



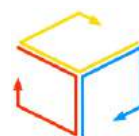
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar
Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék

Drónokkal támogatott dokumentumáramlási rendszer fizikai realizációjával kapcsolatos kihívások és lehetőségek meghatározása

Készítette: Párizs Cintia
GQMLTD

Konzulens: Dr. Bóna Krisztián
egyetemi docens
Dr. Kovács Gábor
egyetemi adjunktus

**Tudományos Diákköri Konferencia
Budapest, 2021**



1. Összefoglalás

Egy értékteremtő folyamat megvalósítása során számos olyan egymáshoz szorosan kapcsolódó információ keletkezhet, amelynek egy csoportban, vizuálisan és általában fizikai formában is meg kell jelennie. Általánosságban elmondható, hogy az iratok kezelése és továbbítása (összefoglaló néven a dokumentumáramlás lebonyolítása) szükséges, de nem értékteremtő tevékenységnek tekinthető egy szervezetben, amelyet jellemzően manuálisan, esetként segédeszközök alkalmazásával operátorok végeznek el. Komoly veszély, hogy a volumenek növekedésével az áramlás lassúvá, átláthatatlanná és visszakövethetetlenné válhat. Fizikai szempontból egy szervezetben az értékteremtő munka egymástól távoli helyeken, de térben mégis relatíve közel zajlik (pl. különböző irodaépületekben). Emiatt modellünkben a továbbiakban a vizsgált anyagáramlási rendszerre intralogisztikai rendszerként tekintünk. Az ilyen jellegű intralogisztikai rendszerekben a dokumentumáramlás jellemzően egy igen hosszadalmas folyamat, több lépéssel, nagy átfutási időkkal és aláírásokra való várakozásokkal.

A drónok logisztikai rendszerekben való alkalmazásával kapcsolatos kutatásaink keretei között merült fel az ötlet, hogy a dokumentumok mozgatásának támogatására drónokat alkalmazzunk. Számos más előnye mellett a drónok használatával az emberi tényező helyettesíthető, mely általában a legtöbb hibát és tévedést okozza, így a rendszer működése kevesebb hibával hatékonyabb lehet és számos veszteség eliminálhatóvá válik. Emellett számos érdekes technológiai és szervezési kihívással is meg kell küzdenünk a drónok integrációja során, mint például a dokkolóállomások kialakítása, a drón töltése a folyamatos működés érdekében és a drón szállítási menetrendjének optimalizálása. A kutatás 2020 év elején kezdődött a dokumentumáramlás feltérképezésével és hálózatelemzéssel, azóta pedig számos jelentős következtetést levonva megkezdődött a rendszer fizikai tesztelése. A drónra speciálisan tervezett és felszerelt szerkezet segítségével létrehozásra került egy vízszintes rakfelület a dróntest felett, melyre stabilan felapplikálható a szállítási egység, így megvalósítva az dokumentumszállítást. A jövőbeli terveink közé tartozik az említett technológiai és szervezési kihívások megoldása, valamint a rendszer oly módon való kialakítása, mely a meglévő szigorú jogszabályoknak teljes mértékben megfelel.

Tartalomjegyzék

1.	ÖSSZEFOGLALÁS	2
2.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	5
3.	BEVEZETÉS	6
4.	TUDOMÁNYOS KÖRKÉP	8
4.1.	A DRÓNOK HELYZETE	8
4.1.1.	Európai szabályozás.....	9
4.1.2.	Magyarországi szabályozás	10
4.2.	A DOKUMENTUMKEZELÉS LOGISZTIKÁJA	11
5.	A VIZSGÁLT DOKUMENTUMÁRAMLÁSI RENDSZER.....	13
5.1.	A FOLYAMATOK VIZSGÁLATA.....	13
6.	DRÓNOKKAL TÁMOGATOTT DOKUMENTUMÁRAMLÁS	17
6.1.	KUTATÁSI KÉRDÉSEK.....	17
6.2.	SZÁLLÍTÁS	18
6.3.	A RENDSZER BEVEZETÉSE.....	21
6.4.	TECHNOLÓGIAI KIHÍVÁSOK.....	22
6.5.	FIZIKAI REALIZÁCIÓ.....	23
7.	MÉRÉS ELŐKÉSZÍTÉSE	25
7.1.	FORGALOMKELTÉSI MODELL	25
7.2.	ADATOK GENERÁLÁSA	26
7.3.	MENETREND	30
7.3.1.	Hibás eset.....	35
8.	DRÓNOKKAL TÁMOGATOTT DOKUMENTUMÁRAMLÁS MÉRÉS	37
8.1.	MÉRÉS LEÍRÁSA.....	37
8.2.	KIÉRTÉKELÉS.....	40
8.2.1.	Drón által rögzített adatok.....	42
8.2.2.	Kézbesítővel való összehasonlítás (Rendszeren belül)	48
8.2.3.	Kézbesítővel való összehasonlítás (Rendszeren kívül)	51
9.	KONKLÚZIÓ.....	55
10.	ÁBRAJEGYZÉK	57
11.	TÁBLÁZATJEGYZÉK.....	58
12.	IRODALOMJEGYZÉK.....	59
13.	MELLÉKLETEK.....	61

13.1.	SZERVEZETI EGYSÉGEK RÖVIDÍTÉSEI.....	61
13.2.	K ÉPÜLET FELADÁSI ÉS LEADÁSI ELOSZLÁSA.....	62
13.3.	L ÉPÜLET FELADÁSI ÉS LEADÁSI ELOSZLÁSA	63
13.4.	ST ÉPÜLET FELADÁSI ÉS LEADÁSI ELOSZLÁSA	64
13.5.	J ÉPÜLET FELADÁSI ÉS LEADÁSI ELOSZLÁSA.....	65
13.6.	MENETRENDEK	66
13.7.	DRÓNOKKAL TÁMOGATOTT DOKUMENTUMÁRAMLÁS MÉRŐLAP (RÉSZLET).....	70
13.8.	MÉRÉSI ADATOK	72
13.9.	VISZONYLAT REPÜLÉSI IDŐK ADATAI	73
13.10.	MÉRŐEMBER ÁLTAL MÉRT REPÜLÉSI IDŐK KÜLÖNBSÉGEI (RAKOTT ÉS ÜRES MENET KÖZÖTT)	74
13.11.	DRÓN ÁLTAL MÉRT REPÜLÉSI IDŐK KÜLÖNBSÉGEI	74
13.11.1.	<i>Rakott menet</i>	74
13.11.2.	<i>Üres menet</i>	74
13.12.	DRÓN GYORSULÁSA AZ IDŐ FÜGGVÉNYÉBEN	75
13.13.	DRÓN SEBESSÉGE AZ IDŐ FÜGGVÉNYÉBEN	75
13.14.	DRÓN VILLANYMOTORJÁNAK HŐMÉRSÉKLETE AZ IDŐ FÜGGVÉNYÉBEN.....	76
13.15.	KÉZBESÍTŐI MÉRÉS MÉRŐLAP (RENDSZEREN KÍVÜL)	76
13.16.	A RENDSZEREN KÍVÜLI KÉZBESÍTŐVEL VALÓ ÖSSZEHASONLÍTÁS MENETRENDJE	78

2. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Dr. Bóna Krisztián és Dr. Kovács Gábor témavezetőimnek a TDK dolgozat során adott hasznos ötleteiket és útmutatásaikat. Hálával tartozom nekik, hogy tanácsaikkal, odafigyelésükkel hozzájárultak a dolgozat megírásához.

Mindemellett köszönöm az Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszéknek, hogy segített a munkám során, továbbá Meglécz Péternek, hogy segített a mérés megvalósításában.

Tiszta szívvel köszönöm szüleimnek a sok gondoskodást, türelmet és támogatást, ami elkísért a tanulmányaim során.

A kutatást a Magyar Kormány és az Európai Szociális alap támogatta a “Tehetséggondozás az autonóm járművezérlő technológiákban” (EFOP-3.6.3.-VEKOP-16-2017-00001) projekt keretében.

3. Bevezetés

Az igazgatási és az ezzel kapcsolatos adminisztratív értékteremtő folyamatokban kézbesítendő dokumentumok legkritikusabb típusa az okirat, amely definíció szerint egy „bizonyítási eszköz, amely a benne foglalt tények, adatok, nyilatkozat, körülmény, cselekmény valóságát a kiállító személyétől és a kiállítás módjától függő bizonyító erővel bizonyítja” [1]. Fajtai az egyszerű magánokirat, teljes bizonyító erejű magánokirat, közokirat. Ezek mellett számos más, nem okirat jellegű dokumentum is létezik, amely egy-egy szervezet irányítása szempontjából fontos lehet. Ezek miatt is a dokumentumok kezelése és továbbítása egy kritikus, jellemzően bizalmi jellegű tevékenység. Fizikai szempontból egy szervezetben az értékteremtő munka egymástól távoli helyeken, de térben mégis relatíve közel zajlik (pl. különböző irodaépületekben). Emiatt modellünkben a továbbiakban a vizsgált anyagáramlási rendszerre intralogisztikai rendszerként tekintünk.

Az ilyen jellegű rendszerekben a dokumentumáramlás jellemzően egy igen hosszadalmas folyamat, több lépéssel, nagy átfutási idővel és aláírásokra való várakozásokkal. Gyakran előfordul a dokumentumok visszaküldése a feladóhoz hiánypótlás, vagy hibás információk miatt. Továbbá az is nehezíti a helyzetet, hogy a dokumentumok egymástól relatíve távol lévő szervezeti egységeken haladnak keresztül, ezért is lehetnek gyakoriak a félreértések. Az áramlásban sok résztvevő vesz részt és a folyamatok nem, vagy csak ritkán standardok. Az áramlásról sok esetben nem rendelkeznek az átfutási időre vagy költségekre vonatkozó mérőszámokkal. Az egyetlen szekunder adatforrás jellemzően az ügynevezett postakönyv, melyben írásos formában rögzítve van a dokumentumáramlás.

A folyamatos iratáramlásból fakadó problémák megoldása szempontjából kézenfekvő lehet a papírmentes e-dokumentum és az e-aláírási rendszer kiépítése. Úgy tűnik azonban, hogy sajnos a közigazgatásban a szabályok jellegéből adódóan a fizikai formában megjelenő iratok nem küszöbölhetőek ki teljes mértékben. Ezek számosságát lehet csökkenteni, de vélhetően még hosszú ideig nem fognak megszűnni. Ebből következik, hogy a logisztikai operáció megvalósítására mindenképpen megoldást kell találni, amelyre számos alkalmas alternatíva adódik, kezdve a humán erőforrás általi továbbítástól egészen a leginnovatívabb technológiák igénybevételéig. Így merült fel az ötlet, hogy drónokat alkalmazzunk a logisztikai feladatok végrehajtására. A célunk, hogy

elsőként a drónok által támogatott dokumentumszállítás keretrendszerét definiáljuk, elemezzük, mint logisztikai feladatot. A kutatásunk fókuszába jelenleg a logisztikai hálózat, a szállítandó áruféleségek (dokumentumok), illetve az egyes pontok között létrejövő anyag- és információáram realizációja van helyezve. A dolgozat egyik hipotézise, hogy a drón valóban képes a kézbesítőt kiváltani és egy működőképes rendszerben elvégezni a dokumentumszállítási feladatokat. A dolgozatban erre az összefüggésre keressük a választ.

4. Tudományos körkép

4.1. A drónok helyzete

Afelől semmi kétség, hogy a drónokat igen széleskörben lehet alkalmazni, ilyen például a tűzoltásban való részvétel, eltűnt személyek keresése [2], vagy a mezőgazdaságban a permetezés. Ugyanakkor a dróntechnológia rohamosan fejlődik ezzel újabb és újabb lehetőséget adva a széleskörű alkalmazásukra. Habár manapság a legnagyobb hangsúly a drónok felhasználói oldalán van mégis vannak további érdekes területei is, mint például a drón, mint repülő szerkezet irányítása és a szállításirányítás, mint drónokkal végzett műveletek irányítása. Számos tanulmány született a drónok irányításának témakörében, melyek többsége a drón, mint egyedi eszköz, vagy akár, mint egy komplett flotta (ún. drón raj) irányításának megvalósítását tűzte ki célul, de volt olyan is, amelyben a drónok távolról való irányítását szerették volna biztosítani olyan módon, hogy ne lehessen átvenni a drón felett az uralmat egy külső behatolónak [3]. Illetve számos jövőbemutató tanulmány is készült, melyek közül az egyik az agyhullámmal a másik a szemmozgással való drón irányításról szól [4] [5].

A szállításirányítás témakörében viszont már nem olyan magas a tanulmányok számossága, mint a repülésirányításnál. A legtöbb kutatás egészségügyi témában zajlott, melyeknek a célja valamilyen laboratóriumi minta szállítása volt és azt vizsgálták, hogy a szállítás során a minta sérül vagy megváltozik-e. Ilyen minta volt például az inzulin vagy különböző vérminták [6] [7]. Ami látszik, hogy az inzulin és a különböző vérminták önmagukban kicsik és könnyűek, viszont egy hasonlóan könnyű, de nagyobb kiterjedésű csomag esetén már felmerülhet a probléma, hogy milyen szállítási egységben történjen a csomag szállítása és az milyen módon legyen rögzítve a drónhoz. Mindezek mellett egy másik tanulmány is kiemelendő, ami a drónalapú szállítás ütemezést vizsgálja a meghibásodások figyelembevételével. Kétségkívül hosszútávon költséghatékonyabb lenne a drónokkal való szállítás, mint a szárazföldi alternatívája, de sajnálatos módon nem kap elég figyelmet. A gyakran meghibásodó drónokat nem szabad zsúfolt területek felett üzemeltetni, mert ha lezuhannak súlyos balesetet tudnak okozni. A kutatás célja egy megbízható szállítási ütemterv kidolgozása a sikertelen kézbesítések számának minimalizálásával. Sikertelen kézbesítésnek az minősül, ha a drón lezuhan és nem ér el a következő ügyfélhez [8].

A logisztika területén az elmúlt időben az áruszállítási hálózatokba integrálható drónok alkalmazása kapott nagyobb hangsúlyt az intralogisztikához képest. A témában egyre több kutatási eredményt találhatunk, melyek többsége nem régebbi pár évnél. A tanulmányok alapján a különböző technológiai és jogi akadályok ellenére is érdemes a drónok integrálásának lehetőségével foglalkozni, mert a hosszútávú előrejelzések is arra engednek következtetni, hogy a korlátozó feltételek feloldása után ezek a technológiák jelentős potenciált jelenthetnek a logisztika területén. A drónok használatát a city-logisztika területén is kutatják [9]. Az ezekkel a feladatokkal foglalkozó tanulmányok túlnyomó többsége a városi környezetben történő last-mile jellegű feladatok drónokkal támogatott megoldását vizsgálja. A last-mile típusú szállítás során jut el a megfelelő áru a címzetthez, ami jelenleg az ellátási lánc legdrágább és legszennyezőbb szakasza [10], valamint a már így is növekvő közúti áruszállítás egyre nagyobb terheltségét eredményezi.

Az extralogisztikával szemben az intralogisztika kisebb hangsúlyt kap a drónok folyamatokba való beépítése kapcsán, de az intralogisztikában is ugyanúgy számos feladat teljesítésénél felhasználhatóak lehetnek. Az intralogisztikába integrált drónok feladatainak célja legtöbbször, hogy a raktárban zajló folyamatokhoz szükséges humánerőforrást csökkentsék, valamint a hatékonyságot növeljék. Az erőforrás kiváltása és a hatékonyság növelése egy sokkal gazdaságosabb működést fog eredményezni. Viszont nem szabad elfeledkezni a humán erőforrás egyik legnagyobb előnyéről, mégpedig arról, hogy képes a teljes mértékű döntéshozatalra, és ez egy nagy hátránya lehet a drónok alkalmazásának. Így a legcélszerűbb megoldás, ha olyan feladatra használjuk a drónokat, amik nem, vagy csak kis mértékben igényelnek döntéshozást, mert még napjaink legfejlettebb technológiája sem képes a humán intelligenciát helyettesíteni. A beltéri repülés sokkal kedvezőbb a drónok számára, mert nem éri annyi külső környezeti hatás (szél, eső stb.) és a raktárban szinte állandó körülmények uralkodnak (hőmérséklet, fényviszonyok stb.). A leggyakoribb elvégzendő feladatok közé tartozik a leltározás, a komissiózás és a mintavételes munkanapfelvétel.

4.1.1. Európai szabályozás

A drónok használata egyre szélesebb körben kezdett el terjedni, így logikussá vált, hogy a használatukat szabályozni kell. A pilóta nélküli légitjárművekre vonatkoznak európai szabályok és magyarországi szabályok is. Európában az Európai Unió

Repülésbiztonsági Ügynöksége (EASA) felügyeli a drónok használatát. 2019-ben az Európai Unió új törvényeket fogadott el, melyek a pilóta nélküli légitárművek üzemeltetéről és műveleteiről fogalmaznak meg szabályokat. A pontos jogszabályokat a 2019/945 [11] illetve a 2019/947 [12] rendelet tartalmazza. A 945-ös rendelet a pilóta nélküli légitárműveket C0-tól C4-ig osztályokba sorolja. Közös jellemzője a kategóriáknak, hogy a maximális vízszintes repülési sebességük nem haladhatja meg a 19 m/s-ot, valamint a felszállási hely felett elérhető maximális magasság nem haladhatja meg a 120 métert. Ezt a felszállási magasságot korlátozhatja a pilóta vagy a drónba épített érzékelő. A drónnak elektromos árammal kell működnie névleges feszültsége a C0 és a C1 osztályban nem haladhatja meg a 24 V-ot, a többi osztályban (C2, C3, C4, és C5) a 48 V-ot [11].

