nemzet biztonsága, a közrend vagy közbiztonság fenntartása vagy helyreállítása érdekében, honvédelmi érdekek alapján vagy kutatási célból)
- Korlátozott légtérben, kivéve, ha teljesülnek az adott légtér igénybevételére vonatkozó előírások.
- Veszélyes légtérben és időszakosan korlátozott légtérben, annak működési ideje alatt.
- No Drone zónákban.

A törvény továbbá azt is szabályozza, hogy ellenőrzött légtérben 40 méteres magasságig lehet drónműveleteket végrehajtani. Nem szükséges légiforgalmi irányítói engedély, repülési terv, transzponder¹ és rádióberendezés sem. E felett már követelmény, hogy legyen repülési terv, transzponder, rádiós kapcsolat [39]

Korlátozott, vagy tiltott légtérhasználat

A hatóságok időszakosan, vagy tartósan lezárhatják a légi járművek előtt a légtér egyes részeit. A tiltás vonatkozhat az összes, vagy csak bizonyos légi járművekre. Ennek betartása saját felelősségre történik, megszegése szabálysértésnek, bűncselekménynek minősül. A drónok elterjedése és kezdetben nem kontrolált civil alkalmazása azt is jelentette, hogy a tudatlan felhasználók a jogszabályok és a repülési gyakorlat ismerete hiányában véletlenül, vagy szándékosan tiltott területre irányították gépüket. A probléma drasztikus megoldására az egyes régiók, országok úgynevezett nem repülhető területek (NFZ - No Fly Zone), (NDZ - No Drone Zone) elnevezésű fogalmakat hoztak létre, melynek célja az állandó légtérkorlátozás meghatározott létesítmények, területek felett. Magyarországon is több ilyen terület van, például a Parlament feletti légtér, vagy akár a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér és környéke [40]. Egy másik drónfelhasználást szabályozó, tiltó fogalom az úgynevezett virtuális kerítés (geofencing). Konceptiója szerint bizonyos kijelölt területekre a drón szoftvere akkor is megakadályozza a drón bejutását, ha a pilóta szándékosan, vagy nem szándékosan erre utasítást ad. A nem repülhető területek „listáját” egy adatbázis tartalmazza, melyet a dróngyártó cégek együttműködve az adott ország kormányával közösen hoznak létre. A repülési művelet

¹ A transzponder a repülésben használt radar-válaszjeladó berendezés

megkezdése előtt a drónrendszer letölti a tiltott területek adatbázisát (például: kormányzati létesítmények, honvédség, nemzetvédelmi objektumok, repülőter, sportlétesítmények, kiemelt magánterületek vagy ipari létesítmények). A technológia jelenleg már ott tart, hogy képes értesítést küldeni a hatóságnak a védett zónába való behatolási kísérletről. A házilag épített eszközökkel a repülés elől tiltott, vagy korlátozott területeket a drónpilótának kell figyelni és figyelembe venni [41].

MyDroneSpace alkalmazás

A HungaroControl által üzemeltetett mobilalkalmazás célja a drónos repülések ellenőrzése. A 2021. január 1-jén életbe lépett drónszabályozás szerint, amennyiben a repülés lakott területen kívül, nem eseti légtérben kerül végrehajtásra, akkor kizárólag a mydronespace mobilapplikáció segítségével szabad repülni. Az alkalmazással valós időben nyomon lehet követni a magyar légtérstruktúra aktuális állapotát, valamint a drónok számára tiltott vagy korlátozottan használható területeket [42].

Átmeneti rendelkezések

A jelenlegi szabályozás néhány eleme átmeneti időszakot is jelent. A 2019/947 rendelet 22. cikke értelmében a nyílt kategóriába tartozó műveletek tartalmazznak olyan pontokat, melyek érvénybe lépése többszöri hatályba lépés-tolást követően 2024-től valósul meg. Ilyen például a drónokon való géposztály jelzés [43]. Ezt követően az európai unió csak olyan drónok használatát engedélyezi, melyeknek van hivatalos osztályba sorolás jelölése. Ez azt is jelenti, hogy a jelenlegi gyári eszközök jelentős része 2024. január 1-től csak szigorúbb feltételek mellett használható. Az épített, típusengedéllyel eleve nem rendelkező drónok is szigorúbb feltételek mellett használhatók [44].

Törvényi szabályzók elemzése

A törvényi szabályzókat áttekintve megállapítottam, hogy a fent említett jelenleg hatályban lévő rendeletek és végrehajtási rendeletek az üzemeltetéssel, üzemben tartással kapcsolatos követelmények, valamint a drónok műszaki tartalmával, geometriai specifikációival és tudásával szemben megfogalmazott kategorizálás, osztályba sorolás részletesen meghatározottak és ennek köszönhetően jól definiált szabványosítás érhető el. Az úgynevezett dróntörvény hatályba lépése látszólag szigorította Magyarországon a 1995.évi XCVII. légiközlekedésről szóló törvényt. Megítélésem szerint, a legtöbb esetben inkább rugalmasabbá tette a spontán repülés lehetőségét. A gyakorlatban azt jelenti, hogy bizonyos esetekben (térben és időben) a drónos repülésekhez nem szükséges

eseti légtérengeledélyt kérni. Elegendő a MyDroneSpace online alkalmazáson keresztül egy légtérfoglalást benyújtani és így törvényesen hajthatunk végre nem tervezett drónos műveleteket. A törvényi szigorítás és a törvény betartatása azokat az új felhasználókat érinti, érintheti váratlanul, akik korábban nem betartva, vagy nem ismerve a hatályban lévő 1995.évi XCVII. légitörvényről szóló törvényt, reptettek RC távirányított repülőeszközöket, drónokat. Az új dróntörvény hatályba lépése a katasztrófavédelmi, kutató-mentő szervezeteknek is nagyobb szabadságot, több lehetőséget adhat arra vonatkozóan, hogy kontrolált körülmények között legálisan hajtsanak végre előre nem tervezett drónos műveleteket.

1.6. Drónos feladatvégzések és műveleti kategóriák kapcsolata

Megállapítottam, hogy a kategóriák között nem éles a határ, illetve akad olyan eset, amikor az adott drón valamely tulajdonsága indokolja a kategóriaváltást. Ilyen eset például, ha egy általánosságban nyílt kategóriába tartozó kis tömegű (900 gramm) C1-es osztályba tartozó drónnal akarunk tömeg felett légifelvételt készíteni. Ebben az esetben a nyílt C1-es kategória alá sorolandó gép átkerül az engedélyköteles kategóriába. Egy másik példa az iparbiztonságot érintve: vonalas létesítmények ellenőrzése (több kilométer hosszú felsővezeték, autópálya, védmű, folyó, nagy kiterjedésű erdős terület). Ebben az esetben a nyílt kategóriában tiltott úgynevezett BVLOS (nem látva repülés) valósulhat meg. Ilyenkor mindig szükséges a kockázatelemzés elvégzése szakértő bevonásával. Ebből következik, hogy a katasztrófavédelmi feladatvégzések sokrétűsége (kiterjedése, művelettípusa) miatt sem a műveleti kategóriák, sem a drónosztályok nem határozhatók meg egyértelműen. A drónokra, mint eszközökre és a műveletekre vonatkozó szabályzók, információk alapján létrehoztam egy összesítő táblázatot, amely a nyílt és a speciális kategóriákat tartalmazza, valamint az azokban a feladatvégzés szempontjából meghatározó paramétereket. A harmadik, vagyis a minősített, engedélyköteles kategóriába tartozó gépek, a szélsőséges paraméterük miatt megítélésem szerint az általános katasztrófavédelmi, kutatás-mentési feladatok támogatásában nem jellemzők. Ilyen például az embertömeg feletti, személyszállítást, a veszélyes áru szállítást magában foglaló műveletek, valamint azok az esetek, amikor a hatóság úgy ítéli meg, hogy a művelettel járó kockázatok csak a drón légialkalmassága tanúsításával csökkenthetők. Katasztrófavédelmi, rendészeti, vagy kutatás-mentési feladatokat ellátó drónok alkalmazása abban ez esetben tartozik az engedélyköteles kategóriába, amennyiben a

műveletvégzés embertömeg felett zajlik, illetve valamilyen szállítmányozás céljára alkalmazzuk a drónt, vagy arról tárgyat dobunk le. Ennek értelmében az EU 2019/945 rendelete, az EU 2019/947 végrehajtási rendelete, valamint a 38/2021. (II. 2.) kormányrendelet összegzéseként táblázatokot hoztam létre, amelyekben a kutatás szempontjából fontosnak tartott műszaki és üzemeltetéssel kapcsolatos paraméterek, értékek láthatók. A nyílt kategória főbb adatai a 3. táblázatban látható.

Drón osztály	Max. felszállótömeg	Vezérlés	Embertömeg feletti műv.	Max rep. magasság	A1	A2	A3
C0	250 g	VLOS	csak beavatott	120 m	igen	igen	igen
C1	900 g	VLOS	NEM	120 m	igen	igen	igen
C2	4 kg	VLOS	NEM	120 m	nem	igen	igen
C3	25 kg	VLOS	NEM	120 m	nem	nem	igen
C4	25 kg	VLOS	NEM	120 m	nem	nem	igen
-	≤ 500 g	VLOS	NEM	120 m	igen	igen	igen
-	>500 g ≤ 2 kg	VLOS	NEM	120 m	nem	igen	igen
-	< 2 kg ≤ 25 kg	VLOS	NEM	120 m	nem	nem	igen
2024.01.01-től							
-	≤ 250 g	VLOS	NEM	120 m	igen	igen	igen
-	> 250 g ≤ 25 kg	VLOS	NEM	120 m	nem	nem	igen

3. táblázat: Nyílt műveleti kategória főbb összefoglaló értékek [készítette a szerző]

A speciális kategóriára vonatkozó összesített adatok a 4. táblázatban olvasható.

Műveleti kategória	A1-A2	B1-B2	C	D	E
Felszállótömeg (kg)	>4	>4 <25	>25 <150	>150 <600	>600
Vezérlés üzemmód lehetőség	VLOS	VLOS	BVLOS	BVLOS	BVLOS
Embertömeg feletti feladatvégzés	nem	igen	igen	igen	igen
Ütközés figyelmeztető rendszer	nem	nem	igen	igen	igen
Kétirányú folyamatos rádiókapcsolat megléte	nem	nem	igen	igen	igen
Aktív transzponder	nem	nem	igen	igen	igen
Ütközést elkerülő, figyelmeztető rendszer	nem	nem	igen	igen	igen
Magasság, sebesség, WGS-84 földr.koörd.-rendszer meghat.	igen	igen	igen	igen	igen

4. táblázat: Speciális műveleti kategória főbb összefoglaló értékei [készítette a szerző]

Az összesített táblázatokban látható, hogy a nyílt kategória A1-A2 alkategóriába tartozó műveletek esetében a legkisebb kockázatot jelentő műveletek sorolandók, a műveletekhez nem szükséges előzetes engedély, viszont embertömeg felett és lakott területen belül csak előzetes légtérengedély beszerzésével lehet repülési műveletet végezni.

1.7. Drónhasználat a magyarországi katasztrófavédelmi és kutató-mentő szolgálatoknál

Magyarországon a Tűzoltóság és a Polgári védelem két teljesen külön szervezetként működött, majd 2000. január 1-jétől a két szervezetet megyei és országos szinteken összevonták, de helyi szinteken továbbra is egymástól különálló – önkormányzatok által működtetett – szervezetként üzemeltek. 2010-ben a kormányzat visszaállította a Belügyminisztérium rendszerét és minden rendvédelmi szervezetet maga alá vont, köztük a tűzoltóságokat is. A Katasztrófavédelemnél 2012. január 1-jén teljes egészében megtörtént az integráció és létrejött a BM OKF (Belügyminisztérium Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság). Felépítése az 1. számú mellékletben látható. A hivatásos önkormányzati tűzoltóságok (HÖT-ök) megszűntek létezni. Létrejöttek a hivatásos tűzoltó-parancsnokságok (HTP-k), melyek a katasztrófavédelem helyi szerveként működnek. Emellett létrejöttek a civil munkavállalókból álló Önkormányzati Tűzoltóságok (ÖTP) is, amelyek nem képezik részét a katasztrófavédelemnek [45]. A BM OKF felépítése az 1. számú mellékletben látható.

Az így kialakult katasztrófavédelem szervei:

- Országos szerv - Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság
- Területi szerv - Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóságok (MKI), valamint a Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság (FKI)
- Helyi szerv - Katasztrófavédelmi Kirendeltségek (Hatósági Osztályok, Hivatásos Tűzoltóparancsnokságok.)

A BM OKF-en három fő szakterület alakult ki:

- Tűzoltósági szakterület
- Polgári védelmi szakterület
- Iparbiztonsági szakterület

Mindhárom szakterület hatósági jogkörrel rendelkezik. Jogosultak közúti, vasúti, vízi, légi ellenőrzést végezni. A katasztrófavédelem akár a társszervekkel (rendőrség, Nemzeti Adó- és Vámhivatal, Nemzeti Közlekedési Hatóság stb.), akár társszervek nélkül önállóan is intézkedhet. Az intézkedéseket végző szakemberek igazoltatási jogkörrel is rendelkeznek és hivatalos személynek minősülnek, emellett supervisor-i jogkörrel is rendelkeznek, amelynek keretében a szervezet a többi közreműködő hatóság munkáját koordinálja azok akciói során [46].

Tűzoltósági szakterület

Két területre bontható: (1.) A beavatkozó állományra, mely ellátja a tűzoltás és kárelhárítás feladatait, valamint (2.) a hatósági osztály feladatai közé tartozik tűzvédelmi hatósági jogkörben a különféle engedélyezési eljárások lebonyolítása, tűzvédelmi hatósági ellenőrzések végrehajtása, szabálytalanságok felderítése. A hatósági osztály a tűzoltósági (tűzvédelmi), polgári védelmi, valamint iparbiztonsági szakterületen is gyakorolja hatósági jogköreit. A tűzoltási szakterület alá tartozó szervezeti egységek:

- Hivatásos tűzoltó-parancsnokság (HTP)
- Önkormányzati Tűzoltóság (ÖTP)
- Létesítményi Tűzoltóság (LTP)
- Önkéntes Tűzoltó Egyesület (ÖTE)

Polgári védelem szakterület

Alapvető feladata az emberi élet megóvása, ezáltal a lakosságvédelem. Feladata egyfelől a természeti, illetve civilizációs tényezők hatására esetleg kialakuló veszélyhelyzetek felszámolására rendelt, vagy az abban közreműködő szervek, szervezetek ilyen jellegű tevékenysége segítésében és koordinálásában való részvétel, másfelől az ezen események megelőzése területén, valamint az eredeti helyzet visszaállítását célzó felkészítési, lakosságvédelmi, szervezési, tervezési, hatósági, ellenőrzési területen jelentkező feladatok végzése. A köteles polgári védelmi szervezetek mellett az önkéntes oldálnak is nagy szerepe van a feladatok elvégzésében, leginkább „békeidőben”.

Iparbiztonsági szakterület

Feladatköre a 2011. évi CXXVIII. katasztrófavédelmi törvény megszületésével, majd annak 219/2011. (X. 20.) végrehajtási kormányrendeletében foglalt módosításával, 2012. április 15-én lépett hatályba. Feladata a kritikus infrastruktúra védelme. Az új szervezeti struktúrával lehetővé vált a kritikus infrastruktúrákkal kapcsolatos tevékenység egységesebb biztonságpolitikai szemlélete ágazatokon belüli, valamint azokon átnyúló szabályozása.

A 2012 április 15-én hatályba lépő 2011. évi CXXVIII. katasztrófavédelmi törvény módosításai értelmében az eljáró hatóság a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről szóló 219/2011. (X. 20.) kormányrendelet négy fő szakterülete a (1.) veszélyes üzemek felügyelete, (2.) veszélyes áruk szállításának

ellenőrzése, (3.) kritikus infrastruktúrák védelme, (4.) nukleárisbaleset-elhárítás szakterülete. Legfontosabb feladatuk az ipari baleset-megelőzés [47] [48] [49].

Drónhasználat a magyar katasztrófavédelmi szervezetnél

A katasztrófavédelmi feladatok állami kézben tartása és felügyelete lehetővé teszi azt, hogy az innovációs technológiák katasztrófavédelmi feladatok ellátása esetén is teret nyerhessenek, ami az alkalmazott technológiák szempontjából sokkal szélesebb felhasználási területet jelenthet, például az adott katasztrófavédelmi feladat kivitelezésére célspecifikusabb eljárás alkalmazása. Másrészt állami szervezetről van szó és így a rendszerbe kódolva van a rugalmatlanság is, ami visszaveti a terület fejlődését, ezzel a technikai innovációk elterjedését, alkalmazását is [45] [47]. A BM OKF a dróntörténelem „hajnalán” már rendelkezett egy EU-s pályázati forrásból megvásárolt eszközzel. Az MD4-1000 típusú quadcopter 2012-ben a prémium kategóriába tartozott. Az önálló le- és felszállásra, valamint programozott útvonal szerinti repülésre alkalmas légijármű leginkább vizuális megfigyelésre volt alkalmas. A BM OKF működését, hatáskörét, feladatait számos törvényi szabályzó írja le, többek közt a 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról [60]. A 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról [61]. A 39/2011. (XI.15.) BM rendelet a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési tevékenységének általános szabályairól [63]. Valamint a 6/2016. (VI.24.) BM OKF utasítás a Tűzoltás-taktikai Szabályzat és a Műszaki Mentési Szabályzat kiadásáról [64]. A vonatkozó törvényi szabályzókat áttekintve megállapítottam, hogy egyik hatályban lévő rendelet, utasítás, belső eljárásrend sem foglalkozik a pilóta nélküli légi járművek szerepével, azok üzemeltetésével, alkalmazásával. Kizárólag a 6/2016. (VI.24.) Tűzoltás-taktikai szabályzat XII. fejezete említi a pilótával rendelkező repülőgépek és helikopterek bevetettségét, amennyiben a földfelszínről a tüzeset, kárhely nem közelíthető meg. A BM OKF-nél a jelenleg megtalálható drónok kísérleti, demonstrációs eszközök. A katasztrófavédelmi, tűzoltási feladatok támogatása jelenleg privát eszközökkel valósulnak meg, melyeket a katasztrófavédelem munkatársai magáncélra vásároltak. Ezek az eszközök éles körülmények között feladatot nem láthatnak el [48] [50]. A jogszerűtlen alkalmazásnál felmerülő kérdések például a következők lehetnek: Munkavégzés közben, a drónhasználat közben bekövetkezett sérülés, baleset, vagy károkozás felelősségvállalás. A feladatvégzések alatt megszerzett kép-, hang-, és egyéb adatok, információk megszerzése, annak kezelése, birtoklása, tárolása. Légtérhasználati

és egyéb engedélyek hiánya. Magyarországon több a BM OKF alá tartozó, leginkább önkéntesekből álló kutató-mentő szervezet működik. Például a speciális helyzetekben bevethető hivatásos nehéz kutató-mentő mentőszervezet a HUNOR, illetve a közepes városi kutató és mentő csapat a HUSZÁR [154] [155].

A Pest Megyei Kutató-Mentő Szolgálat (továbbiakban PMKMSZ) Magyarország egyik legismertebb, 1990-es évek közepétől működő alapítványi mentőcsapata. Évente több mint 150 esetben vesznek részt speciális felszereléssel, szakemberekkel és mentőkutyákkal emberek felkutatásában és mentésében, tüzesetek, káresetek felszámolásában, nemcsak Magyarországon, hanem világszerte. Dolgoznak eltűnt személyek felkutatásában, gázrobbanások, épületomlások, természeti csapások, árvizek, repülőgép-balesetek, vonatszerencsétlenségek, földrengések, földcsuszamlások során. A PMKMSZ 2021-ben adományként kapott magas felszereltségű mentőgépjármű egy mentőorvosi minősítéssel rendelkező beavatkozó autó, a jogszabályban előírt emelt szintű egészségügyi felszereléssel. A málháter tartalmaz többek közt hőkamerát, hangdetektort, száloptikás kamerarendszert, bűvártechnika eszközöket, valamint egy DJI Mavic-2 Enterprise Dual (hőkamerás) professzionális feladatokra is alkalmazható drónt [51]. A PMKMSZ nem állami fenntartású szervezet, ezért rájuk nem vonatkozik a 38/2021. (II. 2.) Kormányrendelet általános szabályozása. Ennek értelmében a spontán drónos repülések végrehajtása részükre is ugyan úgy korlátozott, mint egy magáncélú szabadidős reptetés. Ennek értelmében kevesebb jogokkal rendelkeznek, mint a Magyar Katasztrófavédelem. A PMKMSZ munkatársaival végzett interjúk szerint a drónos feladatvégzések megkezdése előtt ők is csak a MyDroneSpace alkalmazáson keresztül jelentik be repülési szándékukat. A BM OKF-el szemben, ennél a szervezetnél megvalósíthatóbbnak és hatékonyabbnak látom a feladatvégzések drónos támogatásának fejlődését.

1.8. A katasztrófa és katasztrófaesemények meghatározásai

A katasztrófa fogalmát a szakirodalmak a Magyar Értelmező Kéziszótár a következőképpen definiálja: „a katasztrófa „nagyarányú szerencsétlenség, (sors-) csapás”. A Nemzeti Közszerológiai Egyetem Polgárivédelem, katasztrófavédelem című kiadott tansegédlete pedig a katasztrófa görög szó jelentését fordulatként, megsemmisülésként, csapásként, valamint megrázó, hirtelen eseményként ismerteti. Ezeken kívül számos meghatározás létezik. Egy biztos, hogy a katasztrófa a hétköznapi szóhasználatban olyan jelenséget, történést, eseményt jelent, amely közvetve vagy

közvetlenül veszélyezteti több ember életét, testi épségét, környezetét, egészségét vagy anyagi javait, illetve okozhatja azok sérülését, pusztulását, megsemmisülését [52] [53] [54]. A katasztrófákat számos szempont szerint csoportosíthatjuk és sokféle besorolás létezik, ugyanis a katasztrófák jellemzése is meglehetősen sokféle. Annak érdekében, hogy a katasztrófák fenyegetéseivel szemben a káros hatásokra minél jobban fel tudjunk készülni, és hogy az ellenük való védekezés minél eredményesebb legyen, szintén besorolásokat kell végeznünk. Attól függően, hogy milyen szempontból kívánjuk azokat vizsgálni, a katasztrófák feloszthatók az általuk érintett személyek száma, kialakulásuk sebessége, térbeli kiterjedésük, időtartamuk, az okozott kár nagysága, az azokat kiváltó ok eredete és ismertetőjegyei, és még sok más egyéb megfontolás alapján [53] [55]. A csoportosításokat egzakt módon nem lehet elvégezni, de egy bizonyos, mégpedig annak megítélése, hogy vajon egy esemény vagy történés katasztrófának minősül-e. Ez leginkább attól függ, hogy az emberre nézve jelent-e közvetett vagy közvetlen, azonnali vagy később jelentkező veszélyt, fenyegetettséget [53]. A katasztrófákat különböző szempontok szerint csoportosíthatjuk:

Tulajdonságuk alapján:

- Egyszempontú
- Többszempontú *(kiterjedés nagysága szerint kicsi vagy nagy)*
- Konkrétan nevesítve *(pl. árvizek, földrengések)*
- Komplex *(több tényező egyidejű figyelemvételével)*

Az események hatása alapján:

- „Hasznosak” *(Az emberek számára általában előnyös, nem okoz jövátéhetetlen pl. környezeti károsodást, éghajlati, vagy egyéb elváltozást)*
- Károsak *(Az emberek kisebb-nagyobb csoportjára nézve hátrányos, veszélyt, vagy fenyegetettséget jelent, az egészséget vagy az életet veszélyezteti, károsítja)*
- Közömbösek *(Sem rövid, sem hosszútávon nem gyakorol számottevő hatást az emberek létfeltételeire és nem csökkenti a biztonságot)*

Az események lefolyása alapján:

- Lassan kialakuló katasztrófák *(pl. árvizek, belvíz, aszály)*
- Közepes lefolyású katasztrófák *(pl. mérgezés, árvíz)*
- Gyorsan kialakuló természeti katasztrófák *(pl. villámárvíz, földrengés)*

- Gyorsan kialakuló ipari katasztrófák *(pl. robbanás, gátszakadás)*

Kiterjedése alapján:

- Helyi katasztrófa *(pl. egy üzemben, vállalatnál, településen következik be)*
- Térségi katasztrófa *(pl. több települést érint)*
- Országos szintű katasztrófa *(pl. több megyére kiterjedően következik be)*
- Nemzetközi katasztrófa *(pl. egy országban, tengeren bekövetkezett katasztrófa, amely nagyságrendjénél fogva több országra, vagy tengeri térségre terjed ki)*

Nevesítése alapján:

- Nukleáris katasztrófa
- Erdőtűz
- Árvíz, belvíz
- Földrengés
- Orkánok, viharok
- Járvány
- stb.

Kiváltó ok szerint:

- Természeti katasztrófa: melyek a természet erőinek hatására alakulnak ki függetlenül az emberek tevékenységeitől, (például. áradás, vulkánkitörés, földrengés stb.)
- Civilizációs katasztrófa: melyek kapcsolatban állnak az emberi cselekedetekkel. Leginkább az emberi tevékenységgel összefüggésben, mulasztás, figyelmetlenség, helytelen emberi beavatkozás vagy technikai hibák miatt jön létre (járványok, nukleáris baleset, veszélyes anyag szállítással kapcsolatos katasztrófa, de az erdőtűz is ide sorolandó)

Feltételezésem szerint a katasztrófavédelmi feladatok drónos támogatása akkor végezhető el a leghatékonyabban, ha egy adott katasztrófa – amelyben a drónrendszert alkalmazni tervezzük – tulajdonságait a lehető legpontosabban megismerjük. A csoportosítási szempontrendszerekből is látható, hogy a sokféle felosztás közül a számunkra leginkább illeszkedő tulajdonságokkal rendelkező csoport, a nevesített katasztrófa. Ezek szükséges alkotóelemei a katasztrófaspecifikus drónrendszer kapcsolati

mátrixnak. A katasztrófák elleni védekezés egyik legegyszerűbb felosztása az időben jól elhatárolható részekre bontás. Ennek megfelelően:

- A katasztrófa bekövetkezése előtti időszak
- A katasztrófa bekövetkezése utáni közvetlen időszak (elsődleges beavatkozás és elhárítás időszak)
- A katasztrófa utáni időszak (helyreállítási időszak)

A katasztrófa típusától függően mindhárom szakasznak megvannak a sajátosságai, melyek műveleti szempontból:

A katasztrófa bekövetkezését megelőző időszak

A katasztrófák bekövetkezése előtti tevékenység az egyik legfontosabb a károk minimalizálása és az emberi életek védelme érdekében. Alapvetően kétféle esetre koncentrálódik. Az elsőben feltételezhető, hogy befolyással vagyunk a katasztrófa kialakulására, és annak elkerülése érdekében megelőző tevékenységet folytatunk. Például szabályok betartása, ellenőrzés, megfigyelés. A másik esetben közvetlenül a katasztrófák bekövetkezése előtti feladatvégzés történik. A katasztrófa kialakulásának gyors észlelésében és kiterjedésének, elterjedésének megakadályozásában van szerepe. Például egy bizonyos esemény kockázatának növekedése egy előre meghatározott küszöbérték elérésekor vagy meghaladásakor kerülhet előtérbe. Például gázzivárgás korai érzékelése. A katasztrófa bekövetkezése előtti időszak tevékenységei leginkább az ipari katasztrófák bekövetkezése ellen nyújthatnak megoldást.

A katasztrófa bekövetkezését követő közvetlen időszak

A katasztrófák bekövetkezése utáni időszak több célú lehet. Korlátozódhat csak a helyzet gyors értékelésére, információszerzésre, de valós mentésre, kárenyhítési feladatokra is. A feladatok a katasztrófátípusokat tekintve lehetnek rutinszerűek, de improvizatívák is, ezért a humán szakértelem itt a legfontosabb. A katasztrófa bekövetkeztekor az elsődleges dolog az emberi élet mentése, a sebesültek, eltűntek felkutatása, informálása.

A katasztrófa utáni időszak

A katasztrófa utáni időszak időbeni tervezhetősége leginkább a katasztrófa jellegétől függ, de úgy, mint a bekövetkezést megelőző időszak, ismét jól tervezhető. A legfontosabb feladat a keletkezett károk pontos felmérése, a kárhelyszín folyamatos ellenőrzése a helyreállítási munkák alatt, amely katasztrófátípustól függően akár hónapokig, évekig is eltarthat.

1.9. A dróntechnológia alkalmazhatóságát kockáztató tényezők Magyarországon

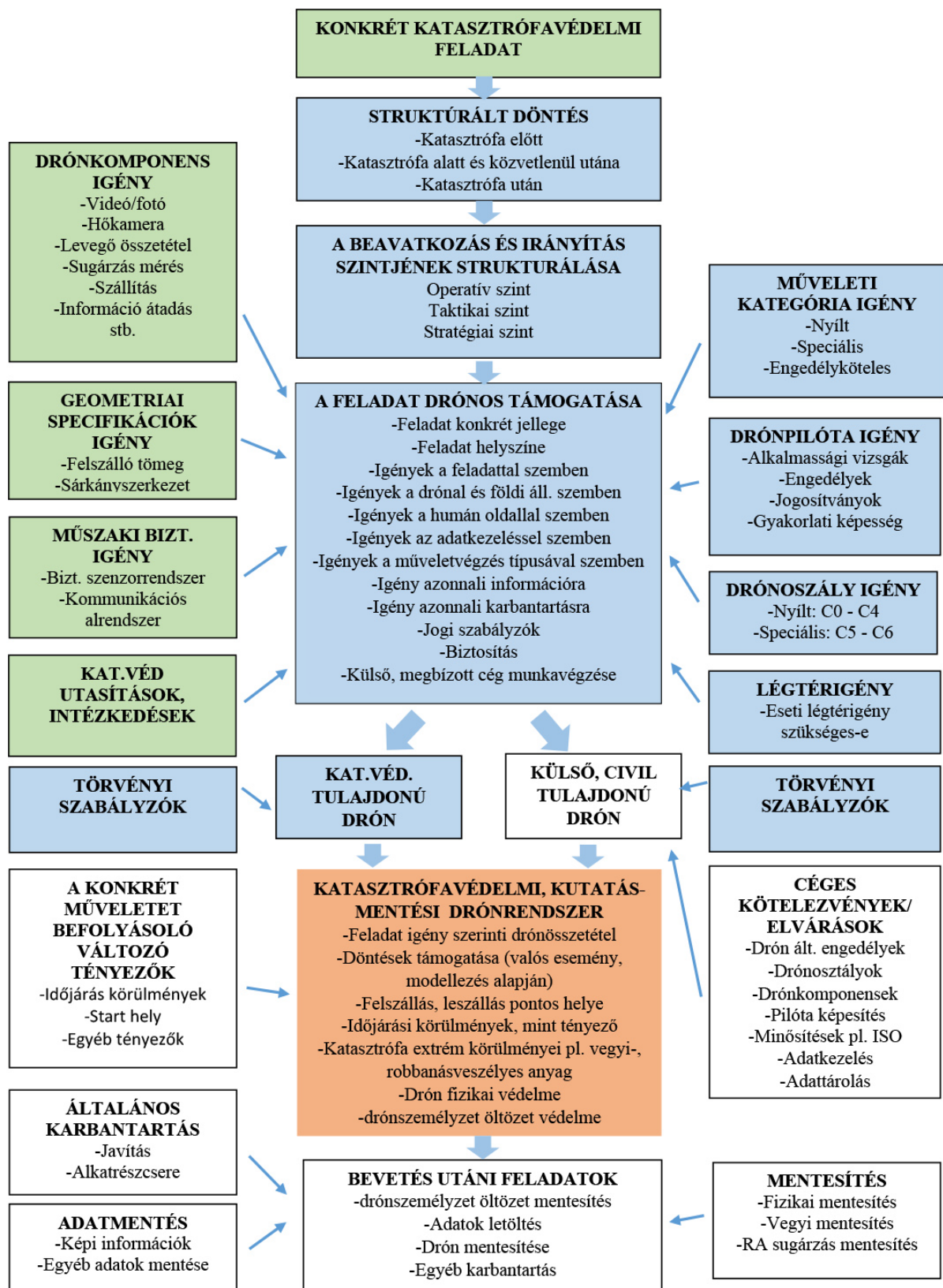
A katasztrófavédelmi feladatok és tervezések további jellegzetessége a logikai folyamatokra való felbontás. Ennek megfelelően megkülönböztetünk stratégiai, taktikai és operatív műveleteket. A tervek három fokozata hierarchiát alkot abban az értelemben, hogy a feljebb lévő szint keretet ad az alatta elhelyezkedő szint tervezéséhez. A hierarchia tetején a stratégiai szint áll, ezt követi a taktikai, majd az operatív szint. A stratégiai terv általában egy hosszú távú tervet jelent, átfogó célokkal. Végrehajtása alapvető változásokat indukál a felépítésében és működésében. A taktikai terv egy középtávú gondolkodás, ami lebontja a stratégiai terv által megfogalmazott célokat. Például megtervezik, hogy a célokat az erőforrásokkal milyen tervezett feladatokhoz rendelik hozzá. Az operatív tervezés, ami a leginkább konkrét cselekvési lépéseket tartalmaz, és leginkább erőforrásigényes [56] [45].

A polgári felhasználású drónműveletek többnyire szabadidős jellegűek, ami a gyakorlatban azt jelenti, hogy csak ideális helyzetben, ideális időjárási, látási körülmények között használjuk. Amennyiben a repülési műveletet olyan körülmény zavarja meg, ami károsíthatja a géptestet, forgószárnnyakat, elektronikát, megszakítjuk a küldetést, vagy el sem kezdjük. Ez természetes, mivel sok esetben igen drága eszközökről van szó, valamint felelősségérzetünk is ezt diktálja. Abban ez esetben, ha a drón valamilyen katasztrófavédelmi, vagy kutatás-mentési időben nem halasztható feladatot tevékenységet látna el, a drónpilótának mérlegelni kell a művelet végrehajtásának kimenetelét. Tisztában kell lennie az időjárási körülményekkel, ismernie kell saját képességeit, valamint a drón technikai paramétereinek határait. A legtöbb professzionális drón képes esőben és szélben repülni. Az Országos Meteorológiai Szolgálat adatai alapján Magyarországon átlagban évente 122 szeles nap fordul elő. Ilyenkor a széllelkések elérik vagy meghaladják a 10 m/s-t. Ebből 35 nap viharos, ami 15 m/s-nál nagyobb

szállókéseket jelent [57]. Veszélyesség szempontjából a katasztrófavédelmi feladatok elvégzése a katasztrófa bekövetkezte után és annak lefolyása alatt kritikus. Repülési műveletek előtt célszerű minden esetben feltárni a repülési műveletre kockázatos tényezőket, majd ezek alapján egy reális képet kapva közölni a műveletirányító parancsnokkal, kárhelyparancsnokkal a művelet kockázati tényezőit. A kockázatértékelést követően, amennyiben a feladatvégzést támogatni tudja a drón, és a művelet sikerességét elősegíti, akkor a drónt be kell vetni. Az időjárás okozta problémák mellett további akadályok is befolyásolhatják a műveletvégrehajtást, mint például veszélyes anyag levegőbe kerülése. Például mérgező anyag, ami rátapad a drón vázszerkezetére, és miután visszatér a starthelyre, megfertőzi a személyzetet, vagy akár az erős sugárszennyezés is visszafordíthatatlan működési zavarokat okozhat.

A bevezető fejezetben megfogalmazott vizsgálati pontokat tekintve eddig több – általam fontosnak tartott – tényezőt vizsgáltam meg, melyek szükségesek ahhoz, hogy létrehozható legyen egy vizsgálati tér. A vizsgálati tér direkt és indirekt összetevőinek meghatározásával és elemzésével meghatározható az a kapcsolati összefüggés, amely meghatározhatja a katasztrófavédelmi, illetve kutatás-mentési feladatokra alkalmas feladatfascifikus drónrendszert. A fejezetben eddig vizsgált paraméterek, valamint az értekezés további fejezeteiben vizsgálandó befolyásoló tényezők és meghatározások alapján kialakítható egy kapcsolati összefüggés, amely komplexen tartalmazza azokat a tényezőket, melyek szükségesek a disszertáció végcéljaként kitűzött feladatspecifikus drónrendszer és kapcsolati mátrix megalkotásához. A fejezet végeredményeként létrehozott 7. ábrán látható összetevők mindegyike szükséges ahhoz, hogy egy jól szabályozott drónrendszer épüljön fel. Az ábrán kék mezővel jeleztem azokat a tényezőket, melyeket e fejezetben vizsgáltam és a kapcsolati összefüggés szerves részét képezik. Zöld színű mezővel azokat a tényezőket jelöltem, melyeket későbbi fejezetekben fejtek ki. És fehér színnel azokat a tényezőket, melyek közvetlenül nem befolyásolják a kutatási eredményt, de a rendszer hibamentes működéséhez szükségesek. Ezeket az összetevőket az értekezés maximalizált terjedelme miatt a későbbiekben sem vizsgálom.

Végezetül narancssárga színnel jelöltem a végcél, azaz azt a mezőt, mely tartalmaz minden olyan műveletet befolyásoló információt, amely szükséges a katasztrófavédelmi, rendészeti és kutatás-mentési feladatok támogatásának ellátására alkalmas drón kiválasztására, az – általam megalkotott – drónrendszer kapcsolati mátrix segítségével.



7. ábra: A katasztrófavédelmi drónrendszer összetevői és az azt befolyásoló tényezők kapcsolata
[készítette a szerző]

ÖSSZEGZÉS

Jelen fejezetben részletesen áttekintettem a kutatásomhoz szükséges alapfogalmakat és összefüggéseket. Megvizsgáltam a drónok általános műszaki jellemzőit és rendszereztem a katasztrófatípusokat. Tanulmányoztam a drónhasználatot érintő törvényi szabályzókat, valamint a magyarországi katasztrófavédelmi, kutatás-mentési rendszer szereplőit, annak felépítését és a témát érintő kérdéseket. Kutatásom alapján a katasztrófa (mint esemény), a katasztrófavédelmi, rendészeti, kutatás-mentési feladat és a megfelelő drónrendszer kapcsolata feltérképezhető. Ehhez azonban az összetett tér minden vizsgált tényezőjét tovább kell bontani és azokat külön elemezni. Vizsgálataim alapján meghatároztam a nevesített katasztrófák alatti drónos feladatvégzésekhez szükséges katasztrófavédelmi, kutatás-mentési szervezet(ek) összetevőinek vizsgálati terét. Felállítottam a drónos feladat típusa és a drón műszaki adottságai közötti összefüggéseket. Meghatároztam a katasztrófavédelmi, kutatás-mentést érintő feladatokra alkalmazható drónrendszer fogalmát szűkebb értelemben.

Eddigi kutatásaim alapján megállapítom, hogy nem lehet minden egyes katasztrófavédelmi és kutatás-mentési feladatra speciális drónt, drónrendszert alkalmazni, kompromisszumot kell kötni és átmenetet/átmeneteket kell képezni az egyes szakterületek, feladatok igényei és a befolyásoló tényezők között.

Új tudományos eredményként megalkottam egy olyan struktúrát, amely tartalmazza a katasztrófavédelmi és kutatás-mentési feladatokat befolyásoló szűkebb értelemben vett tényezőit és a műveletek során felhasználható drónrendszerek kapcsolatát.

2. DRÓNRENDSZEREK BIZTONSÁGOS ÜZEMÉT BEFOLYÁSOLÓ RÁDIÓFREKVENCIÁS INFOKOMMUNIKÁCIÓS TÉNYEZŐK

A fejezet célja a drónrendszerek üzembiztonságát érintő és befolyásoló tényezők vizsgálata különös tekintettel az infokommunikációs rendszeregységek, alrendszerek működése szempontjából. A drón és a földi állomás rádiókommunikációs egységei, a műholdas helymeghatározó rendszer egységei, valamint azok technológiai fejlettsége befolyással van a drónos feladatok kimenetelére, ezért ez a szakterület vizsgálandó. Elsőként tisztázom az alapfogalmakat, feltárom a drónrendszer- infrastruktúra biztonságát veszélyeztető fenyegetéseket és az ehhez kapcsolódó kérdéseket. Kutatom és elemzem a különböző rádiófrekvenciás alrendszerek tulajdonságát, majd felállítom a drónkommunikáció szempontjából releváns technológiák rangsorát, alkalmazhatóságát és megbízhatóságát a katasztrófavédelmi feladatvégzés-igények figyelembevételével. Ebben a fejezetben vizsgálataim a drónrendszerek kültéri alkalmazásának infokommunikációs megoldásaira tér ki.

BEVEZETÉS

A drónrendszer-infrastruktúrák tervezése és azok üzemeltetése stratégiai fontosságú lett különösen a kereskedelmi, illetve a közszolgálati célú drónalkalmazások területén. Bármilyen infrastruktúrát is választunk, tekintünk megoldásnak, az elvi és fizikai megvalósítások összetett mérnöki feladatnak tekinthetők, amely átfogóan több műszaki megoldást, eljárást is érint. Üzembiztonság tekintetében egy drónrendszer rendkívül sok irányból sebezhető, melyek közül leginkább a rádiós alrendszerek érintettek. A vezérlésmechanizmus olyan szintre jutott, hogy jogilag és technikailag is kikényszerítette a hálózatos összeköttetést a drónrendszer és nyílt világháló között. Ennek értelmében a globális hálózatok végpontjai ma már nem csak számítógépek, vagy mobiltelefonok lehetnek, hanem gépek, járművek és akár drónrendszerek is. Fontosnak tartom annak vizsgálatát, hogy mi módon lehet a katasztrófavédelmi, rendészeti feladatok ellátásánál alkalmazott drónok kommunikációs megvalósításait oly mértékben racionalizálni, hogy az ne befolyásolja a feladat elvégzésének sikerességét, ellenben minimális támadhatósági felület maradjon [58] [59] [60]. Ennek értelmében meggyőződésem, hogy a drónok biztonságos üzemeltetésének egyik legfontosabb tényezője a rádiós alrendszerek üzembiztonsága, vagyis a hiba- és zavarásmentes kapcsolat stabil megléte.

A fejezet célja megvizsgálni a drónrendszerek infokommunikációs hátterének alapjait, feltárni azokat az okokat, szempontokat, melyek befolyásolják a rádiófrekvenciás kommunikációs kapcsolatot, valamint a helymeghatározó rendszerek stabilitását.