A légitárműnek olyan kialakítással kell rendelkeznie, hogy lehetőleg semmilyen esetben csak minimális személyi sérülést okozhassanak szélsőséges esetben, vagyis lehetőség szerint kerülni kell az éles széleket. Szükséges rendelkeznie továbbá kellő mechanikai szilárdsággal és stabilitással a biztonságos repüléshez, követő üzemmóddal és stabil adatkapcsolattal. A C0 és a C1-es kategória esetén, ha a drón rendelkezik követési üzemmóddal és ez a funkció be van kapcsolva, az UAS a távoli pilótától legfeljebb 50 méterre távolodhat el, és a távoli pilótának képesnek kell lennie arra, hogy visszanyerje az irányítást a jármű felett. A többi kategóriánál nem térnek külön erre a szabályra. Az Európai Unió három fő kategóriába sorolja a drónokat: Nyílt, Speciális, Engedélyköteles. A nyílt kategórián belül megkülönböztetünk további három alkategóriát ezek az A1, A2 és A3 jelöléssel rendelkeznek. A fő kategóriák kockázat alapján kerültek összeállításra, illetve továbbra is érvényesek az Unió által meghatározott UAS osztályok (C0, C1, ... C5) [11].

4.1.2. Magyarországi szabályozás

Magyarországon 2021. február 10-én léptek érvénybe a jelenleg is hatályos jogszabályok, melyek az előbb említett uniós jogszabályokkal harmonizáltak. Miszerint minden drónpilótának rendelkeznie kell egy jogosítvánnyal, nyilvántartásba kell vetetni a légitárművét, valamint saját magát, mint drónpilótát, a repülési művelet közben a hivatalos telefonos applikációt kell használnia és végsősorban biztosítást kell kötni a pilóta nélküli légitárműre. Továbbá az általános szabályok alapján nem lehet műveletet végrehajtani kiemelten fontos létesítmények, nemzeti emlékhelyek, illetve európai és

nemzeti létfontosságú rendszerelemek közelében. A repülési művelet előtt eseti légteret kell igényelni a megfelelő hatóságtól, valamint nyilatkoznia kell a repülési művelet típusáról: állami, gazdasági, szabadidős.

Látható, hogy a szabályozási jogi oldalról megannyi probléma merülhet fel egyes rendszerek tervezése és üzemeltetése kapcsán. A törvények egyelőre, még nem kezelnek bizonyos helyzeteket, mint például azt, hogy mi történik, ha lezuhan a drón és megsérül egy ember vagy valakinek a magántulajdona. Továbbá fennáll a légijárművekre szerelt kamerák miatt az a helyzet is, hogy a műveletek végrehajtása közben az emberekről rögzített képek miatt a személyiség jogok is sérülhetnek. A logisztikai célú alkalmazások kapcsán az egyik legkomolyabb probléma az ún. látástávolságon kívüli repülések kérdésköre és szabályozása, ahol a távpilóta a repülő szerkezetet már nem tudja szabad szemmel nyomon követni, az automatizált repülési tranzakciókról nem is beszélve.

Összegezve tehát, rendkívül sokan vizsgálják a drónok alkalmazási lehetőségeit. Nem vehetjük azonban kész ténynek, hogy a jelenleg drónok használatára alkalmasnak tűnő minden feladat esetében lehet és érdemes is drónokat használni, hiszen a jelenlegi technikai állapotukban a legtöbb esetben még nem kellően kiforrottak. A használatuk abból áll, hogy egy vagy több hasznos teher helyezkedik el rajta, ami általában egy vagy több kamera, melynek segítségével vizsgálhatóvá válik a környezet. Tehát nem lehetünk biztosak benne, hogy ezek a szerkezetek a jelen állapotukban hosszú távon a logisztikai feladatok támogatására használhatóak lesznek. Számos kérdéskört szükséges a részletekbe belemerülve vizsgálni és az eszköz hátterét is jelentős mértékben fejleszteni kell.

4.2. A dokumentumkezelés logisztikája

A dokumentumkezelés problémáit is számos oldalról lehet megközelíteni ugyanúgy, mint a drónokét. A folyamatos versenyképesség érdekében a vállalatoknak és a szolgáltatóknak is kiemelt figyelmet kell fordítaniuk a hatékony belső, illetve a külső dokumentumáramlásra. Egyértelműen látszik, hogy a fejlesztések az elektronikus dokumentumok alkalmazásának irányába mutatnak, így több tanulmány is készült az elektronikus dokumentumokra való áttérésről [13], illetve szabadalmak is létrejöttek a témakörben, különböző kódoló [14], illetve dokumentumkezelési rendszerekkel kapcsolatban [15], továbbá az archiválás területén is jelentős szerepet játszanak még az elektronikus iratok. Habár a kezdeményezések a papíralapú dokumentumok elhagyására

egyre gyakoribbak, viszont az elektronikus iratok alkalmazása több problémát is felvet. Ilyen probléma lehet például a dokumentumok vízjellel [16] vagy digitális aláírással való védelme [17], amelyeket hamisíthatatlanná, feltörhetetlenné kell tenni. Az archiválás témakörében továbbá szóba kerülhetnek olyan – akár etikai – problémák is, hogy milyen iratokat tegyünk elektronikusan elérhetővé és melyeket ne, illetve a dokumentumok előkészítése is rendkívül fontos [18]. A témában készületek olyan tanulmányok is, melyek például a kézi és a gépi jegyzetelést vizsgálták. Ebből a kutatásból kiderült, hogy a gépi jegyzetelés kapcsán adott idő alatt az alany több szót is le tudott írni, valamint maga az írása is pontosabb lett [19]. Jelentős kutatási területnek számít továbbá az elektronikus dokumentumok szerzői jogi védelme is.

A közszférában (így pl. az oktatási intézményekben is) hatalmas lehetőségek rejlenek a digitális megoldások terén. Ezek alkalmazásával lehetőség nyílhatna, hogy az értékteremtő folyamatokban résztvevő egyes szervezeti egységek nem elszigetelten egymástól, hanem teljesen együttműködve egy zökkenőmentes dokumentumáramlási rendszerben tudnának részt venni és egymással információt megosztani. Hiszen az adminisztrációs folyamatokban az egyik, hanem a legnagyobb veszteség és veszélyforrás a félinformáció szerzés vagy az információ veszteség. A folyamatos irattovábbítási feladatok mellett megemlíthetők a dokumentumok hosszú éveken keresztül történő megőrzésével kapcsolatos feladatok is, amely szintén jelentős fizikai területeket köthet le az infrastruktúrából.

A közigazgatás mellett az egészségügy is egyike azon szektoroknak, ahol nagy mennyiségben van jelen még mindig a papíralapú dokumentáció. Habár az elektronikus dokumentumkezelésre való igény várhatóan nagymértékben növekedni a fog, az egészségügyi szektor még nem elég fejlett hozzá. Az orvosi szövegek erősen strukturáltak a tartalmuk szerint, nehézkes lehet a visszakeresésük, többek között ez nehezítheti meg az elektronikus rendszerek bevezetését [20].

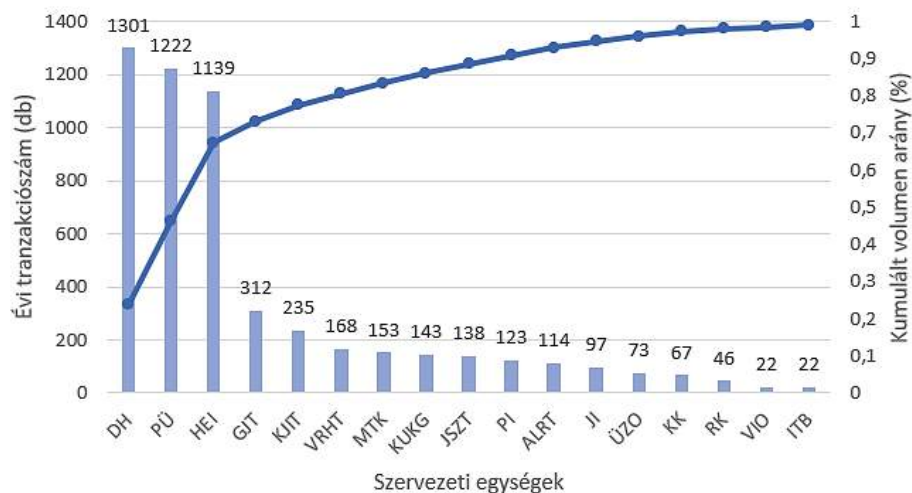
Más szolgáltatási szektorban, mint például a bankok esetében, már jóval kevesebb a papírfelhasználás. A legtöbb ügyintézés már papír nélkül, elektronikusan történik, ahogyan az aláírás is az ügyfelek, valamint az ügyintézők részéről. Az ügyfél a saját elektronikus bankfiókjából le tudja tölteni a számlakivonatokat és szerződéseit. Továbbá a koronavírus helyzet miatt egyre kevesebb a személyes jelenlétet igénylő banki szolgáltatás. A digitalizálás egyúttal kimutatható költségelőnyt is biztosít a bankoknak [21]. Az áruszállítás esetében pedig a szállítólevelek neutralizálásra van törekvés [22].

5. A vizsgált dokumentumáramlási rendszer

A kutatásunk a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedés és Járműmérnöki Karán zajlik, melyen folyó dokumentumáramlást veszünk mintapéldának és a későbbiekben egy pilot rendszer beindítását is tervezzük. Jelenleg az iratáramlás a kézbesítőn keresztül valósul meg, aki az iratokat a különböző épületek között szállítja. Naponta két körjáratot tesz meg az áramlás csomópontjából (Dékáni Hivatal) indulva, illetve az általa kiszolgált szervezeti egységek postáit is ő kézbesíti. A délelőtti körjárat átlagosan 93 percet, míg a délutáni átlagosan 46 percet vesz igénybe. A kézbesítő 17 darab egységet szolgál ki, melyek között szerepelnek a tanszékek, valamint az egyetem egyéb gazdasági és humán egységei. A dokumentumokat egy zárt fehér A4-es méretű borítékban szállítja az egység saját postakönyvével együtt. A dokumentumok feladásának és átvételének folyamata nagyon egyszerű. Az iratok kézbesítésének igényeit telefonon regisztrálják és a postakönyvben dokumentálják időbélyegző nélkül napról napra. A továbbiakban az 5.1. fejezben lévő eredmények alapját a kézbesítői mérés során, valamint a szervezeti egységek feldolgozott postakönyveiből kapott adatok adják.

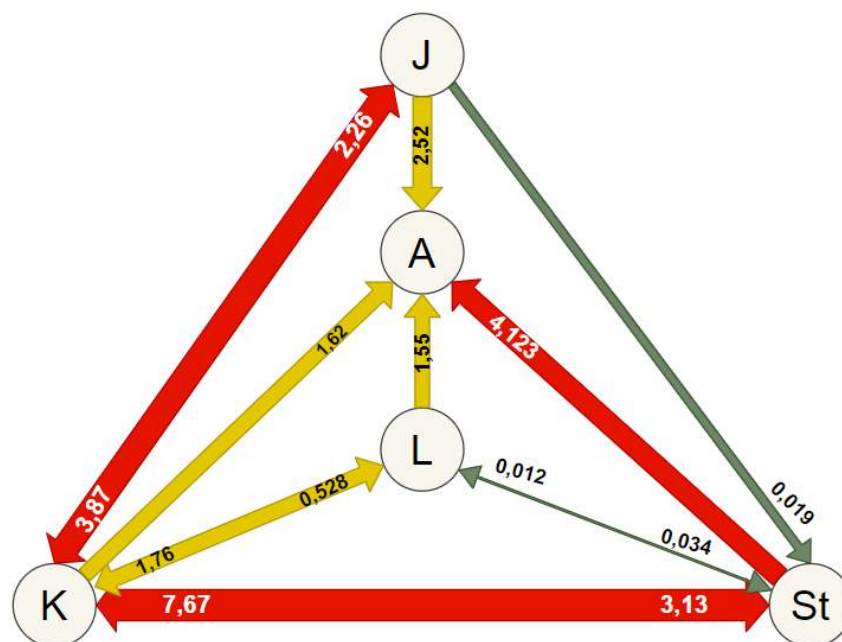
5.1. A folyamatok vizsgálata

A szállítási feladat, amit az írásunkban körül jártunk könnyen behatárolható. A szállítandó árukra jellemző a kis tömeg, kis térfogat és a relatív gyakori szállítási tranzakció egy kültéri intralogisztikai rendszerben. A tranzakció alatt szállítási eseményt értünk, tehát egy-egy viszonylat között felmerülő szállítási feladatot. A fel- és leadóhelyek jól meghatározottak, ezek különböző épületekben helyezkedhetnek el. A 2020-as év folyamán sor került a rendszerben lévő tranzakciók részletes vizsgálatára. A postakönyvekből, mint szekunder adatforrásból, tudtuk meg, hogy a vizsgált 2019-es évben összesen a legfontosabb egységeknél hány darab tranzakció történt. Ezt szemlélteti az 1. ábra. Az ábrák és táblázatok esetén, ahol nincsen megjelölve külön forrás, az mind saját szerkesztésű.

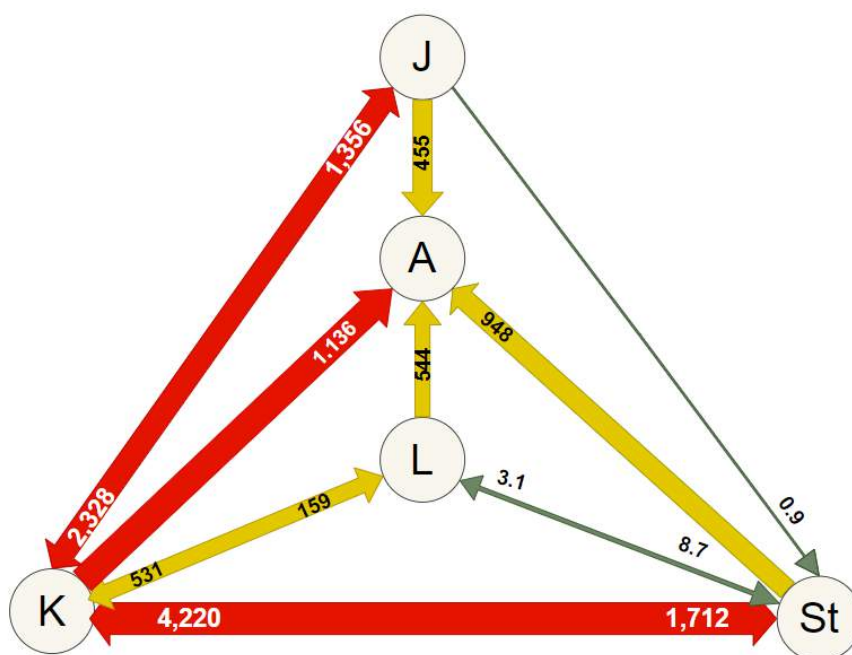


1. ábra: 2019-es évi dokumentumforgalom

A GJT, KJIT, VRHT, KUKG, JSZT, ALRT rövidítések tanszékeket jelentenek, a többi egység pedig az egyetem gazdasági és humán egységei. A pontos rövidítéseket a 13.1. számú melléklet tartalmazza. A vizsgált időszakban összesen 5430 db tranzakció történt. Ami rögtön észrevehető, hogy az első három egység esetén kiemelkedően magas az éves tranzakciószám, majd a többi egységnél pedig lényegesen kevesebb. Ez a nagy összesített tranzakciószám mutatja azt, hogy az áramlás igenis számottevő és érdemes vele tovább foglalkozni. Az így kapott eredményekből tudunk következtetni az egyes épületek közötti anyagáramlás intenzitására és anyagmozgatási teljesítményre, melyet a következő két ábra mutat (2. ábra és 3. ábra).



2. ábra: Anyagmozgatási intezitásgráf [tranzakció/nap]



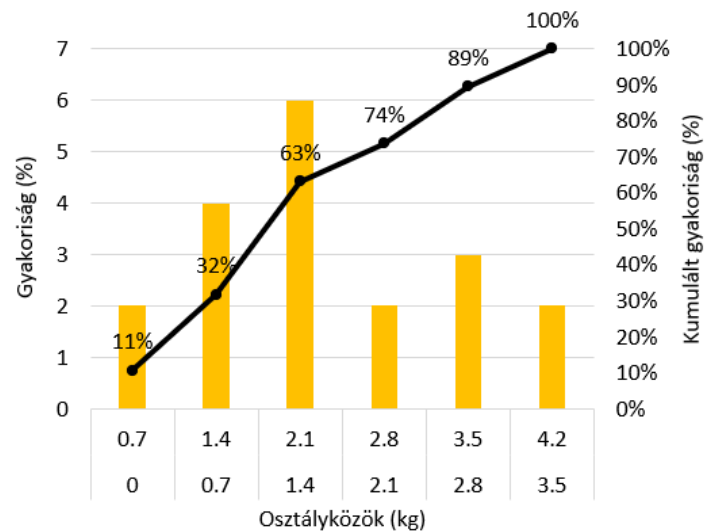
3. ábra: Anyagmozgatási teljesítménygráf [anyagmozgatási teljesítmény/nap]

A gráf csúcsai az épületeket jelölik az élei, pedig a viszonylat intenzitását, illetve anyagmozgatási teljesítményét. Az élek vastagsága arányos a viszonylat intenzitásával és anyagmozgatási teljesítményével, ahol egy vonalon két érték is szerepel ott a tranzakció kétirányú és az épülethez közelebbi érték mutatja az oda irányuló intenzitást és anyagmozgatási teljesítményt. Az éleken szereplő értékek tranzakció/nap, illetve anyagmozgatási teljesítmény/nap mértékegységben értendők. Például az intenzitásgráfról leolvasható, hogy a „J” épületből a „K” épületbe 3,87 felfelé kerekítve 4 db tranzakció történik naponta átlagosan.