2.1. A vezetékek nélküli távvezérelt légitjárművek információtechnológiai fejlődése

A rádió-távvezérelt (Radio-controlled, a továbbiakban: RC) járművek irányítása kezdetben szimplex (egyirányú) VHF sávban működő, impulzus szélesség modulált PWM - pulse-width modulation) kommunikációs kapcsolattal valósulhatott meg. Az alacsony vivőfrekvencia, valamint a rendelkezésre álló kevés csatornaszám miatt a rendszer igen zavarérzékeny volt. Több RC légitjármű egyidejű levegőben tartózkodásakor interferencia alakulhatott ki. Az analóg, titkosítatlan jelátvitel zsúfolt csatornakiosztás problémája nem csak zavarérzékennyé tette a rendszert, de ezzel a szándékos zavarást is könnyebb volt megvalósítani. Felhasználói szemszögből a legnagyobb problémája az volt, hogy a repülőeszköztől semmilyen információ nem jutott vissza a pilótához, így kizárólag a tapasztalatokon alapuló feltételezésekre hagyatkozhatott. A technológia fejlődésével először megjelent a kétirányú (duplex) jelátvitel, majd a digitális adatátvitel, ahol a pilóta már információkat is kapott vissza az általa vezérelt eszköz felől. A mai kor drónjai a megbízhatóbb működés mellett, sokkal több és magasabb szintű tudással, szolgáltatással rendelkeznek. [61] [62] [63]

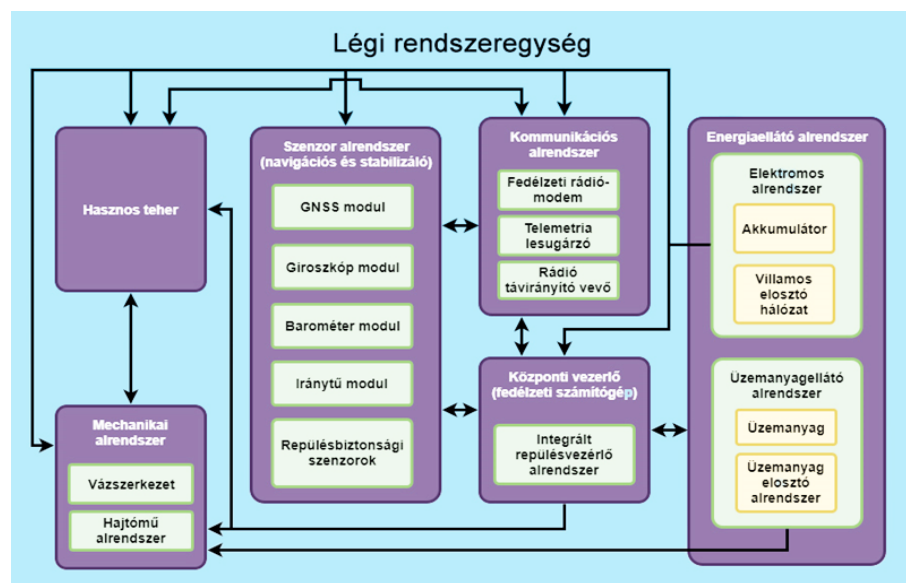
2.2. Drónrendszerek logikai architektúrája

A rádió-távvezérelt (Radio-controlled, a továbbiakban: RC) járművek irányítása kezdetben szimplex (egyirányú) VHF sávban működő, impulzus szélesség modulált PWM - pulse-width modulation) kommunikációs kapcsolattal valósulhatott meg. Az alacsony vivőfrekvencia, valamint a rendelkezésre álló kevés csatornaszám miatt a rendszer igen zavarérzékeny volt. Több RC légitjármű egyidejű levegőben tartózkodásakor interferencia alakulhatott ki. Az analóg, titkosítatlan jelátvitel zsúfolt csatornakiosztás problémája nem csak zavarérzékennyé tette a rendszert, de ezzel a szándékos zavarást is könnyebb volt megvalósítani. Felhasználói szemszögből a legnagyobb problémája az volt, hogy a repülőeszköztől semmilyen információ nem jutott vissza a pilótához, így kizárólag a tapasztalatokon alapuló feltételezésekre hagyatkozhatott. A technológia fejlődésével először megjelent a kétirányú (duplex)

jelátvitel, majd a digitális adatátvitel, ahol a pilóta már információkat is kapott vissza az általa vezérelt eszköz felől. A mai kor drónjai a megbízhatóbb működés mellett, sokkal több és magasabb szintű tudással, szolgáltatással rendelkeznek [61] [62] [63]. Egy drónrendszer felépítése összetett, a finommechanikai, elektrotechnikai, valamint informatikai részegységek egymásra épülése rendkívül fontos a megbízható működés szempontjából. A gyári, vagy épített drónok méretben, tudásban és felhasználási területben is különböznek, viszont az általános logikai felépítése hasonló. A drón két fő egységből, a földi (Ground Control Station, a továbbiakban: GCS) és a légi (UAV) rendszerből áll [64].

Légi rendszeregység (UAV)

Az 8. ábrán látható modell szemlélteti a légi rendszeregység felépítését és az alrendszerek egymáshoz való viszonyát. A komponensek egymáshoz való összetett kapcsolódásából látható, hogy bármelyik alrendszer meghibásodása a teljes rendszer működésére kihat [11].



8. ábra: A drónrendszer általános légi rendszeregység felépítése [65]

A **mechanikai alrendszer** a teljes vázszerkezetet jelenti. Ez viseli az UAV összes komponensét, alrendszerét, beleértve a hasznos terhet is.

A **központi vezérlő (CP)** egy szinkron szekvenciás számítógép, melyen beágyazott rendszerű program fut. Feladata a különböző alrendszerek, szenzorok által küldött adatok fogadása, feldolgozása, majd továbbítása a megfelelő alrendszerek, blokkok felé. Itt a legfontosabb a zavarvédelem, hiszen a környezetből érkező nagyfeszültségű (például

távvezeték) tranziensek a rendszer egészét tekintve befolyásolják a pillanatnyi stabilitást, de a nem megfelelő tervezés, árnyékolás eredménye károsíthatja az írható/olvasható programmemória tartalmát is, ami hibás döntésekhez, ezzel a gép elvesztéséhez is vezethet.

A kommunikációs alrendszer a légi egység kommunikációs alrendszere és a földi egység kommunikációs alrendszere között tartja fenn a kapcsolatot. A távvezérlés (Control and Non-Payload Communication, a továbbiakban: CNPC), valamint a videójel adatforgalma (Payload Communication, a továbbiakban: PC) ebbe a kategóriába tartoznak, de az egyéb más érzékelők, például szenzorok, adatgyűjtők már nem. Sebezhetőség szempontjából ez az alrendszer a leginkább veszélyeztetett.

A Szenzor alrendszer a különböző szenzorok által begyűjtött adatokat továbbítja a repülésvezérlőnek, vagy a kommunikációs alrendszernek (a földi állomás felé). Az érzékelők segítségével mérhető a gép sebessége, magassága, repülési helyzete. Drónosztálytól függetlenül (kivéve a játékdron) minden eszközön megtalálható a műholdas helymeghatározó (Global Navigation Satellite System, a továbbiakban: GNSS) egység is, amely nem az autonóm szenzor kategóriába tartozik és az egyetlen olyan térinformatikai egység, amely a külső (sugárzott) adatok kiértékelésére támaszkodik. Az egység működésképtelensége nagymértékben befolyásolja a drón pontos helyének meghatározását. Zavarójelek, hamis koordináta információk hatására a kommunikációs alrendszer után ez a leginkább veszélyeztetett egység.

Az energiaellátó alrendszer felel a drón elektromos, vagy belsőégésű motorjának energiaellátásáért. A drón – általánosságban – forgószárny vagy propeller meghajtásától függetlenül az egyik legfontosabb alrendszer eleme az elektromos tápellátás, amely elsősorban a motorvezérlőket, valamint a központi vezérlőelektronikát, repülésszabályzót látja el, másodsorban pedig az üzembiztonságot nem befolyásoló elektromos egységeket.

Földi rendszeregység (GCS)

A földi egység a teljes drónrendszer vezérlőegysége, amely manuálisan, vagy előre programozottan útvonaladatokat küld a légi egységnek. A 9. ábrán látható rendszeregység az alábbi alrendszerekből áll.



9. ábra: Drónrendszer általános földi rendszeregység felépítése [65]

A vizualizációs alrendszer a légi alrendszer által küldött videóanyagot fogadja és jeleníti meg a drónpilótának, földi személyzetnek.

A földi irányító és feladattámogató alrendszer feladata a drón irányába küldött navigációs parancsok, útvonaladatok, valamint műveleti feladatok feldolgozása és továbbítása a rádiós egység felé.

A kommunikációs alrendszer feladata összefogni a különböző rádiós egységeket, távirányításért felelős modulokat.

Alrendszerek üzembiztonsága

A géptervezés során számos üzembiztonságot érintő kritériumnak kell megfelelni, többek közt a redundanciával kapcsolatos kérdésekben. Az elvárások leginkább az alacsony költségű (C0-C2) géposztályokat érintik, ahol elsősorban az osztálybesorolás fizikai, de akár jogi korlátai sem teszik lehetővé a technológia megfelelő szintű jelenlétét. Ilyen esetekben a tervezők kompromisszumos megoldásokkal teszik működőképessé a rendszert, például meghibásodás esetén csökkentett funkcionalitás érhető el, vagy az egyes funkcionalitások átvehetők, átadhatók. Összehangolásuknak mindenképpen úgy kell történnie, hogy a repülésbiztonság ne sérüljön. Amennyiben a fedélzeti repülésvezérlő külső vagy belső körülmények okán meghibásodást észlel, egy előre definiált forgatókönyv szerint vészhelyzeti műveletsort hajt végre. Valós idejű manuális vezérlésnél például vissza a „starthelyre” (Return To Home, a továbbiakban: RTH) mód, vagy kényszerleszálló algoritmus futtatása. Automata vezérlés esetén – amennyiben a távvezérlés hatósugarán belül van - dönthet úgy a repülésvezérlő, hogy visszaadja az irányítást a földi állomásnak, ez azonban feltételezi a VLOS, BVLOS üzemmódok alkalmazásának tudatosságát. A redundáns vezérlő áramkör mindenképp a megbízhatóságot, üzembiztonságot növeli. Erre vonatkozóan több elterjedt megoldás létezik, mint például melegtartalékolás, terhelésmegosztás vagy többségi döntés. A

melegtartalék rendszerekben általában két teljesen egyenértékű CP található, párhuzamos futással. Amennyiben az első számú (éles) CP meghibásodik, a második egység (hot standby) veszi át a szerepet. A terhelésmegosztás elvén működő struktúrák esetében több, egymással teljesen egyenértékű vezérlő látja el a feladatokat. Az egyik rendszer meghibásodása esetén a második vagy harmadik egység átveszi, megosztja az adott feladat elvégzését. A többségi döntés elvén alapuló vezérlő működése esetén optimálisan három egyenértékű CP található. A vezérlők mindegyike ugyanazokat a bemeneti értékeket kapja meg. Jól működő rendszer esetén a három vezérlő egyforma kimeneti döntéseket hoz. Amennyiben az egyik meghibásodik, a maradék kettő azonos kimeneti értékeiből látják el a feladatokat [11]. Az elektronikai rendszerek napjainkban olyan gyártástechnológián mennek keresztül, ahol az áramköri szintű meghibásodás esélye nagyon csekély, amennyiben azt nem a maximum közeli értéken terheljük. A problémák döntő többsége inkább a szoftverhibákra vezethető vissza, mivel a felgyorsult fejlődés a tesztelésekre, hibajavításokra kevés időt hagy. A független vagy aközeli redundáns rendszerek gyenge pontja a közös szerepet vállaló egységek. A drónosztályok nagymértékben meghatározzák az alkalmazott technológiát, ennek megfelelően a redundanciát is. Értelemszerűen egy C0-C1-es osztályba tartozó eszköz „alacsony” összítőmege miatt nem rendelkezik számos, az üzembiztonságot is érintő alrendszerrel, vagy azon belüli redundáns elemekkel. Magasabb géposztályok (C2+) kvalifikáltabb feladatokat is képesek ellátni, a redundancia itt már alap biztonsági előírás.

Interferencia

Az interferencia a kommunikáció, illetve ebben az esetben a rádiós adatátvitel során fellépő vételi zavar. A gyártók törekednek arra, hogy a termékük megbízhatóan, üzembiztosan működjön, ezért különböző szabványok, ajánlások, tervek és gyakorlat szerint tervezik az elektronikai eszközöket. A leginkább érzékeny egységek a rádiófrekvenciás áramkörök, melyek kis jelszintekkel dolgoznak. Az ilyen jellegű problémák a legtöbb esetben a tervezés, tesztelés fázisa során kiderülnek. A komplex elektronikai áramkörök rendszerint sokféle rádiófrekvenciás egységet tartalmaznak. A legnagyobb problémát az egymáshoz közel eső hullámhossz jelenti, illetve az egymáshoz képest nagy jelszintkülönbségek. A drónok esetében a leginkább interferencia-érzékeny egység (alrendszer) a drón és a földi állomás közötti kommunikációs egység, illetve a GNSS vevőegység. A zavarójelek hatásainak csökkentése érdekében az RF spektrum feltérképezése rendkívül fontos az interferencia forrásának azonosításához. Minden

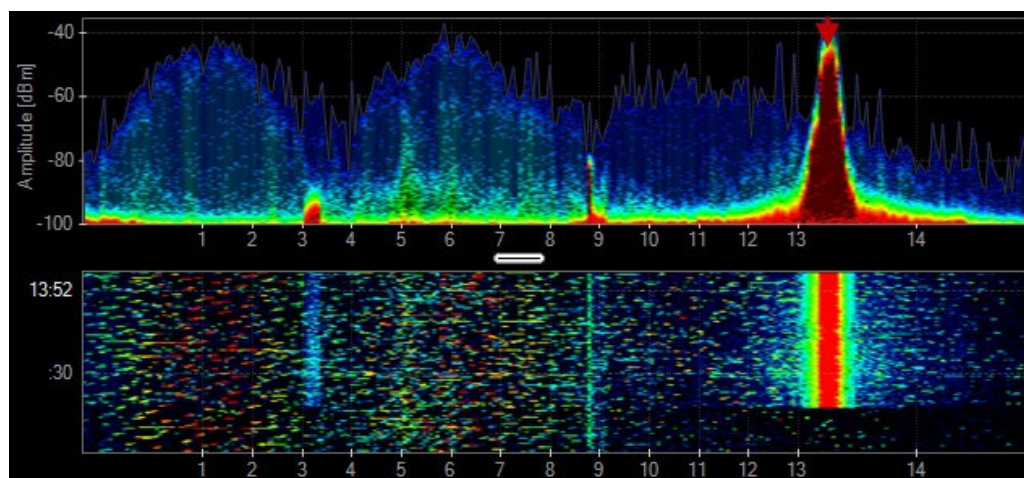
zavaró jelnek megvan a maga egyéni jellegzetessége (lábnyoma), amely lehetővé teszi a tervezők számára, hogy azonosítsák az öninterferencia forrásait (például motor- vagy tápegységzaj). A legegyszerűbb zavarójelcsökkentés a megfelelő elektromágneses árnyékolás.

Belső interferencia

Az elektromos, rádiófrekvenciás rendszerek zavarásának egyik legjelentősebb forrása gyakran saját maga, ami azt jelenti, hogy az elektronikai alkatrészek, egységek hatással vannak egymásra. Az ehhez hasonló interferenziazavarok és egymásra hatások a legtöbb esetben már a tervezés, tesztelés fázisában előjönnek.

Külső interferencia

Városokban, sűrűn lakott területeken az elektronikai berendezések száma nagyságrendekkel magasabb is lehet, mint egy mezőn. Külső forrásból származó zavarójel, interferenziazavarások leginkább olyan területeken, helyeken fordulnak elő, ahol az elektronikai egységek tömeges számban fordulnak elő. Az interferencia ebben az esetben is akkor okozhat gondot, ha a rádiós egységek hullámhossza összemérhető, illetve a jelszintkülönbség nagyságrendekkel magasabb. A rádiótávírányítású eszközök esetében, és így a drónoknál is, a távvezérlés hatótávolsága és a forgalmazott adatok hibaránya nagymértékben függ az interferencia mértékétől (a zavaróadók, drónelhárítók erre a „gyengeségre” épülnek). A GNSS jelet – a rálátás miatt - akár többszáz méter távolságból blokkolni lehet. A külső forrásokból származó interferenciát a konfigurálható „szűrőáramkörök” képesek kivédeni. A 10. ábrán egy 2,4 GHz-es sáv csatornakiosztását mutatja, melyen a 13-as csatornában egy nagy szintű zavarjel látható.



10. ábra: Interferencia jelenség a 2,4 GHz-es ISM sávban [66]

2.3. Drónrendszerek peer to peer kommunikációs megoldásai

A mai dróntechnológia és kommunikáció függetlenül attól, hogy a drón és vezérlője között leginkább közvetlen és „kizárólagos” kapcsolat valósul meg, nem tekinthető pont-pont (Peer-To-Peer, a továbbiakban: P2P) összeköttetésnek, mivel a távvezérlőn keresztül már kapcsolódhat az internetes hálózatokhoz. Ennek értelmében a drónokra hálózat védelmi szempontból ma már „repülő számítógépekként” kell tekinteni, ahol az illetéktelenül átvett hozzáférés, irányítás komoly gondokat is okozhat. Ahhoz, hogy egy drónrendszer stabilan és biztonságosan üzemeltethető legyen, általánosságban a következő feltételeknek kell teljesülni:

- Rendszerstabilitás, adó-vevő zavarérzékenység
- A vezérléshez és adatátvitelhez elegendő adatátviteli sebesség
- Rövid kommunikációs válaszidő (késleltetés)
- Hálózatlanfedettség, megfelelő vételi szint megléte
- Kapcsolatvesztés esetén gyors újraszinkronizálás
- Kommunikációra irányuló jogi szabályozások betartása, betarthatósága

A drón és a földi állomás közötti kapcsolat minden esetben együtt értelmezendő. Az átviteli mód napjainkban valamilyen digitális ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying), vagy PSK (Phase Shift Keying) alap modulációs eljárással történik. A vivő jel leginkább egy harmonikus jel, melynek időfüggvénye (1):

$$U_{vivő}(t) = U_{vivő} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_{vivő} \cdot t + \varphi_{vivő}) \quad [11, p. 114] \quad (1)$$

A drónrendszerek esetében számos elfogadott kommunikációs protokollt alkalmaznak, melyek lehetnek WLAN (Wireless LAN), WPAN (Wireless Personal Area Network), WWAN (Wireless Wide Area Network) és WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) alapúak. A dróngyártók ötvözött vagy saját kommunikációs rendszert is kialakíthatnak, meglévő MAVLink (Micro Air Vehicle Link) technológiákra építve, saját megoldást alkotva, ilyen például a OcuSync és a Lightbridge [67] [68]. Az alacsonyabb kategóriájú drónok esetében a WLAN protokollt részesítik előnyben, mivel ezek nagy adatátviteli lehetőséget biztosítanak, különösen valós idejű videóhoz. A WLAN adatkapcsolathoz használt kommunikáció OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) moduláció BPSK/QPSK szimbólumokkal, ahol az adatátviteli sebesség átlagosan 20-50 Mbps, hatótávolsága kültéren jellemzően nagy szórású, 50-1000 méter [67] [69] [70]. A drón és a földi egység kommunikációja több különböző kapcsolatot is

kezelhet egyazon időben. Megkülönböztetünk a vezérlésre és telemetria adatok fogadására fenntartott CNPC csatornát, valamint egy másik, úgynevezett hasznos teherrel történő kommunikációra képes PC csatornát. A két kommunikáció között eltérő műszaki jellemzőik miatt különbséget kell tenni. A CNPC-nek megbízhatónak kell lennie, alacsony (néhány kbit/s) átviteli sebesség is elegendő. A PC csatornán viszont lényegesen nagyobb mennyiségű adatot kell átvinni, „kisebb” megbízhatósággal. A két kommunikációs csatorna jellemzően különböző, egymástól távol eső frekvenciatartományban működik. A gyári drónok esetében a CNPC általában 2,4 GHz-es, a PC pedig 5,8 GHz-es ISM (Industrial, Scientific and Medical) sávot használja. Az alacsonyabb frekvenciák – az interferenciák miatt – kedvezőbbek a rádiós összeköttetések létrehozására, a magasabb frekvenciák viszont nagyobb adatátviteli lehetőséget biztosítanak [58] [71] [60] [72].

A rádiókapcsolat-késleltetés hozadéka

Egy drón valós idejű vezérlésénél a reakcióidő a legfontosabb tényező, amely több összetevőből áll. A két végpont közötti késleltetés – vezérlését tekintve – magába foglalja az áramkört elemek okozta késleltetést, az adatátviteli késleltetést, a légköri viszonyok okozta késleltetést, vagy akár a maghálózat-késleltetést is. Ha a drón videójel-átviteli késleltetését nézzük a két végpont között, akkor figyelembe kell vennünk kódolási késleltetést, interfész késleltetést, légköri viszonyok késleltetést, maghálózat késleltetést, folyamat késleltetést, adatátviteli késleltetést, dekódolási késleltetést és végül a videókép megjelenítési késleltetést is [73]. A felsorolt paraméterek figyelembevételével a mobilhálózat késleltetési idő különbségéből adódóan kiszámolható, hogy egy adott sebességgel haladó drón mennyi utat tesz meg. Egy példával szemlélítve: A késleltetési idő a drónok manővereztetésében játszik fontos szerepet. A következő példa egy 50 és 100 km/h sebességgel haladó drón „féktávolságának” kiszámítása. A „féktávolság” két részre bontható. Reakcióidő alatt megtett távolság és az adott drón tehetetlenségéből eredő „fékút” távolsága. A 5. táblázatban láthatjuk a példaként kapott eredményeket, ahol ugyanazt a drónt 4G/LTE hálózaton, illetve 5G hálózaton keresztül vezéreljük [74]. A távolság kiszámítása az adott képlet alapján történik (2):

$$d = \frac{s \cdot r}{3,6} \quad (2)$$

d = reakcióidő távolsága (m); s = sebesség (km/h); r = reakcióidő (s); $3,6 = \frac{\text{km/h}}{\text{m/s}}$

Az 5. táblázatban látható, hogy 5G mobilhálózaton keresztül való vezérlés esetén rövidebb a teljes adatkésleltetési idő, ami valós idejű vezérlés esetén a gyors drónműveletekre befolyással lehet, viszont az emberi reakcióidőt figyelembe véve a milliszekundum késleltetések a legtöbb műveletvégzésnél nem okoznak problémát.

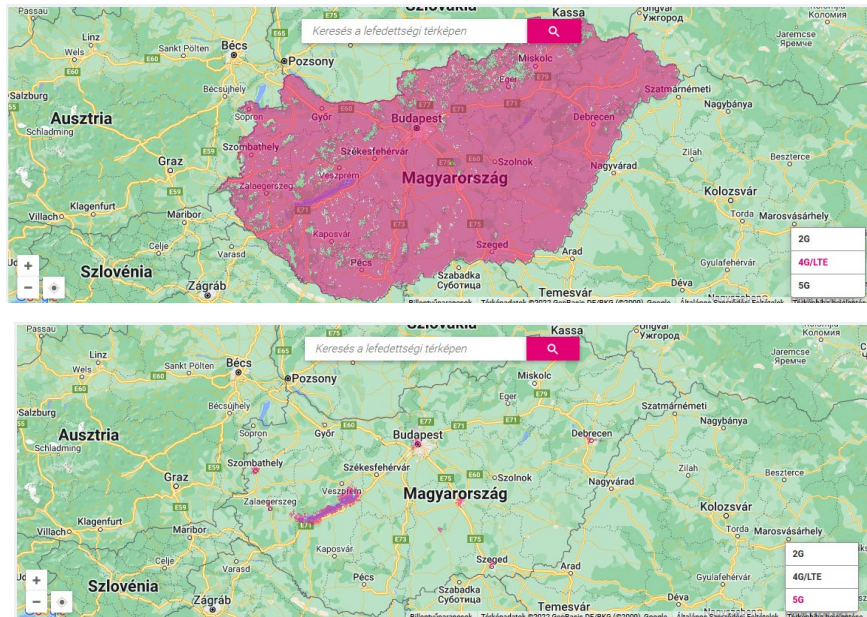
	4G	5G
Átlagos késleltetési idő	50 ms	5 ms
50 km/h drónsebesség esetén megtett út	~0,7 m	~0,07 m
100 km/h drónsebesség esetén megtett út	~1,39 m	~0,14 m

5. táblázat: Drón és vezérlés közötti valós késleltetési idő [készítette a szerző]

A valós idejű vezérlés mellett vissz irányban a megfelelő felbontású videó továbbításához is szükségesek bizonyos mobilhálózati kritériumok. A bázisállomás BS (Base Station) és a drón közötti kapcsolathoz legalább 300-600 kbps adatátvitel szükséges, amelyet a jelenlegi 4G hálózatok is biztosítanak.

A celluláris hálózaton keresztüli vezérlés problémái

A kutatások azt mutatják, hogy már a 4G hálózat is képes megfelelő csatlakozással, alacsony adatvesztéssel biztosítani a kommunikációt, ugyanakkor a jelerősség, lefedettség csökkenése jelentősen megnöveli az adatátviteli időt. A 11. ábrán látható az egyik magyarországi szolgáltató 4G, illetve 5G mobilhálózati lefedettsége. A 4G lefedettsége látszólag igen kiterjedt, viszont éppen a kritikus területeken nem megfelelő. Ilyen például az erdők, hegyek és gyéren lakott területek. Az 5G hálózat új, intelligens több be- és kimenetű antennatípus úgynevezett massive MIMO (multiple-input, multiple-output) antennarendszere segítségével jelentősen megnő a sáv szélesség, de a jelenlegi technológiai korlátok miatt ez a rendszer inkább csak sűrűn beépített területeken, illetve tesztkörnyezetben érhető el [75] [76].



11. ábra: A T-mobil 4G és 5G technológia lefedettsége Magyarországon 2022.01.11. [77]

A mobilhálózaton keresztül való vezérlést további problémák is korlátozzák, mint például a bázisállomások közötti átkapcsolási idő, ami időszakos jelkiesést okozhat. Repülési módtól függően ez hosszabb autonóm, vakon, vagy kontrolálatlan repülést eredményezhet [78].

A celluláris hálózaton keresztüli vezérlés átmeneti lehetőségei

Amíg a mobilhálózat technológiai és lefedettségi korlátai nem lesznek ideálisak, addig a drónok vezérléséhez számos hibrid lehetőség áll rendelkezésre. Az Ericsson cég elképzelése, hogy több lépésre bontja a kapcsolat felépítését. Első lépésként direkt (P2P) RF kapcsolatot hoznak létre, amíg a mobilhálózati kapcsolat fel nem épül. Második lépésként – amikor létrejön a biztonságos mobilhálózati kapcsolat –, már valós idejű telemetriai adatokat, állapotinformációkat kapunk a drón felől. Harmadik lépésként a drónt szinkronizálják a mobilhálózati vezérléshez, így a drónt már teljes egészében mobilhálózaton keresztül vezérelhetjük [79] [80] [81].

2.4. A P2P kommunikációs technológiák elemzése

A kommunikációs megvalósítások közül nehéz kiválasztani azt a technológiát, amely minden szempontból alkalmas egy drón és a földi állomás közötti kapcsolat megvalósítására, ezért először meg kell határozni azokat a feltételeket, amelyek fontosak a stabil és biztonságos üzemeltetés szempontjából. A jelenleg fejlett és alkalmazható

technológiák közül számos olyat vizsgálok meg, amelyet valamelyik paramétere alapján alkalmasnak találok a feladatra. Mindegyiknek van kedvező és kedvezőtlen műszaki paramétere [82] [83]. A következőkben a számomra elérhető nyilvános információkból és adatokból létrehoztam egy vizsgálati teret, ahol a katasztrófavédelmi felhasználási irányelveket vettem alapul. Ennek alapján a vizsgált paraméterek:

- A kommunikációs rendszer hatótávolsága
- Adatátviteli sebesség
- Hálózatbiztonság
- Adatkésleltetés
- Energiafelvétel

A vizsgálatoknál az alkalmasságot igen/nem minősítéssel láttam el, aszerint, hogy megfelel-e az adott vizsgálati terület elvárt eredményének.

Hatótávolság (1.)

A drónos műveletvégzések egy része nagy kiterjedésű vagy beláthatatlan területek felett kerül végrehajtásra. Ezért a kommunikációs technológia hatótávolsága, vagyis a drón és a földi egység között létrehozható maximális távolság az egyik legfontosabb vizsgálati szempont. Ennek megfelelően már az első lépésnél eldönthetjük, hogy alkalmas a rendszer, vagy sem. A 6. táblázatban a technológiák átlagos hatótávolsága látható nem sűrűn lakott környezetben.

Technológia	Átlagos hatótávolság	Alkalmas/ nem alkalmas
WLAN (WiFi)	50 m	nem
Bluetooth	20 m	nem
Zigbee	50 m	nem
Lora	500 m	nem
4G LTE	1 km „∞”	igen
5G	100 m „∞”	igen
OcuSync (3)	8 km (EU)	igen
Lightbridge (2)	5 km (EU)	igen

6. táblázat: Kommunikációs technológiák átlagos hatótávolsága [készítette a szerző]

Átviteli sebesség (2.)

Átviteli sebesség értékmeghatározásnál leginkább a PC csatornán, a drón által küldött valós idejű videókép esetében van nagy jelentősége. A CNPC csatorna (navigációért

felelős) kommunikáció, valamint a telemetria adatok nem igényelnek nagy sáv szélességet. A valós idejű kommunikációhoz ezért minimálisan 20 Mbit/s átviteli sebességre van szükség ahhoz, hogy megfelelő minőségű 2K videó kép jó minőségben átküldésre kerüljön. A 7. táblázatban az e fölötti értékkel rendelkező technológiák alkalmasak erre [84].

Technológia	Átlagos érték	Alkalmas/nem alkalmas
WLAN (WiFi)	50 Mps	igen
Bluetooth	1-3 Mbps	nem
Zigbee	250 kbps	nem
Lora	100 bps	nem
4G LTE	300 Mbps	igen
5G	600 Mbps	igen
OcuSync (3)	50 Mbps	igen
Lightbridge (2)	40 Mbps	igen

7. táblázat: Kommunikációs technológiák adatátviteli sebessége [készítette a szerző]

Titkosítás (3.)

A kommunikációs csatorna biztonsága, sérthetetlensége fontos szempont. Az eszközök közötti titkosítási szinterősségek befolyásolják a földi állomás és az drón közötti kapcsolat megbízhatóságát. A fejlettebb titkosítási szabványt, például (AES - Advanced Encryption Standard) használó technológiák strapabíróbbak a támadásokkal szemben, mint a WEP - Wired Equivalent Privacy, vagy a WLAN WPA protokollokat használók. A 4G, 5G hálózatok biztonsági szintje a technológiák egyik legmagasabb szintű titkosításával rendelkeznek [85] [86]. A vizsgálati értékek a 8. táblázatban láthatók.

Technológia	Átlagos érték	Alkalmas/nem alkalmas
WLAN (WiFi)	WEP, WPA2, AES128	igen
Bluetooth	AES64, AES128	igen
Zigbee	AES128	igen
Lora	AES128	igen
4G LTE	AES256 A5/3	igen
5G	NA	igen
OcuSync (3)	AES128, AES256	igen
Lightbridge (2)	AES128, AES256	igen

8. táblázat: Kommunikációs technológiák titkosítási protokolljai [készítette a szerző]

Késleltetési idő (4.)

A valós idejű manuális drónvezérlés legfontosabb szempontja a rendszer teljes egészére vonatkozó késleltetési idő minimalizálása, vagyis az, hogy a manőverre kiadott parancs a lehető leggyorsabban eljusson az UAV-hez, amit azután végrehajt. Amennyiben manuális vezérlésnél az emberi reakcióidőt és a drón mozgását mechanikusan gátló tényezőket nullának vesszük, akkor csak az adott technológiából eredő (áramköri) késleltetés az, ami végül fennmarad. A 9. táblázatban a különböző kommunikációs technológiák átlagos adatkésleltetési ideje látható. A késleltetési idő elfogadhatóságát a P2P összeköttetésnél jellemző 50 ms idő alapján határoztam meg [87] [88] [89].

Technológia	Átlagos érték	Alkalmas/ nem alkalmas
WLAN (WiFi)	50 ms	igen
Bluetooth	30 ms	igen
Zigbee	20 ms	igen
Lora	1 s	nem
4G LTE	50 ms	igen
5G	5 ms	igen
OcuSync (3)	30 ms	igen
Lightbridge (2)	50 ms	igen

9. táblázat: Kommunikációs technológiák átlagos késleltetési ideje [készítette a szerző]

Energiafogyasztás (5.)

A rádiófrekvenciás kommunikációs egység energiafogyasztása leginkább az adó teljesítményétől függ, ami részben összefügg a technológia fejlettségével. A drón üzemében nem a rádiós alrendszer a legnagyobb fogyasztó, ezért a repülési időt kevésbé befolyásoló paraméter, de a hatótávolságra hatással van. A 10. táblázatban szereplő energiafogyasztási értéket többnyire a kereskedelmi forgalomba hozott eszközök gyártója adja meg.

Technológia	Átlagos érték (EU)	Alkalmas/ nem alkalmas
WLAN (WiFi)	100 mW	igen
Bluetooth	2.5 mW	nem
Zigbee	40 mW	nem
Lora	100 mW	igen
4G LTE*	100 mW	igen
5G*	50 mW	igen
OcuSync (3)	100 mW	igen
Lightbridge (2)	100 mW	igen

10. táblázat: Kommunikációs technológiák átlagos adóteljesítménye [készítette a szerző]

Celluláris technológiánál a bázisállomás (AP – Access Point) és a felhasználói terminál (UI – User Interface) közötti távolság és terjedési körülmények nagymértékben befolyásolja az adóteljesítményt. Ez jellemzően 30 mW – 2 W közötti érték lehet [90].

Vizsgálati következtetés

A kommunikációs megvalósítások néhány alapjellemzőjének vizsgálata alapján megállapítható, hogy az adott technológia alkalmas-e egy katasztrófavédelmi feladatokat ellátó drónrendszer-kommunikáció megvalósítására. A 11. táblázatban vizsgált adatok összegzése látható.

Technológia	Vizsgált paraméterek					Végső következtetés, alkalmasság
	1.	2.	3.	4.	5.	
WLAN (WiFi)	nem	igen	igen	igen	igen	NEM
Bluetooth	nem	nem	igen	igen	nem	NEM
Zigbee	nem	nem	igen	igen	nem	NEM
Lora	nem	nem	igen	nem	igen	NEM
4G LTE	igen	igen	igen	igen	igen	IGEN
5G	igen	igen	igen	igen	igen	IGEN
OcuSync (3)	igen	igen	igen	igen	igen	IGEN
Lightbridge (2)	igen	igen	igen	igen	igen	IGEN

11. táblázat: Kommunikációs technológiák alkalmassága – összesítés [készítette a szerző]

A vizsgált jellemzők és a kapott értékek alapján megállapítható, hogy több olyan technológia is van, amely számos paramétere alapján alkalmas a feladatra, viszont a vizsgáltak közül csak két direkt kapcsolat (OcuSync, Lightbridge), valamint a celluláris hálózatok (4G, 5G) kaptak megfelelő értékelést. A mobilhálózaton keresztüli

drónvezérlés előnyeit és korlátait korábban tárgyaltam. Tapasztalataim alapján rendszerszintű alkalmazásuk a közeljövőben sem a civil kereskedelmi, sem az állami drónok esetében nem várható. A P2P technológiák közül az OcuSync a legnagyobb hatótávolságot biztosító technológia. Kevésbé érzékeny az interferenciára, még zajos környezetben is stabil működést biztosít, akár 10 km-es hatótávolság mellett is. A földi irányítóegység által adott utasításokat a drón 30 ms késleltetéssel hajtja végre. A videoképet 50 Mbps letöltési sebességgel, FHD 1080p/60fps minőségben küldi a földi állomás felé [64] [91]. Amennyiben az 5G technológia mindenhol elérhető lesz, a lefedettség és a garantált sávszélesség is lehetővé teszi a stabil kommunikációt, valamint a jogi szabályozás sem szab gátat, abban az esetben a celluláris hálózatokon keresztül való irányítás nagy előrelépés lesz a felhasználási lehetőségeket tekintve. Különösen EVLOS és BVLOS vezérlés esetén lesz hasznos például nagy kiterjedésű vonalas objektumok (folyószakasz, távvezetékek) ellenőrzésekor. Az irányítás egyszerűbbé válik egy diszpécserközpontból és így célravezetőbb is. A celluláris hálózaton keresztüli vezérlés jelenleg csak tesztkörnyezetben üzemeltethető, de elterjedésük mindenképpen mérföldkönek számít majd.

2.5. Rádiós alrendszerek üzemzavara

A GNSS a gyűjtőneve azoknak a SAT alapú navigációs rendszereknek, melyek autonóm földrajzi helymeghatározásra alkalmasak a Föld teljes felszínén. Számos rendszer van a megvalósítás fázisában, vagy rendelkezik már a szükséges műholdakkal és földi állomásokkal, néhány közülük globális, mások még csak lokális pozícióadatokat szolgáltatnak. (GPS, GLONASS, Galileo, COMPASS, Beidou). A GPS - Global Positioning System rendszert az Egyesült Államok kormánya hozta létre eredetileg katonai alkalmazásra 24, később 30 aktív műhold alkalmazásával. 1994-től volt teljesen működőképes, ekkor már civil és üzleti célokra is használták, lefedve a Föld teljes területét. A GLONASS Oroszország globális műholdas helymeghatározó rendszer. Egyetlen igazi alternatívája az amerikai GPS rendszernek lefedettség és pontosság tekintetében is. A fejlesztése 1976-ban indult és 2010 óta teljesen működőképes, 24 műholddal. A Galileo projekt az Európai Unió által tervezett globális műholdas helymeghatározó rendszer, mely az EU tagállamok számára nyújt az amerikai GPS, az orosz GLONASS és a kínai BEIDOU rendszerektől független, autonóm helymeghatározást akár azokra az esetekre, ha az egyes országok között kialakuló

konfliktusok a GPS szolgáltatás korlátozását eredményeznék. A rendszer 2016 óta működik, jelenleg 24 műholdja kering a Föld körül. A Beidou Kína által 1980-ban elindított fejlesztés, mely 2000-ben lett teljes, 27 műhoddal biztosít helymeghatározást elsősorban kínai felhasználók számára. A Beidou-II, más néven Compass azonban már globális rendszer, 35 műhoddal rendelkezik.

A drónvezérlést tekintve két alapvezérlést különböztetünk meg, valamint ezek kombinációit. Leggyakrabban, valós idejű manuális vezérlés esetén, az útvonal és a feladatvégzés parancssor megadása folyamatos rádiós kapcsolatot igényel. A második vezérlési típus az automatikus vagy autonóm mód, ahol a drón egy előre megtervezett útvonalon hajt végre feladatot. Az előre megtervezett útvonaladatokat és a feladatvégzéshez szükséges parancsokat a küldetés megkezdése előtt töltjük fel a drónba. Mind a két esetben egyaránt fontos a helymeghatározásért felelős GNSS alrendszer, valamint a CNPC csatorna üzembiztonsága. Bármelyik egység meghibásodása, zavarása vagy a jel megszűnése, veszélyezteti a drónos küldetés sikerességét [92]. Földrajzi pozícióvesztés általánosságban kétféle módon alakulhat ki. Az első esetben a GPS vevő hibásodik meg, és nem szolgáltat koordináta adatokat a központi vezérlő áramkörnek. A másik eset, amikor a műholdak által sugárzott jel – például rálátás hiányában – nem értékelhető. A GPS vevő mind a két esetben különbséget tesz a jelkimaradás okán, amit a központi vezérlő áramkör felé küldött kommunikációs protokolljában jelez. Nem jellemző, de a GPS vevő szándékos, téves információkkal való zavarása is befolyással van az eszközök működésére. A GPS időjelekből számolt valószerűtlen koordináta információkat a vezérlő áramkör egy szintig kezelni tudja, de a tudatos eltérítésre nincs felkészítve. Pillanatnyi téves információk az interferenciák miatt alakulhatnak ki [93] [94]. A kommunikációs csatornák közül a PC csatorna jelvesztése, zavarása nincs közvetlen befolyással a biztonságos feladatvégzésre, így azt nem vizsgálom. A drón szemszögéből tekintve öt alapesetben alakulhat ki jelvesztés.

- Vezérlő CNPC csatorna külső zavarása
- Vezérlő CNPC csatorna meghibásodása
- Vezérlő CNPC csatorna alacsony jelszint, pillanatnyi jelvesztés
- GNSS kapcsolat nem elérhető
- GNSS kapcsolat zavarása

Ennek értelmében felállítottam egy kapcsolati táblázatot, amely a drónos műveletek végrehajthatóságát jelzi az adott vezérlési módban. Két alcsoportot hoztam létre

(általános és kényszerített üzemmód). Az általános üzemmód az úgynevezett M-manuális, és A-automata vezérléseket jelenti. A kényszerített üzemmód (RTH - return to home), vagyis „vissza a starthelyre”, illetve a LOIT-loiter, „lebegés” egyhelyben mód. Ez utóbbi két üzemmód elérhető üzemszerű működés esetén is [95] [96] [97]. A 12. táblázatban látható az üzemmódok és a jelvesztés okának egymásra hatása. Három állapotot különböztettem meg. A zöld mező jelentése: a jelvesztés (hiba) nincs befolyással az adott üzemmódban. Sárga mező jelentése: előre definiált forgatókönyv szerinti műveletvégzés. Piros mező jelentése: a repülési művelet nem hajtható végre az adott jelvesztés, vagy belső meghibásodás meglétekor.

Jelvesztés oka	Általános üzemmódok		Kényszerített üzemmódok	
	Automata mód (A)	Valós idejű manuális mód (M)	forgatókönyv szerint (RTH)	forgatókönyv szerint (LOIT)
CNPC csatorna folytonos zavarása (incidens)	forgatókönyv szerint	nem lehetséges	nincs befolyás	forgatókönyv szerint
CNPC csatorna meghibásodása	forgatókönyv szerint	nem lehetséges	nincs befolyás	forgatókönyv szerint
CNPC csatorna pillanatnyi jelvesztés	forgatókönyv szerint	forgatókönyv szerint	nincs befolyás	nincs befolyás
GNSS vevő meghibásodása	nem lehetséges	nem lehetséges	nem lehetséges	forgatókönyv szerint
GNSS vétel folyamatos megzavarása (incidens)	nem lehetséges	forgatókönyv szerint	nem lehetséges	forgatókönyv szerint

12. táblázat: Vezérlési módok és a rádiós alrendszerek hibalehetőségeinek egymásra hatása
[készítette a szerző]

A három állapot közül a zöld mező, vagyis a nincs befolyás az, amikor az adott drónműveletet nem befolyásolja a hiba bekövetkezése, vagy tartós fennállása. Ez abban az esetben áll fenn, amikor a drón már eleve egy kényszerített műveletvégzés állapotában van. Tehát előre megírt, programozott vészhelyzeti műveletsorokat hajt végre. Ilyenek lehetnek az RTH, LOIT, kivételes esetben az azonnali landolás. A piros állapotban műveletvégzés nem lehetséges szituáció alatt a drón semmilyen repüléssel kapcsolatos műveletet nem képes végrehajtani. Amennyiben a hiba már a felszállás megkezdése előtt fennáll, a legtöbb drón nem képes repülési feladatok végrehajtására [98] [99]. A sárga, vagyis a forgatókönyv szerinti műveletvégzés egy vészhelyzeti állapotot jelent. A cselekménysorozatot, illetve az ehhez tartozó időállandókat a gyártók, üzemeltetők, drónpilóták előre definiálják. A leginkább jellemző döntések a következők: Amennyiben a jelkimaradás rövid ideig áll fenn (néhány száz milliszekundum) a repülésvezérlő alrendszer nem szakítja meg az adott műveletvégzést. Ha a jelvesztés időtartama

hosszabb, mint egy másodperc, a repülésvezérlő megszakítja a folyamatos koordinátaváltozással összefüggő műveletet és LOIT módra vált, vagyis egyhelyben „lebeg”. Tíz másodperc feletti jelkimaradás esetén a repülésvezérlő különbséget tesz aszerint, hogy melyik alrendszer észleli a hibát. CNPC jelvesztés esetén a repülésvezérlő aktiválja az RTH üzemmódot és a drón visszatér a starthelyre. GNSS hiba és/vagy jelvesztés fennállásakor a drón megszakítja küldetését és LOIT módra vált, landol, vagy speciális esetben visszatér a starthelyére [100] [101].

Vizsgálati következtetés

A vizsgálatok alapján látható, hogy bármely RF alrendszer meghibásodása befolyással van a repülési művelet biztonságára. Ez leginkább valós idejű manuális vezérlésnél jelent gondot mind CNPC, mind pedig GNSS alrendszer tekintetében. Automata vezérlési állapot esetén géptípustól és forgatókönyvtől függően a CNPC jel elvesztése nem befolyásolja a küldetés egészét, mivel a navigációs adatokat a repülési küldetés megkezdése előtt táplálják a légi járműbe. A dróntól a földi egysége felé érkező adatokat ez nem befolyásolja. A kapcsolati ábrából látható, hogy a GNSS alrendszer üzembiztossága minden üzemmódban fontos tényező. A GPS vevő a korábban írtaknak megfelelően különbséget tesz a zavarás, jelkimaradás, vagy hardveres egység meghibásodása tekintetében, amit a kommunikációs protokolljában közöl a vezérlővel. Elindul egy koordinátavesztést kezelő vészhelyzeti algoritmus, majd a fedélzeti adatfúziós rendszer dönt a probléma kezeléséről, melynek eredménye lehet „lebegés”, landolás, vagy RTH mód. Az előzőkben leírtak az általános szabadtéri tájékozódásra vonatkoznak, a beltéri pozíció-meghatározást nem a műholdas helymeghatározó rendszer támogatja.

ÖSSZEGZÉS

Ebben a fejezetben megvizsgáltam és rendszereztem a drónrendszerek kommunikációs megoldásait és az üzemszerű működtetésükkel szemben támasztott körülményeket. A fejezet első részében megállapítottam, hogy a drónrendszerek biztonságos üzemeltetését befolyásoló tényezők közül a drón és a pilóta közötti kommunikációs CNPC csatorna, valamint a GNSS koordináta helymeghatározó rendszer üzembiztossága van leginkább befolyással a drónos feladatvégzések kimenetelére. Megállapítottam, hogy a vizsgált kommunikációs megoldások egyedi jellemzői, paraméterei befolyásolják az adott technológia alkalmazását és a repülési üzemmódoktól függetlenül megerősítik, vagy

kizárják annak megfelelőségét. Megállapítottam, hogy a CNPC csatorna kommunikáció MAVLink típusú szórt spektrumú frekvenciaugrás technikákra támaszkodó vezérlés a leginkább veszélyeztetett és sérülékeny a nyílt forráskódú protokollok esetében, annak ellenére, hogy ez a technológia többnyire zavarérzékeny az interferencia okozta problémákkal és a zavarásokkal szemben. A fejezet második részében a celluláris hálózaton keresztül történő drónvezérlés lehetőségeit vizsgáltam. Bizonyos feltételek mellett mind a 4G, mind pedig az 5G technológia alkalmas a mobilhálózaton keresztüli drónvezérlésre. A technológiák elméleti adottságai lehetővé teszik a valós idejű drónrendszerek üzemeltetését, ami elsősorban a BVLOS típusú repüléseknél jelent(het) előnyt. A 4G, 5G technológiai feltételei már elméletben adóttak, de függetlenül a jogi akadályoktól, széles körű elterjedése, polgári felhasználása egyelőre nem várható, így megjelenése a katasztrófavédelmi drónos feladatok kommunikációjában sem valószínű. Kutatásaim során megállapítottam, hogy az 5G technológia számos paraméterében alkalmasabb, mint a 4G, de a generációs fejlettségből eredően technikai akadályok is felmerülnek valós üzemeltetési körülmények között. A problémák egyike, hogy a technológia alapvetően sérülékeny a folyamatos kapcsolatfenntartást illetően, ezért üzembiztonsága nem stabil. A 4G és az 5G technológia a már megvalósított területeken már hibrid üzemmódban működik. A szolgáltatások igénybevételéhez a hálózati lefedettség szolgáltatóként változik. Előfordulhatnak olyan földrajzi területek, ahol a hálózat lefedettsége és a sáv szélesség nem éri el az elvárt szintet, ezért a technológia nyújtotta szolgáltatást, mint például nagy kiterjedésű vonalas objektumok környezetében végzett műveletek elvégzése nem valósulhat meg. A fejezet harmadik részében elemző kutatásokat folytattam a CNPC és GNSS alrendszerek üzembiztonságát befolyásoló tényezőket vizsgálva, ezért felállítottam egy kapcsolati összefüggést, melyben elemeztem az RF alrendszerek befolyását a fennálló hiba, incidens és drónvezérlés-üzemmód tekintetében. A vizsgálat eredményeként megállapítottam, hogy bármely alrendszer meghibásodása, jelvesztése befolyásolja és befolyásolhatja a repülési művelet végrehajtásának sikerességét. Valós idejű vezérlésüzemmód esetén mind a CNPC, mind pedig GNSS alrendszer folyamatos megléte nélkülözhetetlen, illetve a GNSS jel hiányában a drónos feladatvégzés meg sem kezdhető. Automata, autonóm vezérlési mód esetén – egy előre deklarált forgatókönyvtől függően – a CNPC jel elvesztése közvetlenül nem befolyásolja a küldetés egészét, a GNSS alrendszer meghibásodása, zavarása viszont minden esetben hatással van a teljes drónos feladatvégzés biztonságára. Katasztrófavédelmi és kutatás-mentési felhasználási területeket tekintve a GNSS

alrendszer meghibásodása leginkább merevszárnyú drónok esetében jelent(het) navigációs problémát, BVLOS vezérlés esetén. A megfogalmazott felvetést igazolva, vizsgálatokkal alátámasztva új tudományos eredményként meghatároztam a drónrendszerek biztonságos üzemeltetését befolyásoló tényezők közül, az infokommunikációs alrendszerek csoportjába tartozó azon megoldásokat, melyek alkalmazhatók a katasztrófavédelmi, valamint a kutatás-mentési feladatok ellátása során.

3. A KATASZTRÓFAVÉDELMI, KUTATÁS-MENTÉSI DRÓNRENDSZEREK ÉS A KATASZTRÓFÁK KAPCSOLATI ÖSSZEFÜGGÉSEI

Korábbi fejezetekben elemeztem és csoportosítottam a katasztrófatípusokat. Megvizsgáltam a drónrendszerek felépítését és a kommunikációs technológiákat. Feltártam a törvényi szabályzók és normatívák vonatkozó kérdéseit. E fejezet célja megalkotni az általános katasztrófaspecifikus drónrendszer alappilléreinek összetevőit, valamint a már korábban vizsgált tényezők és az új összetevők vizsgálata alapján megalkotni azt a kapcsolati mátrixot, amely végső eredményképpen meghatározza egy konkrét katasztrófatípushoz, kutatás-mentési feladathoz alkalmazható feladatspecifikus drónrendszert.

BEVEZETÉS

A katasztrófavédelmi és kutatás-mentési drónos feladatok elvégzése előre tervezhető és előre nem tervezhető feladatsorokból állnak. A két állapot között nem éles az átmenet, léteznek előre megírt forgatókönyvek például a Tűzoltási- és mentési szabályzatban megfogalmazott különböző eseményekre, de kialakulhatnak olyan nem várt feladatok is, amelyekre ugyan van előre megírt, vagy részben megírt eljárásrend, de a körülmények hirtelen változása miatt szükség van folyamatos döntésváltoztatásra. Kutatásaim folyamán megfogalmazódott bennem, hogy a katasztrófavédelmi, valamint a kutatás-mentési feladatok sokszínűsége okán szükség van egy olyan több tényezőt figyelembe vevő kapcsolati mátrix kialakítására, amely az adott feladat elvégzésére pontosan – vagy az adott körülményekhez képest pontosan – meghatározza a leginkább alkalmas katasztrófavédelmi feladatot támogató feladatspecifikus drónrendszert.

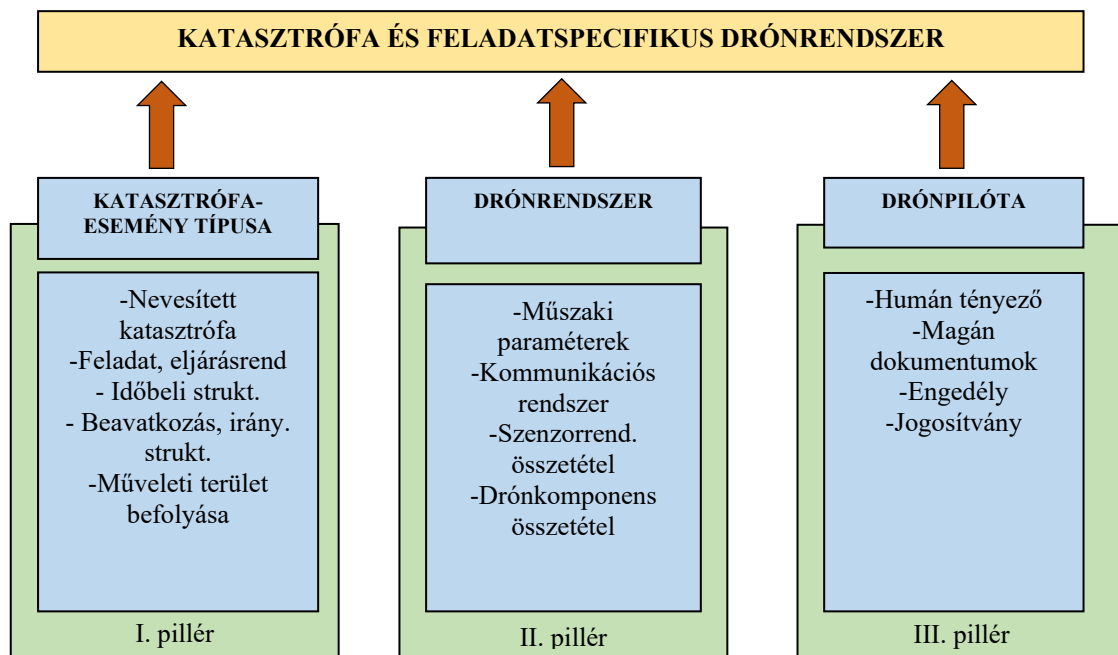
3.1. Katasztrófhelyzetekben és kutatás-mentési feladatok során alkalmazható drónrendszer összetevői

Az első fejezetben vizsgáltam, majd meghatároztam a katasztrófavédelmi, valamint a rendészeti feladatok közé tartozó kutatás-mentés feladatokat támogató drónművelet komplex összetevőit. A katasztrófaspecifikus drónrendszer megalkotása ezen ábra alapján olyan komplex és szerteágazó lenne, hogy a döntéshozatal és a megfelelő drónrendszer kiválasztása hosszadalmas eljárást vonna maga után. A döntések

meghozatalának segítése céljából létre kell hozni egy egyszerűbb, de a hatékonyságot nem befolyásoló új struktúrát. Átmenetet/átmeneteket kell képezni az egyes szakterületek, feladatok és igények között. Ennek értelmében – korábbi kutatási eredményeim alapján – három fő alappillért és azok tartalmát határoztam meg:

- Katasztrófaesemény típusa
- Drónrendszer
- Drónpilóta

Az elkészített összefüggést a 12. ábra szemlélteti.

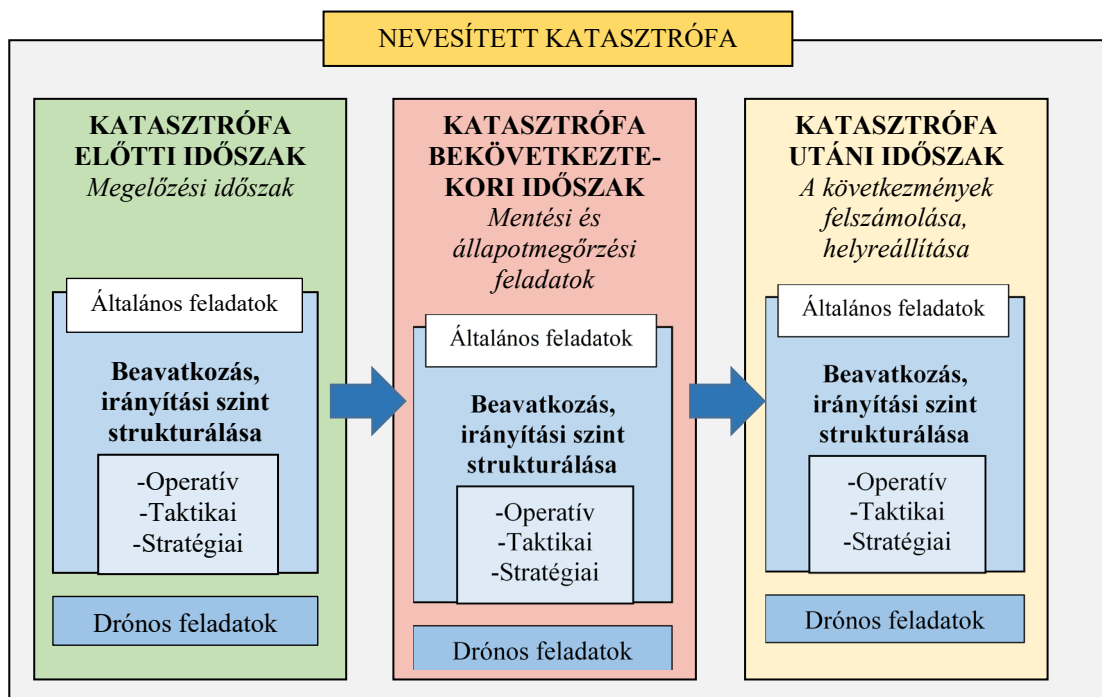


12. ábra: Katasztrófaspecifikus drón-rendszer alappillérei [készítette a szerző]

A három alappillér ábra a legfontosabb összetevőket tartalmazza. A pillérek a következőket tartalmazzák:

3.1.1. A Katasztrófaesemény típusa – első pillér

Drónos feladatvégzések tervezése tekintetében legfontosabb a katasztrófa típusának pontos meghatározása, annak időbeni és műveleti strukturálása, valamint a katasztrófavédelmi és kutató-mentő szervezetek belső eljárásrend alapján meghatározott folyamatok ismerete. A katasztrófaesemény – ahogy az első fejezetben már kifejtésre kerül – három, időben jól elhatárolható szakaszra bontható. Mindhárom szakasznak megvannak a sajátosságai. Az 13. ábra az időbeli struktúrák összetételét és a drónos feladatok szerepét szemlélteti.



13. ábra: A nevesített katasztrófa időbeli szakaszainak általános felosztása [102] alapján készítette a szerző

Ebben a kontextusban a nevesített katasztrófához tartozó időbeli fázisok mindegyike vagy egy része játszik szerepet, mind az általános, mind pedig a drónos műveletvégzés tekintetében. Ennek alapján a drónos műveletek történhetnek bármelyik időszakaszban, valamint az alkalmazások szerepet játszhatnak a beavatkozás és irányítás szintjének mind a stratégiai, mind a taktikai, mind pedig az operatív tevékenységek támogatásában is [103].

Drónos feladatvégzés a katasztrófa előtti időszak alatt

A katasztrófa előtti időszakban a drónos repülések időszerűségét és jellegzetességét tekintve is jól tervezhetők. A katasztrófa előtti időszak akár az iparbiztonságban, akár természeti katasztrófák egy részénél a hatóságok és/vagy ellenőrző szervek részéről megtervezhető előre ütemezett, vagy spontán műveleteket jelentenek. Az ellenőrzések a levegőből történnek, ezért az ilyen típusú műveletek nem befolyásolják a környezetet. Lassú lefolyású katasztrófák, mint például árvíz vagy belvíz elleni védekezéskor megelőző intézkedésként a légi megfigyelés révén nagy kiterjedésű területek, hosszú folyószakaszok vizsgálhatók felül. Például a megfigyelt folyó és annak árterülete előre megtervezett időben és útvonalon, a beprogramozott beállításokkal jól tervezhető, de az iparbiztonságban is fontos szerepe van az esemény előtti időszak drónos

feladatvégzésének E struktúra előre tervezhetősége és feladatai miatt külső, civil szervezet is bevonható [104].

Drónos feladatvégzés a katasztrófa bekövetkezése és az azt követő közvetlen időszak alatt

A repülésműveletek leginkább ebben a szakaszban katasztrófaspecifikus jellegűek. A repülési műveletek során többféle előre meghatározott terv akár együttes használata lép életbe, emiatt gyakran – a bekövetkező nem várt események és hatások elkerülése végett – összetett megoldások születnek. Ebben a szakaszban kezdetben az információk gyors megszerzése okozta időnyomás, később az esetlegesen elhúzódó repülések hatásait kell figyelembe venni. Leginkább ebben a szakaszban kulcsfontosságú a humán tényező jelenléte és szakértelme. A katasztrófa bekövetkeztekor az elsődleges dolog az emberi élet mentése, a katasztrófa helyszínén ragadt személyek felkutatása, valamint az érintettek informálása. Katasztrófatípustól függően az időbeni három fázis vagy mindegyike, vagy csak egy része van jelen. Például egy gátszakadásnál mind a három (előtte, közben és utána) szakasznak is van szerepe. Viszont egy földrengésnél, ami tipikusan olyan katasztrófa, amelynek pontos idejét, helyét, valamint kiterjedését sem lehet előre jelezni, a három időszakból az első, vagyis a katasztrófa előtti időszak nem jellemző, és csak a katasztrófa bekövetkezését követő közvetlen időszak, valamint az elsődleges katasztrófaelhárítási tevékenységet követő időszak a meghatározó [105] [106]. E struktúra feladatainak végrehajtása elsődlegesen a katasztrófavédelem hatásköre, de indokolt esetben (időnyomás, területérintettség, erőforráshiány) civil szervezet bevonása rendkívül hatékony segítséget adhat.

Drónos feladatvégzés a katasztrófa utáni helyreállítási időszak alatt

A katasztrófaesemény utáni időszakban az időbeni tervezhetőség leginkább a katasztrófa típusától és jellegétől függ. Az ilyenkor jellemző feladatok az ellenőrzési, felügyeleti, vagy helyreállítást támogató repülési műveletek. Ebben a szakaszban az általános repülési szabályok az érvényesek, az ilyen repülési műveletek már civil alkalmazásokhoz hasonlítanak és katasztrófaspecifikus jellegüket elveszítik. Ezek a műveletek nagymértékben megegyeznek a katasztrófát megelőző időszakban végzett repülések körülményeivel, vagyis időben és a feladat struktúráját tekintve is jól tervezhetők. A repülések irányulhatnak a katasztrófák utóhatásainak felmérésére, például árvizek tetőzését követően a víz visszahúzódásának ellenőrzése. Ilyen helyzetben előfordul, hogy

motorcsónakkal már nem, szárazföldi közúti járművel pedig még nem lehet megközelíteni az érintett területet. Az árvizek levonulását követően az érintett területek és gátak állapotfelmérését is drónos repülésekkel lehet költséghatékonyan végezni [107] [108]. E struktúra tervezhetősége és feladatai miatt külső megbízott is bevonható.

Drónos feladatvégzések a beavatkozás és irányítás szintjének strukturálása alatt

A katasztrófavédelmi, kutatás-mentési feladatok döntéshozói számára a gyors, pontos és objektív információ megszerzése a legfontosabb, ezért a menedzsment, katasztrófamenedzsment szempontjából fontos, hogy a három (stratégiai, taktikai, operatív) szint elkülönül egymástól, viszont a drónos feladatokat tekintve lehetnek átfedések is. A drónokat egyes feladatnál alkalmazhatjuk stratégiaiként, míg máshol taktikai szintű feladatokat is elláthat. Amíg az operatív feladatvégzés esetén a végrehajtás hatékonysága, az információszolgáltatás gyorsaságán és képességén, vagyis a gyors bevetetőségen alapul, addig a stratégiai feladatok elvégzése leginkább az információ minőségére épül. Mindegyiknek megvannak a jellemzői. Például a stratégiai alkalmazások tervezésénél a döntéshozókat nem terheli időnyomás, a feladatok modellezett, vagy konkrét esettanulmányok eredményei alapján, nyugodt körülmények között előre tervezhetők. A stratégiai feladatokra tervezett drónokkal szemben az elvárt követelmények is magasabbak, mint a taktikai, vagy operatív feladatra tervezett gépeknél. A különböző katasztrófaesemények során jelen lehet mind a három szakasz (például erdőtűz), de hiányozhat is valamelyik (például földrengés), ahol a stratégiai szakasznak nincs relevanciája [109] [110] [111].

A műveleti terület befolyása

A drónos feladatvégzések meghatározása és a drón, mint eszköz helyes megválasztása már a beavatkozás és irányítás szintjén szükséges. Erre vonatkozóan a műveletirányítás szempontjából egyik legfontosabb tényező a beavatkozás pontos helyének, méretének és kiterjedésének meghatározása. Ennek alapján a feladattípusok három, jól elkülöníthető területre oszthatók fel:

- Kis kiterjedésű területen végzett feladatok. Például lokális tüzeset, közlekedési baleset.
- Nagy kiterjedésű területen végzett feladatok. Például erdőtűz, belvíz, gátszakadás
- Nagy kiterjedésű, vonalas orientáltságú területek. Például folyószakasz, távvezeték.

A drónok VLOS, NVLOS és BVLOS üzemmódjait figyelembe véve hatótávolságuk akár több tíz kilométer is lehet. Ennek megfelelően a háromféle műveleti, beavatkozási területtípusnál célszerű figyelembe venni a gépek le- és felszállásának jellegét, amely meghatározza a drón egészére vonatkozó funkcionalitását és felhasználási területét. Kis kiterjedésű területeken célszerű a forgószárnyas géptípust alkalmazni, nagy kiterjedésű és/vagy nagy kiterjedésű vonalas területeknél viszont a merevszárnyas repülőeszközök praktikusabbak. A 13. táblázatban fel- és leszállás módja szerinti csoportosítás néhány fontosabb tulajdonsága és a hozzájuk rendelt műveleti területek kapcsolata látható.

Géptípus a fel- és leszállás módja szerint	függőlegesen fel-, leszálló	horizontálisan fel-, leszálló	függőlegesen és horizontálisan fel-, leszálló
Sárkányszerkezet	forgó	merev	hibrid
Vezérlés mód	VLOS	EVLOS, BVLOS	EVLOS, BVLOS
Üzemidő	<60 perc	>10 óra	<120 perc
Átlagos repülési Sebesség	60-80 km/h	>100 km/h	60-80 km/h
Előnyök	egyszerű irányítás, manőverezhetőség, alacsony sebességű, „lebegő” feladatvégzés, gyors üzembe helyezés	nagy hatótávolság, olcsóbb üzemeltetés, mint a forgószárnyas.	nagy sebesség, nagy hatótávolság, könnyű manőverezhetőség
Hátrányok	lassabb, mint a merevszárnyas, kis teherbírás, költségesebb üzemeltetés	horizontális fel- és leszállás, startszerkezet, nagyobb geometriai méret	kisebb teherbírású és költségesebb, mint a merevszárnyas



A terület jellege kiterjedés szerint	Kis kiterjedésű terület (n x 100 m ²)	Nagy kiterjedésű, vonalas terület (n x 10 km)	Nagy kiterjedésű terület (n x 1 km ²)
Jellemző katasztrófa időszak	előtte, alatta, utána	előtte, utána	előtte, alatta, utána

13. táblázat: Műveleti területek és dróntípusok kapcsolata le- és felszállás módja szerint
[készítette a szerző]

Korábbi elemzéseim azt mutatják, hogy a le- és felszállás módja a forgószárnyas és a merevszárnyas drónokra koncentrálódik és a hibrid megoldások háttérbe szorulnak. Ennek valószínűsíthető oka, hogy az elmúlt években az ipar olyan szintre fejlesztette a forgószárnyas dróntechnológiát, hogy szinte minden műveleti területen és körülmények között megállja a helyét. A fennmaradó területeken (nagy kiterjedésű, vonalas objektumok) a merevszárnyas géptípusok egyértelmű fizikai és funkcionális előnyét (üzemidő, hatótávolság, teherbírás) továbbra is ki kell használni.

3.1.2. A katasztrófavédelmi, kutatás-mentési feladatra alkalmazható drónrendszer – második pillér

A katasztrófavédelmi, kutatás-mentési feladatra alkalmazható drónrendszer összetételének meghatározása leginkább stratégiai, illetve azonnali beavatkozás esetén operatív szinten dől el. Ennek értelmében szükséges egy általánosságban definiált drónrendszer meghatározása, valamint egy konkrétabb – drónkomponenst és tudást magába foglaló – géptípus ajánlása is. Ez utóbbi eset sokkal több bemeneti körülményt és azok változásait szükséges vizsgálni és figyelembe venni, többek között a esemény, katasztrófaesemény időbeli pillanatnyi állapotát, erőforrásigényeket, konkrét időjárási körülményeket. Az így definiált drónrendszer összetevői a következő alrendszerekből épül fel:

- Műszaki, fizikai paraméterek
- Integrált szenzorrendszerek
- Infokommunikációs rendszerek üzembiztonsága
- Drónkomponens-összetétel

Műszaki, fizikai paraméterek

A drónok általános fizikai paraméterei, mint például geometriai méret, felszállótömeg, távvezérlés-hatótávolság, a le- és felszállás módja, vagy a sárkányszerkezet típusa meghatározza, illetve kizárja az egyes felhasználási területeken való műveletvégzést. A magasabb, nyílt kategóriába tartozó osztálybesorolású (C3-C4), vagy az afeletti speciális kategóriába tartozó (C5-C6) osztálybesorolású gépek alkalmazása vitathatatlanul biztonságosabb és stabilabb működést jelent minden körülmény között, viszont magasabb a biztonságot érintő kockázati tényező és az üzemeltetéssel kapcsolatos egyéb szabályozások is szigorúbbak. Kötelező a műveletvégzést megelőző kockázatelemzés, ezért a „spontán” bevetethetőség lehetősége is korlátozódik mind a drón, mind a pilóta jogosultsága tekintetében. A kisebb (C0-C2) osztálybesorolású drónokat viszont alapvetően nem katasztrófavédelmi feladatok végrehajtására tervezték, ugyanakkor műszaki adottságuk és képességük miatt (megfelelő időjárási körülmények között) hatékonyan bevonhatók egyes – leginkább alapszintű, vizuális megfigyelésű – műveletek támogatásába. Ez utóbbi kategóriának a három katasztrófa-időszak közül a katasztrófát megelőző és a katasztrófa utáni időszakban látom előnyét. Ilyenkor a feladatok

könnyebben tervezhetők előre, kevesebb fizikai, természeti befolyásoló tényezővel kell kompromisszumot kötni.

Infokommunikációs rendszerek üzembiztonsága

A II. fejezetben vizsgált infokommunikációs rendszerek üzembiztonságát érintő vizsgálatok következeként megállapítottam, hogy mind a GNSS alrendszer, mind pedig a CNPC alrendszer működésének stabilitása befolyásolja a teljes drónrendszer működését, ezzel pedig a katasztrófavédelmi drónos művelet sikerességét is.

Integrált szenzorrendszerek

Függetlenül a drón géptestének kialakításától, a levegőben való stabil koordinált repülés, „lebegés” és ütközésmentes irányítás a legfontosabb feltétel egy jól működő rendszerben. Valós idejű, manuális vezérlés esetén a küldetések sikeressége többnyire a látásunkon, szemmértékünkön és egy fedélzeti kamera küldött képén múlik. Nyílt terepen, jól belátható látási körülmények között ez általában elegendő, viszont a katasztrófavédelmi, kutatás-mentési drónos feladatvégzések sok esetben nem ideális körülmények közt zajlanak. Ennek értelmében, ahhoz, hogy az üzembiztonság javuljon szükség van különböző szenzorok, szenzorrendszerek integrálására, melyek kettős feladatot látnak el. Az elsődleges feladatot ellátó érzékelők a géptest általános stabil repüléséért, a „lebegésért” felelősek, míg a másodlagos érzékelők rendszerint kiegészítő funkciókat töltenek be, például az ütközésmentes manőverezés támogatásában. Ennek értelmében megkülönböztetünk:

- Stabil repülést, „lebegést” támogató alapszintű szenzorokat (elsődleges szenzorok)
- Ütközésmentes irányítást támogató szenzorokat (másodlagos szenzorok)

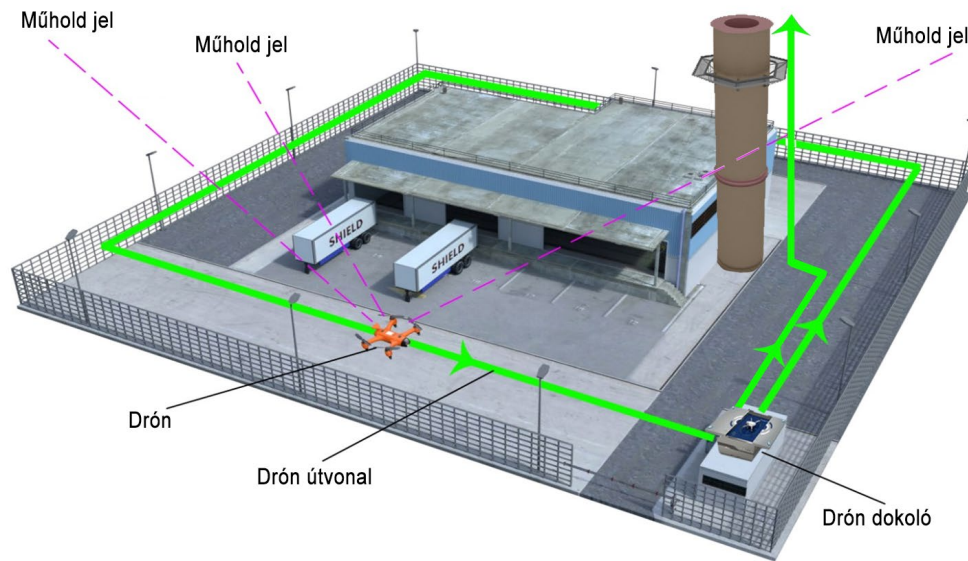
Alapszintű stabil működést támogató elsődleges szenzorok

A drónok stabil repülését vagy „lebegését” autonóm érzékelők támogatják. A drón repülésvezérlője dolgozza fel és értékeli a szenzorok által küldött adatokat, majd egy előre megírt algoritmus, vagy mesterséges intelligencia alapján megtanult alapján dönt és befolyásolja a drón mozgását. A legegyszerűbb drón levegőben – és pozícióban – tartásához is több szenzor úgynevezett MEMS (Microelectromechanical systems) szenzor jelének egyidejű feldolgozása, kiértékelése szükséges. Bármelyik érzékelő meghibásodása redundancia hiányában kihat a drón stabilitására, amely elindítja a vészhelyzeti algoritmus futtatását. Meghibásodás és/vagy jelkimaradás okozhat időleges

géptest stabilitás problémát, de akár a drón teljes elvesztését is. Például forgószárnyas drónok esetében a giroszkóp funkció meghibásodása a motorok fordulatszámvezérlésére hat ki, ami a drón azonnali zuhanásához is vezethet. Merevszárnyas drónok esetében viszont a haladási sebesség ismerete rendkívül fontos, mert csak meghatározott minimum sebesség felett képes a levegőben maradni, az alatt a gép „átesik” és lezuhan. A elsődleges szenzorok minden drónban megtalálhatók: giroszkóp, magnetométer, légnyomásmérő, gyorsulásmérő, sebességmérő, helymeghatározó. A telemetriai adatok (például magasság, sebesség, földrajzi koordináta) nemcsak a géptest stabilitást vezérlő elektronika részére elengedhetetlen, de a drónt irányító földi személyzet számára is rendkívül fontos információk.

Kültéri tájékozódást és ütközésmentes irányítást támogató rendszerek

A kültéri pozíció meghatározásában a GNSS rendszerek jól ismertek, széles körben alkalmazzák a helymeghatározási, lokalizációs és navigációs technológiákat (Positioning, Localization, and Navigation, a továbbiakban: PLAN). A jelen kor műholdvevőinek koordináta pontossága nagyságrendileg tíz méter, viszont a differenciális helymeghatározást (Differential Global Positioning System, a továbbiakban: DGPS) alkalmazva, vagy a valós idejű kinematikus helymeghatározás (Real Time Kinematic, a továbbiakban RTK) kombinációjával az érték centiméter pontosságot is elérhet [112]. Ahhoz, hogy a drónok ütközésmentesen hajtsák végre küldetésüket, nemcsak a PLAN technológiának kell hibamentesen kiszolgálni egy drón-rendszert, hanem szükséges a váratlan akadályok ütközésmentes elkerülése is. A repülési útvonalba kerülő különböző akadályok feltérképezésére és lereagálására csak a drónba integrált különböző ultrahangos távolságérzékelő szenzorok, speciális kamerák jelentenek megoldást. A 14. ábrán egy kültéri feladatvégzést ellátó drón és útvonalterve látható katasztrófát megelőző időszakban [113].



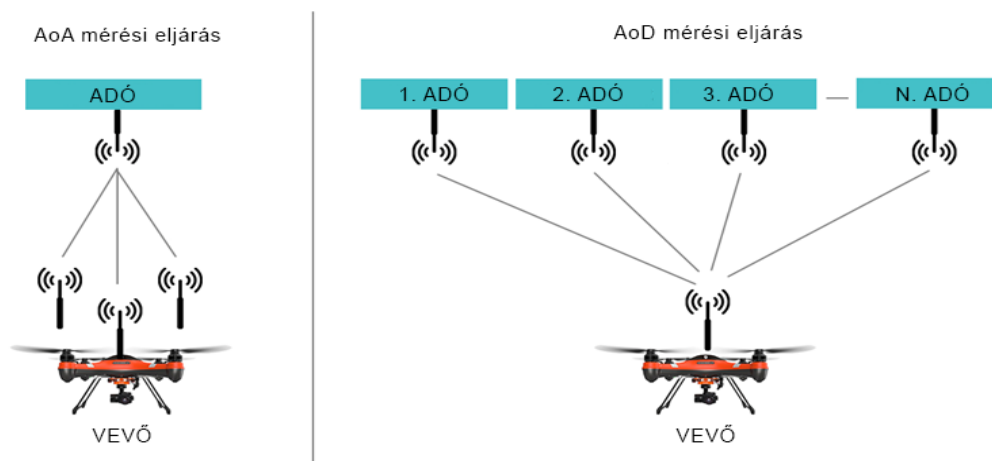
14. ábra: Helymeghatározó adatok segítségével, útvonalterv szerint kültéri feladatot végrehajtó drón, a katasztrófát megelőző időszakban [készítette a szerző]

A helymeghatározó adatok hiányában a drón azonnal elveszíti a legfontosabb tájékozódási képességét, ezért szükség van alternatív megoldásra. A repüléstámogatás egy másik megközelítése a SLAM használat. A rendszer a drónok vizuális és egyéb szenzoraival együtt valós időben térképezi fel környezetét. A SLAM rendszerek egyik legfontosabb érzékelője a 2D, 3D lézer alapú távérzékelés (Light Detection and Ranging, a továbbiakban: LiDAR).

Beltéri helymeghatározás, tájékozódás

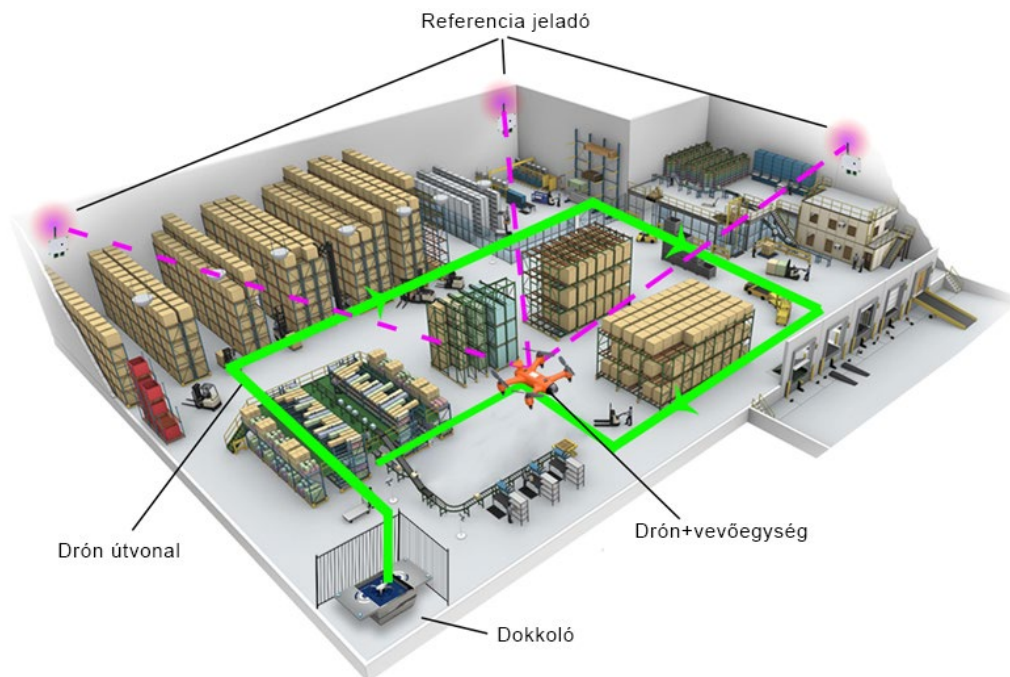
A drónok beltéri alkalmazása nem jellemző katasztrófavédelmi szempontból, de adódhat olyan helyzet, például az iparbiztonság területén egy csarnok átvizsgálása, amikor szükség lehet a drónok munkájára. A drónok kültéri tájékozódása napjainkra szinte tökéletesen megoldott, viszont a beltéri, vagy fedett területen való tájékozódás a GNSS helymeghatározó adatok hiányában csak egyéb módon lehetséges. Míg kültéri helymeghatározásnál elegendő a polgári felhasználásra biztosított pontosság, mely ideális esetben akár egy méteren belüli, addig ugyanez beltéren már balesetet, katasztrófát is eredményezhet. Ilyen esetekben az abszolút, vagy relatív koordináta meghatározása úgynevezett referenciapontok meghatározásával valósítható meg [114]. Egy háromdimenziós térben elhelyezett tárgy helyzetét alapvetően kétféle elven lehet meghatározni. Első esetben a térben elhelyezett tárgy határozza meg a saját pozícióját, a második esetben kívülről határozzuk meg a tárgy helyzetét [115]. A leginkább ismert

rádiófrekvenciás helymeghatározás általában az RSSI (Received Signal Strength Indication) módszert alkalmazza, amely az észlelt jelek erőssége alapján, háromszögeléssel állapítja meg az eszközök pozícióját. Azonban ezek a mérési eljárások pontosságukat tekintve nem megbízhatók. Beltéren a pontos helymeghatározásra megoldást jelenthet a 15. ábrán is látható úgynevezett beérkezési szög alapján való mérés technológia (Angle of Arrival, a továbbiakban AoA), illetve a kiindulási szög alapján való mérés technológia (Angle of Departure, a továbbiakban: AoD) mérési eljárás. Az AoA lényege, hogy az adóeszköz egyetlen antennát használva először egy iránykereső adatsomagot küld, amit a vevő több antennával érzékel. Az antennákra minimális időeltéréssel érkező csomagok késéséből a rendszer algoritmusai kiszámítják a jel érkezési szögét és irányát.



15. ábra: AoA és AoD rendszerű helymeghatározás [készítette a szerző]

Az AoD éppen az AoA fordítottja. Itt az adatsugárzó eszköz dolgozik több antennával, amelyekből egyszerre küld pozicionálásra szánt jeleket az egy antennával szerelt vevő felé. A 16. ábrán egy beltéri feladatvégzést ellátó drón és útvonalterve látható katasztrófát megelőző időszakban [116] [117].



16. ábra: Beltéri helymeghatározás segítségével, útvonalterv alapján feladatot végző drón a katasztrófát megelőző időszakban [készítette a szerző]

A jelek egymáshoz képest késéssel érkeznek meg a vevőbe, így egy algoritmus ki tudja számítani, hogy milyen irányból érkezett a kapott jel. Leginkább ez hasonlít a műholdas helymeghatározás elvéhez.

Drónkomponens-összetétel

Az alkalmazott szenzorok másik nagy területét azok a drónkomponensek alkotják, melyek a drón közvetlen vezérlésében, irányításában, tájékozódásában nem vesznek részt. Az utólag fel- és leszerelhető kiegészítők, az úgynevezett nem integrált, dokkolható drónkomponensek általában speciális célfeladatot töltenek be. Akár képfelbontásban, optikában, egyéb tudásban magasabban kvalifikált professzionális kamerák, hőkamerák, de egyéb más eszközök is, például LiDAR, levegőösszetétel-, radioaktív sugárzás mérő szenzor stb. A mért adatok, információk egy elsődleges adatfeldolgozás után a drón fedélzeti tárolójában egyrészt rögzíti, másrészt valós időben továbbítja a drónpilóta, vagy a földi állomás operatív csapatai felé. (Az összetettebb feladatok kezelését, azonnali elemzését – a drónpilótán kívül – akár 4-5 fős helyszíni operatív csapat is kezelheti.) Az alsóbb (C1) osztálybesorolású gyári drónok az „alacsony” (900 g) felszálló össztömeg miatt beépített drónkomponensekkel rendelkeznek, mely egy változtatható fókusz távolságú nagyfelbontású 4K kamerára és hőkamerára korlátozódik. A repülőeszköz saját önsúlyán felül plusz terhet nem képes felemelni, ezért külső

komponensek felhelyezése nem lehetséges. A kategóriába tartozó „prémium” repülőeszközök, mint például a DJI Mavic 2 Enterprise Dual, katasztrófavédelmi és rendészeti drónos feladatokra rendkívül alkalmas. A 899 gramm felszállótömeg, gyors üzembe helyezés és magas műszaki „tudás”, összességében az eszköz kompaktsága, akár tűzoltási, akár mentési intézkedés alatt hatékonyan segíti információval a műveletben résztvevőket [118]. A C2 (4 kg) és e feletti, C3, C4 (24 kg) osztálybesorolású drónok saját tömegük mellett képesek további szállított terhek (payload), drónkomponensek üzemszerű szállítására. Felépítésükből (tömeg, geometriai méret) adódóan szélesebb körű, komplex alkalmazási lehetőséget nyújtanak a drónnal elvégezhető munkafolyamatokban. Por-, és vízállóságban elérik az IP45 fokozatot, időjárás tekintetében pedig a 17 m/s-os széllökésekben is stabilan dolgoznak. E kategóriában – a feladatspecifikusság miatt – már külön kell választani a felhasználási területeket, valamint a funkcionalitást, és majd ezekhez hozzárendelni a megfelelő géptest kialakítású, sárkányszerkezetű drónt. E kategóriában a merevszárnyú repülőeszközök mellett a forgószárnyú drónok is hatékonyak. Katasztrófavédelmi, rendészeti feladatok ellátására az egyik univerzális típus a maximum 9 kg felszállótömegű DJI Matrice 300 RTK, melyet Magyarországon a Rendőrség is alkalmaz [119]. Az 14. táblázatban példákon keresztül ismertetem néhány jellemző katasztrófavédelmi feladathoz rendelhető drónosztály, drónkomponens és géptípus (fel-, és leszállás módja szerint) kapcsolatát. A forgószárnyas (FSz), a merevszárnyas (MSz) jelöléssel látható. Az ajánlott példakomponensek a nagyfelbontású 4K normál kamera (K), Zomm optikával rendelkező kamera (ZK), hőkamera (TK), radioaktív sugármérő (GM), levegőösszetétel szenzor (LSZ), LiDAR (LiDAR), RFID - Radio Frequency IDentification) (RFID) jelöléssel láthatók.