A gráfok érdekessége, hogy az „A” épület nyelőként funkcionál, de ez a valóságban nem teljesen igaz. Az „A” épületet nem sikerült részletesen megvizsgálni ezért csak részleges adatokat tudunk közölni. Ami az intenzitásgráfhhoz képest változott az anyagmozgatási teljesítménygráfnál, hogy a „K” és „A” épület között jelentős az anyagmozgatási teljesítmény, habár az átlagos napi tranzakció kevés és ugyanez fennáll fordítva az „A” és „St” épület viszonylatában is.

Továbbá a kézbesítő munkáját is megvizsgáltuk, itt főként az általa bejárt útvonal és az általa szállított dokumentumok tömegére fókuszáltunk. A kézbesítő által bejárt útvonal naponta átlagosan 4,5 km. A mért adatokból azt kaptuk, hogy a kézbesítő átlagosan majdnem 2 kg tömegű dokumentum csomagot hord magával egy körjárat során. Illetve 95 százalékos megbízhatóság mellett kijelenthetjük, hogy 89 százalék annak a

valószínűsége, hogy a kézbesítő táskájának tömege kisebb vagy egyenlő, mint 3,5 kg. Ezt az alábbi hisztogram mutatja (4. ábra). Ebből az eredményből már lehet következtetni egy esetlegesen a kézbesítő kiváltására használható drón teherbírására is.



4. ábra: Hisztogram a szállítási egység tömegére vonatkozóan

6. Drónokkal támogatott dokumentumáramlás

Láthattuk az előző fejezetekben, hogy a drónoknak számtalan alkalmazási lehetőségük van, így felmerülhet a kérdésként, hogy a logisztika területén, milyen feladatra lehetne a drónokat használni. Habár nem tudnak nagy tömegeket megmozgatni, illetve nem képesek hosszú órákat repülni mégis már használják ezeket a szerkezeteket kisebb csomagok szállítására. A dokumentumszállítás több szempontból is ideális, mert nincsen rendkívül nagy tömege a szállítandó iratoknak, valamint az egyes épületek egymáshoz közel helyezkednek el, tehát egy teljesen feltöltött akkumulátorral több tranzakciót is végre tud hajtani a drón. A használatával kivehetjük az emberi tényezőt a folyamatból, mely a legtöbb hibát és tévedést okozza, ezáltal felgyorsulhat az áramlás is. Mindezek ellenére felmerülnek komoly problémák és kihívások, melyeket a jövőben meg kell oldanunk.

6.1. Kutatási kérdések

A legnagyobb problémát a jogi oldal jelenti, hogy a meglévő jogszabályokat betartva alkossunk meg egy új iratáramlási rendszert a drónok felhasználásával. Ezek a szabályok jelentős mértékben befolyásolják a különböző scénáriókat. A jövőbeli terveink között szerepel, hogy a drón autonóm módon működjön, de sajnos az autonóm drónokra vonatkozó szabályozás még egyáltalán nem létezik Magyarországon.

A drón irányítása a terveink szerint működhetne egy félautomata rendszerben, amikor is az egyes műveleteket a drónpilóta (dokkolás), más műveleteket pedig a drón maga végezne el automatikusan (fel- és leszállás). Viszont ebben az esetben is igaz az, hogy szükség van egy operátorra, aki rendelkezik a megfelelő kompetenciával. A félautomata irányítást tovább lehet bontani különböző fázisokra, attól függően, hogy milyen mértékben végzi a drónpilóta vagy a drón a műveleteket. Az egyik legfontosabb szempont egyértelműen az a számunkra, hogy bár a gépek, mint a drónok kevesebb hibával képesek a feladataikat elvégezni, mégis legyen emberi felügyelet, hiszen az ember a géppel ellentétben képes a teljes mértékű döntéshozatalra. A legfejlettebb fázisa ennek a fajta irányításnak az lenne, hogy a drón teljesen autonóm módon végezhetné a szállítást, és az emberre pedig csak felügyelő szerepben lenne szükség.

Jelentős feladvány még az alkalmazott szállítási egység kérdése, azaz, hogy a drón a dokumentumokat milyen szállítási egységben szállítja és azt hova helyezzük el, hiszen

nem „takarhatjuk” el a drón szenzorait. A tömegét minimálisra kell csökkenteni, hogy a lehető legkisebb plusz terhet jelentse a drón számára. Formáját tekintve valamennyire áramvonalasnak kell lennie, felépítése szerint pedig lehetőleg modulós szerkezetű legyen, hogy az esetleg nem szabvány méretű iratokat is el tudja szállítani a nap folyamán (pl.: oklevél). Ezen felül probléma lehet, hogy hogyan rögzítsük a szállítási egységet a felépítményhez. Elképzelhető olyan megoldás is, hogy a rögzítést alakzárással valósítjuk meg a szállítási egység kialakítása révén.

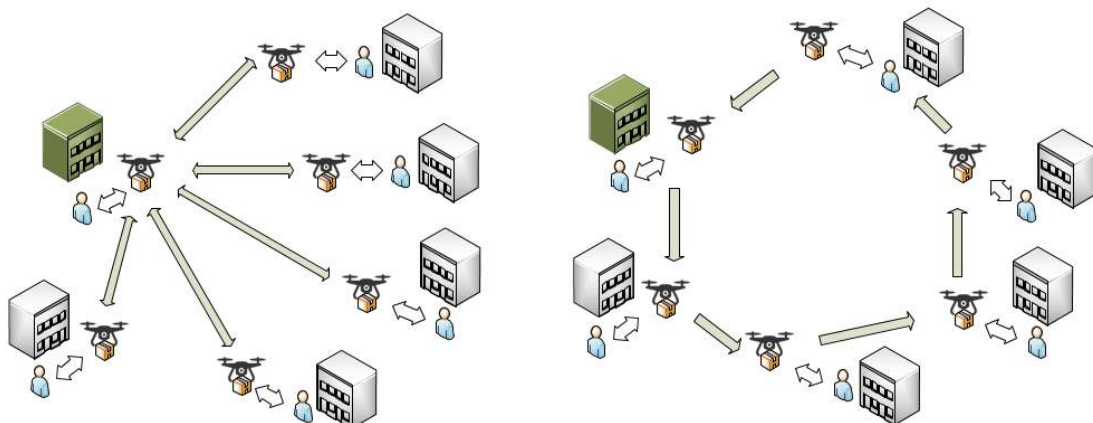
Komoly feladat a rendszer megvalósítási oldaláról az irányítás mellett a dokkolás és a dokumentumátadás. Milyen legyen a dokkolóállomás kialakítása, hol legyen pontosan, és hogyan adjuk át az iratokat az ügyintézőknek. A dokkolóállomás kialakításával részleteibe menően még nem foglalkoztunk, de nyilvánvalóan függ a drón kialakításától és a szállítási egységtől, illetve, hogy a drón pontosan hogyan szállítja a szállítási egységet. A dokkolóállomások elhelyezkedését elsősorban az épületek tetejére terveztük, hiszen a drón könnyebben le tud ott szállni, mert nincsen semmilyen akadályozó tényező. Természetesen az épület tetejétől is függ, hogy el tudjuk-e ott helyezni a dokkolót, illetve még a tetőre való kijutás is egy komoly kérdés, hogy kinek van jogosultsága kimenni, illetve mennyire könnyen megközelíthető az épületből, ami szintén biztonságtechnikai problémákat vet fel.

További kihívás a klasszikus áruszállítás témakörében az áruátadás kérdése. Hogyan történjen az iratok fel- és leadása. Ehhez szorosan kapcsolódik a drón szállításirányítási rendszerének (DTMS – Drone Transport Management System) tervezése és működése. Hogyan jelezheti az ügyintéző a dokumentumfeladási szándékát és hogyan lehet különbséget tenni a hagyományos és a sürgős dokumentumok között? A rendszernek egy nagy előnye, hogy képes kezelni az ad-hoc keletkezett szállítási feladatokat. Így a drón repülésirányítási rendszerének (DFCS – Drone Flight Control System) csatlakoznia kell a szállításirányítási rendszerhez. Látható tehát, hogy a rendszer egyes elemei nagymértékben függenek egymástól.

6.2. Szállítás

A szállítási terület adott, ahol a drón a dokumentumszállítást el tudja végezni, illetve az épületek elhelyezkedése is adott. Megfigyeléseink alapján logisztikai szempontból is ideálisnak tűnik, ha a drón az áramlás központjából indul és továbbítja az iratokat a többi

épületbe. Ez lehet egy centralizált vagy egy decentralizált forgalomszervezés, mely az alábbi ábrán látható (5. ábra)



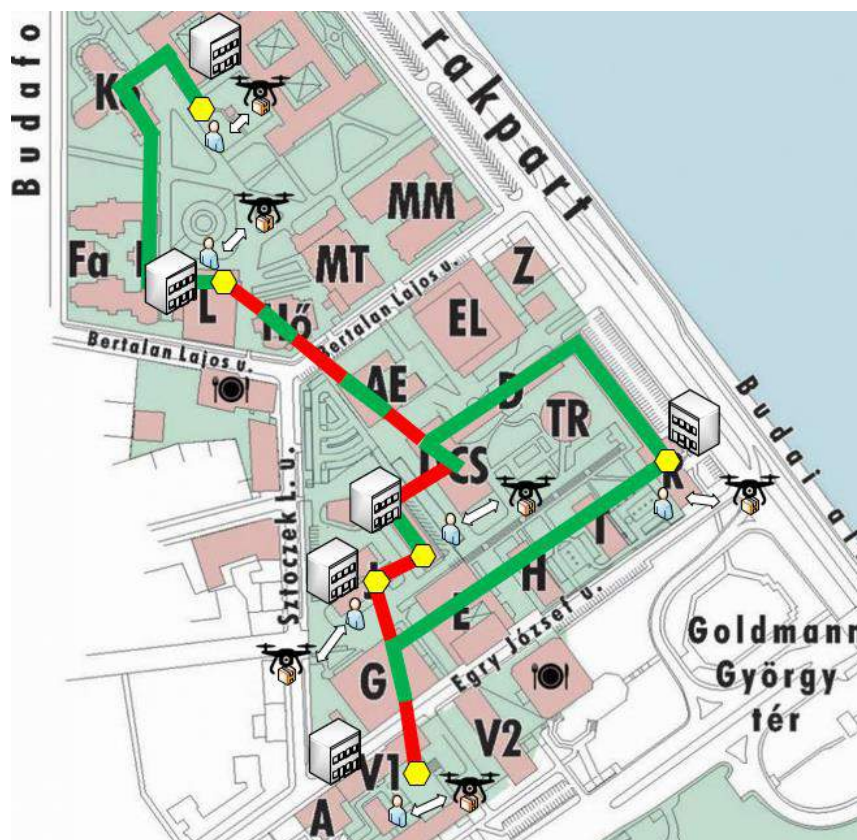
5. ábra: Centralizált (balra) és decentralizált forgalomszervezés (jobbra)

A drón egy megadott menetrend szerint közlekedik. Minden nap az aznapi feladatokból kerül összeállításra egy dinamikus menetrend a szállításirányítási rendszerben. A nap folyamán a menetrend a prompt igények keletkezésének függvényében változhat. A drón érinti az összes olyan igénypontot, ahol fel- és/vagy leadási feladat van. Ha a menetrend teljesítése közben prompt igény keletkezik, azt beleillesztjük a menetrendbe. Ez a folyamat úgy határozható meg, mint a szállításirányítási rendszer napi feladatainak dinamikus optimalizálása.

A decentralizált forgalomszervezés esetében a központban lévő ügyintéző behelyezi a szállítási egységbe a feladásra szánt iratokat ügyelve az egységterhelésre, majd a drón felszáll és a szállítási tervben a következő programozott célállomásra viszi. A célállomáson lévő operátor átveszi a neki szóló iratokat és behelyezi a szállítási egységbe azokat az iratokat, amit a többi épületnek fel szeretne adni. Ez az átadás/átvételi folyamat lejátszódik az összes célállomáson. A decentralizált forgalomszervezés végén a drón visszatér a központba, ahol az operátor kiveszi a szállítási egységből a neki címzett iratokat és kezdeményezi a következő járat megkezdését, ha szükséges. A centralizált forgalomszervezés esetében pedig a drón egyszerre csak egy viszonylatot szolgál ki a központi feladóhely és egy előre meghatározott célállomás között. Így kisebb méretű szállítási egységre és akár kisebb teherbírású drónra is szükség lehet, viszont a repülési útvonalak száma nagyobb lesz, ezért a drónok szükséges száma is nagyobb lehet.

Ezen kívül az iratok egy vonalkódos matricával lezárt szállítási egységben kerülnek szállításra, így a tranzakció is biztonságosabb lehet. Várhatóan az alacsony repülési idő miatt a drón akkumulátorát tölteni és/vagy cserélni kell a következő járat indulásáig. Számításaink alapján a decentralizált forgalomszervezés esetében minimum két járat szükséges, míg a centralizált esetben pedig jóval több, de ez függ az aznapi feladni kívánt dokumentumok mennyiségétől és az ad-hoc igényektől.

A scenáriók esetében tervezetten mindig ugyanazon az útvonalon fog repülni a drón, mely a tényleges előírások figyelembevételével lett tervezve. Ezt az 6. ábra mutatja. A zöld vastag vonal a drón útvonalát jelzi, a piros vastag vonal pedig a kritikus szakaszokat a sárga hatszögek pedig a dokkoló állomásokat. Kritikus szakasznak számít, amikor a drón hallgatók által sűrűn használt út vagy közterület felett repül (Bertalan Lajos utca, Egry József utca). A drón erről a kijelölt útvonalról csak rendkívüli esetben térhet le. A centralizált forgalomszervezés esetében a drón tehát sokkal több utat fog megtenni, hogy elvégezze az aznapi feladatokat, mint a decentralizált esetben.



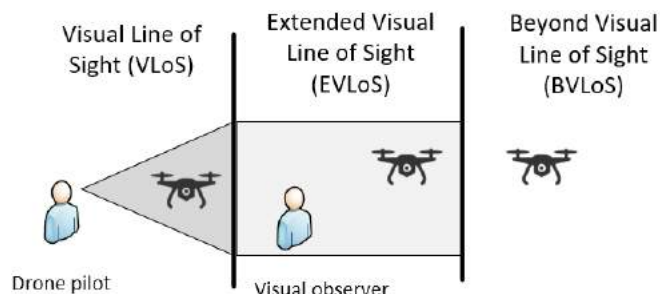
6. ábra: Előzetes repülési útvonal

6.3. A rendszer bevezetése

Ahogy az előzőekben is látható a kutatás célja, hogy megalkossunk egy drónokkal támogatott szállítási rendszert viszonylag kis tömegű áruk és adott struktúra esetén. A rendszer bevezetése kezdetben egy pilot rendszerben történne, melyben a drón fokozatosan, egyre jobban kerülne bevonásra. Hogyan lehet meghatározni azokat a fejlesztési lépéseket, amely biztosítja a folyamatos és biztonságos működést?

Első lépésben a drónt egy drónpilóta irányítja, és a dokumentumokat a központi épületből csak az egyik kijelölt épülethez szállítja, a többi épületet pedig a kézbesítő hagyományosan szolgálja ki. Ebben a szakaszban a drónpilóta teljesen manuálisan irányítja a drónt, minden esetben a látótávolságon belül (VLoS) van. A drón az épület előtt szállhat le, ahol az ügyintéző átveszi a dokumentumokat. A második lépés abban különbözik az elsőtől, hogy a drón nem egy, hanem két vagy több épületet szolgál ki.

A harmadik lépcsőfokban a drón az összes épületet kiszolgálja és az első kiszolgált épület esetében, már a tetőn történik a dokkolás kamerák és szenzorok segítségével, az összes többi épületnél pedig ugyanúgy történik a dokkolás, ahogyan eddig. A fő különbség a negyedik lépésben, hogy a dokkolás és az iratátvétel ugyanúgy kettő vagy több épület esetén (mint a második lépcsőfokban) a tetőn történik, a többi esetben ugyanúgy ahogyan eddig, az épület előtt, valamint itt már nincs szükség kézbesítőre. Továbbá a drónművelet végrehajtása során a kiterjesztett látómező (EVLöS) alkalmazását részesítjük előnyben, melybe a távpilótán túl más megfigyelő operátorokat is bevonunk. Az ötödik lépcsőfokban a pilóta még mindig teljesen manuálisan irányítja a drónt és már az összes épület esetén a tetőn végzi el a dokkolást. A látótávolságok értelmezését a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra: Látótávolság határok definiálása

A hatodik lépcsőfokban a pilóta már nincs fizikailag a drón mellett a szállítás során, hanem a repülésirányítási központból kamera segítségével irányítja a drónt manuálisan,

valamint a látótávolságon túli (BVLoS) drónművelet alkalmazását részesítjük előnyben. A hetedik lépés esetében már lehetőség van a félautomata vezérlésre való átállásra, amelyben a drón végzi a felszállást és a leszállást, a drónpilóta pedig irányítja a drón repülését a repülésirányítási központból. A nyolcadik végső lépcsőfokban pedig a drón teljesen autonóm módon működik és a pilóta már csak egy felügyelő szerepet lát el, esetleg közbeavatkozik, ha valamilyen váratlan esemény történik. Az evolúciós lépéseket az 1. táblázat tartalmazza a jobb áttekinthetőség érdekében. A fentebb említett evolúciós lépések más területen is adaptálhatók, hiszen a szállítási koncepció úgy lett definiálva, hogy más hasonló jellegű szállítási feladatokat kezelő intralogisztikai rendszerben is működőképes lehet.

1. táblázat: Evolúciós lépések

Lépcső	Épület kiszolgálás	Drón irányítás	Drónpilóta szerepe	Dokkolás	Kézbcsítő	Látótávolság	DFCS		
1.	Egy	Manuális	Irányító	Épületek előtt	Van	VLoS	Fejletlen		
2.	Kettő vagy több			Épületek előtt / Tetőn					
3.	Összes			Tetőn				EVLoS	Fejlettebb
4.									
5.						Nincs	BVLoS	Fejlett	
6.									
7.	Félautomata	Irányító/ Felügyelő							
8.		Autonóm	Felügyelő					Nagyon felett	

6.4. Technológiai kihívások

Ugyanakkor ahogy fentebb is említettük, vannak technológiai problémák is, amiket meg kell oldani, ha a pilot rendszert be szeretnénk vezetni. A teljesség igénye nélkül a következő dolgokat kell figyelembe venni: egyedi tervezésű és fejlesztésű vagy egy vásárolt drón jobban használható-e a rendszer megvalósításához; a szállítási egység terhelésének tervezése és megvalósítása; hogyan valósítható meg a drón akkumulátorok töltése és/vagy cseréje a folyamatos működés biztosítása érdekében; a dokkolóállomások tervezése és megvalósítása; az autonóm vagy félautonóm működés támogatására szolgáló irányítási problémák megoldása stb. Fontos tényező lehet az időjárás is, azaz, hogyan tudja a drón extrém időjárási körülmények között felkészülve elvégezni a szállítási feladatokat. Továbbá jelentős kihívást jelent a repülésirányítási rendszer felépítése és

fejlesztése, valamint az, hogy a szállítási irányítási rendszer hogyan viszonyul a már használt iktatórendszerhez, amelyet a rendszer működése során alkalmazni tervezünk. A repülésirányítási és a szállítási rendszer összekapcsolása szintén kulcsfontosságú tényező a megvalósítás szempontjából. Mindemellett a drón szállítási menetrendjének optimalizálása és az ad-hoc igények kezelése egyaránt releváns kérdések, a repülésirányítási központ elhelyezkedése mellett.

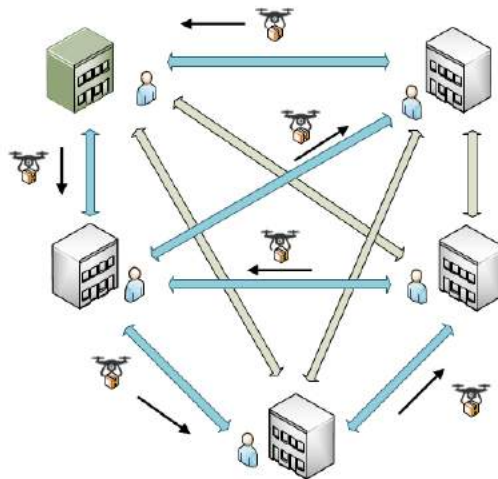
6.5. Fizikai realizáció

2021 nyarán elkezdődött a pilot projekt fizikai megvalósítása. A kísérletben egy kereskedelmi forgalomban is kapható MAVIC 2 Enterprise ZOOM típusú drónnal terveztük a feladatok teszt jellegű megvalósítását. Elsőként a szállítási egység elhelyezésével kapcsolatban történtek vizsgálatok, amelynek keretei között vizsgáltunk két megoldást. Az egyik, hogy a dróntest alatt legyen a szállítási egység, a másik pedig, hogy a dróntest felett. Ha a dróntest alatt helyezzük el az egységet, akkor azzal a dróntest alján lévő szenzorokat kvázi „eltakarjuk” és emiatt a felszállás során is gondok adódhatnak. Ha felette helyezzük el, akkor kevesebb problémával kell megküzdenünk a felszállás során, így erre a megoldásra esett a választásunk. Emellett kétféle szállítási egységet teszteltünk, az egyik a pneumatikus szállítórendszereknél alkalmazott áramvonalas úgynevezett tubus-jellegű egység, a másik pedig a speciális műanyag mappa. Egy speciálisan készített rögzítőbilincs szerkezet segítségével, valamint tartókonzolokkal sikerült egy vízszintes, a szállítási egység rögzítésére alkalmas felületet létrehozni a drón felett. A tervezett szerkezet prototípusa is elkészült és így lehetővé vált a tervezett megoldások fizikai tesztelése is. A prototípust a 8. ábra szemlélteti.



8. ábra: A tervezett felépítmény prototípusa

Számos repülési kísérletet hajtottunk végre, amelyek során azt tapasztaltuk, hogy a mappa alkalmazása esetén a felszállásnál a drón több esetben előre bukott, mert a rendszer súlypontja a megszokotthoz képest feljebb található. Emiatt több esetben a drón nem tudott felszállni. A mappa orientációját tekintve értelemszerűen fektetve helyezkedett el a szállítási felületen. Valamint problémát jelentett az is, hogy függőleges ereszkedésnél egy ejtőernyő hatás alakult ki. A tubus-jellegű egység esetében a felszállásnál ugyanúgy érzékelhető volt az előre bukás, de korántsem akkora mértékben, mint a fektetett mappa esetében. A tubus-jellegű egységgel a drón stabilan tudott repülni. Ezesetben a legnagyobb felszálló hasznos dokumentumtömeg, amit mértünk 29 dkg volt (58 db A4-es méretű papírlap). Így tehát a két kialakítás közül egyértelműen a tubusos változat tűnt a működőképesebbnek. A kísérletek eredményei alapján az is elmondható, hogy valószínűleg a szállításszervezési módszereket is keverni kell, de alapvetően decentralizált jellegű megoldást célszerű alkalmazni a drónok repülési útvonalainak optimalizálása érdekében, aminek a vázlatát a következő ábra mutatja (9. ábra, 10. ábra).



9. ábra: Decentralizált forgalomszervezés a pilot rendszer esetében



10. ábra: Tervezett prototípus repülés közben (Forrás: BME ALRT)

7. Mérés előkészítése

A mérés során a jelenlegi belső dokumentumáramlási rendszert szeretnénk modellezni. A belső rendszer azt jelenti, hogy nem foglalkozunk a Karon lévő tanszékek és a Dékáni Hivatalon kívüli más tranzakciókkal, mint például az ALRT-HEI viszonylat, mert nem rendelkezünk pontos vissza irányú tranzakciós adatokkal (HEI-ALRT), mivel a rendszeren kívüli szervezeti egységek postakönyvei nem kerültek feldolgozásra.

Továbbá a szimuláció és a mérés fontos alapját képezi az a feltétel, hogy a forgalomszervezés decentralizált és egy tanszékhez egy nap csak egy szállítási feladat tartozik, azonban ez a feladat jelenthet több szállítási egységet is, mivel a méretét lekorlátoztuk (lásd 7.1. fejezet). Így előfordulhat az, hogy például a K épület és az L épület között egy darab szállítási feladat jelentkezik, de ez két darab szállítási egységet jelent, így a drónnak egy nap kétszer kell az L épületbe repülnie.

A modellezett hálózat négy pontból áll, melyek egy-egy épületet jelentenek. Az első csomópont az L épület, benne az ALRT tanszékkal, a következő csomópont a K épület, benne a Dékáni Hivatallal, utána az St épület, benne a JSZT, KJIT, KUKG és MTK, végül a J épület, benne a GJIT és a VRHT tanszékekkel. Ahogy látható, az St és a J épületet külön kezeljük, annak ellenére, hogy a térben egymáshoz nagyon közel helyezkednek el. Így jobban tudjuk modellezni a valós helyzetet, hiszen a kézbesítő sem kezeli egyben a két épületet. A továbbiakban az előbb használt épület rövidítéseket fogjuk használni.

7.1. Forgalomkeltési modell

A hálózat szimulálásához szükség van a technikai eszközökön (drón, felépítmény) kívül a szállítási egységre (tubus) is. Mindemellett azt is tudnunk kell, hogy a szállítási egységben mekkora mennyiségű dokumentumot/dokumentumokat szállítunk. Ehhez először meg kell határozni, hogy az egyes tanszékeken átlagosan mekkora volt a fel- és leadott irattömeg. Erre vonatkoztatva már van adatunk a korábban végzett kézbesítői mérésből, annyi változtatással, hogy a lemért tömegbe beleszámít a szervezeti egység postakönyve is. Így tehát a feladott/leadott mennyiségből ki kell vonni a postakönyv tömegét, ami 540 gramm. Az épületek esetén az így kapott minimum és maximum értékek az alábbi táblázatban láthatóak (2. táblázat).

2. táblázat: Dokumentum generálás paraméterei

Épület	K	L	St	J
Minimum (g)	0	0	0	0
Maximum (g)	1300	250	450	470

Így egyenletes eloszlással generáltam egy adathalmazt, melyet hozzá lehet rendelni a későbbiekben generált szállítási relációkhoz, így megkapva az aznapi forgalmat. Egy A4-es papírlap tömege 5 gramm, így rendre az egyes épületeknél a maximum lapszám 260 db, 50 db, 90 db, 94 db.

A szállítási egységben lévő dokumentumok mennyiségét lekorlátoztuk 100 grammra (50 db lap), hogy ne lépjük nagyon túl a drón megengedett legnagyobb felszállótömegét (1100 g) [23]. A szállítási egység saját tömege a szimulált rendszerben elhanyagolható.

- Drón tömege: 905 gramm
- Alumíniumból készült felépítmény: 285 gramm

$$A \text{ felszálló tömeg} = 905 \text{ g} + 285 \text{ g} = 1190 \text{ gramm}$$

Látható, hogy már a felépítménnyel is túlléptük a maximális felszálló tömeget (90 grammal), úgy, hogy még nem is szállítunk dokumentumot. Így a felszálló tömeg a szállítási egységgel:

$$A \text{ felszálló tömeg} = 905 \text{ g} + 285 \text{ g} + 100 \text{ g} = 1290 \text{ gramm}$$

Ezzel a 1290 grammos tömeggel végeztük el a mérést, mikor a drón rakott menetben repült, üres menetben viszont 1190 grammos tömeggel.

7.2. Adatok generálása

Az egymáshoz viszonyított épület szintű fel- és leadási tranzakciókat a szekunder adatok alapján határoztam meg napi szinten. Ebből adódóan csak az épületek egymáshoz viszonyított eloszlásait vizsgáltam, mert a modellünkben, csak ezt a négy csomópontot vesszük figyelembe, mivel ezekkel a pontokkal lefedhető az egész belső rendszer, emiatt lényegtelenek a rendszeren kívüli tranzakciók. Az eloszlások azért lesznek számunkra lényegesek, hogy megtudjuk, az egyes csomópontok esetén naponta hány darab szállítási

feladatra számíthatunk. A postakönyvi adatok a 2019-es évre vonatkoznak és magas a megbízhatósági értékük, így hiteles következtetéseket tudunk az eredményekből levonni.

A feladások számát egy épület esetén a saját postakönyvéből határoztam meg úgy, hogy az aznapi tranzakciókat összeadtam. Ehhez az egy épülethez tartozó egységek postakönyveit egyesítettem. Ha ugyanazon a napon volt két vagy több olyan tranzakció, ami azonos helyre ment, akkor ezeket csak egyszer vettem figyelembe. A leadások számát úgy kaptam meg, hogy megnéztem az adott épületbe melyik másik egységtől érkezett tranzakció. Ha ugyanazon a napon azonos egységtől érkezett tranzakció, azokat csak szintén egyszer vettem figyelembe. Az így elkészült hisztogramok a 13.2, 13.3, 13.4 és a 13.5 számú mellékletekben láthatóak.

A hisztogrammal tudjuk ábrázolni az adatok eloszlását. Elkészítéséhez szükség van az osztályközök szélességére és számára, melyet a Sturge és a Gyök módszerrel is meg tudunk határozni. Esetünkben nincs értelme annak, ha az osztályközök tört számok, mivel a valóságban nem történhet 1,5 db feladás vagy leadás, így az osztályközök szélessége 1 db lett mindkét esetben.

Az egyes épületek esetén megvizsgáltam, hogy milyen eloszlást követnek az adatok. Nyilvánvalóan egyik esetben sem volt tökéletes illeszkedés, de jó közelítéssel meg tudtam állapítani őket. Azt, hogy a fel- és leadás esetében milyen eloszlást követnek az épületek adatai a következő táblázat foglalja magában (3. táblázat).

3. táblázat: Épületek tranzakciós adatainak eloszlása

Épület	K	L	St	J
Feladás eloszlása	Egyenletes	Egyenletes	Normális	Egyenletes
Leadás eloszlása	Normális	Egyenletes	Egyenletes	Egyenletes

Az épületszintű eloszlások alapján véletlenszám generátorral kapjuk meg a napi tranzakciós adatokat. A normális eloszlás függvényében a várható érték és a szórás, az egyenletes eloszlás esetében pedig a minimum, illetve a maximum érték segítségével. Az egyenletes eloszlás esetében a minimum és a maximum érték között kapunk egy véletlen egész számot. A normális eloszlás esetén 0-1 között generálunk véletlen értéket, melyhez megállapítjuk a várható érték és a szórás függvényében a normális eloszlás inverz értékét, majd egészre kerekítjük. A véletlen számokat az EXCEL beépített random generátorával kaptam meg. A szimuláció során 250 munkanapot vizsgáltam. A szimulációban szereplő értékek azt mutatják, hogy az egyes csomópontok hány tanszéknek/tanszéktől küldött/kapott dokumentumot.

Mindemelett történik egy ellenőrzés is a generált adatok kapcsán három feltétel szerint. Az első feltétel először megnézi, hogy a napi összes feladási szám megegyezik-e a napi összes leadási számmal, hiszen a rendszerben anyagmegmaradás teljesül. Ha ez nem teljesül a generált nap egy NOK jelzést kap. Ha az első feltétel teljesül, akkor meg kell nézni, hogy a K csomópontból feladott mennyiség megegyezik-e az L, St és J csomópontokon leadott mennyiségével (második feltétel). Ha ez nem teljesül, akkor további két eset lehetséges. Az egyik, hogy több leadási tranzakció van, mint az L, St és J csomópontokon leadott mennyiség, ekkor a K csomópontban is kellene leadásnak történnie, de egy egység nem küld saját magának iratot, ezért szintén egy NOK jelzést kap. A másik eset, ha kevesebb a leadási tranzakció, mint a L, St és J csomópontokon leadott mennyiség, akkor szintén a K csomópont nem tudja kielégíteni az igényeket, ezért szintén egy NOK jelzést kap. A harmadik és egyben utolsó feltétel azt nézi meg, hogy az St csomópontból feladott mennyiség egyenlő-e az L, K és J csomópontba leadott mennyiséggel. Ha nem teljesül, ugyanaz a két eset lép érvénybe, mint a második feltétel esetén. Összefoglalva, akkor tekintünk egy generált napi adatot megfelelőnek, ha:

1. A feladott és leadott napi mennyiség megegyezik
2. A K csomópontból feladott mennyiség, megegyezik az L, St és J csomóponton leadott mennyiséggel
3. Az St csomópontból feladott mennyiség megegyezik az L, K és J csomóponton leadott mennyiséggel

Külön ellenőrzési feltételként, azért nem vizsgáltuk az L és a J csomópontot, mert kisebb forgalmúak, továbbá a szekunder adatokból az látszik, hogy az esetek nagy százalékában csak a K csomóponttal van tranzakciójuk. A szimuláció felépítését és benne néhány adatot a 4. táblázat mutat.

4. táblázat: Szimuláció felépítése

Feladás						
Nap	K	L	St	J	Összesen	Ellenőrzés
1.	4	0	1	1	6	OK
2.	3	1	2	1	7	NOK
Leadás						
Nap	K	L	St	J	Összesen	Ellenőrzés
1.	2	1	1	2	6	OK
2.	3	0	2	2	7	NOK

A táblázatban szereplő értékek darabban értendők. Az első napi feladás esetén az olvasható ki, hogy az K épületből 4 db feladás történik, az L épületből nem történik feladás az St épületből 1 db egységnek lett feladva dokumentum, illetve az J épületből 1 db tanszék adott fel iratot. A leadás esetében pedig, hogy az K épületbe 2 db tanszék küldött iratot, az L épület 1 db az St épület 1 db tanszéktől kapott dokumentumot a J épületben pedig 2 db tanszék kapott iratot. A továbbiakban kizárólag OK-os eseteket vizsgálunk.

Így csak a tanszékek közötti szállítási feladatokat kaptuk meg és nem azt, hogy a valóságban ezek a tranzakciók hány darab szállítási egységet jelentnek. A 7.1. alfejezetben történt meg a forgalomkeltési modell megalkotása, tehát az egyes tranzakciókhoz tartozó dokumentum mennyiség legenerálása. A következő feladat, hogy a szállítási feladathoz mennyiséget társítsunk. A 4. táblázat harmadik sorához generált dokumentum mennyiség és szállítási egység szám a következő táblázatban szerepel (5. táblázat).