Drónos feladatvégzés típusa (példák)	Ajánlott komponens	Ajánlott géptípus	Ajánlott osztály-besorolás
Vízvezető rendszerek általános állapotfelmérése, adatgyűjtés céllal	K,ZK TK	FSz	C1 - C3
Belvízi, árvízi vízkárok felmérése, adatgyűjtés	K,ZK	FSz MSz	C3, C4
Keresési és mentési műveletek vizuális légi támogatás biztosítása	K,ZK TK	FSz	C1 - C3
Katasztrófaesemény bekövetkezésekor kockázatosra vált védművek víz feletti területek állapotfelmérése	K,ZK TK	FSz	C1 - C3
Erdőtűzek, szabadtéri tüzek felmérése, felderítése, adatok gyűjtése	K,ZK TK, LSZ	FSz MSz	C3, C4
Erdőtűz károk felmérése, kárterület méretének meghatározása	K,ZK TK	FSz MSz	C3, C4
Lokális (épület) tüzek felmérése	K,ZK,TK	FSz	C1 - C3
Épületszerkezetek, tetőszerkezetek átvizsgálása - tűzvizsgálat támogatása céljából	K,ZK TK	FSz	C3
Kiemelt kockázati helyszínek, rendezvények rendkívüli helyzetben történő eseményfelmérése	K,ZK	FSz	C1 - C3
Kiemelt kockázati helyszínek (lakott terület felett, autópályaszakaszok) felmérése, dokumentálás céljából	K,ZK	FSz	C1 - C3
Nehezen megközelíthető területek állapotfelmérése, dokumentálás céllal	K,ZK	FSz MSz	C3, C4
Eszközök, gyógyszerek, élelmiszer szállítmányozása közúti, vízi forgalom előtt elzárt, vagy nehezen megközelíthető helyekre	K,ZK	FSz	C3, C4
Orvosi eszközök (például defibrillátor) szállítása.	K,ZK	FSz	C3, C4
Műszaki mentési munkálatok irányításának támogatása, dokumentálás	K	FSz	C1
Lezárt kárterületen ki- és beléptetés ellenőrzése	K,ZK	FSz	C1 - C3
Kitelepítés, kimenekítés alatt a kitelepített zóna átvizsgálása	K,ZK	FSz	C1 - C3
Veszélyes- és mérgező anyag levegőbe jutása közúti, vízi baleset okán	K,ZK TK, LSZ	FSz	C3
Veszélyes- és mérgező anyag levegőbe jutása ipari létesítmény területén	K TK, LSZ	FSz	C3
Radioaktív anyag sugárzással kapcsolatos baleset	K,ZK TK, LSZ, GM	FSz	C3
Vasúti teherszerelvény baleset mentésirányításának támogatása, dokumentálása	K,ZK RFID TK, LSZ	FSz	C3
Oktatási tananyagok, segédanyagok vizuális tartalmi támogatása	K	FSz	C1
Promóciós és marketing felvételek készítése rendezvényekről, gyakorlatokról	K	FSz	C1
Katasztrófavédelmi gyakorlatok dokumentálása	K	FSz	C1
Légifelvételek, térinformatikai adatok készítése dokumentálás céllal	K,ZK LiDAR	FSz FSz	C3

14. táblázat: Drónos feladatokhoz ajánlott géptípusok és osztálybesorolásuk [készítette a szerző]

A 14. táblázatban a korábbi vizsgálataim alapján általam fontosnak tartott általános katasztrófavédelmi, kutatás-mentési és rendészeti tevékenységet támogató drónos feladatvégzéseket rendeztem. Az ajánlott komponens oszlopban látható, hogy leginkább jellemző a hagyományos kamera, zoom optikás kamera és hőkamera, kevesebb esetben a levegő összetétel és még kevesebb alkalommal a radioaktív sugárzás, lidar és egyéb szenzor adhat segítséget. Az ajánlott géptípusoknál a feladatok többsége elvégezhető a forgószárnyas C1, illetve C3 osztálybesorolású drónokkal. Néhány esetben – ahol a vizsgálandó terület, távolság és a feladat jellege ezt igényli – a C4 osztályú merevszárnyas repülőeszközök hatékonyabbak.

Katasztrófavédelmi, kutatás-mentési feladatokra alkalmazható gyári dróntípusok

Az eddigi vizsgálatok alapján felmerült igények szerint, összeállítottam egy gyári géptípusokból álló – katasztrófavédelmi, kutatás-mentési feladatok támogatására is alkalmazható – rendszerezést (15. táblázat).

	I. géptípus C1	II. géptípus C3	III. géptípus C4
Ajánlott drón típus (példa)	Mavic 2 Enterprise Advanced	Matrice 300 RTK	BXAP 15
Gyártó	DJI	DJI	BHE
Fel-, leszállás módja	Függőleges	Függőleges	vízszintes
Meghajtás	Quadcopter	Quadcopter	1x 1200 W BL motor
Sárkányszerkezet	forgószárny	forgószárny	merevszárny
Max. vízszintes sebesség	72 km/h	80 km/h	100 km/h
Saját tömeg	0,899 kg	6,3 kg	14 kg
Üzemidő	31 perc	55 perc	>100 perc
Hasznos teher	-	2,7 kg	3 kg
Max felszálló tömeg	0,899 kg	9 kg	17 kg
Vezérlés hatótávolság	8 km	15 km	>15 km
Geometriai méretek sz h m	322x242x84 mm	670x430x810 mm	3700x1700x 220
Fedélzeti kamera	12 MP álló, 4K/30fps, 16x zoom M2ED Visual	FPV 960p/30fps	35x zoom kamera
Fedélzeti hőkamera	M2EA Thermal 640x512 pixel	-	NA
Kompatibilis drónkomponens	Nem lehetséges	- L1 (LiDAR+ kam.) - P1 (45 MP Kamera) - H20 Dual-sensor camera) - XT2 (Dual-sensor camera with a 4K - Z30 (30x opt zoom kamera)	Thermal kamera 384x288 pixel
Akadályérzékelési távolság	átlagosan 0,5 – 20 m	átlagosan 0.1 - 40.0 m	NA

15. táblázat: Drónosztályokra jellemző példadróntípusok és azok meghatározó adatai [120] [118] [119]

Kutatásaim és tapasztalataim alapján a műveletvégzések többsége e háromféle „alap” géptípus alkalmazásával nagymértékben lefedhető lenne

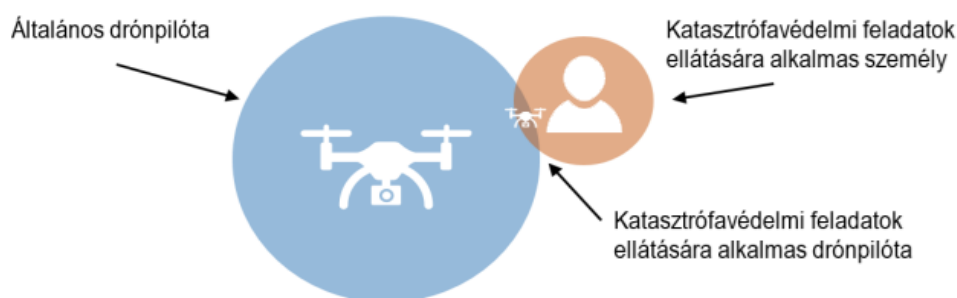
3.1.3. A katasztrófavédelmi és rendészeti feladatvégzések humán összetevői – harmadik pillér

A katasztrófaspecifikus drónrendszer harmadik pillére a humán tényező befolyása. Az időbeli struktúrák közül a humán tényezőnek leginkább a második, vagyis a katasztrófa közvetlen bekövetkezése alatti időszak műveletvégzésére van befolyással, amely az elsődleges beavatkozási tevékenységek ideje. Ebben a szakaszban legnagyobb szerepe az operatív beavatkozásnak van, amely a legtöbb szakmai és gyakorlati tudást igényli [102]. A katasztrófák kialakulása előtti időszak és a katasztrófa utáni időszak, vagyis a váratlan helyzetek hiánya a feladatok strukturáltságát jobban előre tervezhetővé teszi. Az ebben az időszámban végzett feladatok – jellegük tekintetében – kevésbé különböznek egyéb, jól strukturált polgári drón alkalmazásoktól [121]. A humán tényező szerepe leginkább a katasztrófa bekövetkeztekori időszakában jelentős. Az amúgy is stresszes műveletek, munkafázisok mellett sok esetben a katasztrófa területének látványa és az esetleges tehetetlenség okozta frusztráltsággal is szembe kell nézni. A felszámolást irányító menedzsment részéről kezdetben az információéhség miatti időnyomás okoz gondot, később a térben és időben is elhúzódó monotóniából adódó fáradtság, kimerülés a leginkább veszélyeztető tényező [122]. A katasztrófavédelmi műveletek sikeres, biztonságos végrehajtása nemcsak a katasztrófaspecifikus stratégiák pontos kidolgozásán, a műszaki, technikai háttér meglétén, valamint a szoftveres támogatáson múlik, hanem az azt kezelő személyzet alkalmasságán és felkészültségén is, melyet együttesen humán tényezőnek nevezünk. A katasztrófavédelmi feladatot végző drónpilóták humán tényezőinek vizsgálatakor két szempontot kell figyelembe venni. Az egyik, hogy az adott személy potenciálisan (általánosságban) alkalmas-e a katasztrófavédelmi feladatok elvégzésére. A másik tényező, hogy egy-egy katasztrófavédelmi feladat milyen sajátosságokat hordoz magában, illetve ezek a sajátosságok milyen nem várt kockázatokat, veszélyeket rejtenek, vagy lehetőségeket hordoznak.

A drónpilóta kiválasztásának feltételei

A katasztrófavédelmi feladatok végrehajtására való kiválasztás jogosultság szempontjából két irányból közelíthető meg. Az egyik, amikor a drónpilótákra vonatkozó

kiválasztási szabályokat vesszük alapul. A másik, amikor a katasztrófavédelmi teendők stratégiai feladatainak irányításához és elvégzéséhez való jogosultság szabályait vesszük alapul. Restás Ágoston publikációjából kiderül, hogy az UAV pilótákra vonatkozó kiválasztási szabályok mind kritériumrendszerében, mind pedig alkalmasságminősítésében megközelítik a repülőgép fedélzetén feladatot végző pilóták kiválasztásának rendszerét [102]. Ezek alapján elmondható, hogy a feladatkör kiválasztásának kritériumrendszere némely esetekben szigorúbb is a katasztrófavédelemben alkalmazott kiválasztási rendszerénél. A hatályos, 38/2021. (II. 2.) Kormányrendeletben foglaltak szerint a katasztrófavédelmi drónokat kizárólag az A1-B2 kategóriájú pilóta nélküli légi jármű rendszer üzemeltetési tanfolyam, vizsga, valamint a konkrét dróntípusról gyakorlati ismeretekkel rendelkező személyi állományú tag működtetheti. A speciális feladatvégzés kritériumainak megfelelő szűkítés kapcsolatát a 17. ábra illusztrálja [123].



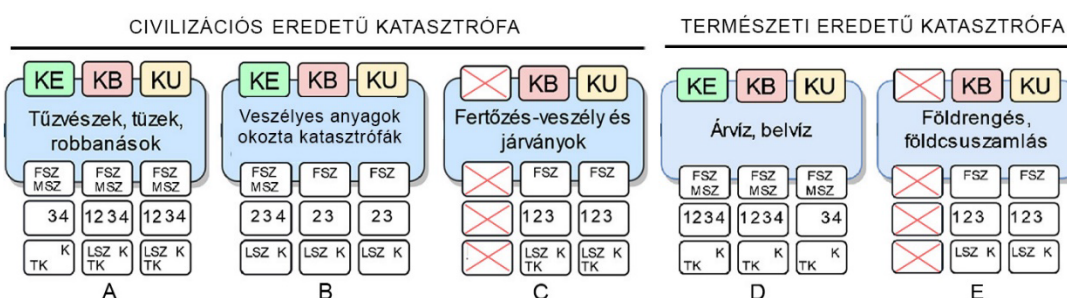
17. ábra: *Katasztrófavédelmi feladatok ellátására alkalmas drónpilóta kiválasztása [102] alapján készítette a szerző*

A humán tényezők szerepét leginkább a katasztrófaspecifikus eseményeknél szükséges elemezni. A tényezők lehetnek például pszichés terhelés, fáradtság, érzékelés, észlelés, melyeket mind a repülésbiztonság fenntartása, mind pedig a hatékony feladatvégrehajtás szempontjából fontos vizsgálni [102]. A dróntechnológia általános alkalmazása és a konkrét feladat végrehajtásának hatékonysága, sikeressége nemcsak a képzett drónpilóták felkészültségén, pszichikai és fizikai állapotától függ, ezért kimondható, hogy a technológia nem skálázható megfelelő stabil háttér-támogató rendszer és támogató környezet kialakítása nélkül. A stabil működtetéshez szükség van a drónrendszerek programozására, irányítására, karbantartásra és folyamatos oktatásra, továbbképzésre. E tevékenységeket már az első fejezt végén a 7. táblázatban is említettem, mint másodlagos szükséges tényezőket, melyekkel, az értekezésben nem foglalkozom. Valamint szükséges

újabb katasztrófavédelmi feladatok megvizsgálása és szükség esetén a drónos támogatás integrálása a tevékenységekbe.

3.2. Katasztófaspecifikus drón – kapcsolati mátrix kialakítása

A kapcsolati mátrix egy többtényezős modell, amely megmutatja a katasztrófa típusát és az eseményhez, katasztrófaeseményhez rendelhető drónos feladat támogatásához szükséges sztenderd információkat. A mátrix alapját a Nagy-Halász féle Katasztrófavédelem [53] című jegyzetben definiált nevesített katasztrófatípusok adják. A katasztrófákat először két nagy csoportba, természeti és civilizációs eredetű katasztrófára bontottam, majd ezek alá további alcsoportokat hoztam létre aszerint, hogy az adott nevesített katasztrófa milyen eredetű. A kapcsolati ábrán jelöltem az időbeli struktúra állapotot (KE – katasztrófa előtti, KB – katasztrófa bekövetkeztekor, KU – katasztrófa utáni állapot). A felosztáshoz hozzárendeltem a javasolt drón osztálybesorolást, a géptípust le- és felszállás módja szerint, valamint példa-drónkomponenseket. A sárkányszerkezet típusokat FSZ – forgószárnyas, MSZ – merevszárnyas rövidítéssel jeleztem. A drónosztályokat a C jelzés elhagyása mellett számokkal, az ajánlott drónkomponenseket betűkkel jelöltem. Ahol – álláspontom szerint – nincs értelmezve az időbeli struktúra valamelyike, vagy az adott kategóriában a drónos feladatvégzésnek nincs relevanciája, ott üres, piros x-el áthúzott mező látható. Az általam kidolgozott 32 féle nevesített katasztrófa kapcsolati mátrix ábra a 2. számú mellékletben látható. A 18. ábra néhány kiemelt példát mutat be, melyek Magyarországon is nagyszámban fordulnak elő.



18. ábra: Katasztófatípus példák és drónok kapcsolata [készítette a szerző]

A katasztrófa példák a következők: (A) Tűzvészesek, tüzek okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támogatása. (B) Veszélyes anyag okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támogatása. (C) járvány okozta katasztrófák alatti feladatvégzés

drónos támogatása. (D) Árvíz, belvíz okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támogatása. (E) Földrengés, földcsuszamlás okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támogatása. A példakatasztrófák kibontása a továbbiakban olvasható.

3.2.1. Tűzvészek, tüzek okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támogatása

A tűzoltási feladatok összetettségéből kiindulva ez az egyik legnehezebb tevékenysége a katasztrófavédelemi szervezeteknek és mentőalakulatoknak. A tüzesetek csoportosítására leginkább bevált terminológia a kis kiterjedésű tűz, például épülettűz, gépjárműtűz, illetve nagy kiterjedésű tüzesetek, például erdőtűz. A kárhelyre vonatkozóan két csoportot különböztünk meg. Az első a nehezen átlátható kárhely, például a tűz kiterjedése, tereptárgyak, terepviszonyok, épületek, növények stb. miatt. A második a nehezen megközelíthető kárhely, például meredek hegyoldal, vízzel borított terület. A tűzoltásvezetőnek többek között a következő paramétereket szükséges megvizsgálni: tűz kiterjedésének nagysága, terjedési iránya, veszélyeztetett, lakott, vagy ipari objektumok helyzete, vízellátás és megközelítés útvonala, uralkodó szélirány, menekülési és menekítési útvonalak, erdős területen átvezetett villamos vezeték veszélyeztetettsége, tűz megállíthatóságának és körülhatárolhatóságának zónái [124]. A tüzeset az a katasztrófa, amely mind a természeti eredetű, mind pedig a civilizációs eredetű katasztrófa alcsoportba beletartozik és előfordulása az egyik leggyakoribb a nevesített katasztrófatípusok között. Hazánkban a Katasztrófavédelemnek, mint szervezetnek, az önkéntes tűzoltó egyesületeknek és a kutató-mentő szervezetek tevékenységeinek legnagyobb területe a tűzoltási, mentési feladatok elvégzése, melyet a téma mélységéből adódóan képtelenség részletesen tárgyalni. Példáimban egy olyan esetre helyezem a hangsúlyt, ahol a tűz kiterjedése és jellege indokolja a drónhasználatot. Ilyen például az erdőtűz, amely villámcsapás eredményeképpen kialakulva természeti katasztrófa alcsoportba tartozik. Viszont az esetek 99%-ában emberi mulasztás okozza, így az ipari katasztrófák alcsoportjához inkább sorolható [125].

A hatályban lévő 6/2016 (VI.24) BM OKF (Tűzoltás-taktikai Szabályzat és a Műszaki Mentési Szabályzat kiadásáról) utasítás alapján, amennyiben a tűz kiterjedése, vagy a terepviszonyok miatt a földfelszínről nem lehet elvégezni a felderítést, akkor taktikai szempontból légi felderítésről is szükséges intézkedni. A helikopterrel és repülővel végzett felderítő műveletek költségesebbek és mozgósításuk is hosszadalmas, ezért a drónok bevetése célravezetőbb és hatékonyabb. Nagyobb kiterjedésű természeti tüzek

gócponyjának lokalizálása, a tűz terjedésének iránya gyorsabban meghatározható. A hagyományos képi és hőkamerával kombinált felvételek, valamint a levegőösszetételre vonatkozó információk birtokában gyorsabban és pontosabban el tudják végezni a tűzoltási, mentési feladatokat, vagy azok előkészületét [126].

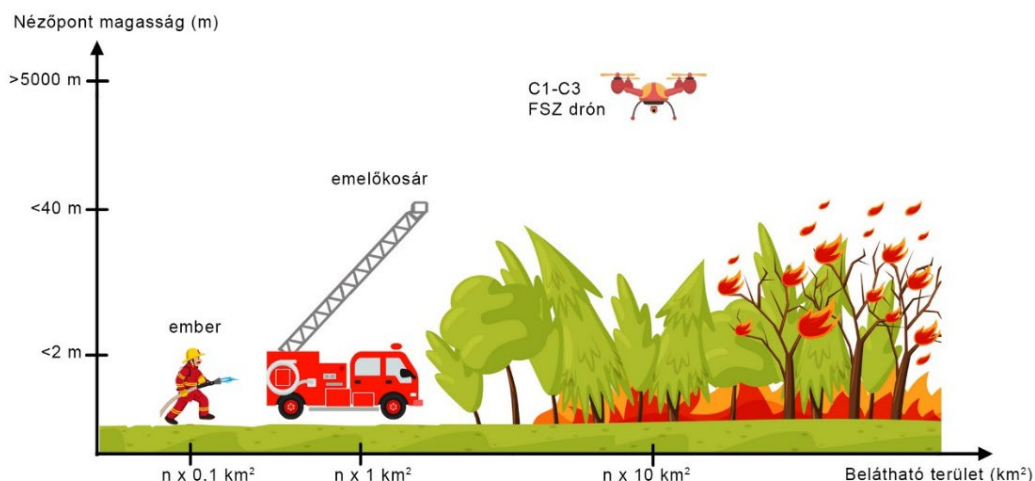
Katasztrófa bekövetkezése előtti időbeli állapot

A tüzek keletkezése előtti drónos felderítő tevékenység alkalmazása logikailag az első lehetőség, amely „légi őrző” formájában valósítható meg. Ennek célja, hogy a beavatkozás így korábban megkezdhető és ezáltal a megmentett érték is nagyobb. A légi felderítés fogalomkörébe tartozik a tűz mielőbbi észlelése, a tűzoltás megkezdése előtti hatékony beavatkozást segítő információ, az oltás folyamata alatt a tűz alakulásának nyomon követése, valamint az oltását követő parázsló területek visszagyulladásának megelőzését szolgáló információszerzés. A légi őrzőbevetés végrehajtásához 1-5 km repülési magasságban üzemelő – leginkább C3, C4 osztálybesorolású merevszárnyas – dróntípusok (III. géptípus) alkalmazása célszerű, akár BVLOS irányítás alatt is, melyek levegőben való tartózkodása eléri a 2-3 óra időtartamot és az átvizsgálható terület nagysága 50-100 km². Az ajánlott drónkomponens a hőkamera és 4K felbontású normál, vagy zoom kamera. A forgószárnyas drónok alkalmazása – függetlenül az osztálybesorolástól - ebben az időbeli szakaszban nem hatékony, mivel a gépek repülési átlagsebessége alacsonyabb, mint a merevszárnyas típusoké és az átvizsgálandó területek mérete is nagyobb, mint amit a folyamatos műveletvégzés lehetővé tesz. Magyarországon a Katasztrófavédelem rendszere saját forrásból és erőből képtelen a légi őrzőbevetés fedezésére, ezért ezeket a feladatokat célszerű civil szervezeteknek kiadni. Jelenleg csak a civil szervezetek rendelkeznek a feladatra alkalmas drónokkal és erőforrással.

Katasztrófa bekövetkezése alatti időbeli állapot

Tűzeseteknél, a felderítéssel szemben támasztott egyik legfontosabb kritérium a gyorsaság, amely az úgynevezett kárérték-idő függvény elemzéséből is következik. Jelenleg a felderítés a kárhelyszínen többnyire gyalogosan, a terület körbejárásával történik, illetve a rendszeresített szerállományt alkalmazva elhúzódik az információgyűjtés, ezzel indokolatlan késést okoz a hatékony döntéshozatalban. A tűzoltásban résztvevő földi beavatkozó állomány tagjai egy erdőtüz esetén, gyalogosan percenként nagyságrendileg kétszáz métert képesek megtenni. A területet fejmagasságból (<2 m) szemlélve a látási körülmények és a tűz nagy kiterjedése miatt sok esetben

korlátozott és szubjektív a felderítésben. Így megállapítható, hogy taktikai szempontból a terület teljes áttekintése és az objektív információ megszerzése csak nagyobb magasságból való megfigyeléssel érhető el. A 19. ábrán a nézőpont magasságok és a belátható területek kapcsolata látható.



19. ábra: Nézőpont magasság és a belátható terület viszonya [készítette a szerző]

A nagyobb magasság és kedvezőbb rálátási szög lehetővé teszi, hogy átfogó képet kapjunk az erdőtűz jelenlegi helyzetéről és annak várható alakulásáról is. Ez azt jelenti, hogy ha a drón az első csapattal érkezik a helyszínre és a kiérkezéstől számolva 2-3 perc alatt értékelhető kamera-, hőkamerafelvételt küld akár néhány négyzetkilométeres területről, akkor a művelet hatékonnak tekinthető. Ez azért is fontos, mert az erdőtűzek egyik alapvető jellegzetessége, hogy az oltás ideje alatt az égő terület továbbterjed és ezáltal koncentrálni kell az oltás során várhatóan még leégő, de akár a megmenthető részekre is. Ilyenkor jellemző a helyi feláramlások (konvenció) következtében keletkező úgynevezett röptűzek továbbterjedése. A kezdeti gyors információszerzés alapja, hogy a drón alkalmazására az elsődleges beavatkozók által kerüljön sor, tehát a drón az első kivonuló gépjármű fecskendő málhatartozéka kell, hogy legyen. Az így megszerzett képi információk alapján megkönnyítik a kárhelyparancsnok objektív döntéshozatalát és további intézkedéseit. Valamint, akár a KML (Katasztrófavédelmi mobil labor) is azonnali adatokat kaphat a körülményekről [126] [12]. Célszerű gyorsan üzembe helyezhető, forgószárnyas, kis méretű, C1 osztálybesorolású drónokat alkalmazni, beépített hőkamera és 4K felbontású normál, vagy zoom kamera támogatással (I. géptípus). A kutatás alatt végzett interjúk is alátámasztják, hogy a C2-C4 osztálybesorolású repülőeszközök a katasztrófa bekövetkezése alatti időszakaszban nem

jelentenek lényeges előnyt, de alkalmazásuk ajánlott (II. géptípus) Amennyiben az időjárási körülmények (szél erő, csapadék) optimálisak, a kárhelyek lokalizálása, azok kiterjedése a beavatkozás első szakaszaiban nem igénylik – irányítását tekintve – nagyobb hatótávolságú drón bevetését. Ezekben az esetekben az azonnali bevetethetőség kizárja annak lehetőségét, hogy a felderítésnek ezt a módját külső civil szervezet lássa el.

Katasztrófa utáni időbeli állapot

A tűz oltása utáni feladatok egyike a korábban eloltottnak hitt terület újbóli átvizsgálása és a még parázsló részek felderítése, majd azok végleges eloltása. A nagy területek ellenőrzése, felügyelete összetett feladat és jelentős erőforrásokat köthet le. A drónos ellenőrző repülések a hőkamera alkalmazásával észlelhetővé teszik a láthatósági küszöb alatti részeket, így azt objektíven detektálva jelezhető a még égő, parázsló góc. A drónok alkalmazását tekintve a katasztrófa utáni állapot alatt végzett repülések nem jelentenek jelentős eltérést a korábbi időbeli állapothoz képest. A végrehajtást jelentősen megkönnyíti, hogy a műveletben résztvevőkön kisebb a felelősség és az időnyomás okozta stressz. A katasztrófa utáni időbeli állapotban bevethető drónok alkalmazása taktikai szempontból különbözik a katasztrófa bekövetkezése alatti időbeli állapottól, de az eszközök műszaki tartalma megegyező. Így kedvező időjárási körülmények közt elegendő egy C1 osztálybesorolású forgószárnyas drón (I. géptípus). A műveletre – a beavatkozó hivatásos erőforrások terhelésmentesítése érdekében – célszerű a civil szervezetek bevonása is.

3.2.2. Veszélyes anyag okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támogatása

A veszélyes anyagokkal való bánásmód az egyik legveszélyesebb feladatkör az iparbiztonság területén. Mozgatásuk, szállításuk és ellenőrzésük során is megfelelő veszélyes áru szállításával (Accord Dangreuses Route, a továbbiakban: ADR) kapcsolatos ismeretekkel kell rendelkezni a különböző anyagok tulajdonságait, és az azokban rejlő veszélyeket illetően. Ezek alapján az EU 2019/521 rendelete az alábbi osztályba sorolja ezeket: [127] 1. Robbanásveszély, 2. Tűzveszélyes gázok, 3. Tűzveszélyes gyúlékony és éghető folyadékok, 4. Tűzveszélyes gyúlékony szilárd anyagok, 5. Oxidáló anyagok, 6. Mérgező anyagok, mérge, fertőző anyagok, 7. Radioaktív anyagok, 8. Maró anyagok. Az anyagok terjedését és eloszlását jellemző fizikai folyamatok komplexek, vizsgálatukhoz és elemzésükhöz nélkülözhetetlen számos adat ismerete. A veszélyes anyag tulajdonsága, halmazállapota, formája,

kiszabadulásának módja alapján megítélhető annak kiterjedése, amit a meteorológiai (hőmérséklet, szél-jellemzők, csapadékjellemzés stb.), topográfiai (beépített övezet, nyílt terület, híd, aluljáró, útpálya, lejtő, emelkedő, alagút stb.) és egyéb viszonyok nagymértékben befolyásolnak. Veszélyes anyag jelenlétében történő beavatkozás során a kárhelyparancsnoknak, mentésvezetőnek megfelelő ismeretekkel kell rendelkezni a veszélyes anyagok jellemzőiről, vagyis az ADR előírásairól. Például az anyag utánpótlásakor és annak késleltetett meggyulladás esetén a keverék nagyobb szétterülése kiterjedtebb veszélyt jelenthet. Gyúlékony és/vagy mérgező anyagok szélirányban terjedő gázfelhője fenyegeti a lakosságot és elzárkózásra, evakuálásra kényszerülnek [128]. Az ADR esemény során beavatkozó erők képzettsége, felszereltsége a mentési, kárelhárítási feladatokat, azok következményeinek alakulását szintén jelentősen befolyásolja, ezért fontos az eseményeken a folyamatos információgyűjtés, kockázatelemzés.

Balesetek nemcsak városokban, vagy veszélyes anyagot előállító, a mentés szempontjából könnyen elérhető területen történhetnek, hanem települések között, akár nehezen megközelíthető terepen is. A baleset bekövetkeztekor az anyag kiszabadulásának módja, halmazállapota, formája és tulajdonsága alapján lehet megítélni annak kiterjedését, amit a meteorológiai, topográfiai viszonyok is befolyásolnak. A munkálatok megkezdése előtt szükséges a biztonságos mentési, beavatkozási terület kijelölése, körbehatárolása. Ennek mértékét a kárhelyparancsnok határozza meg az elsődlegesen mért adatok alapján. Az ideiglenesen telepített KML vizsont sok esetben nem képes megközelíteni a célhelyszínt, ezért gyalogosan, minimálisan kétfős egységekben (felderítő párban), vegyvédelmi védőruhába öltözve közelíthetik meg a kárhelyszínt. A védőöltözék felvétele akár öt percet is igénybe vehet, nem beszélve a kárhelyszín megközelítéséről, ami ideális körülmények között gyalogosan megközelítve percenként nagyságrendileg kétszáz méter. Vegyi balesetek gyakran történnek vizeken, ahol a megközelítési, mentési munkálatok megkezdése még bonyolultabb, ezért összetettebb szervezést igényel. Mindezeket összegezve megállapítható, hogy taktikai szempontból az érintett terület teljes áttekintése és az objektív információ mennyisége, hitelessége, gyorsasága kulcsfontosságú és ez csak nagyobb magasságból való megfigyeléssel érhető el [105].

Katasztrófa bekövetkezése előtti időbeli állapot

A veszélyes anyagok jelenlétében bekövetkezett katasztrófák előfordulását időben lehet meghatározni, hiszen nem tudjuk megjósolni, hogy mikor fog megtörténni. A bekövetkezés helyét viszont részben igen. Az első esetben a baleset, katasztrófa helye már a bekövetkezést megelőzően behatárolható. Ilyen területek például a vegyi anyagokat előállító és/vagy felhasználó gyárak, üzemek, ahol állandó vagy ideiglenes jelleggel helyi katasztrófavédelmi szervezetek és mentőalakulatok vannak jelen, és folyamatosan monitorozzák a környezetet. Szükség esetén azonnal, még a Katasztrófavédelem megérkezése előtt beavatkoznak. A helyi beavatkozás minősége az incidens, baleset jellegétől, méretétől függ, amennyiben a normatív szabályozásokban foglaltak szerint szükséges, a Katasztrófavédelem is beavatkozik. Magyarországon a települések közelében és lakott területein belül a MoLaRi (Monitoring és Lakossági Riasztó) rendszeren keresztül figyelmeztetik a lakosságot a veszélyes-, vagy mérgező anyagokkal foglalkozó gyárak, üzemek környezetében történt vészhelyzetről [129]. Második esetben a folyamatos felügyeletet nélkülöző helyszínek, illetve a szállítási folyamatok tartoznak. A közútra általánosságban az ADR, a vasútra a RID, a vízi szállításra az ADN vonatkozik. A szállítás közben történő balesetek, katasztrófák veszélyesebbek, mert a bekövetkezés pontos helye előre nem kiszámítható. Felkészülni rá csak a korábbi tapasztalatokon és modellekben alkalmazott becslésen nyugvó adatok feldolgozásával, valamint a normatív szabályozásokban foglalt kötelező eljárásrendnek megfelelően lehet. A katasztrófa bekövetkezése előtti időbeli állapotban végzett drónos feladatvégzések két részre bonthatók. Üzemek, gyárterületek és a körülöttük elhelyezkedő objektumok esetében – a tagoltság és a kiterjedés miatt - lokális ellenőrzésre a forgószárnyas magasabb, C2-C3 osztálybesorolású drónok alkalmazhatók (II. géptípus). Nagy kiterjedésű vonalas területeken, például csőhálózat, a merevszárnyú C3-C4 osztályú, hosszabb (2-3 óra) üzemidővel és hatótávolsággal (50-100 km) rendelkező drónok hatékonyabbak (III. géptípus).

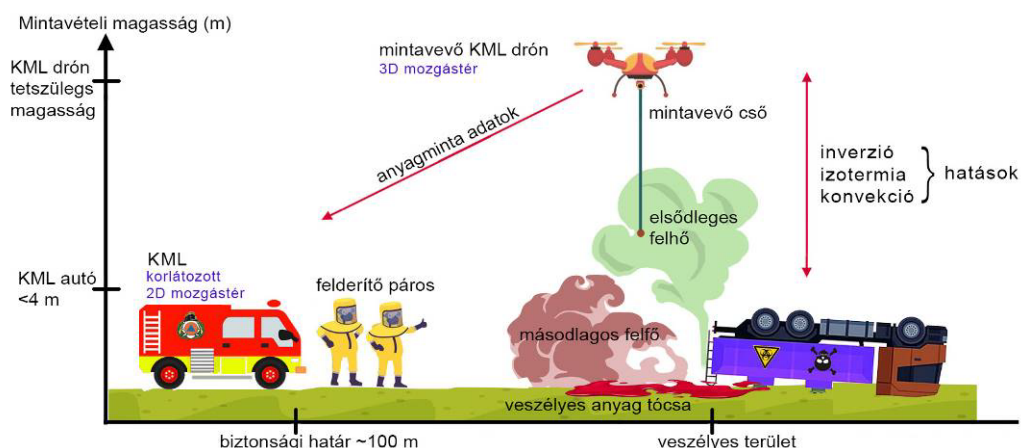
Katasztrófa bekövetkezése alatti időbeli állapot

Veszélyes és mérgező anyagokkal kapcsolatos balesetknél a helyszínrre érkező hatóság, mentő és katasztrófavédelmi szerv a lehető leggyorsabb próbál tájékozódni a baleset típusáról és kiterjedéséről, melynek értelmében további – a mentéshez szükséges – infrastruktúrát, erőforrást mozgósít. Az elsődleges feladat a kiáramló folyadék- vagy gáz

fázisú anyagok terjedésének mielőbbi, pontos meghatározása, melyet Magyarországon a KML végez és adottságaiból adódóan viszonylag helyhez kötött, kétdimenziós képalkotás érhető el [105]. Drónok segítségével objektíven, nagy területen, gyorsan kapunk háromdimenziós rheológiai görbéket, amely a gázok koncentrációjának térbeli eloszlását mutatva sokkal hatékonyabban képes támogatni a beavatkozást irányítók döntéseit. A beavatkozás (első felmérés) időszakában nem szükséges gyalogos védőruhába öltözött párokat a kárhelyszín közelébe küldeni, mert a drónt kezelő pilóta és kiszolgáló személyzete, valamint a drón starthelye távolabb helyezkedik el a szennyezett területtől. A mérgező gázok terjedése nagymértékben függ az időjárási viszonyoktól, ezért a beavatkozóknak figyelni kell a szélirányváltozásra és amennyiben szükséges, a fel- és leszállás helyét a repülésbiztonsági és beavatkozás-taktikai szempontok együttes figyelembevételével kell meghatározni. A mérgező- és veszélyes anyag baleseteknél végzett drónos műveletek biztonsági környezetét tekintve a katasztrófa súlyossága és időbeli elhúzódása lesz a meghatározó [7]. Mérgező- és veszélyes anyagokat szállító járművek baleseteinél a kiáramló anyagok beazonosítására kiegészítő megoldást képviselhet egy olyan RFID olvasóval és adattovábbító rendszerrel felszerelt feladatspecifikus drónrendszer, amely képes beazonosítani a balesetet szenvedett például vasúti szerelvények szállítmánytartalmát, anélkül, hogy a hagyományos levegőösszetétel mintavételezés elvet alkalmazza. Az ilyen típusú tehervagonokat, tartálykocsikat az árukövetés érdekében ellátják RFID transzponderrel, valamint a RID amúgy is előírja a veszélyes áruk, anyagok szállításra, tárolására vonatkozó UN jelölések feltüntetését a rakományon, ezért ez a két funkció ötvözhető [130] [131] [132]. A kiáramló anyagok folyamatos utánpótlásakor a keverékek nagyobb szétterülése területileg kiterjedtebb, ezért nagyobb veszélyt jelent, és késleltetett meggyulladást, vagy robbanást eredményezhet. Ezért a mentési, kárelhárítási műveletek alatt a levegő-összetétel folyamatos monitorozása is elengedhetetlen. A veszélyes és/vagy mérgező anyagok szélirányban terjedő gázfelhője az adott területen tartózkodókat (lakosokat) fenyegetheti, ezért fontos a megfelelő információval való ellátásuk. A vegyi anyagok szennyezettségterjedési zónájának alapvető jellemzője a mérgező anyagokkal szennyezett levegő terjedésének mélysége, ami a mérgező anyagok töménységétől és a légáramlatoktól (például szélsébség) függ. A szél sebességének 7 m/s-nál nagyobb növekedése jelentősen hozzájárul a felhő-közeg gyors szétoszlásához. A talaj és a levegő hőmérsékletének növekedése felgyorsítja a mérgező anyag párolgását, ezzel növelve a szennyezett terep feletti anyag-koncentrációt. A mérgező anyagok terjedésére és

töménységére jelentősen hatnak a levegő függőleges áramlatai [53]. A légkör függőleges stabilitásának három fokozatát különböztetjük meg: inverzió, izotermia és konvekció. Inverzió a levegő hőmérsékletének növekedése a magasság függvényében. Az inverziós réteg akadályozza a levegő felfelé történő függőleges mozgását, ennek eredményeképpen kondenzáció, vízgőz, por gyülemlik fel alatta. Ez kedvez a füst-, köd- és felhőrétegek kialakulásának és kedvező feltételeket teremt a mérgező anyagok magas töménységének megtartásához is. Izotermia sajátossága az átmeneti állapot, a levegő tartós egyensúlya. A felszálló áramlatok gyengén fejlődnek ki, a talaj és levegő hőmérséklete ilyenkor azonos. A mérgező-, veszélyes anyagok gőzeinek tartós megmaradásának kedvez. Konvekció a hőmérséklet-különbségből adódik. A levegő tömegének áthelyezkedése egyik magasságról a másikra. A környezeténél melegebb, kevésbé sűrű levegő fölfelé, a hidegebb, sűrűbb levegő pedig lefelé mozog. A konvekciót erős felszálló légáramlatok jellemzik, a felfelé irányuló légáramlatok szétszórhatják a szennyezett felhőt, ami kedvezőtlenül hat a mérgező-, veszélyes anyagok terjedésére. A veszélyes anyagok által létrehozott kárterület fontos jellemzője a szennyezettség tartóssága, melyet az az idő határoz meg, amely alatt a mérgező anyag elbomlik. A terület mentesítésének gyorsasága függ az anyagok elpárolgásától, a talajba történő beszivárgásától és a kémiai bomlásától [53].

Az inverzió, izotermia és konvekció mérete, kiterjedése, sebessége és koncentrációja nagymértékben függ az évszaktól, napszaktól, időjárástól, szélesebségtől, hőmérséklettől, tehát sok tényezőtől. Katasztrófafhelyzetben a KML – ahogy azt korábban írtam – sok esetben nem képes megközelíteni a célhelyszínt, ezért a mintavételezéshez szükséges szenzorokat, szondákat, műszereket gyalogosan szükséges elvinni a kárhelyre. A megszerzett adatok egyrészt lassan érkeznek be a mobil laborba, másrészt a mintavételi magasság is korlátozott. A drónos mintavételezés nemcsak meggyorsítja az adatok beérkezését a KML-be, de a különböző magasságokból megkapott adatok megkönnyítik az objektív elemzést, döntéshozatalt. Az 20. ábrán egy veszélyes anyagok jelenlétében bekövetkezett esemény elhárítása és a kiáramlást követő (inverzió, izotermia és konvekció) hatás drónos mintavételezése látható.



20. ábra: KML és mintavevő drón alkalmazása [készítette a szerző]

A katasztrófa bekövetkezése és az azt közvetlenül követő időbeli állapot alatti drónos feladattámogatás két részre bontható. Egyrészt szükséges a kárterület vizuális áttekintése, amelyre C1-C2 osztálybesorolású, forgószárnyas, nagyfelbontású zoomoptikás kamerával, hőkamerával felszerelt drón elegendő (I. géptípus). Másrészt, amennyiben szükséges a levegő-összetétel vizsgálata, javaslom a nagyobb, C2-C3 osztálybesorolású forgószárnyas gépeket (II. géptípus).

Katasztrófa utáni időbeli állapot

A katasztrófa utáni helyreállítási munkálatok mértéke itt is összefügg a károk nagyságával. A munkafolyamatok drónos támogatása leginkább a helyszínek távlati ellenőrzésére szükségesek. A drónos repülések körülményei megegyeznek a katasztrófa bekövetkezte előtti feladatvégzésekkel, tehát az ipari létesítmények helyszínén előre tervezhetők. A feladatvégzésekre alacsonyabb, C1-C2 osztályú forgószárnyas drón alkalmazható, nagyfelbontású kamerával (I. géptípus).

3.3.3. Árvíz, belvíz okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támogatása

A folyók áradása okozta árvíz probléma Magyarországot évente mintegy két alkalommal fenyegeti. (Tavasszal a jeges árvíz, kora nyáron a zöld árvíz.) A rendszeresen előforduló eseményekre a korábbi hatástanulmányok alapján viszonylag időben fel lehet készülni. Az esemény „váratlan” jellege leginkább az elöntött területek méretében rejlik, így a katasztrófa kárhelyszín(ek) kiterjedése és az ebből következő tervezési, védekezési, kárelhárítási munkálatok elsősorban az erőforrásigényeket befolyásolják. A belvíz probléma okozta kárérték Magyarország területének mintegy 80%-kát (főként az alföldi részeket), a lakott települések 40%-át érinti [133] [134]. Az árvizekkel szemben a belvíz

viszonylag statikus körülmény, ezért könnyebben megfigyelhető, viszont tagoltsága miatt a megfigyelése nehézkes. A Katasztrófavédelemnek, mint szervezetnek, a Polgári védelemnek és a civil szervezeteknek leginkább ebben a rendszeresen kialakuló katasztrófhelyzetben van szükségük közös, összehangolt együttműködésre mind a katasztrófát megelőző, mind pedig a katasztrófa kialakulása és a kárelhárítási időszak alatt is.

Katasztrófa bekövetkezése előtti időbeli állapot

Magyarországon a természeti katasztrófák közül az árvizek, belvizek fordulnak elő a legtöbb alkalommal. Évszakoktól, esőzéstől függően évente akár két-három alkalommal, ezért taktikai szempontból fontos a tervezés és a felkészülés időszaka. A Polgári védelem mellett a civil szervezetek feladatköre békeidőben lehetőséget ad arra, hogy pontos, precíz terveket, kockázati modelleket készíthessenek folyószakaszok, földterületek, gátak állapotáról, melyek alapján megtervezhető egy esetlegesen bekövetkező katasztrófa során felhasználható mentési, kármentési, menekítési terv. Amennyiben ezek a lehetőségek nem, vagy korlátozottan adóttak, az a későbbiekben súlyosabb katasztrófához vagy káoszhoz vezethet. A nagy távolságok miatt a folyók gátszakaszainak légi felmérése - a megelőzési, tervezési, fázisban – korábban kizárólag helikopterről, repülőgépről történt. Napjainkra viszont a dróntechnológia megbízhatósága eljutott odáig, hogy a pilóta nélküli légijárművek alkalmazása e területen is minden tekintetben hatékony.