5. táblázat: Generált dokumentum mennyiség

Feladás					
Csomópontok	K	L	St	J	Összesen
Irat mennyiség (g)	518	40	189	224	971
Szállítási egység (db)	5	0	2	2	9
Leadás					
Csomópontok	K	L	St	J	Összesen
Irat mennyiség (g)	367	143	123	338	971
Szállítási egység (db)	4	1	1	3	9

A generált iratmennyiséget az általános kerekítési szabály szerint kerekítettem. A 4. táblázatból és az 5. táblázatból összeállíthatóak a pontos szállítási feladatok, valamint a szállítási egység mennyiségek. Miszerint a K épület felad 5 db szállítási egységet, melyből 1 db az L épületbe, 1 db az St épületbe és 3 db a J épületbe megy (tehát a J épületből az egyik tanszék 2 db szállítási egységet kap). Az L épület nem ad fel szállítási egységet. Az St épületből feladásra kerül 2 db szállítási egység a K épületbe, valamint a J épület szintén 2 db szállítási egységet ad fel a K épületbe. A továbbiakban a menetrendalkotás és a szállítási probléma megoldása szempontjából a szállítási egységek számát vesszük alapul, melyek darabszáma és viszonylata az előbb került ismertetésre. A szimuláció során kapott értékek megfelelnek a valóságnak.

7.3. Menetrend

A menetrend megalkotása egy szállításirányítási probléma, mely matematikai megfogalmazásban annyit tesz, hogy adottak a feladó és leadóhelyek és a közöttük lévő távolságok, adott a fel- és leadóhelyek közötti járatok száma, valamint adottak egyéb akár operációs adatok. Ezen információk ismeretében keressük azoknak a szállítási feladatoknak a sorrendjét, amelyben a járművek üres járatának száma minimális [24].

Egy mintapéldán keresztül vezetem le a menetrendalkotás folyamatát, melynek alapját a 5. táblázat megfelelő sorainak értékeit adják (Szállítási egység darabszáma). Továbbá ismertek az egyes csomópontok közötti távolságok, melyet a 6. táblázat tartalmaz.

6. táblázat: Csomópontok közötti távolságok

(m)	K	L	St	J
K	0	300	550	600
L	300	0	250	300
St	550	250	0	50
J	600	300	50	0

Első lépésben ezekkel a valós távolságokkal megoldom a szállítási problémát úgy, hogy a főátlóban szerepelhetnek nem nulla elemek, így megkapom a rakott menet mátrixot. A szállítási feladatot az EXCEL beépített Solver bővítményével oldom meg minden esetben, a következő korlátozó feltételek mellett:

- A programozott járatok száma legyen nagyobb, mint nulla
- A programozott járatok száma legyen egész szám
- A programozott feladások száma legyen egyenlő a valós feladásokkal
- A programozott leadások száma legyen egyenlő a valós leadásokkal

Valamint a szállítási probléma során az áruszállítási teljesítményt szeretném minimalizálni, amely a programozott járatok számának szorzatösszege a valós távolságokkal. Az így kapott megoldást a 7. táblázat szemlélteti.

7. táblázat: Rakott menet mátrix (Mintapélda)

	K	L	St	J	Feladás	
K	4	1	0	0	5	
L	0	0	0	0	0	
St	0	0	1	1	2	
J	0	0	0	2	2	Szállítási teljesítmény 350
Leadás	4	1	1	3		

Az optimalizálás végrehajtása után a főátlóra programozott járatok összege azt adja nekünk, hogy hány esetben tudjuk a járatokat összekötni, hogy két rakott menet között ne legyen üres menet. A főátlón kívülre programozott elemek összege megadja, hogy hány esetben lesz szükség üres menetre és ezek milyen viszonylaton szükségesek, hogy a legkisebb legyen az üresfutás. A menetrend elkészítéshez szükség lesz a munkamátrixra, mely tartalmazza a szállítási (rakott menet) mátrixot, valamint az optimalizált szállítási mátrix főátlón kívüli elemeit a főátlóra tükrözve [24]. A minta példa esetén a munkamátrixot a következő táblázat tartalmazza (8. táblázat). Piros félkövérrel az üres menetek vannak kiemelve.

8. táblázat: Munkamátrix (Mintapélda)

	K	L	St	J
K	0	0	0	0
L	1	0	0	0
St	0	0	0	0
J	0	0	1	0

Ezután megoldom újból a szállítási feladatot, de most a főátlóban lévő elemek csak nulla ellenállásúak lehetnek, hiszen egy tanszék nem küld saját magának iratot. Az előző szállítási mátrixra azért volt szükségünk, hogy az üresjáratok számát és viszonylatait megkapjuk. A korlátozó feltételek:

- A programozott járatok száma legyen nagyobb, mint nulla
- A programozott járatok száma legyen egész szám

- A programozott feladások száma legyen egyenlő a valós feladásokkal
- A programozott leadások száma legyen egyenlő a valós leadásokkal
- A főátlóban csak nulla elemek szerepelhetnek

Az így kapott megoldást a 9. táblázat mutatja.

9. táblázat: Szállítási mátrix (Mintapélda)

	K	L	St	J	Feladás	
K	0	1	1	3	5	
L	0	0	0	0	0	
St	2	0	0	0	2	
J	2	0	0	0	2	
Leadás	4	1	1	2		
						<i>Szállítási teljesítmény</i> 4950

Látható, hogy sokkal nagyobb lett az áruszállítási teljesítmény, mint az előző esetben, amiatt mert a főátlóban csak nullák szerepelhetnek. Ennek a táblázatnak a segítségével, illetve a munkamátrixal felépíthető a menetrend, melyet a következő táblázat mutat be (10. táblázat).

10. táblázat: Menetrend (Mintapélda)

Honnan	Hová	Menettípus
K	L	<i>Rakott</i>
L	K	<i>Üres</i>
K	J	<i>Rakott</i>
J	K	<i>Rakott</i>
K	J	<i>Rakott</i>
J	K	<i>Rakott</i>
K	J	<i>Rakott</i>
J	St	<i>Üres</i>
St	K	<i>Rakott</i>
K	St	<i>Rakott</i>
St	K	<i>Rakott</i>

A menetrend megalkotható úgy is, hogy nem ezen a két viszonylaton van üres menet, viszont ebben az esetben nem az optimális, azaz nem a minimális futásteljesítményt

kapnánk. Ez azért lehetséges, mert a menetrendalkotást különböző megoldással is el lehet végezni, melyeknek más lesz a futásteljesítményük.

A menetrendhez még hozzá kell rendelni a szállítási egységek számát, illetve ki kell számolni a mérés szempontjából, hogy hány darab szállítási egység kell minimálisan a menetrend teljesítéséhez. A szállítási egységek meghatározásához lejátszottam a menetrendet úgy, hogy minden épületben alapesetben 2-2 db szállítási egység van. Így látom, hogy a menetrend során az egyes épületekben hány darab szállítási egység található, illetve meg tudok határozni egy kezdő- és egy zárókészletet is belőlük. A 2-2 db-os kezdőkészlettel (piros, félkövér) a menetrend a következő lenne (11. táblázat).

11. táblázat: Szállítási egység számának alakulása a menetrend során I.

			K	L	St	J
Honnan	Hová	Menettípus	2	2	2	2
K	L	<i>Rakott</i>	1	3		
L	K	<i>Üres</i>	1	3		
K	J	<i>Rakott</i>	0			3
J	K	<i>Rakott</i>	1			2
K	J	<i>Rakott</i>	0			3
J	K	<i>Rakott</i>	1			2
K	J	<i>Rakott</i>	0			3
J	St	<i>Üres</i>			2	3
St	K	<i>Rakott</i>	1		1	
K	St	<i>Rakott</i>	0		2	
St	K	<i>Rakott</i>	1		1	

Látható, hogy a K épületben éppen elegendő a 2 db-os kezdőkészlet, mert van a menetrend során olyan, amikor egyáltalán nem rendelkezik szállítási egységgel. Az L épület csak kap szállítási egységet és nem ad fel, így az esetében nincs is szükség kezdőkészletre. Az St épületben a minimális szállítási egységszám az 1 db, így a 2 db-os kezdőkészletből levonva 1 db-ot kapunk, tehát a kezdőkészlete 1 db lesz. A J épület esetében ugyanezt a logikát követve a 2 db-os kezdőkészletből levonva a minimális darabszámot nullát kapunk, tehát az épület kezdőkészlete nulla lesz, mert mindig kap szállítási egységet, amit vissza is tud küldeni a következő szállítás során. Az üres menet esetében a szállítási egységek száma nem változik. A következő táblázatban ismertetem az előbb meghatározott kezdőkészlettel a menetrend során a szállítási egységek számának alakulását (12. táblázat).

12. táblázat: Szállítási egység számának alakulása a menetrend során II.

			K	L	St	J
Honnan	Hová	Menettípus	2	0	1	0
K	L	<i>Rakott</i>	1	1		
L	K	<i>Üres</i>	1	1		
K	J	<i>Rakott</i>	0			1
J	K	<i>Rakott</i>	1			0
K	J	<i>Rakott</i>	0			1
J	K	<i>Rakott</i>	1			0
K	J	<i>Rakott</i>	0			1
J	St	<i>Üres</i>			1	1
St	K	<i>Rakott</i>	1		0	
K	St	<i>Rakott</i>	0		1	
St	K	<i>Rakott</i>	1		0	

Látható, hogy így a menetrend során vagy nincs a tanszéken szállítási egység, vagy csak 1 db van (kivéve az induló állapotot). Tehát ennek a menetrendnek a teljesítéséhez elég minimálisan 3 db szállítási egység. Az épületek zárókészlete pedig kiolvasható, hogy a K épület esetén 1 db, L épület esetén szintén 1 db, St épület esetén 0 db és a J épület esetén 1 db. A többi generált menetrend esetén is az előbb leírt folyamat szerint jártam el. Összesen 7 darab menetrendet generáltam, melyek a 13.6. számú mellékletben megtalálhatóak.

A menetrendek generálása után tudunk arról információt közölni, hogy az egyes viszonylatok milyen gyakoriak. A viszonylatok relatív gyakoriságát a következő táblázat foglalja magában (13. táblázat).

13. táblázat: Relatív viszonylat gyakoriságok

(%)	K	L	St	J
K	0	7,55	21,7	16,04
L	6,6	0	0,94	0,94
St	22,64	0,94	0	2,83
J	16,04	0	3,77	0

Észrevehető, hogy a K épület abszolút központként szerepel, illetve a többi viszonylat is megfelel a korábban mért valós adatoknak.

7.3.1. Hibás eset

A teljesség kedvéért ismertetek egy NOK-os esetet is, hogy lássuk, hol a hiba a generált adatokban. Először tegyük fel, hogy az eset megfelel a feltételeknek. Alkossuk meg a rakott menet mátrixot úgy, hogy a főátlóban nemcsak nulla értékek lehetnek. A korlátozó feltételek ez esetben változatlanok. Az eredményt a 14. táblázat mutatja.

14. táblázat: Rakott menet mátrix (NOK)

	K	L	St	J	Feladás	Szállítási teljesítmény 250
K	6	0	0	0	6	
L	0	0	0	0	0	
St	0	1	0	0	1	
J	0	0	0	1	1	
Leadás	6	1	0	1		

Az eredmény jónak tűnik, készítsük el a munkamátrixot (15. táblázat).

15. táblázat: Munkamátrix (NOK)

	K	L	St	J
K	6	0	0	0
L	0	0	1	0
St	0	0	0	0
J	0	0	0	1

Ezután készítsük el a szállítási mátrixot úgy, hogy a főátlóban csak nullák szerepelhetnek. A korlátozó feltételek ebben az esetben is változatlanok. A Solver hibára futott, nincs létező megoldás a korlátozó feltételek mellett és a következő táblázattal tér vissza (16. táblázat).

16. táblázat: Szállítási mátrix (NOK)

	K	L	St	J	Feladás	
K	0	1	0	1	2	
L	0	0	0	0	0	
St	1	0	0	0	1	
J	1	0	0	0	1	<i>Szállítási teljesítmény</i> 2050
Leadás	2	1	0	1		

Látható, hogy még négy darab tranzakció hiányzik, amit a K-K metszetbe illesztve megkapnánk optimális megoldásnak, de ezzel a főátló nulláira vonatkozó korlátozó feltétel sérülne. Mivel az egész probléma esetén az volt az egyik alapfeltevésünk, hogy csomópont saját magának nem küld dokumentumot, így ez az eset valóban nem helyes, annak ellenére, hogy a feladási és leadási mennyiségek összege egyenlő.

Esetleges megoldás lehetne, ha felvennénk egy fiktív helyet, ahová a hiányzó négy tranzakciót tudnánk programozni. Ez viszont számunkra nem lenne előnyös, hiszen az a célunk, hogy ezt a négy csomópontot modellezzük, mint rendszert és nem a rendszeren kívülieket. Továbbá a mérés szempontjából is probléma lenne, hogy a fiktív helyet hogyan modellezzük, milyen távol legyen a csomópontoktól stb. Tehát ellentmondásra jutottunk a számolás során, így bebizonyosodott, hogy ez a generált napi igény nem helyes.

8. Drónokkal támogatott dokumentumáramlás mérés

A mérés 2021.10.28-án zajlott le Dunaharaszti egyik külterületén, az 510-es számú főút mellett. A mérés során a 6.5. alfejezetben ismertetett drónt, felépítményt és szállítási egységet használtuk. A mérésvezető én voltam, továbbá a mérésben részt vett Dr. Bóna Krisztián, Dr. Kovács Gábor és Meglécz Péter.

A mérés során a célunk az volt, hogy a 13.6. számú mellékletben lévő menetrendek teljesítési időszükségletét meghatározzuk. Egyaránt rendkívül lényeges kitűzésünk volt, hogy megfigyeljük a szerkezet viselkedését az alkalmazott szállítási egységgel, továbbá, hogy a rendszer félautomata működését is teszteljük. Az ehhez szükséges mérőlapot saját magam készítettem el, melynek a részlete a 13.7. számú mellékletben látható. A vizsgálat során időt, mint paramétert mértük, de mindemellett a környezetet és a drónt is megfigyeltük. A mérés során az időjárási körülmények ideálisak voltak. Ilyen vagy ehhez hasonló tesztet még nem sokan készítettek.

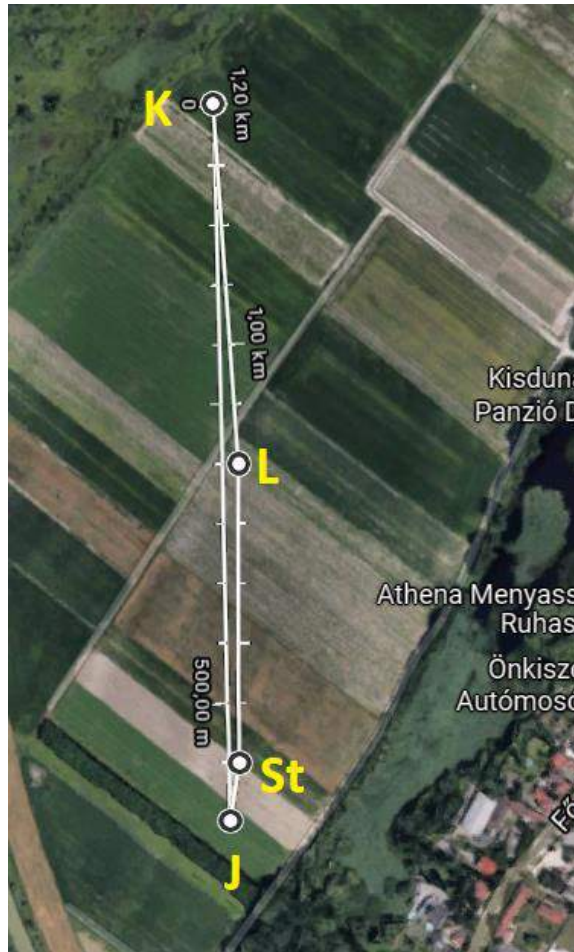
8.1. Mérés leírása

A szállítási egységek a nap elején össze vannak állítva és le vannak zárva a megfelelő dokumentum mennyiséggel (100 gramm = 20 db A4-es lap), így a menetrend során csak szállítási egységet kell cserélni és nem dokumentumokat. A szállítási egység oldható gyorskötözővel van rögzítve a felépítményhez, valamint a drón az előre megadott menetrend szerint közlekedik.

A mérés helyszínén megtörténik a leszállóhelyek pontos kijelölése, a korábban megállapított GPS koordináták alapján. A pontos koordinátákat a 17. táblázat foglalja magában. A csomópontok elhelyezkedése az alábbi ábrán látható (11. ábra), a távolságuk pedig a valóságot tükrözi (6. táblázat).

17. táblázat: Csomópontok GPS koordinátái

Épület	Hosszúság	Szélesség
K	K.H. 19.0739837	É.SZ. 47.3524258
L	K.H. 19.0742646	É.SZ. 47.3497202
St	K.H. 19.0742570	É.SZ. 47.3474731
J	K.H. 19.0741579	É.SZ. 47.3470330



11. ábra: Mérés helyszíne (Forrás: <https://www.google.com/maps/>)

Mivel a talaj egyenetlennek bizonyult, ezért faroslemezről, illetve kartonlapból készítettünk a drónnak leszállóhelyet, melyre biztonságosan le tud majd szállni. A leszállóhelyek az épületeknek megfelelően vannak jelölve, az alábbi módon (12. ábra). A leszállóhelyek mérete 95 cm x 128 cm.