A folyószakaszok, árterületek, belvizek, természeti katasztrófák időbeli szakaszai közül az első, vagyis a katasztrófát megelőző és a harmadik, vagyis a katasztrófa utáni időszak, az irányítás szintek tekintetében stratégiai és taktikai szempontból is jól tervezhető, ezért az alkalmazott repülőeszköznél inkább a feladatorientáltság és az optimális bevetési környezeti körülmények a meghatározók. A tervezési feladatokhoz szükséges adatbegyűjtésre inkább a merevszárnyas, nagyobb hatótávolságú gépek lennének a leghatékonyabbak, míg a hosszan elnyúló káresemények folyamatos megfigyelése, helyzetértékelése, azonnali adatszolgáltatás, illetve a felügyeleti feladatok elvégzése céljára pedig a forgószárnyas eszközök. A merevszárnyas C3-C4 osztálybesorolású drónok akár több órán (3-4 óra) keresztül is képesek a levegőben tartózkodni, így alkalmasak nagy kiterjedésű (50-100 km), vonalas objektumok (folyószakaszok) ellenőrzésére, akár BVLOS irányítás alatt is. A feladatok előre megtervezett időben és útvonalon, beprogramozott beállításokkal jól tervezhetők (III. géptípus). A másik

géptípus az alacsonyabb C1-C2 osztálybesorolású forgószárnyas drón, melyek üzembe helyezése gyorsabb, egyszerűbb, viszont csak kisebb méretű ($n \times 1 \text{ km}^2$) lokális területek ellenőrzésére alkalmasak (I. géptípus). Ez utóbbi gépkategória a Polgári védelmet támogató civil szervezetek körében elérhetőbb, üzemeltetési feltételek- és költségük kedvezőbbek. Az árvizek, belvizek (kivéve a villámárvíz) okozta természeti katasztrófák tipikusan a lassú lefolyású katasztrófák közé tartoznak, így van idő felkészülni az eseményekre.

Katasztrófa bekövetkezése alatti időbeli állapot

A nem villámárvizek esetében sokszor napokkal korábban már látható, kiszámolható és tervezhető a folyószakaszok árterületeinek, vagy árterületen túli területek folyamatos víz alá kerülése. Ezekben az időszakokban a legfontosabb a folyamatos információ megszerzése az érintett területről, azok elemzése, majd az adatok összevetése a katasztrófa bekövetkezése előtti „béke” időszak alatt megszerzett információkkal. A katasztrófa bekövetkeztekor a Katasztrófavédelmet mint szervezetet a védekezés foglalja le tetemes erőforrásokat igénybe véve, ezért a második, vagyis a katasztrófa bekövetkezése és az azt követő közvetlen időszak leginkább operatív szempontból kritikus. Fontos, hogy ebben az időszakban a műveletbe bevont drón egyrészt – nem optimális látási és időjárási körülmények között is - képes legyen ellátni az általános és váratlan feladatokat, másrészt elengedhetetlen, hogy az eszköz a lehető leghamarabb mozgósítható és bevethető legyen. Célszerű C2-C3 osztálybesorolású, változtatható fókusz távolságú optikával rendelkező, nagyfelbontású HD kamerával és hőkamerával felszerelt forgószárnyas drónok alkalmazása, mely lokálisan tudja felmérni az eseményeket, így azonnali adatszolgáltatást képes adni az operatív törzsnek (II. géptípus). A lokalitás ebben az esetben fontos, mivel az akár több tíz négyzetkilométernyi területen több kárhelyszín is lehetséges, így szektorokra bontva vizsgálhatják a gátak állapotát, buzgárok kialakulását. A védekezési munkák előrehaladtát könnyebben át lehetne látni és koordinálni. Amennyiben szükséges, gondoskodni kell az érintett területek, települések lakóinak informálásáról, ellátásáról, végszükség esetén evakuálásáról. A lakosság informálása számos módon történhet: mobiltelefon alkalmazáson keresztül, internet, televízió, rádió, MoLaRi. Amennyiben infrastruktúra hiányában ezek nem működnek, vagy a szolgáltatás(ok) nem elérhetők, célszerű megafonnal felszerelt C2-C3 osztálybesorolású forgószárnyas járőrdrónokkal figyelmeztető utasításokat adni az érintett területen tartózkodóknak (II. géptípus).

Katasztrófa utáni időbeli állapot

A katasztrófa utáni helyreállítási munkálatok mértéke összefügg a károk nagyságával. Az árvizek leginkább azokon a területeken okoznak jelentős károkat, ahol település, termőföldek érintettek. Amennyiben a károkozás ideje alatt (közben) megfelelő mennyiségű és minőségű légifelvétel készül, a víz visszahúzóási ideje alatt a kárbecslések és a helyreállítási tervezések megkezdődhetnek. A katasztrófa utáni időbeli állapot alatti drónos repülések körülményei megegyeznek a katasztrófa bekövetkezése előtti feladatvégzésekkel, tehát előre tervezhetők. Célszerű merevszárnyas nagyobb (C3-C4) osztálybesorolású drónokat alkalmazni, leginkább civil szervezetek bevonásával (II. géptípus).

3.3.4. Földrengés, földcsuszamlás okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támogatása

A földrengések általában tektonikus eredetűek, de vulkánkitörések, földalatti üregek beomlása is okozhat kisebb rengést. Az ilyenkor felszabaduló energia rengéshullámokat kelt, amely hullámok elérik a Föld felszínét. A rengések méretétől függően az éppen csak érezhető (<3 magnitúdó), anyagi kárt nem okozó rengésektől egészen a városokat romba döntő (9,0-9,9 magnitúdó) földrengésig bármi előfordulhat. A bekövetkezés ideje csak közvetlenül a rengés előtt jelezhető, ezért azon természeti katasztrófák közé tartozik, melyekre nem mindig lehet felkészülni. Magyarországon erős rengés ritkán keletkezik, nem tartozik a földrengésveszélyes területek közé, ennek ellenére rengések időnként előfordulnak. Évente mintegy négy-öt alkalommal 2,5-3,0 magnitúdójú, az epicentrum környékén jól érezhető, de anyagi károkat még nem okozó rengés fordul elő. Nagyobb károkat is okozó rengésre 15-20 évenként, erős, 5,5-6,0 magnitúdójú, nagyon nagy károkat okozó földrengésre 40-50 évenként lehet számítani [135] [136].

Katasztrófa bekövetkezése előtti időbeli állapot

A földrengés tipikusan olyan katasztrófa, amelynek pontos ideje, a bekövetkezés helye, valamint annak kiterjedése előre érdemben nem jelezhető, ezért a három időszakból az első, vagyis a katasztrófa előtti időszak nem értelmezhető (ezért nem vizsgálom), és csak a katasztrófa bekövetkezését követő közvetlen időszak, valamint az elsődleges katasztrófaelhárítási tevékenységet követő katasztrófa utáni időszak van jelen.

Katasztrófa bekövetkezése alatti időbeli állapot

Földrengéseknél, földcsuszamlásnál a drónok bevetése egy tipikus katasztrófaspecifikus művelet. Az ilyenkor ellátandó feladatok drónos lehetőségei nemcsak a Katasztrófavédelmet, mint szervezetet érinti, de számtalan más állami és civil szervezetet is. A földrengések bekövetkezése után a területre jellemző, hogy a pusztítás okozta – korábban járható – területek, utak már nem járhatók a törmelék miatt. További probléma, hogy a helyszíni infrastruktúra (közmű, távközlés, utak) sérült, vagy megsemmisült, ezért a katasztrófavédelmi szervek és mentőalakulatok csak jelentős időhátrányban, vagy egyáltalán nem képesek megközelíteni a csapdába kerülteket. A romok alá került személyek túlélési esélyei az idő múlásával drasztikusan csökkennek, ezért bármilyen erőforrás, eszköz, amely a felkutatásban rendelkezésre áll, gyorsítja, elősegíti a mentés hatékonyságát. A földrengést követően a helyszínre érkező mentő- és civil szervezetek feladata rendkívül összetett és veszélyes. Az elsőként érkező beavatkozóknak elsősorban nem a sérültekkel kell foglalkozni, hanem a kárhelyszínt kell globálisan felmérni, majd szektorokra bontva megkezdeni a munkát. Ilyen szektorok például a közvetlen keresési kutatási feladatok, infrastruktúra-károsodás felmérés, közlekedés-szabályozás és a menekülők okozta forgalmi káoszhelyzetek kezelése [137] [104]

A drónok alkalmazása elsődlegesen a távlati képek gyors szolgáltatásában ad segítséget, ezzel segítve a mentőalakulatok operatív csapatait a hatékony helyzetfelmérésben. A feladatokra a C1-C2 osztálybesorolású, kis tömegű, gyorsan üzembe helyezhető forgószárnyas eszközök nagyfelbontású zoom kamerával és hőkamerával felszerelve rendkívül hatékonyak lehetnek (I. géptípus). A tűzoltói feladatokhoz hasonló elveken alapulva itt is fontos, hogy az első kiérkező alakulatok rendelkezzenek megfelelő, málházott dróneszközökkel. A mentési munkafolyamatok későbbi szakaszaiban szintén szükségesek a kárhelyszínen, -helyszíneken készült távlati felvételek, de emellett fontos a szektorokra bontás utáni kisebb területek részletgazdagabb, precízebb munkafolyamatainak drónos támogatása is. A feladatokra alkalmasak a magasabb, C2-C3 osztálybesorolású forgószárnyas drónok akár külső levegő-összetétel szenzorkomponens alkalmazásával is (II. géptípus). A magasabb, C3-C4 osztálybesorolású légijárművek felszállótömege is magasabb, ezért alkalmasak akár több tíz kilogramm hasznos teher mozgatására, például orvosi eszköz, víz.

Katasztrófa utáni időbeli állapot

A földrengés utáni időbeli állapot a sérültek, csapdába esett személyek felkutatásával, valamint a közvetlen életveszélyt okozó közmű infrastruktúra (gáz, elektromos hálózat) lokális kiiktatásával ér véget. A két időbeli szakasz (katasztrófa bekövetkezése alatti és a katasztrófa utáni) szakasz között általában napok, hetek telnek el és a szakaszok közötti átmenet a kárterületek méretétől függően időben egymástól eltolódhat. E szakaszban a drónos feladatvégzésekre a szektorokra bontás hatékonyabb, távlati felvételekre már csak a rendfenntartás, közlekedés-szabályozás, valamint járőr-tevékenységek (fosztogatók kiszűrése) érdekében van szükség. A feladatok drónos támogatására elegendő a C1-C2 osztálybesorolású forgószárnyas eszköz nagyfelbontású zoom kamerával és hőkamerával felszerelve (I. géptípus).

3.3.5. Járvány okozta katasztrófák alatti feladatvégzés drónos támogatása

Az elmúlt évek egyik legjelentősebb társadalmat érintő eseménye világszerte a COVID-19 névre keresztelt járvány, mely a II. világháború óta a legsúlyosabb válságot okozta. Hatása különösen súlyos volt, nemcsak az egészségünket veszélyeztette, hanem a mindennapi életünket is negatívan befolyásolta. A járvány alatt nem csak az emberek általános életvitele, munkavégzési szokásai változtak meg, de sok olyan fogalommal, hatósági intézkedéssel, szigorítással és kötelezettséggel is találkoztunk, amelyről korábban csak hallottunk, vagy filmekben láttunk és lokálisan volt jelen egy-egy tőlünk távol eső országban, területen. Ilyen például a kijárási tilalom, a közterületek szigorúbb ellenőrzése, fertőtlenítése, vagy akár árucikkek hiánya, korlátozott hozzáférése. A szakma gyors reagálásának köszönhetően a járvány okozta új élethelyzetekre és problémák kezelésére számos innováció indult el, így a Katasztrófavédelem, mint szervezet és társszervek, valamint a segítségnyújtó drónok számos működő ötletet mondhatnak magukénak. Azok az országok, ahol a jogi szabályozások gyorsan követték az eseményeket, valamint rendelkezésre állt megfelelő dróntechnológia és egyéb erőforrások, hamar látványos sikereket értek el e területen. Az UNICEF szerint a tapasztalatok itt is azt mutatják, hogy minden egyes felhasználási eset kontextus- és probléma-specifikus, különösen a nem szállítmányozásra alkalmazott légi járművek esetén, ezért itt sem alkalmazható univerzális drónrendszer politika [138] [139] [140].

Katasztrófa bekövetkezése előtti időbeli állapot

Hasonlóan, mint a földrengésnél a járvány kitörésének idejét, helyét nem lehet előre megjósolni. Egyedül a járvány terjedésére vannak statisztikák és modellek. A drónos feladatvégzések ebben az időszakban éppen ezért nem relevánsak.

Katasztrófa bekövetkezése alatti időbeli állapot

Mivel nincsenek kidolgozott forgatókönyvek, bevett szokások, sem a gyakorlat terén, sem a jogszabályi támogatás területén a drónok járványügyi helyzetekben történő alkalmazására, ezért a leginkább célravezető a drónos tevékenységekkel kapcsolatos eddigi tapasztalatok elemzése és a jövőbeli jó gyakorlatok hatékony módszereinek felvázolása. A járvány alatti feladatvégzések lehetnek például:

Szállítás

Laboratóriumi minták, orvosi ellátmányok drónos szállítása jelentősen csökkentheti a szállítási időt és ezzel tovább mérsékelheti a fertőzések, betegségek elterjedését. Ezenkívül használata korlátozza a fizikai érintkezések számát. Számos országban korábban is alkalmaztak nehezen megközelíthető helyekre drónos csomagszállítást, de a legtöbb helyen ezt a fajta (kereskedelmi) tevékenységet korlátozzák, illetve a BVLOS mód sem engedélyezett.

Közterületek légi permetezése, fertőtlenítés: Sokkal gyorsabban, könnyebben, gazdaságosabban elvégezhető, nem beszélve azokról a területekről, ami helikopterrel nem érhető el.

Megfigyelés, közterületi felügyelet: Tömegmegfigyelés. Karantén, kijárási korlátozás, védőeszközök viselése, maszkviselés betartásának ellenőrzése.

Tömegtájékoztatás: Képi információ megjelenítése és tájékoztató hangüzenetek eljuttatása elzárt területekre.

Hőmérséklet ellenőrzés: Testhőmérséklet-ellenőrzés, tünetek nyomon követése tömegben.

A járványkatasztrófa bekövetkezése alatti időszakban jellemzően lokális feladatok drónos támogatására van szükség. Távlati felvételekre csak a kijárási tilalom betartásának ellenőrzése céljából alkalmazott járőr-tevékenység érdekében van szükség.

A feladatok drónos támogatására elegendő a C1-C3 osztálybesorolású forgószárnyas eszköz nagyfelbontású zoom kamerával és hőkamerával felszerelve (I-II géptípus).

Katasztrófa utáni időbeli állapot

A járványkezelés lefutása jellemzően lassú folyamat. A megszorító intézkedések feloldását, mint például kijárási tilalom, maszk használat stb. időben egymástól „távol” is meghozhatják, ami hetekben, hónapokban is mérhető. A drónos feladatvégzések megegyeznek a katasztrófa közbeni állapot műveletvégzéseivel.

ÖSSZEGZÉS

Ebben a fejezetben összeállítottam az általános katasztrófaspecifikus drónrendszer alappilléreinek összetevőit, melyek az összes vizsgálandó területet magában foglalják. A kutatásaim eredményeként megállapítottam, hogy a sikeres és hatékony feladatvégzés paraméterei olyan szerteágazók, hogy a feladatspecifikus drónt és komponensek kiválasztását egy kapcsolati összefüggés segítségével lehet megvalósítani. Ezért elkészítettem egy kapcsolati mátrixot, melynek alkalmazása gyorsíthatja és elősegítheti a szakmai területek eredményességét. Elképzelhetetlen, hogy minden egyes feladatra egyedi drónrendszert alkalmazzunk, ezért, a legtöbb esetben kompromisszumot kell tennünk, ezzel nem kizárva az átmenetet a szakterületek között. A rugalmasságot a feladatspecifikus drónkomponensek egységesítésében és azok kompatibilitásában látom. A kapcsolati mátrix tartalmazza, hogy mely drónkategóriákhoz milyen drónkomponensek alkalmazhatók, így a katasztrófavédelemi és mentési feladat ellátására megbízott döntéshozó, sőtéshozók mérlegelni tudnak, hogy az aktuálisan felmerülő feladatokhoz a belső eljárásrendben definiáltak, valamint a valós körülmények okozta változások alapján rendelkezésre áll-e megfelelő drón és drónkomponens. Új tudományos eredményként megalkottam a nevesített katasztrófa típusok időbeli struktúrájához egyértelműen illeszkedő kapcsolati mátrixot, mely tartalmazza a feladatvégzés ellátására alkalmas drónosztályt, típus besorolást és a hozzájuk rendelhető drón komponenseket.

4. SPECIÁLIS DRÓNKOMPONENS ALKALMAZÁSÁNAK VIZSGÁLATA A KUTATÁS-MENTÉS FOLYAMATOKBAN

A drónok katasztrófavédelmi, kutatás-mentés célú alkalmazása mindhárom, a Katasztrófavédelem rendszerét alkotó ágazatban, valamint a civil kutató-mentő szolgálatoknál is rendkívül nagy segítséget nyújt, ezért hasznosságuk nem kérdőjelezhető meg. Amikor életek forognak kockán, a drónok gyors és biztonságos módszert biztosítanak a kutató- és mentőcsapatok számára. Bármilyen katasztrófa, baleset, vagy akár egy eltűnt személy esetén a mentési műveletek mindig veszélyesek, ez különösen igaz rossz látási viszonyok között. A hosszadalmas földi keresés során nagy kockázatnak teszi ki magát a műveleti csapat. Kockázatot jelent az eső, a szél, vagy vízimentésnél a hordalékok, törmelékek közötti munkavégzés. A biztonságos keresés-mentés alapelve magasabb szinten valósul meg, amikor a cél érdekében különböző légi eszközöket vetnek be. A helikopteres mentés elvitathatatlan előnye, hogy jelenlétük megnyugtató érzést ad a bajba került személyeknek és közvetlen kapcsolatot biztosít a mentőalakulat és a mentésre szorulóknak között. Azonban, ha a mentési körülmények nem teszik lehetővé a helikopteres mentést, akkor a drónos felderítés is hatalmas segítség lehet. A drónok alkalmazásának egyik előnye a gyors üzembe helyezés, a kis méret és a jó manőverezési képesség. Átfogó vizuális adatokat ad a veszélyes területekről, segítve a mentőcsapatokat abban, hogy proaktívan reagáljanak az események változására. A vizuális információ viszont csak nyílt, jól belátható terepen ad egyértelmű képi információt az eseményekről és a hőkamera is csak bizonyos fedettség mellett alkalmazható hatékonyan. Kutatásom e fejezetében olyan megoldásokat keresek és példákon keresztül vizsgálom, melyek a hagyományos kamera, hőkamera ötvöztetésével, valamint ezek nélkül is képesek a kutató- és mentőfeladatot ellátó csapatok segítségére lenni.

BEVEZETÉS

Az Egyesült Államok Igazságügyi Minisztériuma által fenntartott nemzeti eltűnt és azonosíthatatlan személyek adatbázisa (NamUS) szerint Amerikában az eltűntek száma évről évre csökken, de még így is megközelítőleg 600.000 személyre tehető, amiből 90% egy éven belül élve, vagy holtan előkerül. E nagy számból a vadonban (erdőben, nemzeti parkokban) eltűntek száma az adatbázis szerint 1600 fő körül van [141]. Magyarországon az eltűntek száma megközelítőleg 17.000 fő évente, ebből 30-40 fő köré tehető azok

száma, akik erdős területen tűnnek el. Ez „nem magas” szám, de ha csak egy emberi élet is megmenthető egy új innováció segítségével, akkor azzal foglalkozni kell. Az eltűnt, vagy segítségre szoruló emberek egy része önerőből képes segítséget hívni saját magához és a legtöbb esetben képes elmondani tartózkodási helyét, hogy a segítség a lehető leghamarabb megérkezzen. Számos módon megoldható, hogy a pontos helyzetünket közöljük, de abban az esetben, ha nincs valamilyen hírközlési kommunikációs csatorna, csak abban bízhatunk, hogy kiabálásunkra felfigyelnek. A segítségre szoruló emberek számára nem minden esetben áll rendelkezésre a mobiltelefon szolgáltatás elérése, vagy más kommunikációs csatorna. Emiatt, azok a technológiák, amelyek hatékonyan segítik és egészíthetik ki a mentőalakulatok munkáját, felértékelődnek. Ezekkel az új megoldásokkal jelentősen csökkenthető az erőforrásigény, valamint a bajba jutott emberek keresésével eltöltött idő [142] [143] [144].

Kutatásaim eddigi eredményeit figyelembe véve megvizsgálom két lehetőséget lehetőségeket, melyek a drónos személykeresésben, segítségnyújtásban hasznosak lehetnek. Olyan elvi megoldásokat keresek, melyeket eddig nem alkalmaztak, viszont sokéves eszköztervezésben és szoftverfejlesztésben szerzett tapasztalatomat felhasználva képes vagyok megtervezni, megalkotni és tesztmérésekkel bizonyítani annak létjogosultságát. Eredményeim igazolásaként megalkottam olyan hibrid felderítő drónkomponenst, amely alkalmas a mobilhálózatoktól függetlenül felderíteni a segítségnyújtásra szoruló személy mobil készülékének tartózkodási helyét, kiegészítve a hagyományos és az infravörös képalkotás lehetőségével. A fejezetben kétféle eljárást vizsgálom meg, amely hatékonyabbá teheti az eltűnt személyek felkutatását.

4.1. Objektumfelismerő alkalmazás

Elsőként azt vizsgálom, hogy egy mobiltelefon és az azon futtatott objektumfelismerő alkalmazás milyen hatékonysággal képes felismerni egy emberi alakzatot. Számos objektumfelismerő alkalmazás létezik. A választásom a Google saját gyártású, valós idejű szoftverére esett, aminek indoka, hogy ez rendelkezett a legnagyobb letöltési számmal. A vizsgálathoz a következő eszközöket használtam fel:

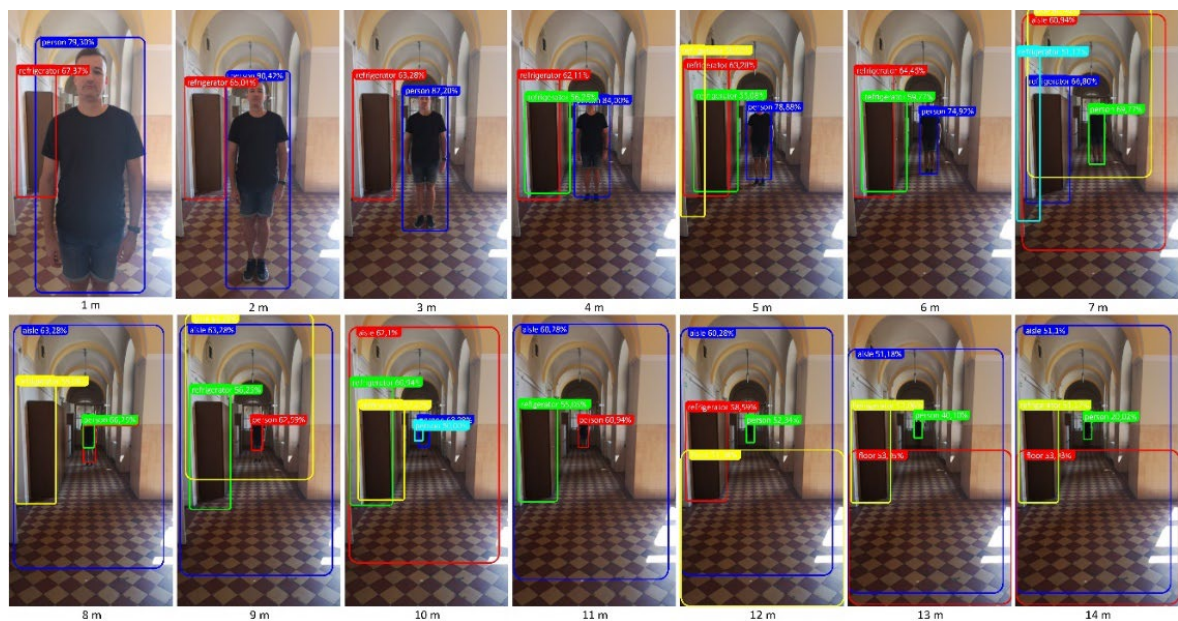
- Mobiltelefon: Vernee Thor, 4160x3120 pixel felbontású
- Objektumfelismerő APP: Google Real-Time Object Detection API

Objektumfelismerő algoritmus elvi működése

Az objektumfelismerő algoritmus egy prediktív technológia, ami konvolúciós neurális hálózatokat használ a valós idejű objektumészlelés biztosítására. Előnye a gyorsaság, pontosság és a gyors tanulási képesség. Az észlelt objektumok kiterjednek emberekre, hétköznapi tárgyakra, épületekre és állatokra is. Az alkalmazás alapvetően két kérdésre keresi a választ. Mi a tárgy és hol van ez a tárgy, vagyis milyen környezetben található. Az algoritmus három fő működési lépésre osztja fel a műveltet. Első az úgynevezett Residual blocks vagyis maradék blokk metódus, ahol a vizsgálandó képet $n \times n$ négyzetrácsos cellára oszt fel és minden egyes cella érzékeli a benne lévő objektumokat. Második lépés a Bounding box regression, vagyis határdoboz regresszió, ahol az észlelt 2D-s objektumokat egy körvonallal kiemelik. Harmadik lépés az IoU - intersection over union, más néven Jaccard index értékelési mérőszám, amely leírja, hogy a dobozok hogyan fedik át egymást. Minden rácscella felelős a határoló dobozok és azok megbízhatósági pontszámainak előrejelzéséért. Az IoU egyenlő 1-gyel, ha az előre jelzett határolókeret megegyezik a valós kerettel. Végezetül ezt a három folyamatot ötvözik. Minden rácscella előrejelzi a határolókereteket, és ad egy valószínűsítő pontszámot. A cellákban megjósolják az osztályvalószínűségeket, vagyis, az objektumok osztályát. Az algoritmus jelenlegi problémája, hogy egy négyzetrácsban csak egy objektumot képes érzékelni [145].

4.1.1. Emberi alakzat felismerő algoritmus vizsgálata

A vizsgálatot épületen belül végeztem, szándékosan olyan helyszínen, ahol kevés tárgy látható. Ennek oka a letisztultabb és pontosabb objektumfelismerés. A kamerát az emberi alakzathoz képest párhuzamosan állítottam be, ezzel szimulálva egy fekvő emberi alak és a levegőben függőlegesen lefelé néző kamera viszonyát. A méréseket egy méter léptékű távolságnövekedés mellett végeztem el (21. ábra).



21. ábra: Alakzatfelismerés a távolság függvényében [készítette a szerző]

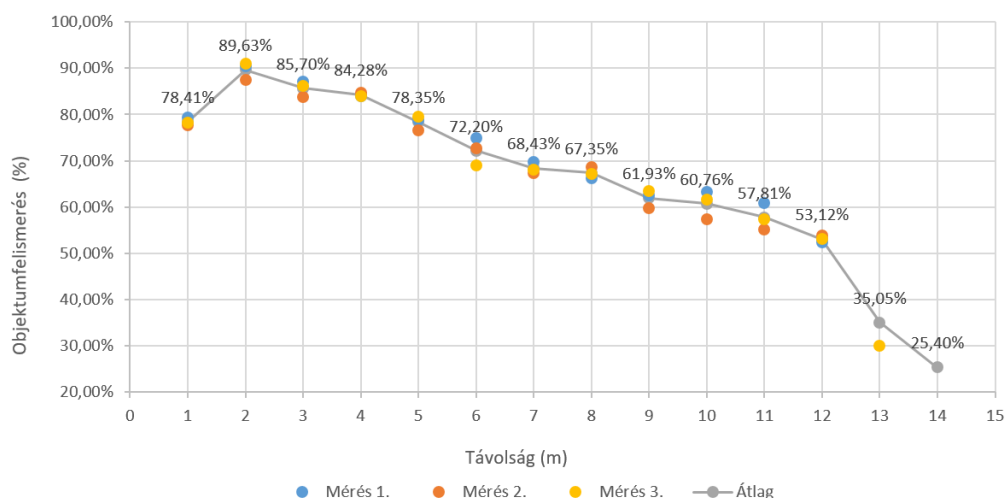
A mérési adatokat a 16. táblázat mutatja.

Távolság (m)	1	2	3	4	5	6	7
Mérés 1.	79,30%	90,42%	87,20%	84,00%	78,88%	74,92%	69,77%
Mérés 2.	77,73%	87,42%	83,70%	84,78%	76,56%	72,75%	67,42%
Mérés 3.	78,20%	91,06%	86,20%	84,05%	79,60%	8,93%	68,11%
Átlag	78,41%	89,63%	85,70%	84,28%	78,35%	72,20%	68,43%

Távolság (m)	8	9	10	11	12	13	14
Mérés 1.	66,25%	62,59%	63,28%	60,94%	52,34%	40,10%	20,02%
Mérés 2.	68,59%	59,77%	57,42%	55,08%	53,91%	35,05%	26,30%
Mérés 3.	67,22%	63,43%	61,57%	57,40%	53,10%	30,00%	29,87%
Átlag	67,35%	61,93%	60,76%	57,81%	53,12%	35,05%	25,40%

16. táblázat: Alakzatfelismerés a távolság függvényében, mért és átlagolt értékek [készítette a szerző]

Az átlagolt görbe értékeit a 22. ábra szemlélteti.



22. ábra: Emberi alak felismerése objektumfelismerő algoritmus segítségével [készítette a szerző]

A vizsgálatot követően, az eredményeket kiértékelve arra a megállapításra jutottam, hogy az emberi alakzat felismerhetősége a távolság növelésével nagyjából 12 méterig kis meredekséggel csökken, ahol eléri a 50%-os alakzathelismerési értéket. Majd e felett nagy meredekséggel kezd csökkenni. 14 méter távolságban már csak 25%, így elmondható, hogy nagyjából 12 méter az a távolság, ahol a rendszer még feldolgozható értéket ad.

4.1.2. Objektumfelismerő algoritmus integrálása hőkamerával

A mérés második részében az objektumfelismerő alkalmazáshoz a hőkamera által látott képet rendeltem hozzá. A vizsgálat célja az volt, hogy megállapítsam, növelhető-e a beazonosítási távolság a kétféle ötvöztetéssel. A vizsgálatoknál az előző mérési összeállítást alkalmaztam, kiegészítve a Teledyne FLIR cég FLIR ONE Gen 2 típusú infravörös hőkamerával. A hőkamera az egyik legkisebb felbontású és tudású eszköz a gyártó típusai között. Képfelbontó képessége egynegyede, hőérzékenysége egyharmada egy professzionális, például – akár drónra is felszerelhető – FLIR DUO PRO R 640 hőkamerának [146] [147]. A kamerák a 23. ábrán láthatók.



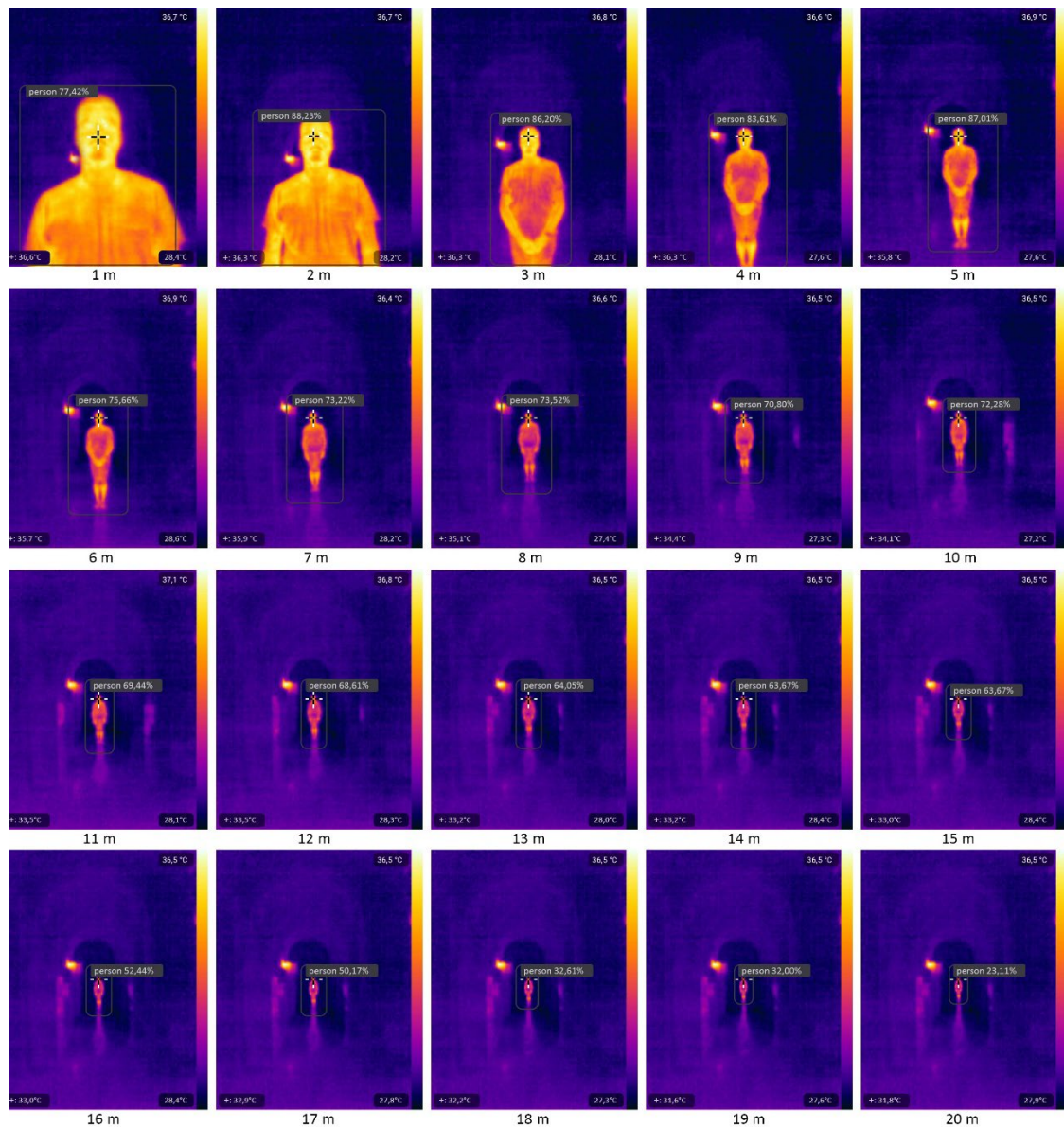
23. ábra: A Teledyne Flir Technologies két hőkamerája [146] [147]

A kamerák fontosabb paramétereit a 17. táblázat tartalmazza.

Hőkamera típus	FLIR ONE Gen 2	FLIR DUO PRO R 640
Szenzor típus (IR+normal)	dual	dual
Érzékelő típus	Uncooled VOx Microbolometer	Uncooled VOx Microbolometer
Szenzor fizikai felbontása	160 x 120 Pixel	640 x 512 Pixel
Érzékenység (MRDT)	150 mK (NETD)	<50 mK (NETD)
Hőmérséklet tartomány	-20°C to +120°C	-25 to +135°C
Látószög V/H	46°/35°	32°/26°
Spektrum hullámhossz tartomány	8 – 14 μm	7.5 – 13.5 μm

17. táblázat: Hőkamerák műszaki paramétereit [146] [147] alapján készítette a szerző

A vizsgálat során a pontos hőmérsékletérték meghatározása nem volt szempont, ezért a mért értékek csak másodlagos információt jelentenek. A képsorozaton (24. ábra) viszont jól látszik, hogy a hőkamera által készített felvételeken még húsz méter távolságban is egyértelműen „leválik” egy emberi alakzat.



24. ábra: Infravörös hőkamera felvételei a távolság függvényében [készítette a szerző]

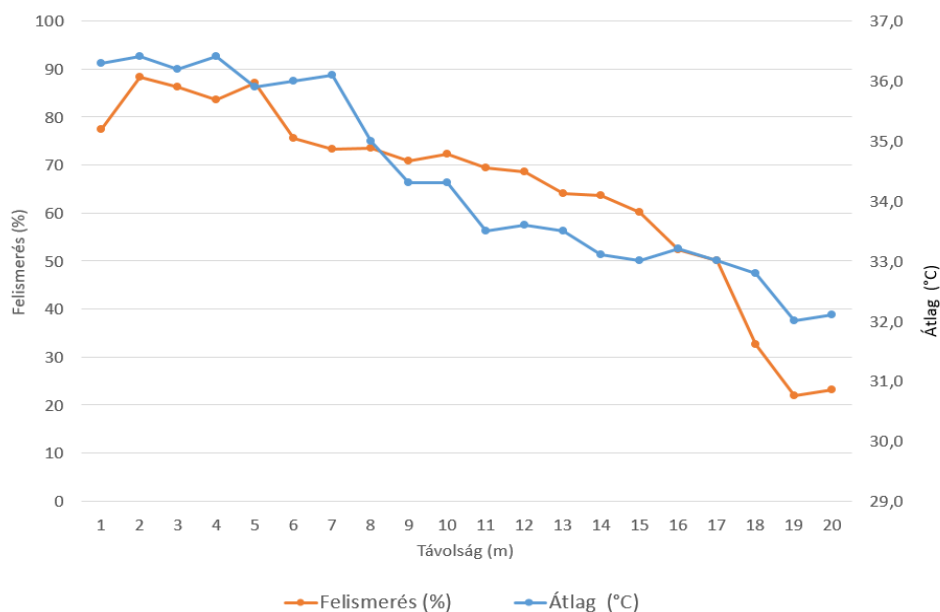
A kapott értékeket a 18. táblázat mutatja

Távolság (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Átlag (°C)	36,3	36,4	36,2	36,4	35,9	36,0	36,1	35,0	34,3	34,3
Felismerés (%)	77,42	88,23	86,20	83,61	87,01	75,66	73,22	73,52	70,80	72,28

Távolság (m)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Átlag (°C)	33,5	33,6	33,5	33,1	33,0	33,2	33,0	32,8	32,0	32,1
Felismerés (%)	69,44	68,61	64,05	63,67	60,10	52,44	50,17	32,61	22,07	23,11

18. táblázat: Infravörös hőkamera alakzatfelismerés a távolság függvényében [készítette a szerző]

A hőkamera és alakzatfelismerő algoritmus együttes alkalmazása által mért átlagolt értékeket a 25. ábra mutatja.



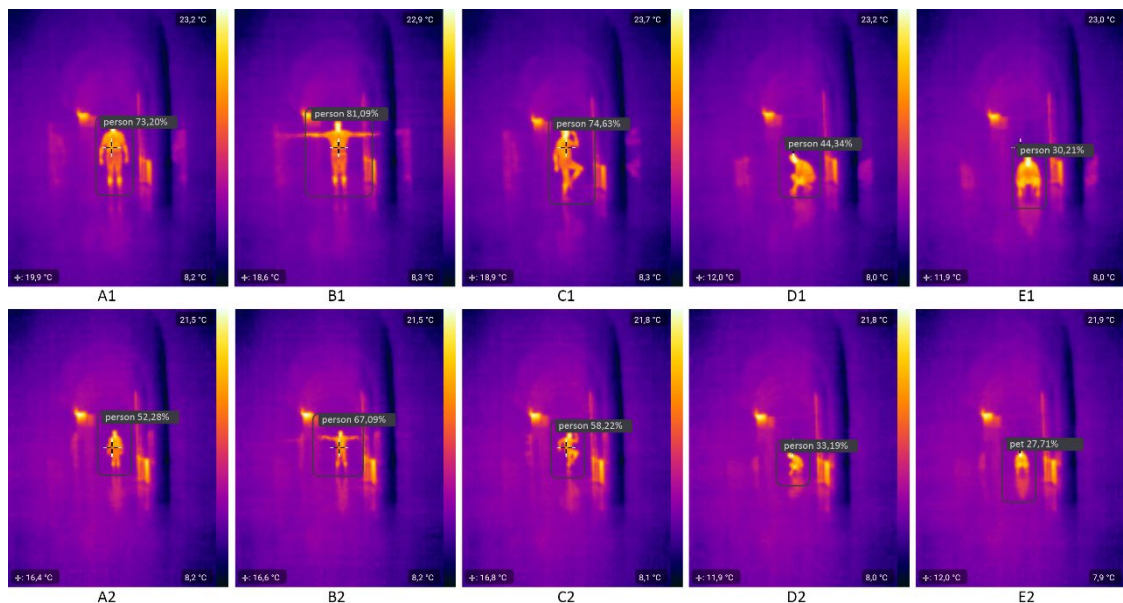
25. ábra: Hőkamera és alakzatfelismerő algoritmus együttes alkalmazása (átlagolt értékek) [készítette a szerző]

A vizsgálatot kiértékelve megbizonyosodtam arról, hogy egy hőkamera által készített felvétel integrálása az objektumfelismerő alkalmazásba sokkal nagyobb távolságban is képes felismerni egy emberi alakzatot, mint a hagyományos kamerával készült felvétel esetén. Az objektumfelismerő alkalmazás az első mérési sorozat esetén 12 méter távolságig volt képes 50% feletti találati értéket adni, viszont a hőkamerával kiegészített mérési sorozatnál ez az érték 17 méterre tolódott ki, ami 41%-os beazonosítási növekedést jelent.

4.1.3. Testhelyzetfelismerés vizsgálata kombinált hőkamerával

Az előző vizsgálat eredményessége további analízist irányzott elő. A vizsgálat célja az volt, hogy megállapítsam, hogy az emberi alak testhelyzete (elhelyezkedése) mennyire befolyásolja a kombinált objektumfelismerő alkalmazás mérési eredményét, vagyis számít-e az emberi alak pozíciója, elhelyezkedése. A vizsgálatot 7, illetve 17 méteres távolságban végeztem. A 7 méteres távolság megválasztásának oka a kontrolmérés volt, ebben az esetben a találati arány még relatív magas (74%) értéket érte el. A 17 méteres távolság az előző vizsgálatoknál kapott emberi alakzat 50%-os felismerési határa volt.

A kísérlethez ötféle általános testpozíciót választottam, melyek a fekvő embert szimulálják (26. ábra).



26. ábra: Különböző elhelyezkedésű testhelyzetek felismerési aránya [készítette a szerző]

Az 19. táblázatban, a különböző testhelyzetekről készült felvételek alakzatfelismerési aránya látható a távolság függvényében. A mérési eredmények is mutatják, hogy a különböző testhelyzetek felismerhetősége nem csupán a távolsággal van összefüggésben, hanem az alakzat felvett pozíciójával is. Az „A” mérési pozitúra – ami egy általános álló emberi alakzatot ábrázol – sokkal kevesebb százalékos találatot kapott, mint az úgynevezett leonardo (B), vagy oldalt fekvő (C) testhelyzet.