12. ábra: L csomópont leszállóhelye

A leszállóhelyeknél az előre meghatározott és összeállított szállítási egységek rendelkezésre állnak. Továbbá a mérőember rendelkezik a leszállóhelyeknél a mérőlappal, melyre a mért adatokat rögzíti és látja az aznapi összes szállítási feladatot, írotáblával, íróeszközzel, valamilyen időmérő és kommunikációs eszközzel. A nagy távolságok miatt a kommunikáció nehézkes, így ez az előre megbeszélt kézjelek alapján történik.

A rendszer szempontjából az 1. táblázatban szereplő 7. lépcsőfokot szimuláltuk. A drónba előre voltak programozva a repülési viszonylatok koordinátái, így a felszállás előtt már csak a megfelelő viszonylatot kellett kiválasztani a drónpilótának. A drón így automatikusan végzi a felszállást, a leszállást és a repülést, tehát a drónpilótának egy felügyelő/irányító szerepe lesz. A drón a mérés során a csomópontok között 50 méter magason 5 m/s sebességgel repül.

A menetrend elején az induló állomáson a mérőember felapplikálja a szállítási egységet a felépítményre, jelez kézjellel, hogy elkészült, közben hátralép. A drónpilóta látja a jelzést, majd megkezd a felszállást és a mérőember feljegyezi a drón indulási idejét.

A célállomáson lévő mérőember már várja a drón érkezését, a drónpilóta megkezd a leszállást. Ha szükséges a mérőember a drón alá igazítja a leszállóhelyet a biztonságos leszállás érdekében. A mérőember rögzíti az érkezés időpontját. Ha a drón leszállt a drónpilóta leállítja a rotorokat, így a mérőember biztonságosan le tudja applikálni a szállítási egységet, illetve, ha szükséges felszereli a következő viszonylatra szánt szállítási egységet. Ha kész van a mérőember az operációval jelez a drón pilótának, majd hátralép. A pilóta látja a jelzést és megkezd a felszállást, majd a repülést a következő célállomás felé. Ez a folyamat mindaddig ismétlődik, amíg az összes aznapi szállítási feladat nem teljesül.

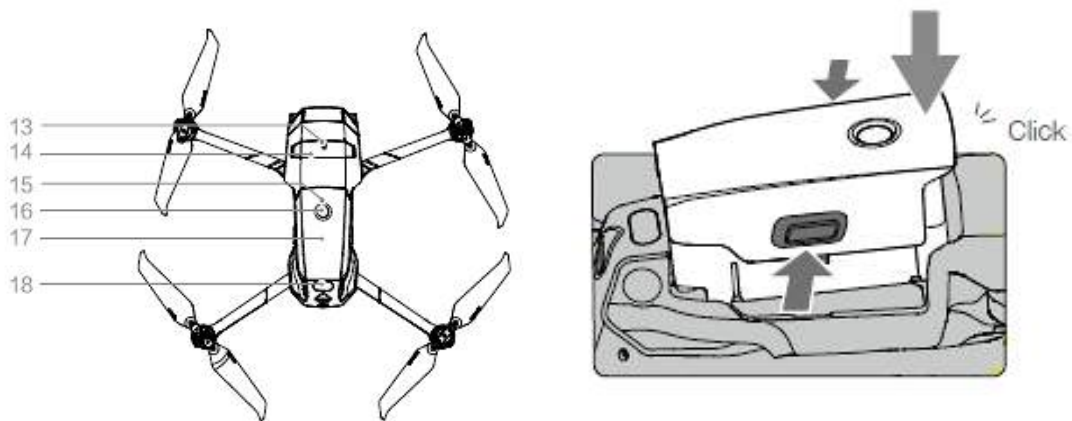
Ha az összes feladat elvégzésre kerül a drón és a mérőemberek is visszatérnek a központba, ahol a szállítási egységek összegyűjtésre kerülnek. Megtörténik a menetrend rövid szóbeli értékelése, ha szükséges akkumulátorcsere, majd a következő menetrend teljesítéséhez szükséges szállítási egység mennyiségek kiosztásra kerülnek, a mérőemberek visszatérnek a kijelölt csomópontokhoz és megkezdődik a következő menetrend végrehajtása.

Ha az állomás nem rendelkezik szállítási egységgel, de a drón rakottan érkezik és rakottan repül a következő állomásra, akkor a mérőember leszereli, majd visszaszereli a

szállítási egységet, hogy tudjuk mérni az operációs időt. Ha a drón rakottan érkezik, de üresen repül tovább a következő célállomásra, akkor értelem szerűen a mérőembernél marad a szállítási egység.

8.2. Kiértékelés

A mérés során hamar világossá vált számunkra, hogy a szűk keresztmetszet a drón akkumulátora. A mérésen 4 db akkumulátorral rendelkezünk, melyekből az elsőt a menetrend (10. táblázat) 4. viszonylatán (kb. 10 perc után) cserélni kellett, a másodikat pedig a 7. viszonylaton (az előző csere után 17 perccel). A drón a menetrend maradék viszonylatát akkumulátorcsere nélkül tudta teljesíteni. A 13. ábra baloldali része jelöli felülnézetben az akkumulátor helyét (17-es számú), a jobb oldali rész pedig magát az akkumulátorcsere szemlélteti.



13. ábra: Drón akkumulátorának elhelyezkedése és cseréje (Forrás: [23])

Az ábrán az akkumulátorcsere folyamat egyszerű, de az esetünkben a cseréhez a felépítményt is le kell szerelni, hogy hozzá lehessen férni az akkumulátorhoz, majd újból vissza kell szerelni. Nyilvánvalóan a felépítmény formai kialakítása még nem tökéletes, hiszen még csak egy pilot rendszerről beszélünk

A mérés során a drón stabilan repült a felépítménnyel és a szállítási egységgel. A repülés teljesítése után a mért összes viszonylat darabszámát és relációját a 18. táblázat foglalja magában.

18. táblázat: Mért viszonylatok (db)

Rakott	K	L	St	J
K	0	2	1	3
L	1	0	1	
St	2		0	1
J	2	1		0
Üres	K	L	St	J
K	0		1	
L	1	0		1
St		1	0	
J	1		1	0

Amint látható üres és rakott menet szerint történt csoportosítás, de a kölcsönös relációkat (pl. K-L, L-K) azonosnak tekintettük, a repülési idők igen kicsi (pár másodperc) szórása miatt. Így egy egyszerű főátlóra való tükrözéssel megkaphatjuk az összes értéket.

A mérés után a csomópontok mérőlapjait összefésülve meg lehet határozni, hogy a viszonylat teljesítése a drónnak mennyi időt vett igénybe, illetve a csomópont indulási és érkezési idejét kivonva egymásból megkapjuk az operációs időt, mely a szállítási egység, illetve az akkumulátorcsere idejét jelenti. Az így mért és kiszámolt értékek a 13.8. számú mellékletben láthatóak.

A mért adatok alapján, ahol egy viszonylathoz több mért repülési idő is szerepelt átlagoltam az időket, illetve szórást számoltam. A kapott eredményeket a 13.9. számú melléklet tartalmazza. Így az egyes viszonylatokhoz meg tudtam határozni a rakott és üres menetek repülési idejeit, melyet a 19. táblázat és a 20. táblázat mutat. Ezekkel az időkkal, már bármilyen menetrend időszükséglete jó közelítéssel meghatározható.

19. táblázat: Mért repülési idők (Rakott menet)

[p:mp]	K	L	St	J
K	0	02:14	02:57	03:22
L	03:26	0	02:01	02:16
St	03:14	02:01	0	01:34
J	03:32	02:16	01:34	0

20. táblázat: Mért repülési idők (Üres menet)

[p:mp]	K	L	St	J
K	0	02:15	02:56	03:20
L	02:15	0	01:54	02:01
St	02:56	01:54	0	01:25
J	03:20	02:01	01:25	0

Az rögtön látható, hogy nincs nagy különbség (átlagosan 10 másodperc) a rakott menet ideje és az üres menet ideje között, kivéve az L-K viszonylatot, ahol a több mint egy perces különbséget a leszállóhely pozicionálása okozta. A pontos időbeli különbségeket a 13.10. számú melléklet szemlélteti. A 19. táblázat és a 20. táblázat értékei alapján a szimulált menetrend 34,5 percet vett igénybe (kétszeri akkumulátorcserével).

A továbbiakban az operációs időket vizsgáltam. A mérés során az akkumulátorcsere miatt lett kiugró adat, ezeket a további számítások során kiszűrtem a nagymértékű felfelé torzítás miatt. Így tehát a szűrt adatokról elmondható, hogy az operációs idő, mely a szállítási egység cseréjét tartalmazza, átlagosan 52 másodpercet vett igénybe, szórása 12 másodperc. Az akkumulátorcsere időszükséglete normál üzemi körülmények között 1 perc.

8.2.1. Drón által rögzített adatok

Egyes viszonylatok esetében a drón maga is rögzített adatokat [23], melyek ugyanúgy kiértékelésre kerültek. A mért viszonylatok a következők:

- L-St – Rakott
- St-J – Rakott
- J-L – Rakott
- K -St – Üres
- L-J – Üres
- J- K – Üres

Továbbá az alábbi adatok kerültek rögzítésre:

- Hosszúság
- Szélesség
- Gyorsulás
- Sebesség
- Gép hőmérséklet
- Repülési távolság

- GPS: Hosszúság
- GPS: Szélesség
- Idő
- GPS: Műholdak száma
- GLONASS műholdak száma
- Összes műhold száma
- Kontroller mód
- Akkumulátor töltöttség

A drón által mért időkből meg tudtam állapítani, hogy a rögzített viszonylatokat mennyi idő alatt teljesítette. Ezeket később össze lehet hasonlítani a mérőember által mért repülési időekkel. Ennek meghatározásához a kontroller mód adatot hívtam segítségül, hiszen ebből láttam, hogy éppen mit is „csinált” a drón (Engine Start, Auto Landing, Auto Takeoff stb). A drón által mért viszonylat repülési időket a 21. táblázat és a 22. táblázat tartalmazza.

21. táblázat: Drón által mért viszonylat repülési idők (Rakott menet)

[p:mp]	K	L	St	J
K	0			
L		0	02:24	
St			0	01:21
J		02:26		0

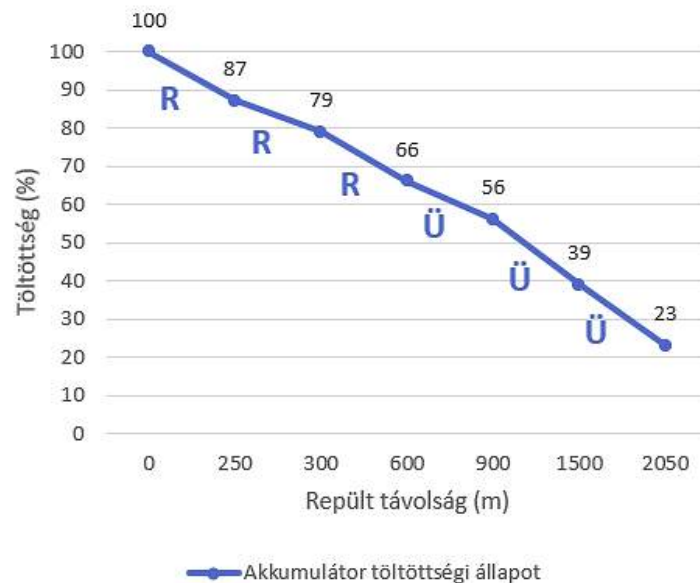
22. táblázat: Drón által mért viszonylat repülési idők (Üres menet)

[p:mp]	K	L	St	J
K	0		03:07	
L		0		02:08
St			0	
J	03:18			0

A drón által mért, illetve a mérőember által mért értékek különbsége 10-20 másodperc. Így elmondható, hogy az emberrel végzett mérések is relatív pontosak. A pontos időbeli különbségek a 13.11. számú mellékletben szerepelnek.

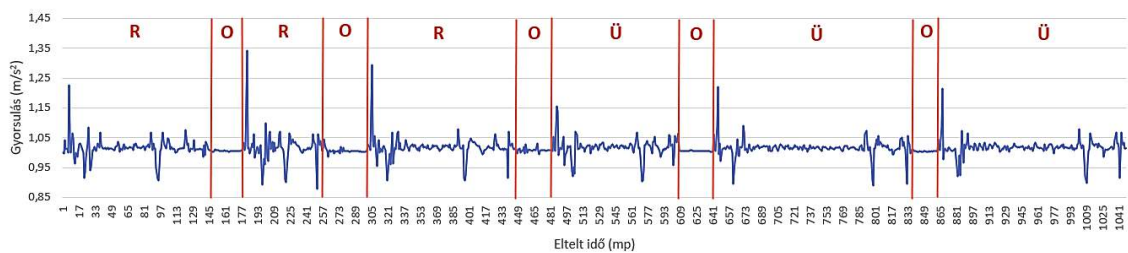
A drón által mért adatokból megvizsgáltam, hogy hogyan alakul az akkumulátor töltöttségi szintje a repült távolság függvényében, ezt a 14. ábra szemlélteti. Látható, hogy nagyjából lineárisan csökken a repült távolság függvényében a töltöttségi szint. Az egyes mért pontok között a menettípus van feltüntetve (R-rakott, Ü-üres). Egyértelműen látszik,

hogy a pilót rendszer esetében az akkumulátor a szűk keresztmetszet és amíg nem fejlődik tovább az akkumulátor technika, addig nem lehet 15-20 percnél többet repülni a drónnal.

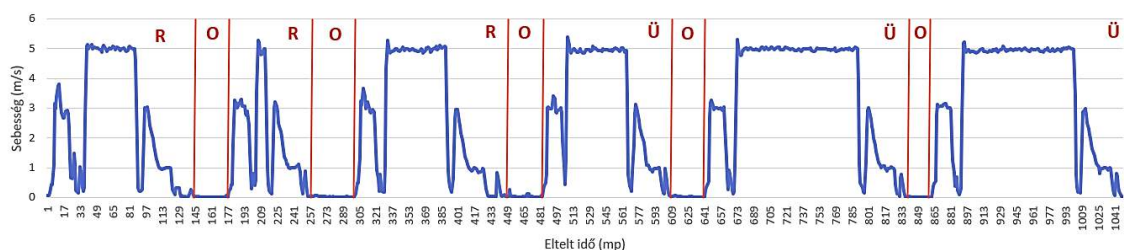


14. ábra: Drón akkumulátor töltöttségi állapota

Továbbá megvizsgáltam, hogyan változik a drón gyorsulása, illetve sebessége az eltelt idő függvényében. Ezt szemlélteti a 15. ábra és a 16. ábra. Az ábrák nagyobb méretben megtekinthetők a 13.12. és a 13.13. számú mellékletben. A diagramon szereplő jelölések a menettípust (R, Ü), illetve a két menet közötti operációt (O) jelentik, a függőleges piros vonalak, pedig a menethatárokat.



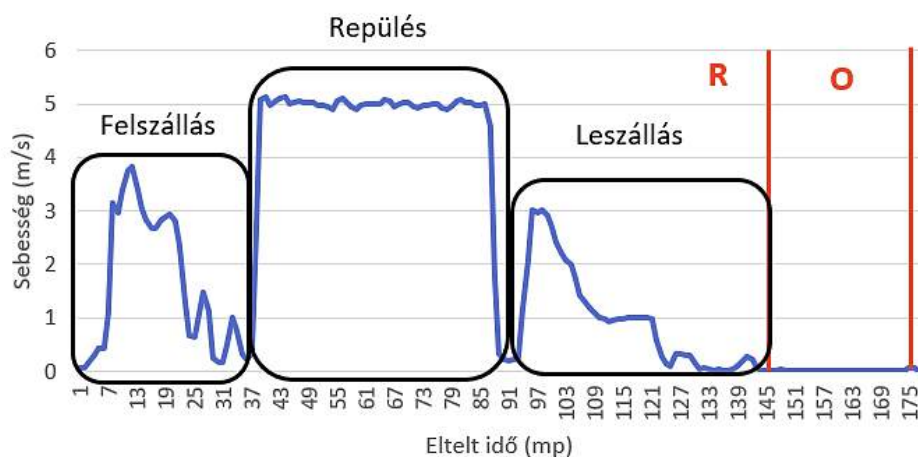
15. ábra: Drón gyorsulása



16. ábra: Drón sebessége

Ami látható, hogy a gyorsulásnál mindig a viszonylat elején van egy kimagasló érték. Ez időben akkor történik, amikor a drón már függőlegesen felszállt, elérte a repülési magasságot (50 m), és elkezdi a maximális sebességgel (5 m/s) a vízszintes repülést a két csomópont között. A kiugrás értéke átlagosan 18 százalékkal nagyobb, mint az ezt megelőző érték, valamint az átlagos gyorsulás $1,014 \text{ m/s}^2$, szórása $0,03 \text{ m/s}^2$. Az operációs időben pedig szinte stagnál a gyorsulás.

A sebességnél viszont szépen kirajzolódik mi történik éppen. A menet elején lévő kisebb kiugrás a felszállást, a vízszintes rész a két csomópont közötti repülést, míg a menet végén lévő kiugrás pedig a leszállást jelenti. Ezt ábrázolja a 17. ábra. Az operációs időben szintén stagnál az érték. A diagramon látható, R és O jelölések, ugyanúgy a rakott menetet és az operációt jelentik.