Ábra	Testhelyzet	Alakzatfelismerési arány 7 méteren (1.sor)	Alakzatfelismerési arány 17 méteren (2.sor)
A1-A2	Álló alakzat (végtagok a test mellett)	73%	52%
B1-B2	Leonardo testhelyzet	81%	67%
C1-C2	Oldal póz, pl. stabil oldalfekvés	75%	58%
D1-D2	Guggoló póz oldalról	44%	33%
E1-E2	Guggoló póz szemből	30%	28%

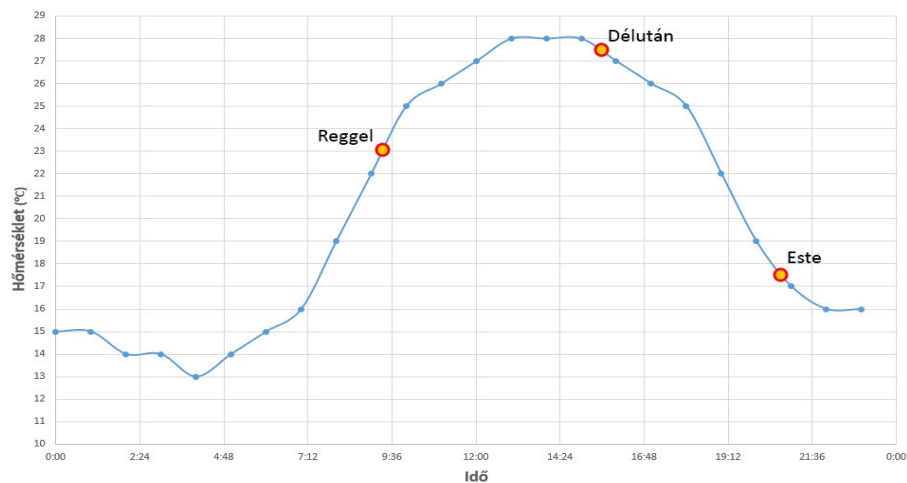
19. táblázat: Testhelyzet felismerési arány átlagolt százalékos meghatározása [készítette a szerző]

Feltételezem, hogy ez az alakzat nagyobb távolságból is jobban körvonalazható és hatékonyabban képes felismerni az algoritmus. A „D” és „E” ábrán guggoló alakzat viszont nem kapott magas találati arányt, ami a testhelyzet felismerhetetlenségének

köszönhető. Az „E2”-es ábrán látható guggoló alakzatot az algoritmus már nem emberként azonosította.

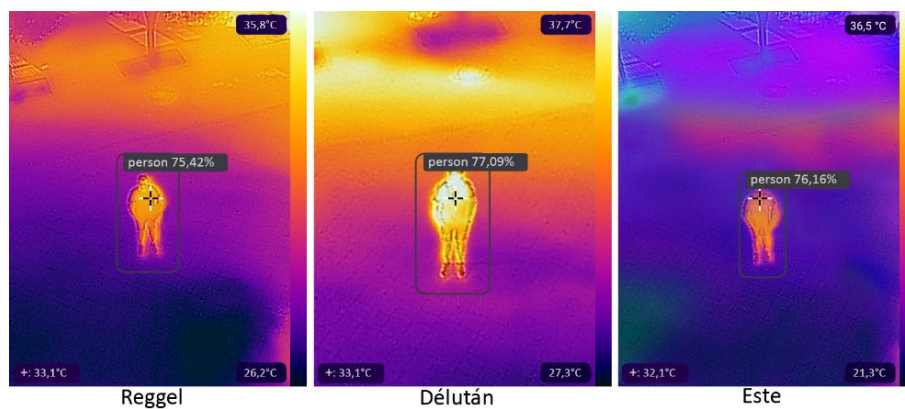
4.1.4. Hőkamrás alakzatterismerés vizsgálat eltérő környezeti hőmérséklet mellett

A beltéri vizsgálatok alapján összeállítottam azt a kombinált hardver- és szoftverkörnyezetet, mellyel kültéren is vizsgálatokat végezhetek. A mérés céljaként tűztem ki, hogy megállapítsam, az eltérő környezeti hőmérséklet milyen hatással van az alakzatterismerésre. A vizsgálatokat három napszakban végeztem. Az első mérést reggel, 23,1 °C-kos környezeti hőmérséklet mellett. A másodikat délután, 27,4 °C-kos, a harmadik mérést este, sötétben 17,5 °C-kos külső környezeti hőmérséklet mellett végeztem el (27. ábra).



27. ábra: Kültéri hőmérséklet alakulása a mérés napján [készítette a szerző]

Az objektumbeazonosítás és a találati arányok a 28. ábrán láthatók.



28. ábra: Objektumazonosítás eltérő környezeti hőmérséklet és fényviszony mellett [készítette a szerző]

A vizsgálati felvételeken látható, hogy a kültéri hőmérséklet és napszak változása csak kis mértékben befolyásolja az objektumfelismerést, vagyis emberi alak hőképe még ilyen „szélsőséges” hőmérsékleti és látási körülmények mellett is egyértelműen leválik környezetéről. A vizsgálatok bizonyítják, hogy egy normál kamerával (nem hőkamerával) és az objektumfelismerő alkalmazással az emberi alak felismerés rossz látási körülmények között, sötétben nem hozott volna használható eredményt.

4.2. Rádiófrekvenciás kereső drónkomponens vizsgálata

Második vizsgálatom során olyan általam tervezett és épített drónkomponens-rendszert vizsgállok, amely mobiltelefon hálózati lefedettség hiányában is alkalmas lehet egy személy mobiltelefonja felkutatására, ezzel megtalálva őt. A katasztrófavédelmi szervek, mentőalakulatok elsősorban vizuális támogatás segítségével alkalmazhatnak drónokat, ezzel kevesebb erőforrást felhasználva, megkönnyítik és felgyorsítják a keresési folyamatokat. Katasztrófák, balesetek során elsődleges cél az emberi élet mentése, ilyenkor az idő a legfontosabb tényező. Előfordulhatnak extrém esetek, amikor a bajba jutott személy olyan terepen szenved balesetet, ahol nincs mobiltelefon lefedettség és nem képes segélyhívást kezdeményezni. Egy hegyvidékes területen, vagy erdőben a kiáltásokon kívül semmilyen más módon nem képes információt közölni a külvilág felé. Ebben az esetben a hagyományos keresési eljárás (emberek, keresőkutyák, helikopterek) időigényes és veszélyes folyamat, különösen, ha a terület nagy és tagolt [148] [149].

A következőkben olyan elvet, technológiát vizsgállok, melyek alkalmas lehet egy személy felkutatására speciális esetben.

Vészhelyzeti helymeghatározó technológiák mobiltelefonokra

A mobiltelefonok földrajzi pozíciókoordinátáinak meghatározására többféle eljárás is létezik. Alapesetben kétféle módszert különböztetünk meg. Az egyik, az adott eszköz által kisugárzott rádiófrekvenciás jeleket befogva, – térerősségmérés alapján – határozzuk meg a helyzetét például háromszögeléssel. A másik módszer, amikor maga az eszköz határozza meg saját helyzetét a térben a vett rádiófrekvenciás jelek segítségével. E két alapelven kívül létezik még sokféle kevert módszer is, melyek hatékonyak és a gyakorlatban is ezen elveket alkalmazzák leginkább [150] [151]. Ezek alapján alkalmazható a készüléken belüli helymeghatározás, mint például a

- GNSS – műholdas helymeghatározás

a térerősség- és iránymérésen, a háromszögelés elven alapuló helymeghatározás

- WLAN, Bluetooth

valamint a vegyes alapelvek ötvöztetésével működő

- LBS (Location-Based Service) – Helyalapú szoftver, hardver alapú szolgáltatás
- AML (Advanced Mobile Location) – fejlett mobil-helymeghatározó funkció

Mindegyik helymeghatározási elvnek vannak előnyei, hátrányai és feltételei

A GNSS alapú helymeghatározás a készüléken belül hozza létre a pozíció-koordináta adatokat. Pontossága ideális esetben méter közeli, ezért mint eljárás jól alkalmazható. A koordináta információk csak akkor érhetők el (nyerhetők ki) a telefonból és oszthatók meg másik rendszer, személy, vagy szervezet részére, ha azt a telefon birtoklója, tulajdonosa technikailag engedélyezi. A WLAN, Bluetooth kommunikációs megoldásokat felhasználva háromszögelés elven mérhető kisugárzott jel térerőssége és így meghatározható a sugárzó eszköz elhelyezkedése a térben, viszont ennek az eljárásnak, ebben a formában leginkább beltéren van érvénye. Az LBS egy olyan „szoftverszolgáltatás” mobileszközökön futó alkalmazásokhoz, amelyhez ismerni kell a mobileszköz földrajzi elhelyezkedését. Az alkalmazás geoadatokat gyűjt, amelyek egy vagy több helymeghatározási technológia segítségével valós időben gyűjtött adatok. A helyalapú szolgáltatások különböző erőforrásokból származó adatokat integrálnak, ideértve a GNSS, vagy a mobilszolgáltatók tornyainak elhelyezkedéséből „kinyert” pingeket. A rendszer pontossága függ a telefon számára elérhető szolgáltatástól, környezeti adottságoktól [152] [153]. Az AML rendszer egy egységes segélyhívó rendszer, ami kiegészül egy helymeghatározó technológiával. Segélyhívás (112) esetén az operátorok információt kaphatnak arról, hogy a segítséget kérő személy földrajzilag honnan indította a hívást. Minél több helymeghatározásra álló hardveres és szoftveres támogatás áll rendelkezésre, annál pontosabb a helymeghatározás. GNSS rendszerrel rendelkező okostelefonok esetében ez méteres pontosságot jelent, működési elve az LBS-hez hasonló [154] [155]. Az említett technológiák jelenlétében egyszerűnek tűnik a helymeghatározás, viszont bármilyen elvet, szolgáltatást is alkalmazunk, a telefonunk földrajzi koordinátái csak abban az esetben lesznek elérhetők mások (külső személy) számára, ha a keresett mobiltelefon részéről a mobiltelefon szolgáltatás (hálózati

lefedettség), vagy valamilyen más kommunikációs csatorna elérhető [156] [157] [158] [159].

A fejezet második céljaként tűztem ki, hogy olyan, technológiákat vizsgáljak, melyek a mobilhálózati lefedettség hiányában is képesek megosztani pozíciókoordinátáit. Ez alapján kizárható vagy megerősíthető a korábban tárgyalt szolgáltatások egy része. A 20. táblázatban a számomra vizsgálandó állapotot az 5. sor, amikor a mobilhálózati lefedettség nem elérhető.

sorsz.	Mobilhálózati lefedettség	Helymeghatározás alapja		Pontosság	Pozíció pontosság minősége
		LBS, AML	GPS		
1	elérhető	+	–	<1000 m	elégséges
2	elérhető	–	+	<5 m	jó
3	elérhető	–	–	–	nem elérhető
4	elérhető	+	+	<5 m	jó
5	nem elérhető	–	+	<5 m	jó

20. táblázat: „Szolgáltatások” elérhetősége és a helymeghatározás kapcsolata [készítette a szerző]

A pozíció-koordináta adatokat más módon csak úgy lehetséges kinyerni a telefonból és továbbítani, ha valamilyen más rádiófrekvenciás felületen tesszük. Egyéb lehetőség hiányában a WLAN és Bluetooth kommunikációs platform az, ami felhasználható. Közülük a WLAN-t a hatótávolsága miatt alkalmasabbnak tartom, ezért a Bluetooth kapcsolat lehetőségeit a továbbiakban nem vizsgálom.

WLAN, mint kommunikációs platform

Az Európai Unióban és így Magyarországon is (ETSI joghatóságában) a WLAN (WiFi) eszközök működését jelenleg a 2009-ben megjelent WiFi 4 (802.11n) és a 2013-ban megjelent WiFi 5 (802.11ac) szabvány írja le. Előbbi 2,4 GHz-en maximum 100 mW (20 dBm), utóbbi 5 GHz-en maximum 200 mW (23 dBm) adóteljesítménnyel rendelkezik. A technológia hatótávolsága nagyon szélsőséges. Sűrűn lakott, rádiófrekvenciásan szennyezett környezetben csak néhány méter, esetleg néhányszor tíz méter. Ellenben nyílt területen, ideális terjedési viszonyok és rádiófrekvenciás zajszennyezettség mellett kedvező, akár több száz méter is lehet. Egy korábbi kutatásomban – nem laboratóriumi körülmények között – vizsgáltam számos eszköz hatótávolságát és arra a következtetésre jutottam, hogy a sok vizsgálatot befolyásoló tényező miatt ezeket szinte lehetetlen egzakt módon mérni. A hatótávolság többek közt függ a frekvenciától (2,4 GHz, 5 GHz

diffrakciós képességek), a rálátástól, az átviteli közegtől, a zajterheléstől stb. A hozzáférési pontok általános alapértelmezett teljesítményértéke maximális, ami azt jelenti, hogy a 2,4 GHz -es jel 3 dBm-el erősebb lesz, így a legtöbb eszköz a 2,4 GHz – es sávot választja az 5 GHz-es sáv helyett. [160]

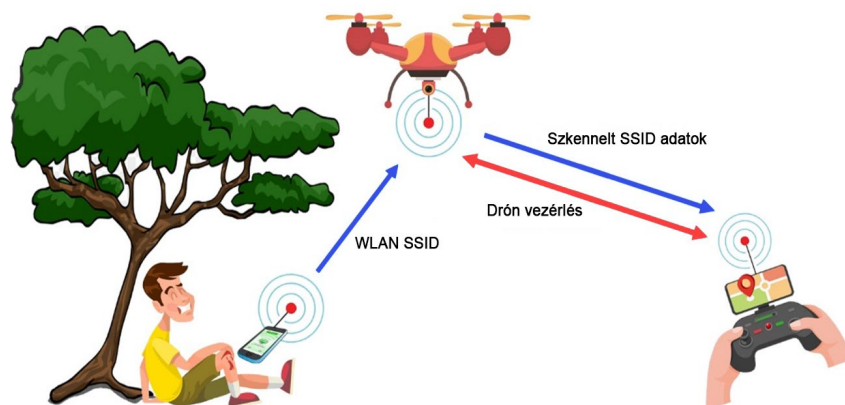
A korábbi tapasztalataim és kutatások eredményeként a 2,4 GHz-es sávot választottam a további vizsgálatokhoz.

4.3. Mobiltelefon felederítő rendszer

Mobilhálózati lefedettség hiányában, valamint a Bluetooth technológia alacsony hatótávolsága miatt a WLAN kommunikációt találom alkalmasnak arra, hogy felhasználható legyen egy mobiltelefon földrajzi helyzetének meghatározására a már korábban említett keresési elvek alapján. A rendszer működésének alapelve, hogy egy a mobiltelefonon elindított alkalmazás WLAN hotspottá alakítja át a telefont. Az így elindított WLAN azonosító (SSID) egy kódsorozat, amely a mobiltelefon tartózkodási helyének GNSS koordinátaiból áll össze. A szkennerkomponenssel felépített keresődrón a mobiltelefon WLAN hatósugarába érve érzékeli azt, és az információkat továbbítja a drónpilóta (kereső csapatok) felé. A rendszer fantázianeve neve a továbbiakban: SOS-SSID.

4.3.1. Az SOS-SSID rendszer felépítése

Az SOS-SSID rendszert a fejlesztések során három fő összetevőre bontottam és a következő elnevezéseket adtam aszerint, hogy milyen funkciót tölt be a rendszerben (29. ábra).



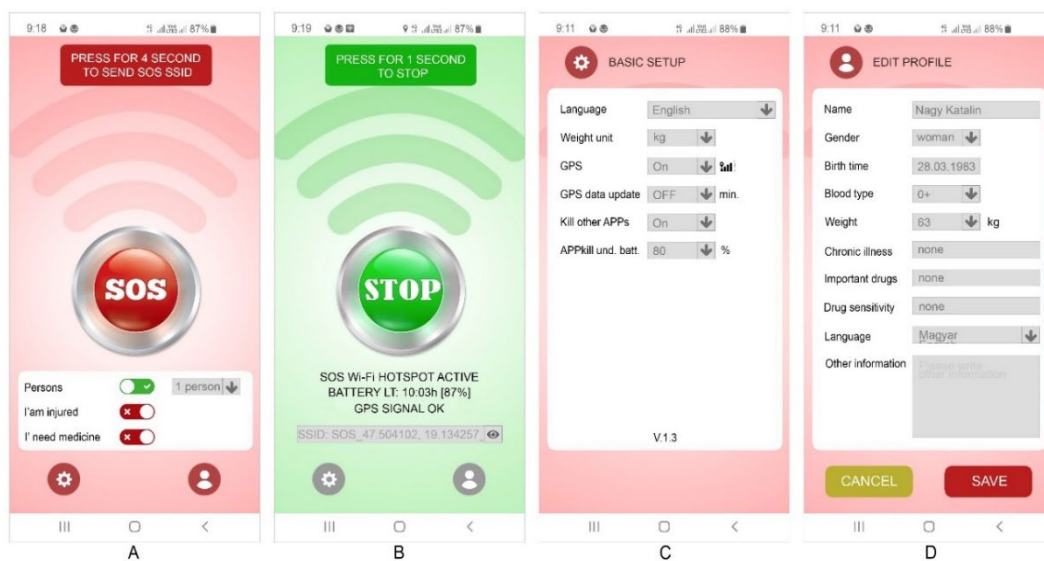
29. ábra: Az SOS SSID rendszerszer felépítése [készítette a szerző]

Az ábra magyarázata:

- Vészjelző adóállomás – WLAN hotspot (Vernee mobiltelefon + SOS-SSID APP)
- Drón és felderítő komponens (F550 drone, S4 mobil)
- Földi irányító- és kiszolgáló központ (Drón vezérlés + adatkiértékelő alkalmazások (WiFi Heatmap scanner APP, SOS-ID-LOCATOR dekóder APP, Samsung S10, Huawei P20 mobil)

4.3.2. Vészjelző adóállomás felépítése

A vizsgálatok során a földi adóállomás kialakítását egy okos mobilkészülékre telepített Android operációs rendszer alatt futó okostelefon és szoftverkörnyezete biztosítja. Az alkalmazás elindítása után az SOS gomb megnyomásával egy WLAN hotspot adóállomást hozunk létre. Az így létrehozott SSID a GPS koordinátákból automatikusan generálódik. A következőkben a segélykérő telefonra telepített alkalmazás működését szemléltetem egy a valós környezetben is használt példán keresztül. Az alkalmazás felületének képernyőfotói az 30. ábrán láthatók.



30. ábra: SOS-SSID alkalmazás képernyőfotói [készítette a szerző]

- Képernyőfotó „A” – SOS gomb a segélykérés (SSID generálás) indítás.
- Képernyőfotó „B” – Segélykérés aktív állapotának képernyője Az aktív szolgáltatást megszakító STOP gomb megnyomásával megszakítható. Az SOS gomb ismételt megnyomásával az alkalmazás újragenerálja az SSID-t az aktuális koordinátaadatokkal.

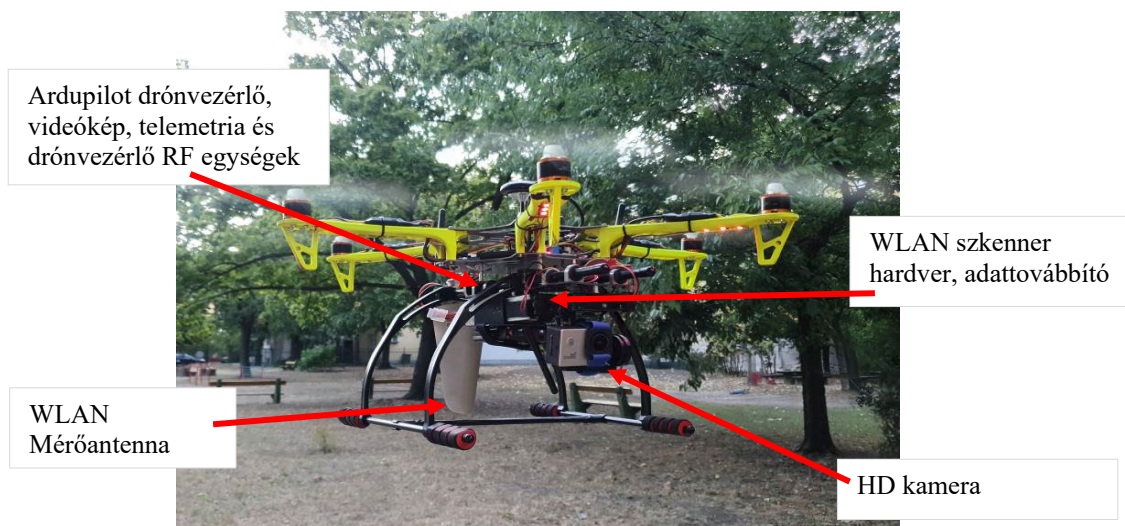
- Képernyőfotó „C-D” – Alkalmazás alapbeállításának és személyes adatok beállításnak képernyője

Az alkalmazás által generált adatsor teljes tartalma egy – indításkor generált – HTML oldalon látható a felcsatlakozott eszközök számára. Az SSID azonosító maximum 32 karaktert képes megjeleníteni, ezért abban csak a földrajzi koordináták láthatók. Továbbá, a későbbi szűrés megkönnyítése érdekében az első három karakter beszédes, SOS karaktereket tartalmaz. A 3. számú mellékletben látható példaadatok megjelenése a következő:

- SOS SSID alkalmazás által generált SSID: SOS_47.504102,19.134257
- A HTML felületen megjelenő szöveges adatok:
SOS_47.504102,19.134257_NA:NAGY.KATALIN_BD:1983_PE:01_IN:1_ME
:0_GE:W_BL:0+_WEKG:63_CI:00_ID:00_DS:00_LA:HU-EN_OI:00

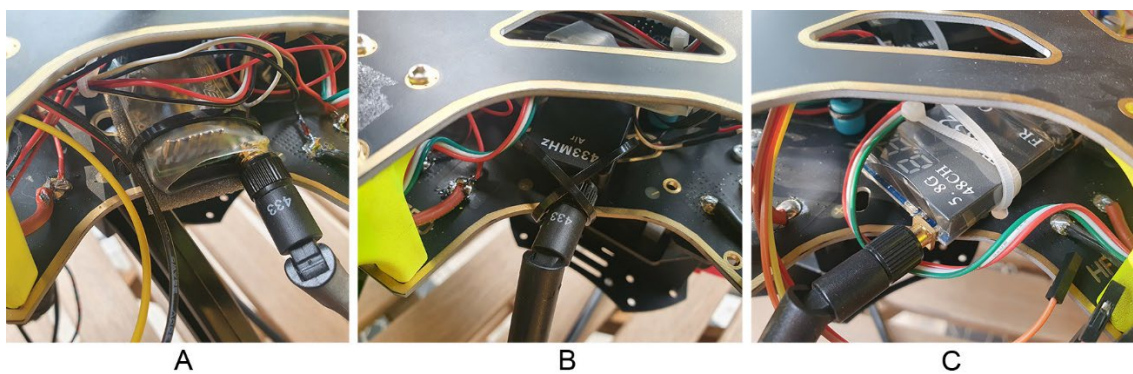
4.3.3. A felderítő drón felépítése

A felderítő drón alapja egy Topacc-F550 vázra felépített, saját összeszerelésű repülőeszköz (31. ábra). A speciális feladatellátáshoz fejlesztett komponenseket, kiegészítőket, rádiós részegységeket aszerint válogattam össze és gyártottam le, hogy a célfeladatot a lehető legjobban kiszolgálják, de működésükkel ne befolyásolják a vizsgálatok folyamatát.



31. ábra: Vizsgálatok során alkalmazott Topacc-F550 vázra épített felderítő drón [készítette a szerző]

A drónra integrált szkennerkomponens hardver- és szoftverkörnyezetből áll. Tartalmazza a WLAN jelek felderítésére alkalmas átalakított mobiltelefont, a hozzá csatlakoztatott külső antennát, valamint a megszerzett adatok továbbítására egy rádiófrekvenciás adót. A tervezés során figyelembe kellett venni, hogy a drónkomponens a WLAN hálózat 2,4 GHz-es csatornáit szkennelni, ezért a drón és a vezérlés közötti kétirányú kommunikációt aszerint kellett megválasztani, hogy ne zavarják egymást. A 32. ábrán az általam választott rádiófrekvenciás egységek láthatók. Az „A” képen a drónvezérlés a 433 MHz-en, a „B” képen a WLAN szkennerek adattovábbító 433 MHz-en, és a „C” képen a drónkamera élőképet továbbító 5,8 GHz-en sugárzó adóegysége látható.



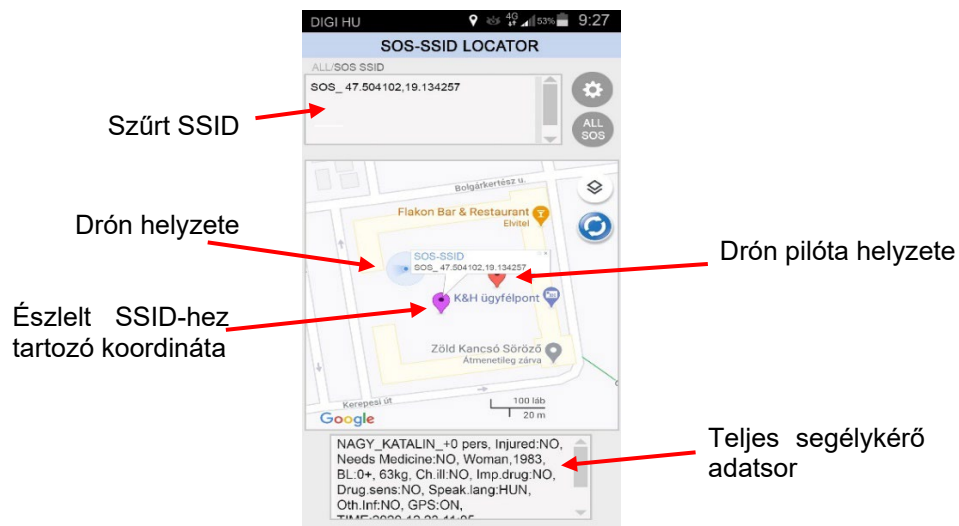
32. ábra: Rádiófrekvenciás kommunikációs egységek a felderítő drónon [készítette a szerző]

A drón alatt elhelyezkedő szkennerkomponens részegységei:

- Mobiltelefon – Samsung S4
- Yagi antenna – Tupavco TP541 dual band [161]
- RF transmitter – 3DR Radio USB-UART 433 MHz

4.3.4. Földi irányítóközpont felépítése

Az egység két alrészre bontható. Ez egyik a drón irányításához, vezérléséhez szükséges állomás. A másik a szkennerek komponens irányából érkező adatok fogadására fejlesztett úgynevezett SOS-SSID-LOCATOR alkalmazás. Az SOS kezdetű SSID-k leszűrése után látható a földrajzi koordinátából összerakott SOS- kezdetű SSID, amely egy Google alapú térképen jelenik meg (33. ábra).



33. ábra: SSID Lokátor alkalmazás mobiltelefon képernyőfotója [készítette a szerző]

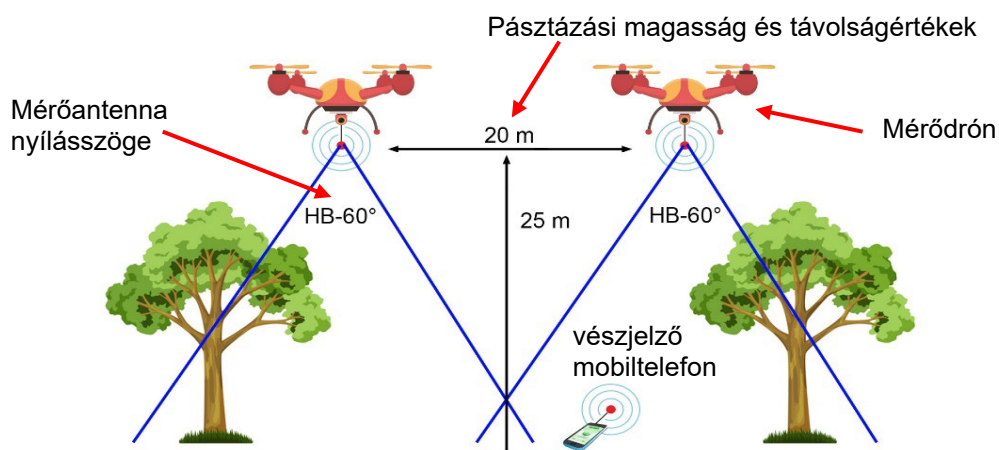
A HTML oldalon generált és letöltött adatok a locator alkalmazás alján egy szövegmezőben olvashatók [162] [163].

4.4. A vizsgálati helyszínek

Az SOS-SSID rendszernek ritkán lakott, nyílt területen, minimális rádiófrekvenciás zajszenyezés mellett van létjogosultsága. Itt a WLAN eszközök hatótávolsága akár a több száz métert is elérheti. Adódhatnak viszont olyan körülmények is, mikor városi a környezetben is hasznosak lehet. A korrekt eredmények érdekében a vizsgálatokat két típusú helyszínen végeztem el. Elsődleges vizsgálati helyszínnek egy sűrűn lakott övezetet választottam, második környezetnek pedig egy rádiófrekvenciás zajterhelés szempontjából is tiszta, nyílt területet.

4.4.1. A vizsgálati terület programozott útvonaltervezése

A hiteles mérési eredmények eléréséhez fontos volt, hogy a drón repülési útvonala reprodukálható legyen akár több alkalommal is, ezért a drón az Ardupilot, Mission Planner alkalmazásban [164] előre megírt útvonalat járta be. Az útvonalparaméterek megadásakor a lefedett területet nagyságát, az átlagos fák magasságát és a felhasznált külső Tupavco TP541 antenna nyílásszögét vettem alapul. Ezeket összegezve a repülési magasság 25 méter (34. ábra)



34. ábra: A repülési magasság, antenna nyílásszög és pásztázási sáv kapcsolata [készítette a szerző]

A drón repülési sebességének meghatározása a vizsgálatok alatt nem volt szempont.

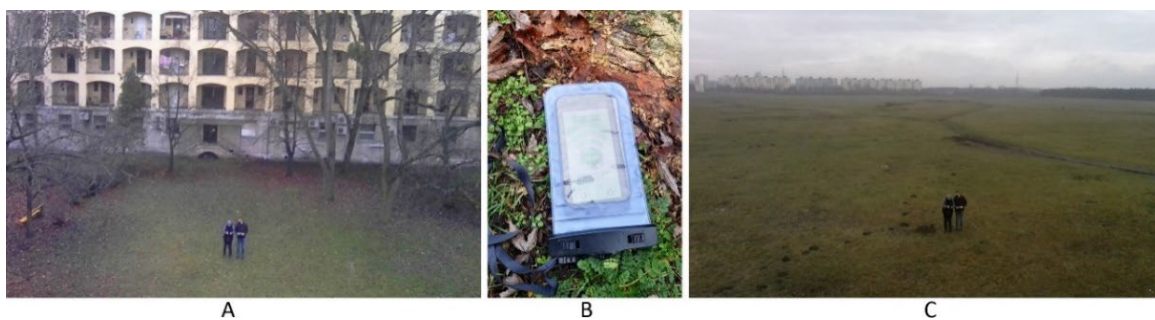
4.4.2. Vizsgálati módszerek

A tesztmérés a célja, hogy egy keresett mobiltelefon földrajzi koordinátáit a lehető legpontosabban meghatározzam. A konkrét WLAN-SSID keresése mellett több módszer is közelítő eredményt hozhat, ezért megerősítő mérésként három eljárást vizsgáltam.

Első mérési eljárás: SSID keresést végeztem a drónnal előre beprogramozott útvonalon. A drónra szerelt kereső mobiltelefonon futó WLAN szkenneralkalmazás összegyűjtötte az adott szakaszon észlelhető SSID-kat, hozzárendelte a drón pillanatnyi földrajzi koordinátáit majd továbbította a földi irányítóközpont felé. A beérkezett adatokat az SOS-ID-LOCATOR alkalmazás leszűrte az SOS kezdetűekre és a kapott információk alapján megjelenítette azt a térképen.

Második mérési eljárás: szükségesnek tartottam egy egyszerű térerősségmérésen alapuló helymeghatározást is, mely a WLAN „hőterképezésen” alapul és konkrétan csak a keresett SOS kezdetű SSID-t figyeli. A vizsgálatot két okból tartottam fontosnak: az egyik a földrajzi pontosság meghatározása térerősség mérés alapján sűrűn és ritkán lakott helyszínen. A másik ok a grafikus ábrázolhatóság.

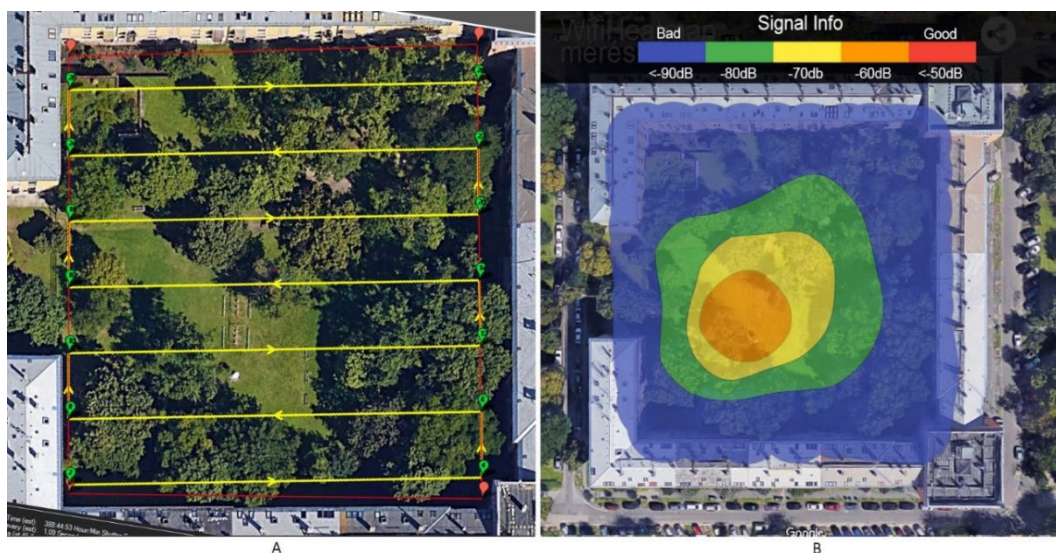
A harmadik mérési eljárás: a keresett mobiltelefon valós helyzetét mutatja meg. Az SOS-SSID-ban szövegesen (üzenetként) megjelenő és visszaállított koordináták olvashatók ki, az SOS Locator alkalmazás is ezt jeleníti meg a térképen. A három mérési eljárás közül ez adja a legpontosabb koordinátákat. A 35. ábrán a két helyszín drón által rögzített kamera képe látszik, valamint a segélynyújtást kérő mobiltelefont, amit mindkét esetben a nyílt terepen, fedés nélkül a földre helyeztem.



35. ábra: (A-sűrűnlakott, C-ritkán lakott) mérési helyszínek, valamint a hotspottá alakított SOS mobiltelefon (B) [készítette a szerző]

4.4.3. Vizsgálatok sűrűn lakott övezetben – első mérési helyszín

Sűrűn lakott helyszínnek egy több száz lakásos bérháztömb nagy udvarát választottam (36/A. ábra) a teljes nézet a 4/1 számú mellékletben látható. A mérést két alkalommal végeztem el. Az első mérés alkalmával 162 darab, a második repülés során 147 darab aktív WLAN eszközt listáztam be. A hotspottá alakított, földre helyezett mobiltelefont a drón mindkét esetben megtalálta, és az SOS kezdetű SSID miatt könnyen beazonosítható volt. Második, ellenőrző mérésnek WLAN hőtésképezést végeztem (36/B. ábra). Az eredmény ebben az esetben sikeres volt, a keresett mobiltelefon megközelítőleg 200 m²-es területen is -60 dB-es jelszint felett produkált [165] [166] [167].



36. ábra: Sűrűn lakott terület. A drón programozott repülési útvonala (A). SOS-SSID WLAN hotspot teljesítményszint hőtésképe (B) [készítette a szerző]

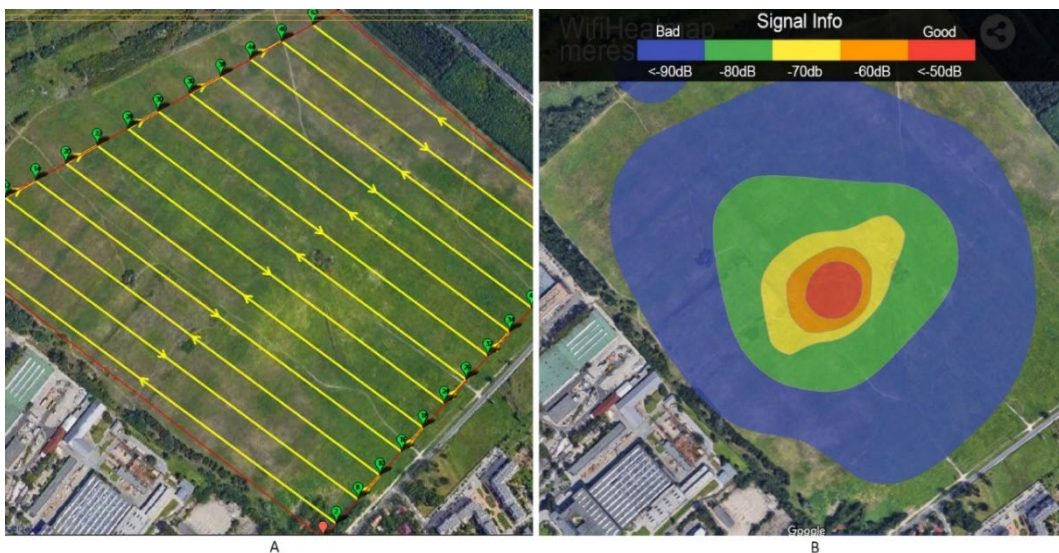
A mérési eredmények egy rövid kivonatát a 37. ábra mutatja, amelyen a keresett SOS-SSID a zöld színnel kiemelt sorban látható.

1	SSID	FirstSeen	RSSI	CurrentLatitude	CurrentLongitude	AltitudeMeters
57	UPC Wi-Free	2020.12.23 9:26	-85	47.50417596665325	19.134428616101957	172.57224515857615
58	UPC Wi-Free	2020.12.23 9:26	-82	47.50417596665381	19.134428616101957	172.57224515857615
59	UPC Wi-Free	2020.12.23 9:26	-73	47.5041759666538	19.134428616101957	172.57224515857615
60	Flakon_Privat	2020.12.23 9:26	-86	47.50425026451702	19.134416163528176	165.32530212402344
61	Mobile	2020.12.23 9:26	-82	47.50425026451719	19.134416163528172	165.32530212402344
62	RedWolf	2020.12.23 9:26	-77	47.50425026451722	19.134416163528172	165.32530212402343
63	UPC Wi-Free	2020.12.23 9:26	-78	47.5042502645171	19.13441616352817	165.32530212402344
64	UPC3472114	2020.12.23 9:26	-75	47.50425026451712	19.13441616352817	165.3253021240234
65	UPC5417917	2020.12.23 9:26	-84	47.50425026451712	19.134416163528175	165.32530212402343
66	UPC0426658	2020.12.23 9:26	-80	47.50425026451712	19.134416163528172	165.32530212402344
67	chello	2020.12.23 9:26	-89	47.5041759666538	19.134428616101957	172.57224515857615
68	UPCBDC7D7C	2020.12.23 9:26	-70	47.50425026451712	19.13441616352817	165.32530212402344
69	UPC8495F4C	2020.12.23 9:26	-70	47.5041759666539	19.134428616101951	172.57224515857615
70	SOS_47.504102,19.134257	2020.12.23 9:26	-63	47.504148968334675	19.134366740376823	174.35563866489167
71	UPC8384108	2020.12.23 9:26	-77	47.50425026451712	19.134416163528172	165.32530212402344
72	UPC Wi-Free	2020.12.23 9:27	-73	47.5041759666538	19.134428616101957	172.57224515857615
73	UPC5417917	2020.12.23 9:27	-72	47.50417596665385	19.134428616101956	172.57224515857615
74	UPC Wi-Free	2020.12.23 9:27	-79	47.5041759666538	19.134428616101957	172.5722451585761

37. ábra: Összegyűjtött SSID-k sűrűn lakott környezetben, táblázatrészlet [készítette a szerző]

4.4.4. Vizsgálatok nyílt, gyéren lakott terepen - második mérési helyszín

Második mérési helyszínnek egy nagy (1 km²) kiterjedésű nyílt terepet választottam, amely méretéből adódóan már összemérhető egy éles helyzetben átvizsgált terület nagyságával. Tapasztalatból tudtam, hogy a rádiós környezeti zavarsszennyezés sokkal alacsonyabb szintű lesz és ilyen szempontból hasonló adottságokkal rendelkezik, mint egy erdős terület. Az első mérésnél alkalmazott módszert megismételtem előre programozott repülési paraméterek megadásával (4/2. számú melléklet). Ebben az esetben is két alkalommal végeztem el a tesztmérést. A 37. ábrán a kereső drón programozott repülési útvonala, valamint a mért WLAN hő térkép eredménye látható.



38. ábra: Nyílt terep. A drón programozott repülési útvonala (A). SOS-SSID WLAN hotspot teljesítményszint hő térképe (B) [készítette a szerző]

Feltevésém beigazolódott, a nyílt terepen mind a két alkalommal összesen négy darab SSID adatát tudtam rögzíteni, melyben a tesztkészülék SOS-SSID is benne volt. A mérési eredményt a 39. ábra mutatja. A WLAN „hő térkép” mérés is eredményre vezetett. Közel 300 m²-es területen is -50 dB-es jelszint alatt mértem, ami a jelszintemelkedést tekintve sokkal jobb eredmény, mint a sűrűn lakott területen végzett hő térképes mérés.

1	SSID	FirstSeen	RSSI	CurrentLatitude	CurrentLongitude	AltitudeMeters
2	f_anddi_vendeg	2020.12.23 11:08	-82	47.532543396585112	19.15625230782323	175.88851928710939
3	STRONG_Extender1610_7Y8R	2020.12.23 11:08	-91	47.532543396585303	19.15625230782301	175.8885192871093
4	SOS_47.534936,19.153535_NAGY_KAT	2020.12.23 11:08	-44	47.53254339658552	19.15625230782399	175.88851928710938
5	Stormy	2020.12.23 11:09	-93	47.532561181240844	19.156246793202683	175.8848419189453

39. ábra: Összegyűjtött SSID-k gyéren lakott kültéri környezetben, teljes táblázat [készítette a szerző]

A berepülés során az egy négyzetkilométeres átvizsgált területet a drón 34 perc alatt teljesítette az előre megírt útvonalon. Jelen esetben egy nyílt, átlátható területen végeztem a vizsgálatot, de a repülési magasság meghatározása miatt egy fákkal borított erdős területen is hasonló időeredményeket lehetett volna elérni. A repülési magasság növelésével növelhető a felülről „belátható” terület, ezáltal az útvonal hurkok száma és a berepülési idő is csökkenthető. Ebben az esetben viszont figyelembe kell venni a WLAN mérőantennára érkező jel erősségét is, ami a távolság növelésével exponenciálisan csökken, ezáltal a jelforrás (adó) megtalálhatósága is csökken.

ÖSSZEGZÉS

Kutatásaim eddigi eredményeit figyelembe véve megvizsgáltam azokat a lehetőségeket, melyek a drónos személykeresésben, segítségnyújtásban hasznosak lehetnek. Olyan elvi és fizikai megvalósításokat kerestem, melyeket az általam vizsgált összetételben eddig nem alkalmaztak. A fejezet első részében hőkamerás méréseket végeztem speciális objektumfelismerő algoritmus alkalmazásával. Célom volt igazolni azon feltevésemet, miszerint egy hőkamerával kombinált objektum- személyfelismerő rendszer hatékonyabbá teszi az eltűnt személyek felderítését olyan környezetben, ahol a hagyományos, csak a „látáson” alapuló kamerák már nem működnek hatékonyan, a hőkamerák pedig nem szolgálnak konkrét objektumfelismerés információval. A vizsgálatok során bebizonyítottam, hogy a kombinált objektum (emberi alakzat) beazonosító rendszer hatékonyságában magasabb találati arányt mutatott, mint az alapként ismertett rendszerek külön-külön. A fejezet második részében megterveztem, megépítettem egy mobiltelefon kereső drónkomponenst, majd méréseket végeztem valós körülmények között. A keresőrendszer alkalmas egy bajba jutott, vagy eltűnt személy

felkutatásában – saját mobiltelefonja segítségével – földrajzi koordinátáinak pontos meghatározásában speciális körülmények között, abban az esetben is, ha a mobiltelefon hálózati lefedettség hiányában nem kapcsolódik a mobilhálózathoz. A vizsgálati eredményeket kiértékelve megállapítottam, hogy az általam megépített kereső-drónkomponens hatékony működésével olyan többletinformációkkal képes szolgálni a kutató és katasztrófavédelmi szervezetek földi keresőcsapata felé, amivel jelentősen csökkenthető egy keresett személy felkutatási ideje.

Új tézisként megalkottam egy olyan hibrid felderítő drónkomponenst, amely alkalmas a mobilhálózatoktól függetlenül felderíteni a segítségnyújtásra szoruló személy mobil készülékének tartózkodási helyét, kiegészítve a hagyományos és az infravörös képalkotás lehetőségével.

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

Tudományos kutatásom témája a drónokalkalmazás lehetőségeinek vizsgálata a katasztrófavédelemi és a kutatás-mentés feladatot ellátó szervezetek tevékenységeiben. A választott téma aktualitását a robbanásszerűen fejlődő dróntechnológia, valamint a katasztrófavédelemi, a kutatás-mentés és a rendészeti feladatokat ellátó ágazat irányából érkező igények és lehetőségek támasztották alá. Amíg a polgári szférában és a gazdasági verseny résztvevői körében is egyre nagyobb számban jelennek meg a célirányosan fejlesztett, a munkavégzés hatékonyságát fokozó drónrendszerek, drónkomponensek, addig a katasztrófavédelmi, kutatás és mentést végző szervezetek beavatkozó tevékenységei között ez a rohamosan fejlődési tendencia még nem érezhető.

Kutatásaimat a szakirodalmak és a nyílt forrásból elérhető publikációk eredményeinek tanulmányozásával, interjúkkal kezdtem, majd a szakterületi terminológiák és törvényi szabályzók vizsgálatával folytattam. Az elméleti alapok feltárása mellett célul tűztem ki a gyakorlati megvalósíthatóság vizsgálatát is, melyhez hardverelemeket és szoftverkörnyezetet készítettem. Hipotéziseim megfogalmazása közben törekedtem az ismeretek egymásra épülő logikai sorrendjének felállítására, melyek alátámasztásához, a céljaim elérését segítő tanulmányi és kutatói terveket készítettem.

Az értekezés a kutatás folyamatát négy fejezetre bontva, a dolgozat elején felsorolt, kitűzött célok megvalósítása mentén mutatja be.

I. fejezetben részletesen áttekintettem a kutatásomhoz szükséges alapfogalmakat és összefüggéseket. Megvizsgáltam a drónok általános műszaki jellemzőit, a katasztrófavédelem rendszerének szervezeti felépítését, a témát érintő jogalkotói intézkedéseket és rendszereztem a téma szempontjából releváns katasztrófatípusokat. Meglátásom szerint a katasztrófa, mint esemény, a katasztrófavédelmi és a kutatás-mentési feladat, valamint a megfelelő drónrendszer kapcsolata feltérképezhető. Ehhez azonban az összetett tér minden vizsgált tényezőjét tovább kell bontani és azokat külön elemezni. Vizsgálataim alapján meghatároztam a nevesített katasztrófák alatti drónos feladatvégzésekhez szükséges katasztrófavédelmi összetevők vizsgálati terét. Felállítottam a katasztrófavédelmi drónos feladat típusa és a drón műszaki adottságai közötti összefüggéseket. Meghatároztam a különböző katasztrófavédelmi feladatok ellátására alkalmazható drónrendszer fogalmát szűkebb értelemben. Továbbá megállapítom, hogy nem lehet minden egyes katasztrófavédelmi feladatra speciális

drónrendszert alkalmazni, kompromisszumot kell kötni és átmenetet/átmeneteket kell képezni az egyes szakterületek, feladatok igényei és a befolyásoló tényezők között.

II. fejezetben megvizsgáltam és rendszereztem a drónrendszerek kommunikációs megoldásait és az üzemszerű működtetésükkel szemben támasztott körülményeket. Megállapítottam, hogy a drónrendszerek biztonságos üzemeltetését befolyásoló tényezők közül a drón és a pilóta közötti kommunikációs CNPC csatorna, valamint a GNSS koordináta helymeghatározó rendszer üzembiztonsága van leginkább befolyással a drónos feladatvégzések kimenetelére. A fejezet további vizsgálataként a celluláris hálózaton keresztül történő drónvezérlés lehetőségeit vizsgáltam. Bizonyos feltételek mellett – mind a 4G, mind pedig az 5G technológia alkalmas a mobilhálózaton keresztüli drónvezérlésre, ami elsősorban a BVLOS típusú repüléseknél jelent(het) előnyt. Az 5G technológia számos paraméterében alkalmasabb, mint a 4G, de a generációs fejlettségből eredően technikai akadályok is felmerülnek valós üzemeltetési körülmények között. A problémák egyike, hogy a technológia alapvetően sérülékeny a folyamatos kapcsolatfenntartást illetően, ezért üzembiztonsága – valós idejű vezérlés esetén – instabil. A fejezet harmadik részében elemző kutatásokat folytattam a CNPC és GNSS alrendszerek üzembiztonságát befolyásoló tényezőket vizsgálva, ezért felállítottam egy kapcsolati összefüggést, melyben elemeztem az rádiófrekvenciás alrendszerek befolyását a fennálló hiba, incidens és drónvezérlés-üzemmód tekintetében. A vizsgálat eredményeként megállapítottam, hogy bármely alrendszer meghibásodása, jelvesztése befolyásolja és befolyásolhatja a repülési művelet végrehajtásának sikerességét. Valós idejű vezérlésüzemmód esetén mind a CNPC, mind pedig GNSS alrendszer folyamatos megléte nélkülözhetetlen, illetve a GNSS jel hiányában a drónos feladatvégzés meg sem kezdhető. Automata, autonóm vezérlési mód esetén – egy előre deklarált forgatókönyvtől függően – a CNPC jel elvesztése közvetlenül nem befolyásolja a küldetés egészét, a GNSS alrendszer meghibásodása, zavarása viszont minden esetben hatással van a teljes drónos feladatvégzés biztonságára.

III. fejezetben megalkottam az általános katasztrófaspecifikus drónrendszer alappilléreinek összetevőit, melyek az összes vizsgálandó területet magában foglalják. Eredményeként megállapítottam, hogy a hatékony és sikeres feladatvégzés paraméterei olyan szerteágazóak, hogy a feladatspecifikus drónt és komponensek kiválasztását egy kapcsolati összefüggés segítségével valósítható meg. Ezért elkészítettem egy kapcsolati mátrixot, melynek alkalmazása gyorsíthatja és elősegítheti a szakmai területek

eredményességét. A legtöbb esetben kompromisszumot kell tennünk, ezzel nem kizárva az átmenetet a szakterületek között. A rugalmasságot a feladatspecifikus drónkomponensek egységesítésében és azok kompatibilitásában látom. A kapcsolati mátrix tartalmazza, hogy mely drónkategóriákhoz milyen drónkomponensek alkalmazhatók, így a katasztrófavédelemi feladat ellátására megbízott döntéshozó mérlegelni tud, hogy az aktuálisan felmerülő feladatokhoz az eljárásrendben definiáltak, valamint a valós körülmények okozta változások alapján rendelkezésre áll-e megfelelő drón és drónkomponens.

IV. fejezetben olyan elvi és fizikai megvalósításokat kerestem, melyeket az általam vizsgált összetételben eddig nem alkalmaztak és drónos személykeresésben, segítségnyújtásban hasznosak lehetnek. A fejezet első részében hőkamerás méréseket végeztem speciális objektumfelismerő algoritmus alkalmazásával. Célom volt igazolni azon feltevésemet, miszerint egy hőkamerával kombinált objektum- személyfelismerő rendszer hatékonyabbá teszi az eltűnt személyek felderítését olyan környezetben, ahol a hagyományos, csak a „látáson” alapuló kamerák már nem működnek hatékonyan, a hőkamerák pedig nem szolgálnak konkrét objektumfelismerés információval. A vizsgálatok során bebizonyítottam, hogy a kombinált objektum (emberi alakzat) beazonosító rendszer hatékonyságában magasabb találati arányt mutatott, mint az alapként ismertetett rendszerek külön-külön. A fejezet második részében megterveztem, megépítettem egy mobiltelefon kereső drónkomponenst, majd méréseket végeztem valós körülmények között. A keresőrendszer alkalmas egy bajba jutott, vagy eltűnt személy felkutatásában – saját mobiltelefonja segítségével – földrajzi koordinátáinak pontos meghatározásában, abban az esetben is, ha a mobiltelefon hálózati lefedettség hiányában nem kapcsolódik a mobilhálózathoz. A vizsgálati eredményeket kiértékelve megállapítottam, hogy az általam megépített kereső-drónkomponens hatékony működésével olyan többletinformációkkal képes szolgálni a kutató-mentő és katasztrófavédelmi szervezetek földi keresőcsapata felé, amivel jelentősen csökkenthető egy keresett személy felkutatási ideje.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Tézis I.

Megalkottam egy olyan struktúrát, amely tartalmazza a katasztrófavédelmi és kutatás-mentési feladatokat befolyásoló műszaki tényezőket, és a műveletek során felhasználható drónrendszerek kapcsolatát [K5] [K6] [K10].

Tézis II.

Meghatároztam a drónrendszerek biztonságos üzemeltetését befolyásoló tényezők közül, az infokommunikációs alrendszerek csoportjába tartozó azon megoldásokat, melyek alkalmazhatók a katasztrófavédelmi feladatok ellátása során [K1] [K5] [K7] [K8] [K11].

Tézis III.

Megalkottam a nevesített katasztrófa típusok időbeli struktúrájához egyértelműen illeszkedő kapcsolati mátrixot, mely tartalmazza a feladatvégzés ellátására alkalmas drónosztályt, típus besorolást és a hozzájuk rendelhető drón komponenseket [K1] [K3] [K4] [K6] [K9].

Tézis IV.

Megalkottam egy olyan hibrid felderítő drónkomponenst, amely alkalmas a mobilhálózatoktól függetlenül felderíteni a segítségnyújtásra szoruló személy mobil készülékének tartózkodási helyét, kiegészítve a hagyományos és az infravörös képalkotás lehetőségével [K1] [K2] [K7].

AJÁNLÁSOK, JAVASLATOK

Az értekezésemben átfogóan mutatom be a katasztrófavédelmi feladatok drónos támogatási lehetőségeit. Amennyiben az érintett katasztrófavédelmi területek szakemberei érvényt látnak a katasztrófaspecifikus drónrendszer kapcsolati összefüggés (mátrix) hasznosításában, annak továbbfejlesztésében, akkor a téziseimben ismertetett tudományos eredményeim gyakorlati alkalmazásának relevanciáját további kutatások keretében javaslom átgondolni. Az értekezésemben vizsgált kereső-komponens hasznosságával és a vizsgálatok során kapott eredményével, valamint az ahhoz kapcsolódó téziseimmel indirekt módon segíteni kívánom a katasztrófavédelem mentésben résztvevő szervezeteit.

Továbbá:

Javaslom a Katasztrófavédelmi Művelti Szolgálatnak, a Katasztrófavédelmi Mobil Laborok tagjainak, a tűzoltásvezetőknek, a kárhelyparancsnokoknak és a beavatkozó állomány egyes tagjainak a dróntechnológia alkalmazási lehetőségeinek és korlátainak ismeretanyagokkal való oktatását.

Javaslom a 6/2016. (VI. 24.) BM OKF utasítás – Tűzoltás-taktikai Szabályzat és a Műszaki Mentési Szabályzat kiegészítését a katasztrófavédelmi drónos feladatvégzések alkalmazásának szabályozásáról, külön tekintettel az azonnali beavatkozást igénylő műveltek vonatkozásában.

Javaslom, hogy a Megyei (Fővárosi) Katasztrófavédelmi Igazgatóságokra kerüljön egy C2-C3 osztálybesorolásba tartozó, magas felszereltségű és kvalitású, hőkamerával kombinált drón.

Javaslom, hogy a Tűzoltóparancsnokságokra, kerüljön egy C1 osztálybesorolásba tartozó, magas kvalitású, hőkamerával kombinált drón. Lehetőleg a KMSZ gépjárműfecskendőre, mint málhatartozék.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Infostart, „Infostart,” Drónnal akciózott a rendőrség a Balaton déli partján, 2012. [Online]. Elérhető: <https://infostart.hu/belfold/2021/12/18/dronnal-akciozott-a-rendorseg-a-balaton-deli-partjan-video>. [Hozzáférés dátuma: 2021.12.01.].
- [2] Á. Restás, „A drónok közszolgálati alkalmazásának lehetőségei,” Tanulmányok, 2015. [Online]. Elérhető: https://kozszov.org.hu/dokumentumok/UMK_2017/3/05_Dronok_a_kozszolgaltaban.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2020.11.20.].
- [3] T. Hábermayer, Á. B. Túriné, G. Sárossy és G. Kiefaber, „A katasztrófavédelmi műveletek,” Hadmérnök, 2019/3. [Online]. Elérhető: http://www.hadmernok.hu/193_04_habermayer.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [4] Műszaki_Magazin, „Itt az új dróntörvény,” Műszaki magazin, 2021. [Online]. Elérhető: <https://www.muszaki-magazin.hu/2021/02/21/drontorveny-uj-szabalysertes/>. [Hozzáférés dátuma: 2021.10.04.].
- [5] DupliTEC, „dupliglobal.com,” Mi az európai drónpiac értéke?, 2019. [Online]. Elérhető: <https://www.dupliglobal.com/mi-az-europai-dronpiac-erteke>. [Hozzáférés dátuma: 2020.03.12.].
- [6] A. Németh, „Application of uavs in public service II.,” in *Hadmérnök, XIII. Évfolyam 3. szám*, Budapest, NKE, 2018.09..
- [7] Á. Restás, „A drónok közszolgálati alkalmazása,” Gödöllő, UMK, 2017.
- [8] Konstantinos Dalamagkidis, „Definitions and Terminology,” in *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, K. P. Valavanis és G. J. Vachtsevanos, szerk., Dordrecht, Springer Netherlands, 2015, pp. 43-55., ISBN: 978-90-481-9706-4, DOI: https://doi.org/10.1007/978-90-481-9707-1_92.
- [9] S. Surányi, „A globalizálódás hatása és ellentmondásai,” *Magyar tudomány*, 41. Évfolyam, 12. Szám, pp. 1445-1454., 1996., ISSN: 0025-0325.
- [10] T. D. Report, „Market forecasts, regulatory barriers, top vendors, and leading commercial applications,” [Online]. Elérhető: <http://cdn.statcdn.com/Infographic/images/normal/17201.jpeg>. [Hozzáférés dátuma: 2020.05.04.].
- [11] Á. Restás, T. Wühl és B. Békési, „Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek,” Budapest, NKE, 2013, p. 25.
- [12] I. Balogh, „A drónok alkalmazási lehetőségei a tűzoltói beavatkozások során,” 2018. [Online]. Elérhető:

https://www.langlovagok.hu/dat/irattar/2014/dron_letaijanos_2014.pdf.
[Hozzáférés dátuma: 2021.03.13].

- [13] G. Singhal, B. s. Bansod és L. Mathew, „Unmanned Aerial Vehicle Classification, Applications and Challenges: A Review,” *ResearchGate*, 2018.
- [14] A. Moldován, „A drónok alkalmazásának lehetőségei a Katasztrófavédelemben, kiemelten a mentő tűzvédelem területén,” Ózd, NKE, 2016.
- [15] B. Dusek, „Pilóta nélküli repülő eszközök alkalmazhatósága a precíziós mezőgazdálkodásban,” in *ELTE érkeztudományi és Geoinformatikai Tanszék*, Budapest, 2018.
- [16] J. Lennert és M. Lehoczky, „Drónok a mindennapi munkában,” in *Mérnökgeodéziai konferencia*, 2018.
- [17] R. Melnyk, „A Framework for Analyzing Unmanned Aircraft System Integration into the National Airspace System Using a Target Level of Safety Approach,” *ResearchGate*, 2018. [Online]. Elérhető: https://www.researchgate.net/profile/Richard-Melnyk/publication/295873907_A_Framework_for_Analyzing_Unmanned_Aircraft_System_Integration_into_the_National_Airspace_System_Using_a_Target_Level_of_Safety_Approach/links/56cf48cf08ae059e37596f7c/A-Framework-f. [Hozzáférés dátuma: 01 01 2020].
- [18] H. Zoltán, „Egy magyar fejlesztő drónokkal küzdene a terroristák ellen,” 2019. [Online]. Elérhető: <https://ujpestihirek.hu/orszag-vilag/mi-a-helyzet-a-drónokkal>. [Hozzáférés dátuma: 2020.10.06.].
- [19] Bitport, „Megmentett első páciensét a defibrillátoros drón,” Bitport, 2022. [Online]. Elérhető: <https://bitport.hu/megmentett-elso-pacienst-a-defibrillatoros-dron>. [Hozzáférés dátuma: 2022.03.20].
- [20] L. Békési, „A pilóta nélküli légijárművekkel kapcsolatos alapismeretek,” in *Repüléstudományi közlemények XXVIII.*, Budapest, RTK, 2016/3.
- [21] M. L. Jeyan és R. PS, „Mini Unmanned Aerial Systems (UAV) - A Review of the Parameters for Classification of a Mini UAV,” in *IJAAA*, 2020.
- [22] P. Ramesh, „Mini Unmanned Aerial Systems (UAV) - A Review of the Parameters for Classification of a Mini UAV,” in *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace* 7(3), Aeronautical Vehicles Commons, 2020.
- [23] T. Neuwald, „U-space, az új egységes európai drón irányításkészlet,” LinkedIn, 2019. [Online]. Elérhető: <https://www.linkedin.com/pulse/u-space-az-%C3%BAj-egys%C3%A9ges-eur%C3%B3pai-dr%C3%B3n-ir%C3%A1ny%C3%ADt%C3%A1sk%C3%A9szlet-tivadar-neuwald/>. [Hozzáférés dátuma: 2020.03.01.].
- [24] B. Custers, „The Future of Drone Use: Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives,” *ResearchGate*, 2016.

- [25] EASA, „COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2019/947,” Union, Official Journal of the European , 2019.05.24. [Online]. Elérhető: <https://www.easa.europa.eu/document-library/regulations/commission-implementing-regulation-eu-2019947>. [Hozzáférés dátuma: 2021.05.17].
- [26] EASA, „Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulation (EU) 2019/947 and Regulation (EU) 2019/945),” EASA, 2019. [Online]. Elérhető: <https://www.easa.europa.eu/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems-regulation-eu>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01].
- [27] Magyar_Kormány, „1995. évi XCVII. törvény a légtörleskedésről,” Net Jogtár, 1995. [Online]. Elérhető: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99500097.tv>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.05.].
- [28] Magyar_Kormány, „38/2021. (II. 2.) Korm. rendelet a pilóta nélküli állami légtjarművek repüléséről,” Net jogtár, 2021. [Online]. Elérhető: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A2100038.KOR>. [Hozzáférés dátuma: 2021.05.20].
- [29] Magyar_Kormány, „2020. évi CLXXIX. törvény a pilóta nélküli légtjarművek üzemelésével összefüggő egyes törvények módosításáról,” Net Jogtár, 2020. [Online]. Elérhető: <https://mkogy.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A2000179.TV>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01].
- [30] M. Pusztai és Z. Sándor, „Drónozás Európában, 1. rész: műveleti kategóriák, drónosztályok,” IHO, 2021. [Online]. Elérhető: <https://iho.hu/hirek/dronozas-europaban-1-resz-muveleti-kategoriak-dron-osztalyok>. [Hozzáférés dátuma: 2021.05.14.].
- [31] Légtér.hu, „Drónozás nyílt kategóriában,” legter.hu, 2021. [Online]. Elérhető: <https://legter.hu/blog/dronozas-nyilt-kategoriaban/>. [Hozzáférés dátuma: 2021.04.06].
- [32] EASA, „New EASA Drone Regulations 2021,” Grupooneair, 2021. [Online]. Elérhető: <https://www.grupooneair.com/new-easa-drone-regulations/>. [Hozzáférés dátuma: 2021.09.01.].
- [33] EASA, „Drone Classes and Categories,” Noflydrones, 2020. [Online]. Elérhető: <https://www.noflydrones.co.uk/eu-drone-regulations-blog/tag/maximum+take+off+mass>. [Hozzáférés dátuma: 2021.06.23.].
- [34] EU, „A BIZOTTSÁG (EU) 2019/945 FELHATALMAZÁSON ALAPULÓ RENDELETE a pilóta nélküli légtjarmű-rendszerekről és a pilóta nélküli légtjarmű-rendszerek harmadik országbeli üzemeltetéséről,” EU Rendeletek, 2019. [Online]. Elérhető: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945&from=IT>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01].

- [35] Ruas, „VLOS, EVLOS, BVLOS,” RUAS UK, 2017. [Online]. Elérhető: <https://ruas.co.uk/vlos-evlos-bvlos-whats-the-difference/>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [36] SOARIZON_Team, „What are VLOS, EVLOS and BVLOS? Why do they affect drone operations?,” Soarizon, 2020. [Online]. Elérhető: <https://www.soarizon.io/news/what-are-vlos-evlos-and-bvlos-why-do-they-affect-drone-operations>. [Hozzáférés dátuma: 2021.01.01.].
- [37] Z. Szüle, „A légterek (I.) – avagy hogyan szárnyaljunk szabadon,” legikozlekedes.com, 2017. [Online].
- [38] M. Domokos és . Z. . A. Horváth, „A drónszabályozás aktuális állása,” Jogi Fórum, 2022. [Online]. Elérhető: <https://www.jogiforum.hu/blog-ip-it-vedjegy-domain-internet-jogi-blog-11/2022/02/03/a-dronszabalyozas-aktualis-allasa/>. [Hozzáférés dátuma: 2022.08..10].
- [39] M. Richlach és K. Pál, „Eseti légtér igénylés – változások,” Duplitech, 2021. [Online]. Elérhető: <https://www.dupliglobal.com/dronszabalyozas-2021>. [Hozzáférés dátuma: 2021.01.01.].
- [40] Á. Török, „Vége az össze-vissza drónozás korszakának,” novekedes.hu, 2021. [Online]. Elérhető: <https://novekedes.hu/interju/vege-az-ossze-vissza-dronozas-korszakanak>. [Hozzáférés dátuma: 2021..05.20.].
- [41] EMFU, „Privately built aircraft,” European Model Flying Union, 2021. [Online]. Elérhető: <https://emfu.eu/regulation/frequently-asked-questions/privately-built-aircraft>. [Hozzáférés dátuma: 2021.18.12.].
- [42] MyDroneSpace, „Amit tudni kell a mydronespace alkalmazásról,” HungaroControl, [Online]. Elérhető: <https://mydronespace.hu/>. [Hozzáférés dátuma: 2020.03.04.].
- [43] Z. Zsurzsa, „A drónrepüléssel összefüggő magánjogi igények,” Debreceni Jogi Műhely, 2019. [Online]. Elérhető: http://www.debrecenijogimuhely.hu/archivum/1_2_2019/a_dronrepulesseel_osszefuggo_maganjogi_igenyek/. [Hozzáférés dátuma: 2020.19.23.].
- [44] R. Szűcs, „Így (nem) drónozunk 2021-től,” DrTivadar.hu, 2021. [Online]. Elérhető: <https://www.drтивadar.hu/adatvedelem/igy-nem-dronozunk-2021-tol/>. [Hozzáférés dátuma: 2021.05.12.].
- [45] D. Baumstark, „Rendvédelmi szervek és alapfeladatok - Katasztrófavédelmi ismeretek,” BMKSZF, 2018. [Online]. Elérhető: http://bmkszf.hu/dokumentum/2716/Rendvedelmi_szervek_es_alapfeladatok_Katasztrofavedelmi_ismeretek.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2020.12.21].
- [46] B. OKF, „Katasztrófavédelem - Hatósági szakterület,” Katasztrófavédelm.hu, 2012. [Online]. Elérhető: <https://www.katasztrofavedelem.hu/215/hatsagi-szakterlet>. [Hozzáférés dátuma: 2017.02.23.].

- [47] B. OKF, „Iparbiztonsági Főfelügyelőség,” Katasztrófavédelem, 2012. [Online]. Elérhető: <https://komarom.katasztrofavedelem.hu/18566/iparbiztonsagi-fofelugyeloseg>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [48] B. OKF, „Bemutakozott a magyar tűzoltójármű,” Katasztrófavédelem, 2014. [Online]. Elérhető: <https://katasztrofavedelem.hu/223/egyeb-palyazatok/28/3003/bemutakozott-a-magyar-tuzoltojarmu>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [49] B. OKF, „Nehéz terepviszonyok - erdőtűzvédelmi, terepvezetési és navigációs gyakorlat,” Katasztrófavédelem, 2015. [Online]. Elérhető: <https://katasztrofavedelem.hu/223/egyeb-palyazatok/28/3994/nehez-terepviszonyok-erdotuzvedelmi-terepvezetesi-es-navigacios-gyakorlat>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [50] B. OKF, „Nehéz terepviszonyok - erdőtűzvédelmi, terepvezetési és navigációs gyakorlat,” Katasztrófavédelem, 2015. [Online]. Elérhető: <https://katasztrofavedelem.hu/223/egyeb-palyazatok/28/3994/nehez-terepviszonyok-erdotuzvedelmi-terepvezetesi-es-navigacios-gyakorlat>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [51] P. M. K.-M. Szolgálat, „Pest Megyei Kutató-Mentő Szolgálat,” 2020. [Online]. Elérhető: <https://kutato-mento.hu/online-megjelenesek/>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [52] R. Szendi, „A katasztrófák csoportosításának lehetősége,” Védelem.hu, 2020. [Online]. Elérhető: <http://www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/391-a-katasztrofak-csoportositasanak-lehetosegei.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2020.14.02.].
- [53] K. Nagy és H. László, „Katasztrófavédelem,” Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2002. [Online]. Elérhető: <https://hhk.uni-nke.hu/document/hhk-uni-nke-hu/nagy-halasz-katasztrofavedelem.original.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [54] J. Hornyacsek, „Polgári védelem alapismeretek 1.,” ZMNE, 2009. [Online]. Elérhető: <http://www.drhornyacsek.hu/sajat%20publikaciok/egyetemi%20jegyzet%20%20Hornyacsek.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2019.06.04.].
- [55] S. Hajnal, „Katasztrófák csoportosítása,” polgari-vedelem.blog.hu, 2015. [Online]. Elérhető: https://polgari-vedelem.blog.hu/2015/01/04/katasztrofak_csoportositasa. [Hozzáférés dátuma: 2020.12.14.].
- [56] UNI-DE, „A TERVEZÉS FOGALMA,” Debreceni Egyetem, [Online]. Elérhető: https://old.elearning.unideb.hu/pluginfile.php/505467/mod_resource/content/1/1%20e%C5%91ad%C3%A1s%2C%20%C3%A1ttekint%C3%A9s.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2020.03.01.].

- [57] OMSZ, „Magyarország szél viszonyai,” Országos Meteorológiai Szolgálat, 2020. [Online]. Elérhető: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/. [Hozzáférés dátuma: 2020.12.04.].
- [58] P. Huszár, „Drónok elleni fenyegetések a kibertérből,” Repüléstudományi közlemények, 2020. [Online]. Elérhető: http://real.mtak.hu/123310/1/RTK_2020_2_11_Huszar_155-163.pdf. [Hozzáférés dátuma: 22 04 2021.04.22.].
- [59] Z. Krajnc, „Drónok, hibrid fenyegetés, terrorizmus a légtérből,” Hadmérnök, 2018. [Online]. Elérhető: http://hadmernok.hu/184_29_kranjc.pdf. [Hozzáférés dátuma: 02 06 2020.06.02.].
- [60] Z. Haig, „Információs műveletek a kibertérben,” Dialóg Campus Kiadó - Budapest, 2018. [Online]. Elérhető: https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/12651/web_PDF_Informacios_muveletek_a_kiberterben.pdf?sequence=1. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.22.].
- [61] P. Huszár, „UAV és földi szegmense közötti kommunikáció hatékonyságának javítása,” RepTudKoz, köt. 31, 2019. [Online]. Elérhető: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/276>. [Hozzáférés dátuma: 2020.07.16.].
- [62] P. Chomtip és S. Phichate, „Operating Radio-Controlled Cars by a Computer,” IACSIT International Journal of Engineering and Technology Vol3., 2011. [Online]. Elérhető: <http://www.ijetch.org/papers/227-JT322.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2020.05.13.].
- [63] T. Romijn, W. Hendrix és M. Donkers, „Modeling and Control of a Radio-Controlled Model Racing Car,” sciencedirect.com, 2017. [Online]. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896317323352>. [Hozzáférés dátuma: 2020.04.23.].
- [64] T. Wuhrl, M. Palik, Z. Bottyán, Á. Restás és P. Duani, „Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek,” Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2013. [Online]. Elérhető: http://www.repulestudomany.hu/kiadvanyok/UAV_handbook_Secon_edition.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2020.10.20.].
- [65] Virágh Krisztián, *Drónépítés, Tudományos Diákköri Konferencia dolgozat*, Budapest: Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, 2020.
- [66] Metageek, „Wi-Fi and non Wi-Fi Interference,” metageek.com, 2018. [Online]. Elérhető: <https://www.metageek.com/training/resources/wifi-and-non-wifi-interference/>. [Hozzáférés dátuma: 2020].
- [67] P. Hell, „Drónrendszerek biztonságos kommunikációja,” SZTE - Köztes-Európa : társadalomtudományi folyóirat, (8) 1-2. pp. 169-175., 2016. [Online]. Elérhető: http://acta.bibl.u-szeged.hu/48074/1/vikek_019_020_169-175.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2016.01.01.].

- [68] Heliguy, „DJI transmission systems – wi-fi, ocsync & lightbridge,” heliguy.com, 2018. [Online]. Elérhető: <https://www.heliguy.com/blogs/posts/dji-transmission-systems-wi-fi-ocsync-lightbridge>. [Hozzáférés dátuma: 2020.12.07.].
- [69] IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee, IEEE802, 2021. [Online]. Elérhető: <https://www.ieee802.org/>. [Hozzáférés dátuma: 2021.08.23.].
- [70] ElectronicsHub, „Modulation and Different Types of Modulation,” electronicsHub.org, 2015. [Online]. Elérhető: <https://www.electronicshub.org/modulation-and-different-types-of-modulation/>. [Hozzáférés dátuma: 2020.19.13.].
- [71] NKI, „Főbb biztonsági kockázatok 5G kapcsán,” NKI, 2019. [Online]. Elérhető: <https://nki.gov.hu/en/it-biztonsag/hirek/fobb-biztonsagi-kockazatok-az-5g-halozatok-kiepitese-kapcsan/>. [Hozzáférés dátuma: 2021.07.20.].
- [72] P. Huszár, „Drónok elleni fenyegetések a kibertérből,” Repüléstudományi közlemények, 2020. [Online]. Elérhető: http://real.mtak.hu/123310/1/RTK_2020_2_11_Huszar_155-163.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2021.06.23.].
- [73] U. Hanif, G. Nithya és M. Adrian, „5G Communication: An Overview of Vehicle-to-Everything, Drones, and Healthcare Use-Cases,” IEEE, 2019. [Online]. Elérhető: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8668495>. [Hozzáférés dátuma: 2020.12.01.].
- [74] G. Yang, X. Lin és Y. Li, „A Telecom Perspective on the Internet of Drones,” China Mobile Research Institute, Ericsson, 2019. [Online]. Elérhető: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1803/1803.11048.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2021.09.15.].
- [75] M. Rebato, L. Resteghini és C. Mazzucco, „Study of Realistic Antenna Patterns in 5G mmWave Cellular Scenarios,” Cornell University, Ithaca, New York, 2018. [Online]. Elérhető: <https://arxiv.org/pdf/1802.01316.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2021.01.01.].
- [76] M. Matalatala, M. Deruyck és S. Shikhantsov, „Multi-Objective Optimization of Massive MIMO 5G Wireless Networks towards Power Consumption, Uplink and Downlink Exposure,” Ghent University/IMEC, 2019. [Online]. Elérhető: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/22/4974>. [Hozzáférés dátuma: 01 01 2020].
- [77] Telekom, „Magyarország lefedettségi térkép 4G 5G,” Lefedettségi térkép, 2022. [Online]. Elérhető: <https://www.telekom.hu/lakossagi/szolgaltatasok/mobil/lefedettseg>. [Hozzáférés dátuma: 2022.01.01.].
- [78] F. Azade, S. Member és Q. Haoran, „Survey on UAV Cellular Communications: Practical Aspects, Standardization Advancements,

- Regulation, and Security Challenges,” JOURNAL OF COMMUNICATIONS SURVEYS AND TUTORIALS, 2019.03.. [Online]. [Hozzáférés dátuma: 2020.02.12.].
- [79] S. Sekander, H. Tabassum és E. Hossain, „Multi-Tier Drone Architecture for 5G/B5G Cellular Networks: Challenges, Trends, and Prospects,” IEEE Communications Magazine Vol56/Issue3, 2019. [Online]. Elérhető: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8316776>. [Hozzáférés dátuma: 2021.07.21.].
- [80] S. Naqvi, S. Hassan és H. Pervaiz, „Drone-Aided Communication as a Key Enabler for 5G and Resilient Public Safety Networks,” IEEE Communications Magazine (V56), 2018. [Online]. Elérhető: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8255735>. [Hozzáférés dátuma: 2021.01.01].
- [81] A. Takacs, H. Mahkonen és X. Lin, „How mobile networks can support drone communication,” Ericsson, 2019. [Online]. Elérhető: <https://www.ericsson.com/en/blog/2017/11/how-mobile-networks-can-support-drone-communication>. [Hozzáférés dátuma: 2021.04.21.].
- [82] DJI, „Ocusync Specs,” DJI, 2019. [Online]. Elérhető: <https://www.dji.com/hu/mavic-3/specs>. [Hozzáférés dátuma: 2020.10.01.].
- [83] DJI, „LightBridge2,” DJI, 2019. [Online]. Elérhető: <https://www.dji.com/hu/lightbridge-2/info#0-0>. [Hozzáférés dátuma: 2020.10.10.].
- [84] N. Neji és T. Mostfa, „Communication technology for Unmanned Aerial,” Hal Science Ouverte, 2019. [Online]. Elérhető: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02129442>. [Hozzáférés dátuma: 2020.10.10.].
- [85] S. Chacko és D. Job, „Security mechanisms and Vulnerabilities in LPWAN,” OP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. [Online]. Elérhető: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/396/1/012027/pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2020.03.13.].
- [86] R. Zhang, W. Zhou és H. Hu, „Towards 5G Security,” IEEE Trustcom/BigDataSE/ISPA, 2015. [Online]. Elérhető: <https://www.hindawi.com/journals/scn/2021/4498324/>. [Hozzáférés dátuma: 2020.17.12.].
- [87] K. Mekki, E. Bajic, F. Chaxel és F. Meyer, „A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment,” ICT Express, 2017. [Online]. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [88] M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis és Y.-H. Nam, „A Tutorial on UAVs for Wireless Networks: Applications, Challenges, and Open Problems,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2019. [Online]. Elérhető:

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02873979>. [Hozzáférés dátuma: 2021.01.01.].

- [89] I. Parvez, A. Rahmati, I. Guvenc és A. Sarwat, „A Survey on Low Latency Towards 5G: RAN, Core Network and Caching Solutions,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2019. [Online]. Elérhető: https://www.researchgate.net/publication/319002827_A_Survey_on_Low_Latency_Towards_5G_RAN_Core_Network_and_Caching_Solutions. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [90] X. Lin, V. Yajnanarayana, S. D. Muruganathan és S. Gao, „The Sky is Not the Limit: LTE for Unmanned Aerial Vehicles,” IEEE Communications Magazine 56(4), 2017. [Online]. Elérhető: https://www.researchgate.net/publication/318670906_The_Sky_is_Not_the_Limit_LTE_for_Unmanned_Aerial_Vehicles. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [91] C. Swinney és J. Woods, „The Effect of Real-World Interference on CNN Feature Extraction and Machine Learning Classification of Unmanned Aerial Systems,” MDPI, 2021. [Online]. Elérhető: <https://www.mdpi.com/2226-4310/8/7/179>. [Hozzáférés dátuma: 2021.09.10.].
- [92] T. Wüthrich, „GPS navigációs problémák UAV alkalmazásokban,” Hadmérnök, 2006. [Online]. Elérhető: http://hadmernok.hu/kulonszamok/robothadviseles6/wuethrich_rw6.html. [Hozzáférés dátuma: 2020.11.01.].
- [93] W. Insarov, G. Sebrakov és S. Tihonova, „Autonomous Unmanned Aerial Vehicles Control System Intellectualization,” Procedia Computer Science, 2019. [Online]. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050919304120>. [Hozzáférés dátuma: 2020.02.10.].
- [94] V. Kangunde és R. Jamisola, „A review on drones controlled in real-time,” springer.com, 2021. [Online]. Elérhető: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40435-020-00737-5>. [Hozzáférés dátuma: 2021.10.01.].
- [95] B. Maik és Z. Iulislui, „A Practical Deployment of a Communication Infrastructure to Support the Employment of Multiple Surveillance Drones Systems,” MDPI, 2018. [Online]. Elérhető: <https://www.mdpi.com/2504-446X/2/3/26>. [Hozzáférés dátuma: 2020.07.08.].
- [96] T. Horváth, „GPS Jamming- A GPS jelek szándékos zavarása,” BME, 2005. [Online]. Elérhető: <https://docplayer.hu/3917898-Gps-jamming-a-gps-jelek-szandekos-zavarasa.html>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [97] M. Campion, P. Ranganathan és S. Faruque, „UAV swarm communication and control architectures: a review,” Canadian Science Publishing, 2018. [Online]. Elérhető: <https://cdnsiencepub.com/doi/full/10.1139/juvs-2018-0009>. [Hozzáférés dátuma: 2020.03.15.].

- [98] M. Iuliana és N. Goga, „Drone Control based on Mental Commands and Facial Expressions,” Bucharest, Romania EEE Xplore: 16 October 2020 , 2021. [Online]. Elérhető: <https://arxiv.org/abs/2102.01429>. [Hozzáférés dátuma: 2021.10.10.].
- [99] R. Muzaffar, C. Raffelsberger, A. Fakhreddine és J. Luque, „First experiments with a 5G-Connected drone. In: Proceedings of the 6th ACM Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications,” ResearchGate, 2020. [Online]. Elérhető: https://www.researchgate.net/publication/340500072_First_Experiments_with_a_5G-Connected_Drone. [Hozzáférés dátuma: 2021.01.01].
- [100] T. Vicsek, „Beszélgető drónrajok, összehangolt repülés,” ELTE, 2021. [Online]. Elérhető: <https://hal.elte.hu/drones/>. [Hozzáférés dátuma: 2021.01.01.].
- [101] D. Tezza és M. Andujar, „The State-of-the-Art of Human-Drone Interaction: A Survey,” ResearchGate IEEE Access 7:1-1, 2019. [Online]. Elérhető: https://www.researchgate.net/publication/337500595_The_State-of-the-Art_of_Human-Drone_Interaction_A_Survey. [Hozzáférés dátuma: 2021.07.11.].
- [102] Á. Restás és Z. Dudás, „Az UAV katasztrófavédelmi alkalmazásának sajátosságai és humán feltételei,” Repüléstudományi közlemények, 2013. [Online]. Elérhető: <https://docplayer.hu/6246090-Az-uav-katasztrofavedelmi-alkalmazasanak-sajatos-sagai-es-human-feltetelei-3.html>. [Hozzáférés dátuma: 2020.02.20.].
- [103] Á. Restás, „Az UAV katonai alkalmazásának transzfere a polgári alkalmazásfelé: Katasztrófavédelmi alkalmazások,” Repüléstudomány, 2013. [Online]. Elérhető: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-47-Restas_Agoston.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2020.06.12.].
- [104] Á. Restás, „Drónok alkalmazása a katasztrófavédelemben,” NKE, 2016. [Online]. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [105] B. OKF, „Katasztrófavédelmi mobil labor (KML),” katasztrofavedelem.hu, 2016. [Online]. Elérhető: <https://www.katasztrofavedelem.hu/86/katasztrofavedelmi-mobil-labor-kml>. [Hozzáférés dátuma: 2020.08.12.].
- [106] R. Molnár, „Katasztrófavédelmi mobil laborok szerepe, az egységes katasztrófavédelmi rendszerben,” Hadmérnök, 2015. [Online]. Elérhető: http://hadmernok.hu/152_15_molnarr.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2020.16.13].
- [107] Á. Muhoray, „A katasztrófavédelem területi irányítási modelljének vizsgálata,” ZMNE, 2002. [Online]. Elérhető: <https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/11942/ertekezes.pdf;jsessionid=E0E377C7606E620788DA7D4503860499?sequence=1>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.17.].

- [108] B. Chapper, „A drone company is working to airlift dogs stranded by the volcano in La Palma,” NPR, 2021. [Online]. Elérhető: <https://www.npr.org/2021/10/19/1047360268/drone-rescue-dogs-volcano-la-palma-spain?t=1639753017833>. [Hozzáférés dátuma: 2021.10.12.].
- [109] M. Sharifah és Y. Nohd, „Applications of drone in disaster management: A scoping review,” ScienceDirect, 2021. [Online]. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1355030621001477>. [Hozzáférés dátuma: 2021.10.13.].
- [110] Z. Haoran, Y. Wenjie és Z. Huibin, „Unmanned Aerial Vehicles Rescue System Design and Traffic Model Planning,” Applied Sciences, 2021. [Online]. Elérhető: https://mdpi-res.com/d_attachment/applsci/applsci-11-10481/article_deploy/applsci-11-10481.pdf?version=1636378867. [Hozzáférés dátuma: 2021.06.12.].
- [111] H. Hanno és E. Kovacs, „Review: Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) as Mobile Sensing Platforms (MSPs) for Disaster Response, Civil Security and Public Safety,” MDPI, 2019. [Online]. Elérhető: https://mdpi-res.com/d_attachment/drones/drones-03-00059/article_deploy/drones-03-00059.pdf?version=1564057079. [Hozzáférés dátuma: 2021.06.17.].
- [112] T. Bennett, „RTK Rover & Base – What’s The Difference Between RTK and DGPS?,” Interl Sense, 2021. [Online]. Elérhető: <https://inertialsense.com/difference-between-rtk-and-dgps/>. [Hozzáférés dátuma: 2021.06.12.].
- [113] T. Bailey és H. Durrant-Whyte, „IEEE Robotics & Automation Magazine,” Simultaneous localization and mapping (SLAM): part I. 108 - 117, 2006 Vol 13.. [Online]. Elérhető: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1678144>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [114] T. Wühlrl, A. Bódi és T. Szabó, „DRÓNOK KÖVETÉSE KÖZHITELES MÓDON,” Repüléstudományi közlemények, 2017. [Online]. Elérhető: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/download/4328/3535>. [Hozzáférés dátuma: 2020.10.22.].
- [115] K. Tibor és A. M. Viplak, „Drónok a biztonságtechnikában,” Hadmérnök XII.2., 2017. [Online]. Elérhető: http://hadmernok.hu/172_01_kovacs.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2020.14.20.].
- [116] J. A. Paredes, F. J. Álvarez, T. Aguilera és J. M. Villadangos, „D Indoor Positioning of UAVs with Spread Spectrum Ultrasound and Time-of-Flight Cameras,” MDPI, 2017. [Online]. Elérhető: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/1/89/htm>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.20.].
- [117] J. Young-Hoon, K. Kwang-Wooo és L. Won-Hyung, „An Indoor Location-Based Positioning System Using Stereo Vision with the Drone Camera,” Hindawi Mobile Information Systems, 2018. [Online]. Elérhető: https://www.researchgate.net/publication/328361989_An_Indoor_Location-

Based_Positioning_System_Using_Stereo_Vision_with_the_Drone_Camera.
[Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].