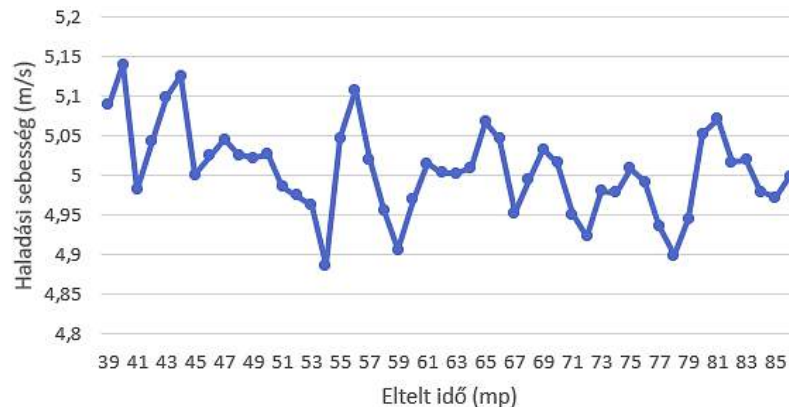


17. ábra: Menet összetétel (sebesség)

Az is megfigyelhető, hogy a leszállás több időt vett igénybe, mint a felszállás, nyilván ez az esetleges pozicionálásból ered, illetve a drón kisebb sebességgel süllyed, mint amivel emelkedik [23]. A repülés szakasz előtti két közel nulla érték, abból következik, amikor a drón elérte a repülési magasságot, akkor megáll, a repülési irányába fordul és úgy indul tovább. A leszállás előtt azért több ez a várakozás, mert a drónpilótának jelez a drón, hogy megérkezett a beprogramozott koordinátára és utasítást kell adni, hogy leszálljon. Az átlagsebesség $2,5 \text{ m/s}$, szórása $2,11 \text{ m/s}$, ami a menetek szakaszosságából adódik ilyen nagy értékek.

A repülés szakaszában jól látható, hogy a drón maximális haladási sebessége hogyan ingadozik, hiszen a drón folyamatosan szabályozza magát, hogy tudja tartani az adott sebességen való haladást. Az első rakott viszonylat esetében ez a haladási sebesség ingadozás a következőképpen alakul (18. ábra). Látható, hogy a sebesség aktuális értéke

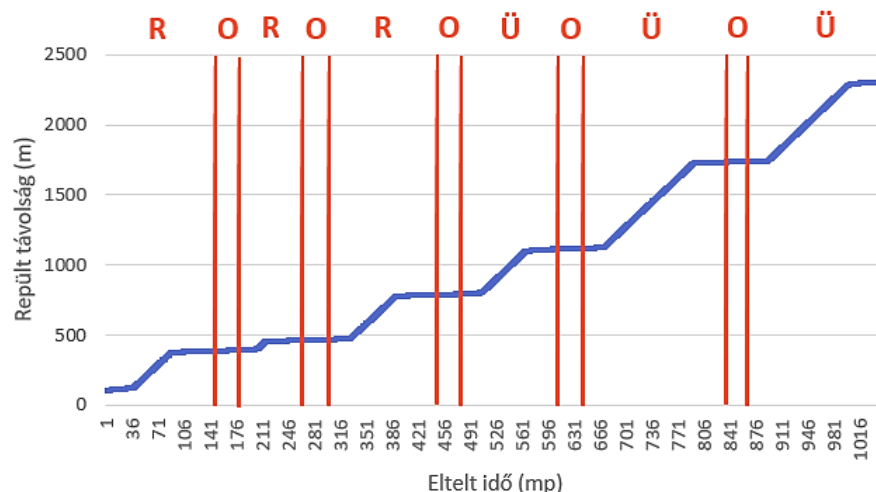
egy elég szűk tartományban mozog. A tartomány szélessége 0,26 m/s, maximuma 5,14 m/s, minimuma 4,88 m/s.



18. ábra: Drón haladási sebességének ingadozása

Az 5 m/s maximális sebesség nem mondható nagy sebességnek, ennél a szerkezet többre is képes, de azért kellett lekorlátozni, mert nem rendelkezünk még tapasztalattal, hogyan fog a drón repülni a szállítási egységgel ilyen magasságban félautomata irányítással. A szerkezet egyszerű, amit a pilot projekt keretében alkalmassá tettünk arra, hogy ilyen szállítási feladattal megbirkózzon.

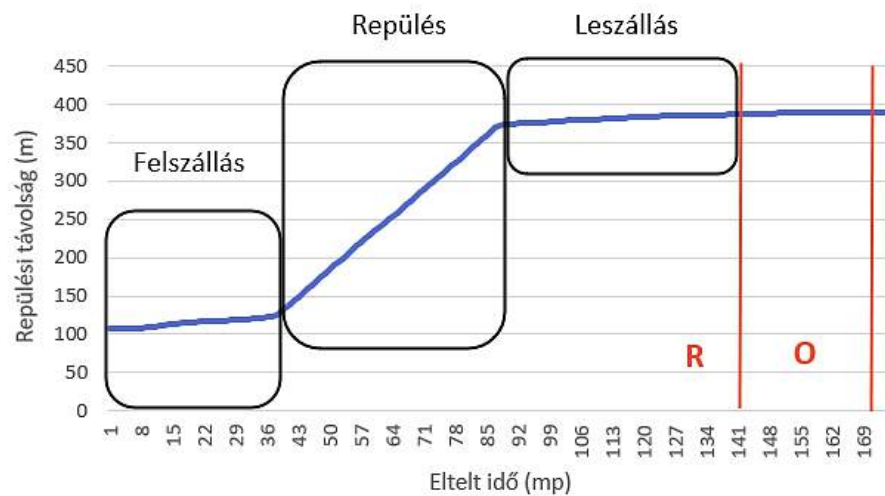
A drón által repült távolságot is vizsgáltam az eltelt idő függvényében, ezt szemlélteti a 19. ábra. A diagramon lévő jelölések a menettípust és az operációt jelentik ugyanúgy, mint az előző ábrákon.



19. ábra: Drón által repült távolság

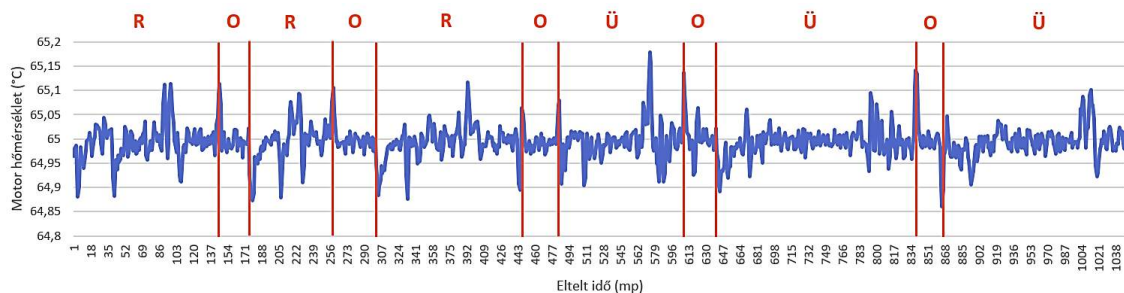
Látható, hogy a repülési távolság lépcsőzetesen egyre jobban növekszik és egy lépcsőfok ugrása jelenti a viszonylat megtételét. Egy menet, ahogyan a sebességnél is

említettem, három részből áll: felszállás, repülés, leszállás. Ez a három fázis ezen az ábrán is szépen megmutatkozik. Az első lassan emelkedő rész a felszállást jelenti, az utána lineárisan növekvő rész a repülést, majd szintén a lassan emelkedő rész pedig a leszállást (20. ábra). A felszállásnál és leszállásnál azért tapasztalható a lassú emelkedés, mert a drón a függőleges (z) irányú magasságváltozást is rögzítette, nemcsak a vízszintes (x) irányút. Hiszen a viszonylatteljesítés abból áll, hogy függőlegesen felszáll a drón, a repülési irányba fordítja magát, elindul, majd elérkezik a kijelölt koordinátára, utasítást kell adni, hogy leszálljon és megkezdje a függőleges süllyedést.



20. ábra: Menet összetétel (távolság)

Végezetül a drón villany motorjának hőmérséklet változását elemeztem az eltelt idő függvényében (21. ábra), a látható jelölések (R, Ü, O), mint a többi esetben a rakott menetet, az üres menetet és az operációt jelentik. A diagram megtekinthető nagyobb méretben a 13.14. számú mellékletben.



21. ábra: Drón villanymotor hőmérséklete

Leolvasható a diagramról, hogy az átlag hőmérséklet közel 65 °C. A villanymotorok normál üzemi hőmérséklete 60-70 °C között alakul, tehát elmondható, hogy a drón motorjának a mérés során normál üzemi hőmérséklete volt. Ebből arra lehet

következtetni, hogy a drón a plusz 290 grammos túlterheléssel (felépítmény és szállítási egység) sem fog túlelni a menetrend teljesítése során. A mért értékek ebben az esetben is egy szűk tartományban mozognak, melynek szélessége 0,31 °C. Ami még észrevehető, hogy az operációs idő elején a hőmérséklet magas volt, majd hirtelen lecsökkent, amikor feltételezhetően megállt a motor, a végén pedig alacsonynak bizonyult. Továbbá a menet teljesítésekor a kiugró értékek rendre a leszállási fázis elején történtek, amikor a drón a levegőben érkezik a megadott koordinátára, megáll és várja a leszállási utasítást.

8.2.2. Kézből való összehasonlítás (Rendszeren belül)

Érdekes lehet a drón és a kézből összehasonlítása, hiszen a projekt egyik célja, hogy a kézből a drónnal kiváltsuk. A kiértékelés során összehasonlítottam egy a kézből mérésből származó körjáratot, hogy a drón a kapott repülési idők alapján (19. táblázat és a 20. táblázat) mennyi idő alatt tudná teljesíteni. A vizsgált körjáratot a 23. táblázat mutatja. Amiatt választottam ezt a menetrendet, mert nem tartalmaz a mérés során vizsgált rendszeren kívüli tranzakciókat.

23. táblázat: Vizsgált kézből körjárat (Rendszeren belül)

Sorszám	Esemény	Induló szervezeti egység	Indulás időpontja [óra:perc]	Cél szervezeti egység	Érkezés időpontja [óra:perc]
1	Leadás	DH	12:29	ALRT	12:38
	Feladás	Történt a célállomáson iratfeladás? nem			
2	Leadás	ALRT	12:38	VRHT	12:45
	Feladás	Történt a célállomáson iratfeladás? nem			
3	Leadás	VRHT	12:46	GJT	12:48
	Feladás	Történt a célállomáson iratfeladás? nem			
4	Leadás	GJT	12:49	DH	13:03
	Feladás	Történt a célállomáson iratfeladás? nem			

Továbbá az egyes szervezeti egységeken leadott irattömeget a 24. táblázat szemlélteti.

24. táblázat: Célállomáson leadott irattömeg (Rendszeren belül)

Szervezeti egység	Leadott irattömeg (gramm)	Szállítási egység szám (db)
ALRT	130	1
VRHT	100	1
GJT	90	1

A 23. táblázatból látható, hogy egyik szervezeti egységnél sem történt irat feladás, illetve a kézbesítőnek ez egy Dékáni Hivatal délutáni terítő járata volt. Továbbá kiszámolható, hogy a járat teljesítése 34 percet vett igénybe. A 24. táblázat harmadik oszlopából láthatjuk, hogy a leadott irattömegek a pilot rendszer esetében hány darab szállítási egységet jelentenek, ez fogja megadni a szállítási relációkat. Ez alapján összeállítható a fel- és leadások száma a csomópontok esetén. A feladás esetében a K csomópont 3 db egységet ad fel, a többi csomópont pedig nullát. A leadás tekintetében az L csomópont 1 db egységet, a J csomópont pedig 2 db egységet kap, a többi csomópontnál nem történik leadás. Eszerint összeállítható a drón menetrendje a 7.3. alfejezetben leírt módon és a változatlan korlátozó feltételek mellett. Az optimális megoldást nyújtó mátrixot a 25. táblázat tartalmazza.

25. táblázat: Rakott menet mátrix (Rendszeren belül)

	K	L	St	J	Feladás	<i>Szállítási teljesítmény</i> 1500
K	0	1	0	2	3	
L	0	0	0	0	0	
St	0	0	0	0	0	
J	0	0	0	0	0	
Leadás	0	1	0	2		

Észrevehető, hogy annak ellenére, hogy nem volt külön feltételként kikötve, hogy a főátlóban csak nulla elemek szerepelhetnek még sincs a főátlóban programozott elem. A munkamátrix alakulását a 26. táblázat szemlélteti. Piros félkövérrel vannak jelölve az üres menetek.

26. táblázat: Munkamátrix (Rendszeren belül)

	K	L	St	J
K	0	0	0	0
L	1	0	0	0
St	0	0	0	0
J	2	0	0	0

A következő lépés a szállítási mátrix meghatározása. Mivel a 25. táblázatban a főátlóban csak nulla elemek szerepelnek, így a szállítási mátrix ebben az esetben megegyezik a rakott menet mátrixszal. Ekképpen a drón menetrendje a pilot rendszerben a következőképpen alakulna (27. táblázat), feltüntetve az utolsó oszlopban, hogy az adott viszonylat mennyi időt venne igénybe a 19. táblázat és a 20. táblázat alapján.

27. táblázat: Menetrend (Rendszeren belül)

Honnan	Hová	Menettípus	Szükséges idő [p:mp]
K	L	<i>Rakott</i>	02:14
L	K	<i>Üres</i>	02:15
K	J	<i>Rakott</i>	03:22
J	K	<i>Üres</i>	03:20
K	J	<i>Rakott</i>	03:22
J	K	<i>Üres</i>	03:20

A drón a menetrendet 19 perce alatt teljesítené, míg a kézbesítő 34 perc alatt végezte el. Az adatok alapján elmondhatjuk, hogy a drón 15 perccel kevesebb idő alatt hajtaná végre a járatot, mint a kézbesítő. A mérés tapasztalata alapján továbbá a drónnak egyszer kellene akkumulátort cserélni, mely üzemi körülmények között 1 percet jelent. Ez az akkumulátorcsere idő már beletartozik a 19 perces járatteljesítési időbe.

Nagyobb iratmennyiségek esetén viszont a szállítási egységek száma nőni fog (a lekorlátozás miatt) és a drónnak több időbe telne teljesíteni a menetrendet, mint a kézbesítőnek. Ennek megfelelően nem állíthatjuk azt, hogy a drón minden esetben kevesebb idő alatt hajtaná végre a menetrendet, mint a kézbesítő. Ez a rendszernek nem feltétlen célja, mert úgymond a drón fog „dolgozni” a kézbesítő helyett. Emellett az is lényeges, hogy a kézbesítői munka egy olyan feladat, ami kiváltható géppel. A drón ki tudja használni a teljes napot a dokumentumok szállítására, tehát egy folyamatos áramlást

tud fenntartani a nap során. Ugyanakkor ez csak a technológia függvénye, aminek egy fontos attribútuma a sebesség, amivel a drónt engedjük repülni.

8.2.3. Kézbesítővel való összehasonlítás (Rendszeren kívül)

Érdemes lenne egy olyan esetet is megvizsgálni, mikor a kézbesítő nemcsak a rendszeren belüli egységeket szolgálja ki, hanem a rendszeren kívüli igényeket is. Egy átlagos forgalmú napot vettem példának a korábban végzett kézbesítői mérésből, melyben szerepelnek a rendszeren kívüli egységek is. Az összehasonlítási alap itt is az idő lesz. A vizsgált körjárat a 13.15. számú mellékletben tekinthető meg. A körjáratot a kézbesítő 1 óra 35 perc alatt teljesítette. Az egységeken leadott és feladott dokumentum mennyiséget, valamint a szállítási egységek számát az alábbi táblázat tartalmazza (28. táblázat).

28. táblázat: Célállomáson leadott irattömeg (Rendszeren kívül)

Szervezeti egység	Leadott irattömeg (g)	Feladott irattömeg (g)	Leadott szállítási egység (db)	Feladott szállítási egység (db)
ALRT	0	10	0	1
KUKG	10	0	1	0
MTK	190	0	2	0
JSZT	60	0	1	0
VRHT	150	30	2	1
GJT	130	340	1	3
ÜZO	10	0	1	0
PÜ	20	0	1	0
JI	70	0	1	0
PÜ	90	0	1	0
KK	230	0	2	0

A rövidítések jelentései a 13.1. számú mellékletben találhatóak. A kézbesítő járata egy Dékáni Hivatal délelőtti terítő járat volt. A két PÜ állomást, két külön osztálynak értelmezzük, ennek megfelelően külön kezeljük őket. A szállítási feladatok pedig kiolvashatóak, hogy az L épületben nem történik leadás, a K épületből az St épületbe összesen 4 db egységet kell szállítani, a J épületbe 3 db, az A épületbe 4 db az R épületbe pedig 2 db leadás történik. A feladások tekintetében az L épület felad 1 db egységet, valamint a J épület összesen 4 db egységet a K épületnek. Ezekkel a relációkkal már összeállítható a drón menetrendje, viszont a korábbi táblázatot (6. táblázat) ki kell

egészíteni a hiányzó két épület távolságértékeivel. Ezt a következő táblázat szemlélteti (29. táblázat).

29. táblázat: Csomópontok közötti távolságok (Rendszeren kívül)

[m]	K	L	St	J	A	R
K	0	300	550	600	700	750
L	300	0	250	300	350	500
St	550	250	0	50	230	270
J	600	300	50	0	180	220
A	700	350	230	180	0	400
R	750	500	270	220	400	0

A PÜ, ÜZO és JI egységek az A épületben, míg a KK egység az R épületben található. Ennek a táblázatnak a mintájára bővíteni fognak a menetrend megalkotásához használt mátrixok is. A fentebb említett szállítási feladatok alapján a rakott menet mátrix a következőképpen alakul (30. táblázat). A probléma megoldásához használt korlátozó feltételek ebben az esetben is változatlanok.