- [118] DJI, „Mavic 2 Enterprise Advanced,” DJI, 2020. [Online]. Elérhető: <https://www.dji.com/hu/mavic-2-enterprise-advanced>. [Hozzáférés dátuma: 2020.05.23.].
- [119] DJI, „Matrice-300 RTK,” DJI, 2020. [Online]. Elérhető: <https://www.dji.com/hu/matrice-300>. [Hozzáférés dátuma: 2020.02.12.].
- [120] B. B. H. E. Ltd., „BXAP 15 UAV,” 2014. [Online]. Elérhető: https://www.bhe-mw.eu/sites/default/files/documents/datasheet/uav_brossura_2014_v4a_eng_mail_lq_0.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01].
- [121] B. OKF, „KATASZTRÓFAVÉDELMI MOBIL LABOROK (KML),” Katasztrófavdelem, 2011. [Online]. Elérhető: <https://www.katasztrofavedelem.hu/86/katasztrofavedelmi-mobil-labor-kml>. [Hozzáférés dátuma: 2020.09.02.].
- [122] K. Lazányi, „A szervezeti biztonság és a munkahelyi stressz kapcsolata,” TAYLOR: Gazdálkodás- és szervezéstudományi folyóirat: a virtuális intézet közép-európa kutatására közleményei 8 : 22/1 pp. 143-150., 2016. [Online]. Elérhető: <https://docplayer.hu/115901036-A-szervezeti-biztonsag-es-a-munkahelyi-stressz-kapcsolata.html>. [Hozzáférés dátuma: 2019.01.01].
- [123] J. Mógor, „Az új katasztrófavédelmi szabályozás,” BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, 2012. [Online]. Elérhető: <https://szabolcs.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2013-07/56311.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2020.02.08].
- [124] Magyar_Kormány, „6/2016. (VI. 24.) BM OKF utasítás a Tűzoltás-taktikai Szabályzat és a Műszaki Mentési Szabályzat kiadásáról,” Net Jogtár, 2016. [Online]. Elérhető: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A16U0006.OKF&txtreferer=00000001.TXT>. [Hozzáférés dátuma: 2020.03.20.].
- [125] B. OKF, „Erdők tűzvédelme,” Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság, [Online]. Elérhető: <https://fovaros.katasztrofavedelem.hu/26220/erdok-tuzvedelme1>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.02.].
- [126] Á. Restás, „A pilóta nélküli repülőgépek (uav) erdőtüzeknél történő alkalmazásának strukturált felosztása 2,” Repüléstudományi közlemények, 2012/2. [Online]. Elérhető: http://real.mtak.hu/93324/1/51_Restas_Agoston_UAV_erdotuz.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2018.03.12.].
- [127] EU, „A BIZOTTSÁG (EU) 2019/521 RENDELETE az anyagok és keverékek osztályozásáról, címkézéséről és csomagolásáról szóló 1272/2008/EK európai parlamenti és tanácsi rendeletnek a műszaki és t,” EU, 2019. [Online]. Elérhető: <https://eur-lex.europa.eu/legal->

content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0521&from=IT. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01].

- [128] R. Kuti, „Műszaki mentések I.-II,” ZMNE, 2007. [Online]. Elérhető: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/handle/20.500.12944/8489>. [Hozzáférés dátuma: 2017.03.05.].
- [129] T. H. E. Farkas, „Basic information needs in disaster situations (capabilities and requirements),” A XXI. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Műszaki tudományos közlemények 5, 153-156, 2016. [Online]. Elérhető: <http://real.mtak.hu/40729/1/Farkas-Hronyecz-FMTU.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2020.10.20.].
- [130] OTIF, „Convention concerning International Carriage by Rail (COTIF) Appendix C – Regulations concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail (RID),” OTIF, 2017. [Online]. Elérhető: https://otif.org/fileadmin/new/2-Activities/2D-Dangerous-Goods/RID_2017_E.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [131] M. Khan, B. Alvi és I. Khan, „Drones for Good in Smart Cities:A Review,” ResearchGate, 2018. [Online]. Elérhető: https://www.researchgate.net/publication/316846331_Drones_for_Good_in_Smart_CitiesA_Review. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [132] K. Kiss és L. Berek, „The safety technology questions of wastes arising in the course of catastrophes in the continental traffic,” Műszaki Tudományos Közlemények Ülésszaka, 2016. Kolozsvár, 2016. [Online]. Elérhető: <https://eda.eme.ro/xmlui/handle/10598/29066>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [133] H. Hegedűs, „Magyarország felszín alatti vizeinek fenntartható minőségvédelme a jogi szabályozás és a lehetséges javító tevékenységek tükrében,” PhD értekezés, 2018. [Online]. Elérhető: https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/13343/hegedus_hajnalka_doktori_ertekezes.pdf?sequence=15. [Hozzáférés dátuma: 2020.10.10.].
- [134] R. Nagy és A. Olexander, „Az ukrán-magyar határ menti együttműködés katasztrófavédelmi kérdései,” Polgári Védelmi Szemle p.143-171, 2010. [Online]. [Hozzáférés dátuma: 2018.01.01.].
- [135] B. OKF, „Katasztrófatípusok - földrengés,” Katasutrófavédelem, [Online]. Elérhető: <https://www.katasztrofavedelem.hu/352/katasztrofatipusok-tudastar-a-richter-skala>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.10.].
- [136] T. Hábermayer és Á. Muhoray, „Földrengések következményeként várható sérültek és halottak számának becslése,” HONVÉDELEM, 4 2021. [Online]. Elérhető: <https://ojs.mtak.hu/index.php/hadtudomany/article/download/8174/6698/>. [Hozzáférés dátuma: 2021.12.10.].
- [137] P. Prabhu, „The importance of disaster recovery planning,” ResearchGate, 2020. [Online]. Elérhető:

- https://www.researchgate.net/publication/342898752_THE_IMPORTANCE_OF_DISASTER_RECOVERY_PLANNING. [Hozzáférés dátuma: 2020.10.01.].
- [138] UNICEF, „How Drones Can Be Used to combat COVID-19,” Unicef for every child, [Online]. Elérhető: <https://www.unicef.org/supply/media/5286/file/%20Rapid-guidance-how-can-drones-help-in-COVID-19-response.pdf.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2021.05.01.].
- [139] Á. Restás, „Drone Applications Fighting COVID-19 Pandemic—Towards Good Practices,” MDPI, 08 01 2022. [Online]. Elérhető: https://mdpi-res.com/d_attachment/drones/drones-06-00015/article_deploy/drones-06-00015-v2.pdf?version=1642419516. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [140] P. Varga és P. Hell, „A drónok alkalmazásának lehetőségei járványhelyzet alatt,” Nemzeti Közzolgálati Egyetem, Robothadviselés 2020, 25 11 2020. [Online]. Elérhető: <https://ludevent.uninke.hu/event/505/contributions/861/contribution.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2020.11.25].
- [141] E. Spitznagel, „Why hundreds of people vanish into the American wilderness,” New York Posst, 2020. [Online]. Elérhető: <https://nypost.com/2020/07/04/why-hundreds-of-people-vanish-into-the-american-wilderness/>. [Hozzáférés dátuma: 2021.06.12.].
- [142] Statista, „Number of NCIC missing person files in the United States from 1990 to 2020,” Statista.com, 2021. [Online]. Elérhető: <https://www.statista.com/statistics/240401/number-of-missing-person-files-in-the-us-since-1990/>. [Hozzáférés dátuma: 2021.07.17.].
- [143] A. Bíró, „Ez más mint a filmekben: így tűnik el több ezer gyerek Magyarországon 2020-ban is,” Pénzcentrum, 2020. [Online]. Elérhető: <https://www.penzcentrum.hu/otthon/20201130/ez-mas-mint-a-filmekben-igy-tunik-el-tobb-ezer-gyerek-magyarorszagon-2020-ban-is-1106580>. [Hozzáférés dátuma: 2021.05.20.].
- [144] worldpopulationreview, „Missing Persons by State 2021,” World Population Review, 2021. [Online]. Elérhető: <https://worldpopulationreview.com/state-rankings/missing-persons-by-state>. [Hozzáférés dátuma: 2021.08.02.].
- [145] E. Hofesmann, „IoU a better detection evaluation metric,” TDS - Towards Data Science, 2020. [Online]. Elérhető: <https://towardsdatascience.com/iou-a-better-detection-evaluation-metric-45a511185be1>. [Hozzáférés dátuma: 2021.10.23.].
- [146] T. flir, „FLIR ONE Pro,” Flir, 2020. [Online]. Elérhető: <https://www.flir.com/products/flir-one-pro/>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [147] Flir, „FLIR Duo Pro R,” Teledyne Flir, 2020. [Online]. Elérhető: <https://flir.netx.net/file/asset/8136/original/attachment>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [148] L. Berek, T. Berek és L. Berek, „Személy- és vagyonbiztonság,” ÓE-BGK 3071, ISBN: 9786155460944, 2016.

- [149] T. Kovács és P. Jackovics, „Investigating A Rope Rescue Accident,” *Hadmérnök* 13, 2018. [Online]. Elérhető: http://www.hadmernok.hu/182_13_jackovics.php. [Hozzáférés dátuma: 2019.10.20.].
- [150] Z. Rajnai és A. Végh, „Development Directions of Mobile Systems to Help Human Resources,” *Defence review: the central journal of the hungarian defence forces*, 2019. [Online]. Elérhető: <https://kiadvany.magyarhonvedseg.hu/index.php/honvszemle/article/view/24/23>. [Hozzáférés dátuma: 2021.01.01.].
- [151] E. Verbree és S. Zlatanova, „Positioning LBS to the third dimension,” *Location Based Services and TeleCartography* (pp.107-118), 2007. [Online]. Elérhető: https://www.researchgate.net/publication/227026819_Positioning_LBS_to_the_third_dimension. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [152] D. Shah és K. Shah, „Basic of Wi-Fi based positioning system,” *ResearchGate*, 2012. [Online]. Elérhető: https://www.researchgate.net/publication/237046557_WiFi_Positioning_A_Survey. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [153] Á. Rudolf, „GPS rendszerek működése és alkalmazása a biztonságtechnikában,” *Hadmérnök VII. Évfolyam* 1., 2012. [Online]. Elérhető: http://hadmernok.hu/2012_1_rudolf.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2020.03.25.].
- [154] E. Q. Shahra és B. M. Al-Ramadan, „Location Based Service (LBS): Tracking System,” *Computer Engineering & Information Technology* 6(2), 2017. [Online]. Elérhető: https://www.researchgate.net/publication/316190809_Location_Based_Service_LBS_Tracking_System. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [155] G. Paller, „Helyzet alapú szolgáltatások (Location-based services, LBS),” *DocPlayer*, [Online]. Elérhető: <https://docplayer.hu/3687048-Helyzet-alapu-szolgáltatások-location-based-services-lbs.html>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [156] Q. Yang, S. Zheng és M. Liu, „Research on Wi-Fi indoor positioning in a smart exhibition hall based on received signal strength indication,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2019. [Online]. Elérhető: https://www.researchgate.net/publication/337996988_Research_on_Wi-Fi_indoor_positioning_in_a_smart_exhibition_hall_based_on_received_signal_strength_indication. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [157] B. Lanziani és M. Biolè, „Recent Advances in Caller Localisation for Public Safety Answering Point,” *Recent Trends in Control and Sensor Systems in Emergency Management* pp 40-57, 2017. [Online]. Elérhető: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-70452-4_5. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].

- [158] ITU, „ITU-T Technical Report,” International Telecommunication Union, 2020. [Online]. Elérhető: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-DIS-2020-PDF-E.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2021.05.16.].
- [159] EU, „A BIZOTTSÁG JELENTÉSE AZ EURÓPAI PARLAMENTNEK ÉS A TANÁCSNAK a 112-es egységes európai segélyhívó szám alkalmazásának hatékonyságáról,” EU Brüsszel COM(2020) 808 final, 2020. [Online]. Elérhető: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0808&from=ES>. [Hozzáférés dátuma: 2021.07.30.].
- [160] M. Szakali és E. Szűcs, „Védelmi tervezési modellek kialakulása és fejlődése,” Hadmérnök 12, 24-40, 2017. [Online]. Elérhető: http://www.hadmernok.hu/171_03_szakali.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].
- [161] Tupavco, „WiFi Antenna Dual Band - (2.4GHz) and (5GHz/5.8GHz) 9dBi - Medium Range Directional LAN Network,” Tupavco, 2015. [Online]. Elérhető: <https://www.tupavco.com/products/yagi-wifi-antenna-dual-band-medium-range-directional-lan-network>. [Hozzáférés dátuma: 2020.07.23.].
- [162] G. S. D. Mester, „Drone Localization using Ultrasonic TDOA and RSS Signal - Integration of the Inverse Method of a Particle Filter,” Fme transactions 48, 21-30, 2020. [Online]. Elérhető: <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1451-2092/2020/1451-20922001021Q.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2021.01.09.].
- [163] D. Sostaric, G. Mester és S. Dorner, „Mobile ECG and SPO2 Chest Pain Subjective Indicators of Patient with GPS Location in Smart Cities,” Interdisciplinary Description of Complex Systems 17, 629-639, 2019. [Online]. Elérhető: <https://hrcak.srce.hr/file/329190>. [Hozzáférés dátuma: 2020.06.28.].
- [164] ArduPilot, „Mission Planner Home,” Ardupilot, 2020. [Online]. Elérhető: <https://ardupilot.org/planner/>. [Hozzáférés dátuma: 2020.].
- [165] Z. Rajnai és E. Albininé-Budavári, „The role of additional information in obtaining information,” Interdisciplinary Description of Complex Systems 17, 438-443, 2019. [Online]. Elérhető: <https://hrcak.srce.hr/file/328970>. [Hozzáférés dátuma: 2020.12.01.].
- [166] T. Farkas és I. Parada, „Felderítés és analízis a penetrációs tesztben – 1. Információgyűjtési technikák,” Információgyűjtési technikák Hadmérnök 15, 159-182, 2020. [Online]. Elérhető: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/hadmernok/article/download/544/2899>. [Hozzáférés dátuma: 2021.08.23.].
- [167] K. Gyöngyösi, P. J. Varga és Z. Illési, „WLAN heat mapping in hybrid network,” Informatics 2017, 14th International Scientific Conference on Informatics Proceedings, 94-97, 2017. [Online]. Elérhető: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8327228>. [Hozzáférés dátuma: 2020.01.01.].

- [168] B. OKF, „A hivatásos katasztrófavédelmi szervezet struktúrája,” katasztrófavédelem, 2021. [Online]. Elérhető: <https://www.katasztrofavedelem.hu/7/szervezet>. [Hozzáférés dátuma: 2021.05.01.].

A TÉZISPONTOKHOZ KAPCSOLÓDÓ TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

Tudományos folyóirat közlemények:

- [K1] Péter, Miksa Hell; Péter, János Varga – Drone component for radio frequency detection
INTERDISCIPLINARY DESCRIPTION OF COMPLEX SYSTEMS 20 : 3 pp. 230-238. , 9 p. (2022)
- [K2] Péter, Miksa Hell; Péter, János Varga – Assisting law enforcement tasks with thermal camera drones
2020 IEEE 3rd International Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE) (2020) 299 p. pp. 97-102., 6 p.
- [K3] Péter, Miksa Hell; Péter, János Varga – Drone systems for factory security and surveillance
INTERDISCIPLINARY DESCRIPTION OF COMPLEX SYSTEMS 17 : 3A pp. 458-467., 10 p. (2019)
- [K4] Hell, Péter Miksa; Varga, Péter János – Accurate Radiofrequency Identification Tracking in Smart City Railways by Using Drones
INTERDISCIPLINARY DESCRIPTION OF COMPLEX SYSTEMS 16 : 3 pp. 333-341., 9 p. (2018)
- [K5] Hell, Péter – Drónelhárító rendszerek az objektumvédelemben (Drone protection systems in facility management)
HADMÉRNÖK 12: 3 pp. 37-47., 10 p. (2017)
- [K6] Hell, Péter Miksa – Logisztikai folyamatok támogatása drónokkal
A VIRTUÁLIS INTÉZET KÖZÉP-EURÓPA KUTATÁSÁRA KÖZLEMÉNYEI 9 : 1-2 pp. 65-71. , 7 p. (2017)
- [K7] Péter, Hell ; Miklós, Mezei ; Péter, János Varga – Drone communications analysis
SAMI 2017 : IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (2017) 510 p. pp. 213-216., 4 p.
- [K8] Hell, Péter – Drón-rendszerek biztonságos kommunikációja
KÖZTES EURÓPA: TÁRSADALOMTUDOMÁNYI FOLYÓIRAT: A VIKEK KÖZLEMÉNYEI 8: 1-2 pp. 169-175., 7 p. (2016)
- [K9] Hell, Péter; Dóka, László; Varga, Péter János – Civilian use of drones in the life of mining rescue helicopters
17th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI 2016) 370 p. pp. 299-302., 5 p.
- [K10] Hell, Péter Miksa – Civil drónok fejlődése és alkalmazhatósága
7. BBK; Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar (2016) 492 p. pp. 670-676., 7 p.
- [K11] Lukács, György; Döring, András ; Hell, Péter – Vagyonvédelmi rendszerek I. Felsőoktatási tankönyv Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar (2015) , 173 p.

Egyéb tudományos és konferencia kiadvány, könyvrészlet közlemények:

- [K12] Hell, Peter, Tokody, Daniel; Ady, Laszlo ; Hudasi, Luca F. ; Varga, Peter Janos ;
– Collaborative Robotics Research: Subiko Project
PROCEDIA MANUFACTURING 46 pp. 467-474., 8 p. (2020)
- [K13] Péter, Miksa Hell; Péter, János Varga ; Zsolt, Illési – Mobile Phones Thermo-
Ergonomic Analysis
2018 IEEE 16th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics
(SISY) : Proceedings Budapest, Magyarország : IEEE Hungary Section (2018) 344
p. pp. 249-254. , 6 p.
- [K14] Hell, Péter Miksa – Drónelhárító rendszerek (Drone protection systems)
XXXIII. KANDÓ KONFERENCIA 2017: "Kandó a tudomány hajóján" Budapest,
Magyarország: Óbudai Egyetem (2017) pp. 22-22., 1 p.
- [K15] Hell, Péter – Pilóta nélküli repülőgépek alkalmazási területei a
katasztrófavédelemben
Tavaszi Szél 2016 Konferencia. Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia
(2016) 485 p. pp. 314-314. , 1 p.
- [K16] Hell, Péter Miksa – Controlling drones via mobile network (2016)
Előadás, XXXII. Kandó Konferencia 2016. november 17.,
- [K17] Hell, Péter Miksa – Safe communication of drone system (2016) Előadás, X.
Régiók a Kárpát-medencén innen és túl Nemzetközi tudományos konferencia,
Kaposvári Egyetem, 2016 október 14.,

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: A drónok globális piacának alakulása 2025-ig (darabszám ezerben) [12]	10
2. ábra: Uaviator – magyar fejlesztésű drón [18].....	13
3. ábra: Forgószárnyas defibrillátort szállító hexakopter drón [19].....	13
4. ábra: A2-es műveleti kategória repülési szabályai C2-es osztálybesorolású repülés drónnal [31] alapján készítette a szerző.....	22
5. ábra: Valós idejű drónvezérlés irányításának módjai [készítette a szerző].....	26
6. ábra: A légtér szerkezete. [37] alapján készített a szerző	27
7. ábra: A katasztrófavédelmi drónrendszer összetevői és az azt befolyásoló tényezők kapcsolata [készítette a szerző].....	42
8. ábra: A drónrendszer általános légi rendszeregység felépítése [65].....	46
9. ábra: Drónrendszer általános földi rendszeregység felépítése [65]	48
10. ábra: Interferencia jelenség a 2,4 GHz-es ISM sávban [66]	50
11. ábra: A T-mobil 4G és 5G technológia lefedettsége Magyarországon 2022. [77] ...	54
12. ábra: Katasztrófaspecifikus drón-rendszer alappillérei [készítette a szerző].....	66
13. ábra: A nevesített katasztrófa időbeli szakaszainak általános felosztása [103] alapján készítette a szerző.....	67
14. ábra: Helymeghatározó adatok segítségével, útvonalterv szerint kültéri feladatot végrehajtó drón, a katasztrófát megelőző időszakban [készítette a szerző] ...	74
15. ábra: AoA és AoD rendszerű helymeghatározás [készítette a szerző]	75
16. ábra: Beltéri helymeghatározás segítségével, útvonalterv alapján feladatot végző drón a katasztrófát megelőző időszakban [készítette a szerző]	76
17. ábra: Katasztrófavédelmi feladatok ellátására alkalmas drónpilóta kiválasztása [103] alján készítette a szerző	81
18. ábra: Katasztrófatípus példák és drónok kapcsolata [készítette a szerző]	82
19. ábra: Nézőpont magasság és a belátható terület viszonya [készítette a szerző]	85
20. ábra: KML és mintavevő drón alkalmazása [készítette a szerző].....	91
21. ábra: Alakzatfelismerés a távolság függvényében [készítette a szerző]	102
22. ábra: Emberi alak felism. objektumfelismerő algoritmus segíts[kész. a szerző]....	103
23. ábra: A Teledyne Flir Technologies két hőkamerája [146] [147]	104
24. ábra: Infravörös hőkamera felvételei a távolság függvényében [kész. a szerző]....	105
25. ábra: Hőkamera és alakzatfelismerő algoritmus együttes alkalmazása (átlagolt értékek) [készítette a szerző]	106

26. ábra: Különböző elhelyezkedésű testhelyzetek felismerési aránya [kész.a szerző]	107
27. ábra: Kültéri hőmérséklet alakulása a mérés napján [készítette a szerző]	108
28. ábra: Objektumazonosítás eltérő környezeti hőmérséklet és fényviszony mellett [készítette a szerző]	108
29. ábra: Az SOS SSID rendszerszer felépítése [készítette a szerző]	112
30. ábra: SOS-SSID alkalmazás képernyőfotói [készítette a szerző]	113
31. ábra: Vizsgálatok során alkalmazott Topacc-F550 vázra épített felderítő drón [készítette a szerző]	114
32. ábra: Rádiófrekvenciás kommun. egységek a felderítő drónon [kész. a szerző]	115
33. ábra: SSID Lokátor alkalmazás mobiltelefon képernyőfotója [készítette a szerző]	116
34. ábra: A repülési magasság, antenna nyílásszög és pásztázási sáv kapcsolata [készítette a szerző]	117
35. ábra: (A-sűrűnlakott, C-ritkán lakott) mérési helyszínek, valamint a hotspottá alakított SOS mobiltelefon (B) [készítette a szerző]	118
36. ábra: Sűrűn lakott terület. A drón programozott repülési útvonala (A). SOS-SSID WLAN hotspot teljesítményszint hőtérképe (B) [készítette a szerző]	118
37. ábra: Összegyűjtött SSID-k sűrűn lakott környezetben [készítette a szerző]	119
38. ábra: Nyílt terep. A drón programozott repülési útvonala (A). SOS-SSID WLAN hotspot teljesítményszint hőtérképe (B) [készítette a szerző]	119
39. ábra: Összegyűjtött SSID-k gyéren lakott kültéri környezetben, teljes táblázat [készítette a szerző]	120

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1. táblázat: Drónok osztályba sorolása a nyílt kategóriában [22] alapján kész. a szerző	23
2. táblázat: Műveleti kategóriák Magyarországon [19] alapján készítette a szerző	25
3. táblázat: Nyílt műveleti kategória főbb összefoglaló értékek [készítette a szerző]....	32
4. táblázat: Speciális műveleti kategória főbb összefoglaló értékei [kész. a szerző].....	32
5. táblázat: Drón és vezérlés közötti valós késleltetési idő [készítette a szerző]	53
6. táblázat: Kommunikációs technológiák átlagos hatótávolsága [készítette a szerző]..	55
7. táblázat: Kommunikációs technológiák adatátviteli sebessége [készítette a szerző] .	56
8. táblázat: Kommunikációs technológiák titkosítási protokolljai [készítette a szerző].	56
9. táblázat: Kommunikációs technológiák átlagos késleltetési ideje [kész. a szerző]	57
10. táblázat: Kommunikációs technológiák átlagos adóteljesítménye [kész. a szerző]..	58
11. táblázat: Kommunikációs technológiák alkalmassága – összesítés [kész. a szerző]	58
12. táblázat: Vezérlési módok és a rádiós alrendszerek hibalehetőségeinek egymásra hatása [készítette a szerző]	61
13. táblázat: Műveleti területek és dróntípusok kapcsolata le- és felszállás módja szerint [készítette a szerző]	70
14. táblázat: Drónos feladatokhoz ajánlott géptípusok és osztálybes.[kész. a szerző] ...	78
15. táblázat: Drónosztályokra jellemző példadróntípusok és azok meghatározó adatai [120] [118] [119]	79
16. táblázat: Alakzatfelismerés a távolság függvényében, mért és átlagolt értékek [készítette a szerző]	102
17. táblázat: Hőkamerák műszaki paraméterei [146] [147] alapján készítette a szerző	104
18. táblázat: Infravörös hőkamera alakzatfelismerés a távolság függv.	105
19. táblázat: Testhelyzet felism. arány átlagolt százalékos meghat. [kész. a szerző] ...	107
20. táblázat: „Szolg.” elérhetősége és a helymeghat. kapcsolata [készítette a szerző].	111

RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK

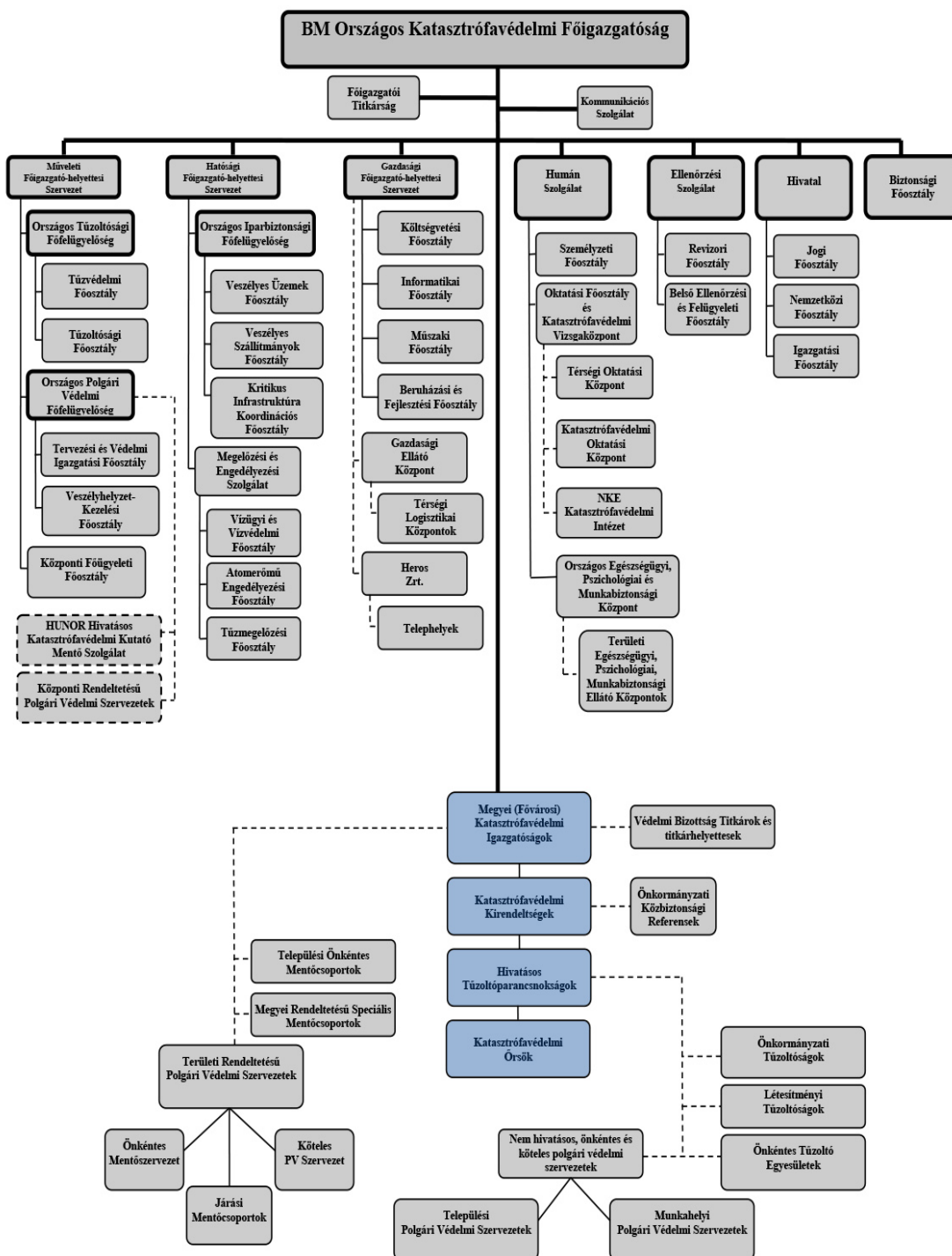
4G, 5G	Mobilkommunikációs technológia generáció jelölése
A1-A3	Műveleti alkategória drónoknál
AML	Advanced Mobile Location - Fejlett mobiltelefon-helymeghatározó funkció
ANSI	American National Standards Institute - Amerikai Nemzeti Szabványügyi Intézet
AoA	Angle of Arrival – Beérkezési szög alapján mérés technológia
AoD	Angle of Departure – Kiindulási szög alapján mérés technológia
APP	Application - Alkalmazás
AML	Advanced Mobile Location)
ASK	Amplitude Shift Keying – Amplitúdó-billentyűzés
BS	Base Station – Bázisállomás /mobilkommunikáció/
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight - A pilóta látóterén kívül történő repülés
C0-C4	Class – C osztályba sorolás jelzés drónoknál
CE	Central Europe – Európai kompatibilitási megfelelési jelzés
CNPC	Control and Non-Payload Communication
CTR	Aerodrome Control Zone - Polgári repülőtéri irányító körzet
DGPS	Differential Global Positioning System - differenciális helymeghatározás
DIY	Do It Yourself - csináld magad
DJI	Da-Jing Innovations - Shenzhen DJI Sciences and Technologies Ltd
Drone	Drón – Disszertáció kontextusban pilóta nélküli légitármű
EASA	European Union Aviation Safety Agency - Európai Repülésbiztonsági Ügynökség
ETSI	European Telecommunications Standards Institute - Európai Távközlési Szabványosítási Intézet
EU	European Union - Európai Unió
EüM	Egészségügyi Minisztérium
EVLOS	Extended Visual Line of Sight - kiterjesztett szabad szemmel látva repülés
FHD	Full High Definition – Nagy (1080p+) felbontású (videó)
FMCW	Frequency-Modulated Continuous-Wave Radar – Folyamatos hullámú frekvenciamodulált jel
FPV	First-person-view – Belső nézet, kameranézet drónoknál
FSK	Frequency Shift Keying – Frekvencia- billentyűzés
GCS	Ground Control Station - Földi irányító állomás
GNSS	Global Navigation Satellite System - Globális navigációs műholdrendszer összefoglaló elnevezése
GPS	Global Positioning System – Globális helymeghatározó rendszer
GYRO	Gyro-stabilizált rendszer
HD	High Definition – Nagy (720p+) felbontású videó
HTML	HyperText Markup Language - Leíró nyelv weboldalak készítéséhez
HTOL	Horizontal Take Off and Landing – Vízszintesen fel- és leszálló
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers - Nemzetközi szakmai szervezet
ISM	Industrial, Scientific and Medical - Ipari, kutatási és egészségügyi elektronikus berendezések ill. alkalmazások számára kijelölt fr.sáv
KML	Katasztrófavédelem Mobil Labor
RFID	Radio Frequency IDentification – Rádiófrekvenciás azonosítás

LBS	Location-based services – Bázisállomás alapú helymeghatározás módszer
LiDAR	Light Detection and Ranging - Lézer alapú távérzékelés eljárás
LOIT	Loiter mode – Egyhelyben „lebegés” mód drónoknál
LTE	Long Term Evolution - nagy sebességű internet technológia mobil hálózatokon
LBS	Location-Based Service
MEMS	Microelectromechanical systems – Elektromechanikus érzékelők
MIMO	Multiple-input, multiple-output- Több bemenetű, több kimenetű antennatípus
MoLaRi	Monitoring és Lakossági Riasztó
MTMA	Military Terminal Control Area - Katonai közelkörzeti irányítói körzet
MCTR	Military Aerodrome Control Zone - Katonai repülőtéri irányító körzet
NFZ	No Fly Zone – Nem repülhető területek
NDZ	No Drone Zone – Nem repülhető területek
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
P2P	Peer-To-Peer – Pont-pont összeköttetés
PCM	Pulse-Code Modulation - Impulzuskód-moduláció
PLAN	Positioning, Localization, and Navigation - helymeghatározási, lokalizációs és navigációs technológiákat
PSK	Phase Shift Keying – Fázis billentyűzés
PWM	Pulse-width modulation – impulzus szélesség modulált
RC	Radio-controlled – Rádiótávirányítású
RID	Regulation concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Rail - veszélyes anyagok vasúti szállítására vonatkozó szabványok.
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
RFID	Radio Frequency IDentification – Rádiófrekvenciás azonosítás
RPV	Remotely Piloted Vehicle
RSSI	Received Signal Strength Indication
RTH	Return To Home – Hazatérés mód drónoknál
RTK	Real Time Kinematic – Valós idejű kinematikus helymeghatározás elv.
SOS	Save Our Souls, Save Our Ship - Mentsétek meg a lelkeinket. Mentsétek meg a hajónkat
SLAM	(szimultán lokalizáció és térképezés)
SSID	Service Set Identifier - Szolgáltatáskészlet-azonosító, szolgáltatás név azonosító WLAN rendszereknél
sUAS:	small Unmanned Aerial System – Kis méretű pilóta nélküli légitármű rendszerek gyűjtőneve
UAS	Unmanned Aerial System – Pilóta nélküli légitármű rendszerek gyűjtőneve.
UAV	Unmanned Aerial Vehicle – Pilóta nélküli légitármű
UN	United Nations numbers – nemzetközi rakományjelölés
VHF	Very High Frequency – „Rádiófrekvenciás frekvencia tartomány”
PWM	Pulse-width modulation – Impulzus-szélesség moduláció
VLOS	Visual Line Of Sight – Látótávolságon belüli repülés
VTOL	Vertical Take Off and Landing – Függőlegesen fe- és leszálló
WLAN	Wireless Local Area Network - Vezeték nélküli helyi hálózat
WPAN	Wireless Personal Area Network
WWAN	Wireless Wide Area Network
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WiFi	Wireless Fidelity – WLAN-eszközök védjegye, szövetség

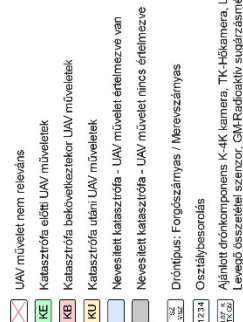
MELLÉKLETEK

1. SZÁMÚ MELLÉKLET

A BM OKF szervezeti struktúrája (2021. 03. 01.) Forrás: Katasztrófavédelem: [168]



Nevesített katasztrófák és a katasztrófavédelmi feladatokat támogató drón-rendszerek, drónkomponensek kapcsolati mátrixa



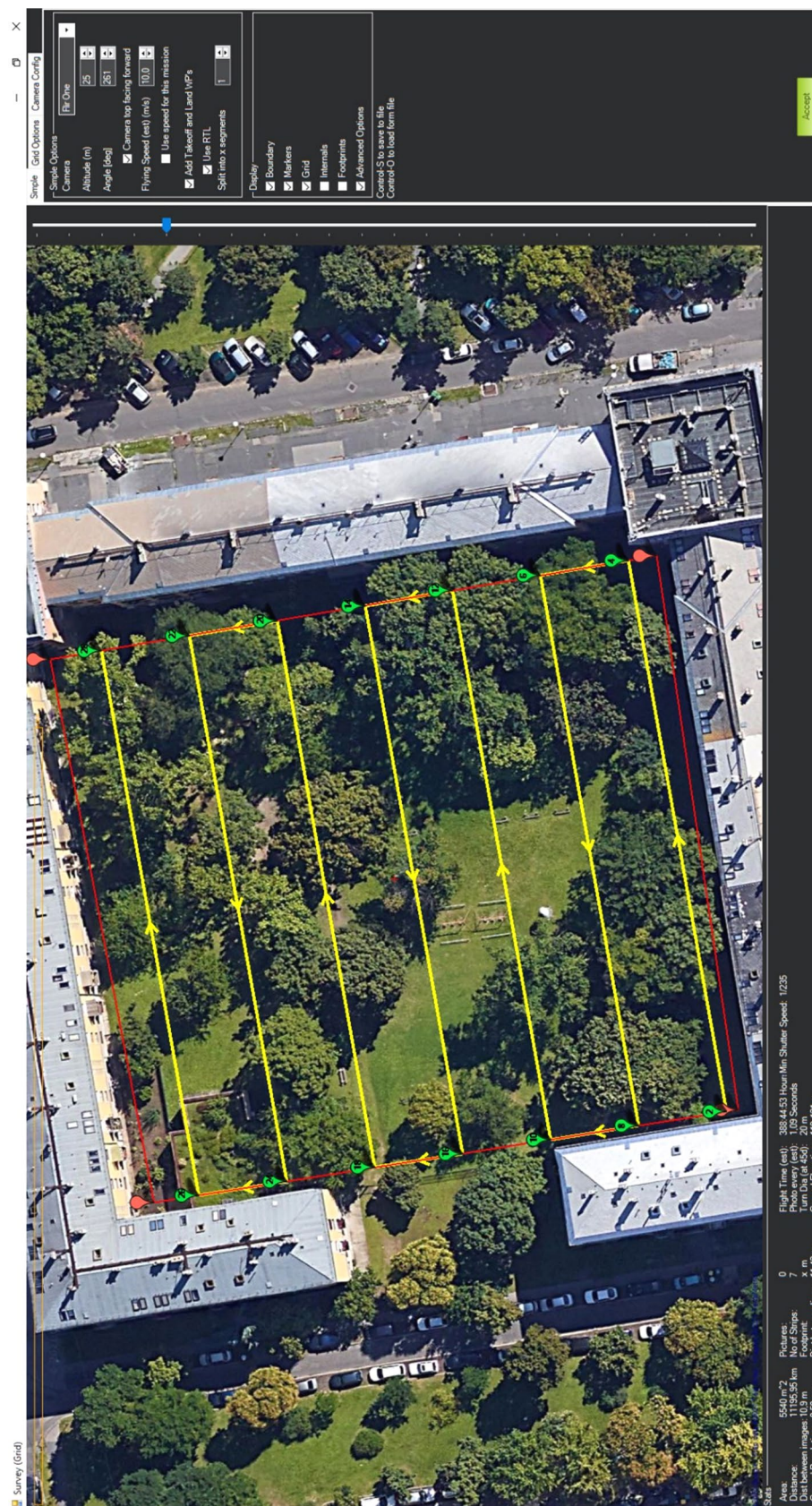
3. SZÁMÚ MELLÉKLET

SOS-SSID Alkalmazás mintaadatai

- Helymeghatározási koordináták: **LAT:47.504102_LON: 19.134257** (SSID-ben is látható)
- Név: **NA:NAGY.KATALIN**
- Születési idő: **BD:1983** – Csak az évszám kerül kiírásra
- Személyek száma: **PE:01** - Ezzel az opcióval a szoftver lehetőséget biztosít a velünk együtt bajba jutott személyek számának rögzítésére.
- Sérülés megadása: **IN:1** - Ezzel az opcióval a bajba jutott jelezni tudja a mentő csapat felé, hogy sérülése van, nem járóképes.
- Gyógyszer igény jelölése: **ME:0** - Ezzel az opcióval a bajba jutott jelezni tudja a mentő csapat felé, hogy gyógyszerre van szüksége.
- A bajbajutott nemének jelölése: **GE:W** - Az alkalmazáson belül a férfi vagy a nő választható ki.
- A vércsoport megadása: **BL:0+** Ezzel az opcióval a vércsoport megadása és rögzítése történik.
- A személy testtömegének megadása: **WEKG:63**
- Krónikus betegség megadása: **CI:00** - Ezzel az opcióval a bajba jutott jelezni tudja a mentő csapat felé, hogy krónikus betegséggel rendelkezik-e.
- Fontosabb gyógyszerek megadása: **ID:00** - Ezzel az opcióval a bajba jutott jelezni tudja a mentő csapat felé, hogy milyen fontosabb gyógyszereket szed. Adatbázisból lehet kiválasztani.
- Gyógyszerérzékenység megadása: **DS:00** - Ezzel az opcióval a bajba jutott jelezni tudja a mentő csapat felé, hogy milyen gyógyszerre érzékeny, amit egy adatbázisból tud kiválasztani.
- Beszélt nyelvek megadása: **LA:HU-EN** - Ezzel az opcióval a bajba jutott jelezni tudja a mentő csapat felé, hogy milyen nyelveken tud kommunikálni. Ezeket egy adatbázisból tudja a személy kiválasztani.
- Egyéb információ megadása: **OI:00** - A személynek lehetősége van maximálisan 40 karakter hosszban egyéb fontos információkat rögzíteni. Alapesetben ez az opció kikapcsolt állapotban kerül kódolásra.

4/1 SZÁMÚ MELLÉKLET

„Programozott repülési útvonal sűrűn lakott területen



4/1 SZÁMÚ MELLÉKLET

„B” ábra - Programozott repülési útvonal ritkán lakott területen



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Tanulmányaimat és kutatásaimat a PhD doktori fokozat megszerzése érdekében az Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskolában folytattam 2016 és 2022 között. Mindenekelőtt legnagyobb köszönettel és hálával tartozom témavezetőmnek, kollégámnak és barátomnak Dr. Varga Péter János docens úrnak, aki az ösztöndíjban, felkészítésben, a kutatás végrehajtásában, az eredmények publikálásában, valamint az értekezés összeállításában nyújtott óriási szakmai és emberi segítséget.

Köszönöm a Biztonságtudományi Doktori Iskola vezetőjének Prof. Dr. Rajnai Zoltán egyetemi tanár úrnak a támogató segítséget. Köszönöm Prof. Dr. Lazányi Kornélia egyetemi tanárnak a számtalan konferencián való részvétel lehetőségét és szakmai tanácsait, melyekkel a teljes képzésem alatt támogatott. Továbbá hálával tartozom Dr. Szűcs Endre egyetemi oktatónak és Dr. habil. Velencei Jolánnak a baráti és szakmai támogatást.

Köszönöm opponenseimnek Dr. habil. Wühl Tibornak, Dr. Illési Zsoltnak és Dr. Schuster Györgynek.

Köszönöm a Doktori Iskola adminisztrátor hölgyeinek – Farkasné Hronyecz Erikának és Lévay Katalinnak –, hogy segítettek és koordinálták tanulmányaimat.

Végül, de nem utolsósó sorban köszönöm a Doktori Iskola professzorainak és tanárainak, a doktorandusz társaimnak és kollégáimnak, akik segítettek kutatásaimat és tanulmányaimat. Továbbá köszönöm páromnak Szabó Juliannának és barátaimnak, akik mellettem álltak és támogattak ezalatt a hosszú munka alatt, és rengeteget segítettek abban, hogy elkészüljek az értekezéssel.