30. táblázat: Rakott menet mátrix (Rendszeren kívül)

	K	L	St	J	A	R	Feladás
K	5	0	4	0	3	1	13
L	0	0	0	0	1	0	1
St	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0	3	0	1	4
A	0	0	0	0	0	0	0
R	0	0	0	0	0	0	0
Leadás	5	0	4	3	4	2	

Szállítási teljesítmény
5620

A munkamátrixot a 31. táblázat mutatja, piros félkövérrel kiemelve benne az üres meneteket.

31. táblázat: Munkamátrix (Rendszeren kívül)

	K	L	St	J	A	R
K	0	0	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0
St	4	0	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0
A	3	1	0	0	0	0
R	1	0	0	1	0	0

A következő lépés a szállítási mátrix meghatározása (32. táblázat) ugyanolyan feltételek mellett, mint a 7.3. alfejezetben.

32. táblázat: Szállítási mátrix (Rendszeren kívül)

	K	L	St	J	A	R	Feladás
K	0	0	4	3	4	2	13
L	1	0	0	0	0	0	1
St	0	0	0	0	0	0	0
J	4	0	0	0	0	0	4
A	0	0	0	0	0	0	0
R	0	0	0	0	0	0	0
Leadás	5	0	4	3	4	2	

Szállítási teljesítmény
11000

A szállítási teljesítmény jelentősen növekedett, majdnem a duplájára az optimális megoldáshoz képest. A hiányzó relációkhoz a 19. táblázat és 20. táblázat időértékeit arányosítottam a távolság függvényében, ezt mutatja a (33. táblázat és 34. táblázat). A jövőbeni menetrend alkotáshoz mindenképpen szükséges ezen hiányzó relációk időértékeinek mérése.

33. táblázat: Hiányzó viszonylat repülési idők (Rakott menet)

[ó:p:mp]	K	L	St	J	A	R
K	0	0:02:14	0:02:57	0:03:22	0:03:55	0:04:12
L	0:03:26	0	0:02:01	0:02:16	0:02:39	0:03:47
St	0:03:14	0:02:01	0	0:01:34	0:01:51	0:02:11
J	0:03:32	0:02:16	0:01:34	0	0:01:22	0:01:40
A	0:03:55	0:02:39	0:01:51	0:01:22	0	0:03:01
R	0:04:12	0:03:47	0:02:11	0:01:40	0:03:01	0

34. táblázat: Hiányzó viszonylat repülési idők (Üres menet)

[ó:p:mp]	K	L	St	J	A	R
K	0	0:02:15	0:02:56	0:03:20	0:03:53	0:04:10
L	0:02:15	0	0:01:54	0:02:01	0:02:21	0:03:22
St	0:02:56	0:01:54	0	0:01:25	0:01:45	0:02:03
J	0:03:20	0:02:01	0:01:25	0	0:01:13	0:01:29
A	0:03:53	0:02:21	0:01:45	0:01:13	0	0:02:41
R	0:04:10	0:03:22	0:02:03	0:01:29	0:02:41	0

A megalkotott menetrend a 13.16. számú mellékletben látható. A járat során hétszer lesz szükség az akkumulátor cserére, így a drón által a menetrend teljesítése összesen 1 óra 41 percet venne igénybe, pontosan 8 perccel többet, mint a kézbesítőnek.

Összegzésképp a mérés sikeresnek mondható, hiszen egyrészt kaptunk információt a drón repülési idejére vonatkozóan, másrészt a rendszer működését is megtapasztaltuk a félautomata irányítás mellett. Fontos kimenetként megtudtuk határozni az egyes relációk repülési időigényét, valamint a repülés fizikai paramétereit. A mérés során a drón az adott időjárási körülmények között stabilan tudott repülni a felépítménnyel és a szállítási egységgel. A kézbesítővel való összehasonlításból eredményeképp azt a fontos megállapítást tehetjük, hogy nem minden esetben tudja a drón rövidebb idő alatt teljesíteni ugyanazt a menetrendet, mint a kézbesítő. Ennek egyik oka, hogy a jelenlegi akkumulátor technológia nem eléggé fejlett, hogy a drón több időt tudjon a levegőben tölteni. Azonban a rendszernek nem feltétlen célja a rövidebb menetrend teljesítési idő, mert a drón kiváltja a kézbesítő munkáját és egy folyamatos iratáramlást tud biztosítani a nap folyamán.

9. Konklúzió

A drónokat manapság széleskörben alkalmazhatják különböző feladatok támogatására. Úgy tűnik, hogy a logisztika területén is igen nagy potenciál rejlik a drónok értékteremtő folyamatokba való integrálásában. A dolgozatban egy olyan drónokkal támogatott dokumentumszállítási rendszer koncepciójának alapjait mutattam be, mely akár más területen is adaptálható és nem feltétlenül csak dokumentumok szállítására lehet alkalmas, hanem bárhol, ahol a szállítási feladatok jellege a dokumentumok szállításához hasonló jellegű. A közigazgatásban a dokumentumok jellegéből adódóan a jövőben is szükség lesz a papíralapú dokumentumáramlás megvalósítására, annak ellenére is, ha a digitalizáció hatására egy elektronikus dokumentumkezelési rendszer kerül kiépítésre. Tehát mindenképpen érdemes a nagy volumenű áramlás támogatásával részletesebben is foglalkozni, melyet egy pilot területen végzett méréseink eredményei is alátámasztanak.

A téma nagy kihívást jelent, hiszen számos kérdés merül fel nemcsak rendszerszervezési szinten, hanem technológiai és jogi oldalról is. Többek között emiatt is, az általunk definiált rendszerkonceptió bevezetését elképzeléseink szerint többlépcsős formában célszerű megvalósítani, folyamatos tesztelés, a felmerülő problémák megoldása és az új kihívások detektálása mellett. Csak ez biztosíthatja egy hosszútávon is működőképes, jó megoldás kialakítását, amely jól illeszkedik a mindenkori környezethez, hiszen az említett problémák és kihívások vélhetően az egyes fejlesztési lépések realizációja során kerülhetnek felszínre.

A dolgozat elején bemutatott hipotézis a mérést követően bizonyítást nyert, valóban létrehozható egy működőképes rendszer, melyben a drón szállítja a kézbesítő helyett a dokumentumokat. Természetesen még számos jelentős feladatot kell megoldani, hogy ténylegesen bevezetésre kerüljön, de a jövőbe tekintve a kutatási eredményeink alapján megállapítható, hogy a rendszer működőképes.

A mérés következtében egyértelműen látszik, hogy a drón akkumulátora a szűk keresztmetszet. Míg az akkumulátor technológia nem fejlődik tovább, hogy hogyan lehet még több energiát eltárolni, addig sajnos nem fognak tudni a drónok 15-20 percnél többet a levegőben tölteni. A kutatás további fő irányát éppen emiatt az akkumulátor témaköre jelenti, hogy hogyan lehet a menetrendekhez a leoptimalisabb akkumulátorcsere folyamatot megalkotni. Továbbá komoly kihívás a jelent, hogyan valósítható meg a felépítményt átalakítani úgy, hogy az akkumulátorcsere könnyebb és gyorsabb legyen

akár a szállítási egység formai módosítása mellett. Az akkumulátorok mellett a másik fő irány a továbbiakban, hogy a valós helyszínen megvalósítsuk a drónokkal támogatott dokumentumáramlási rendszert. A jövőben ezeknek a problémáknak a megoldásán fogunk dolgozni.

10. Ábrajegyzék

1. ÁBRA: 2019-ES ÉVI DOKUMENTUMFORGALOM.....	14
2. ÁBRA: ANYAGMOZGATÁSI INTEZITÁSGRÁF [TRANZAKCIÓ/NAP]	14
3. ÁBRA: ANYAGMOZGATÁSI TELJESÍTMÉNYGRÁF [ANYAGMOZGATÁSI TELJESÍTMÉNY/NAP].....	15
4. ÁBRA: HISZTOGRAM A SZÁLLÍTÁSI EGYSÉG TÖMEGÉRE VONATKOZÓAN.....	16
5. ÁBRA: CENTRALIZÁLT (BALRA) ÉS DECENTRALIZÁLT FORGALOMSZERVEZÉS (JOBBRA)	19
6. ÁBRA: ELŐZETES REPÜLÉSI ÚTVONAL	20
7. ÁBRA: LÁTÓTÁVOLSÁG HATÁROK DEFINIÁLÁSA.....	21
8. ÁBRA: A TERVEZETT FELÉPÍTMÉNY PROTOTÍPUSA	23
9. ÁBRA: DECENTRALIZÁLT FORGALOMSZERVEZÉS A PILOT RENDSZER ESETÉBEN	24
10. ÁBRA: TERVEZETT PROTOTÍPUS REPÜLÉS KÖZBEN (FORRÁS: BME ALRT)	24
11. ÁBRA: MÉRÉS HELYSZÍNE (FORRÁS: HTTPS://WWW.GOOGLE.COM/MAPS/).....	38
12. ÁBRA: L CSOMÓPONT LESZÁLLÓHELYE.....	38
13. ÁBRA: DRÓN AKKUMULÁTORÁNAK ELHELYEZKEDÉSE ÉS CSERÉJE (FORRÁS: [23])	40
14. ÁBRA: DRÓN AKKUMULÁTOR TÖLTÖTTSGI ÁLLAPOTA.....	44
15. ÁBRA: DRÓN GYORSULÁSA	44
16. ÁBRA: DRÓN SEBESSÉGE.....	44
17. ÁBRA: MENET ÖSSZETÉTEL (SEBESSÉG).....	45
18. ÁBRA: DRÓN HALADÁSI SEBESSÉGÉNEK INGADOZÁSA.....	46
19. ÁBRA: DRÓN ÁLTAL REPÜLT TÁVOLSÁG	46
20. ÁBRA: MENET ÖSSZETÉTEL (TÁVOLSÁG)	47
21. ÁBRA: DRÓN VILLANYMOTOR HŐMÉRSÉKLETE (FORRÁS: SAJÁT SZERKESZTÉS).....	47

11. Táblázatjegyzék

1. TÁBLÁZAT: EVOLÚCIÓS LÉPÉSEK	22
2. TÁBLÁZAT: DOKUMENTUM GENERÁLÁS PARAMÉTEREI	26
3. TÁBLÁZAT: ÉPÜLETEK TRANZAKCIÓS ADATAINAK ELOSZLÁSA	27
4. TÁBLÁZAT: SZIMULÁCIÓ FELÉPÍTÉSE	28
5. TÁBLÁZAT: GENERÁLT DOKUMENTUM MENNYISÉG	29
6. TÁBLÁZAT: CSOMÓPONTOK KÖZÖTTI TÁVOLSÁGOK	30
7. TÁBLÁZAT: RAKOTT MENET MÁTRIX (MINTAPÉLDA).....	31
8. TÁBLÁZAT: MUNKAMÁTRIX (MINTAPÉLDA).....	31
9. TÁBLÁZAT: SZÁLLÍTÁSI MÁTRIX (MINTAPÉLDA)	32
10. TÁBLÁZAT: MENETREND (MINTAPÉLDA).....	32
11. TÁBLÁZAT: SZÁLLÍTÁSI EGYSÉG SZÁMÁNAK ALAKULÁSA A MENETREND SORÁN I.	33
12. TÁBLÁZAT: SZÁLLÍTÁSI EGYSÉG SZÁMÁNAK ALAKULÁSA A MENETREND SORÁN II.....	34
13. TÁBLÁZAT: RELATÍV VISZONYLAT GYAKORISÁGOK	34
14. TÁBLÁZAT: RAKOTT MENET MÁTRIX (NOK)	35
15. TÁBLÁZAT: MUNKAMÁTRIX (NOK)	35
16. TÁBLÁZAT: SZÁLLÍTÁSI MÁTRIX (NOK)	36
17. TÁBLÁZAT: CSOMÓPONTOK GPS KOORDINÁTÁI.....	37
18. TÁBLÁZAT: MÉRT VISZONYLATOK (DB).....	41
19. TÁBLÁZAT: MÉRT REPÜLÉSI IDŐK (RAKOTT MENET)	41
20. TÁBLÁZAT: MÉRT REPÜLÉSI IDŐK (ÜRES MENET).....	42
21. TÁBLÁZAT: DRÓN ÁLTAL MÉRT VISZONYLAT REPÜLÉSI IDŐK (RAKOTT MENET).....	43
22. TÁBLÁZAT: DRÓN ÁLTAL MÉRT VISZONYLAT REPÜLÉSI IDŐK (ÜRES MENET)	43
23. TÁBLÁZAT: VIZSGÁLT KÉZBESÍTŐI KÖRJÁRAT (RENDSZEREN BELÜL).....	48
24. TÁBLÁZAT: CÉLÁLLOMÁSON LEADOTT IRATTÖMEG (RENDSZEREN BELÜL).....	49
25. TÁBLÁZAT: RAKOTT MENET MÁTRIX (RENDSZEREN BELÜL).....	49
26. TÁBLÁZAT: MUNKAMÁTRIX (RENDSZEREN BELÜL).....	50
27. TÁBLÁZAT: MENETREND (RENDSZEREN BELÜL).....	50
28. TÁBLÁZAT: CÉLÁLLOMÁSON LEADOTT IRATTÖMEG (RENDSZEREN KÍVÜL)	51
29. TÁBLÁZAT: CSOMÓPONTOK KÖZÖTTI TÁVOLSÁGOK (RENDSZEREN KÍVÜL).....	52
30. TÁBLÁZAT: RAKOTT MENET MÁTRIX (RENDSZEREN KÍVÜL)	52
31. TÁBLÁZAT: MUNKAMÁTRIX (RENDSZEREN KÍVÜL)	53
32. TÁBLÁZAT: SZÁLLÍTÁSI MÁTRIX (RENDSZEREN KÍVÜL).....	53
33. TÁBLÁZAT: HIÁNYZÓ VISZONYLAT REPÜLÉSI IDŐK (RAKOTT MENET).....	54
34. TÁBLÁZAT: HIÁNYZÓ VISZONYLAT REPÜLÉSI IDŐK (ÜRES MENET).....	54

12. Irodalomjegyzék

- [1] <https://idegen-szavak-szotara.hu/okirat-jelent%C3%A9se> (megtekintve: 2021.11.05.)
- [2] Létai János (2014): **A drónok alkalmazási lehetőségei a tűzoltói beavatkozások során.** Budapest.
- [3] Woonghee Lee, Joon Yeop Lee, Jiyeon Lee, Kangho Kim, Seungho Yoo, Seongjoon Park, Hwangnam Kim (2018): **Ground Control System Based Routing for Reliable and Efficient Multi-Drone Control System.** School of Electrical Engineering, Korea University, Seoul.
- [4] Iuliana Martin, Myssar Jabbar Hammond Al-Battbootti, Nicolae Goga (2020): **Drone Control based on Mental Commands and Facial Expressions.** University Politehnica of Bucharest. Bucharest.
- [5] Roman Ibrahimov, Evgeny Tsykunov, Vladimir Shirokun, Andrey Somov, Dzmitry Tsetserukou (2019): **DronePick: Object Picking and Delivery Teleoperation with the Drone Controlled by a Wearable Tactile Display.** Intelligent Space Robotics Laboratory, Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow.
- [6] Michelle Sing Yee Hii, Patrick Courtney, Paul G. Royall (2019): **An Evaluation of the Delivery of Medicines Using Drones.** Institute of Pharmaceutical Science, Department of Pharmacy, Faculty of Life Sciences & Medicine, King's College London. London.
- [7] Timothy Amukele, Paul M. Ness, Aaron A.R. Tobian, Joan Boyd, Jeff Street (2016): **Drone transportation of blood products.** Department of Pathology, Johns Hopkins School of Medicine, Baltimore, Maryland.
- [8] Maryam Torabbeigi, Gino J. Kim, Navid Ahmadian, Seon Jin Kim (2021): **An Optimization Approach to Minimize the Expected Loss of Demand Considering Drone Failures in Drone Delivery Scheduling.** University of Houston. Houston.
- [9] Snezana Tadic, Milovan Kovac, Olja Conkorilo (2021): **The Application of Drones in City Logistics Concepts.** Faculty of Transport and Traffic Engineering University of Belgrade. Promet., 33(3), 451-462.
- [10] Davis, S. E., Williams, S. E. & Boundy, R. G (2016): **Transportation Energy Data** Book 35th edition Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge. TN, USA.
- [11] Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945
- [12] Commission Delegated Regulation (EU) 2019/947
- [13] Jeffrey Lewin, Amer Abuhantash (2007): **Computerization of Information and Paper Documents Flow System.** An-Najah National University Nablus-Palestine.
- [14] Scott Olechowksi, Shawn Eldridge, Cayce Ullman (2014): **Processing Encrypted Electronic Documents.** United States Patent.

- [15] Tim Boemker, Mark Keller, Chip Schock, Mark E. Kleingers, Philip E. Huff, Terrance P. Gieske, James D. Gersten, John E. Danner (2013): **Electronic Document Management System**. United States Patent
- [16] Anna Melman, Oleg Evsutin, Alexander Shelupanov (2020): **An Authorship Protection Technology for Electronic Documents Based on Image Watermarking**. Department of Complex Information Security of Computer System, Tomsk State University of Control System and Radioelectronics. Tomsk.
- [17] A I Dzhangarov, M A Suleymanova (2020): **Electronic digital signature**. Department of Programming and Information and Communication, Chechen State University.
- [18] Mohamad Azri Mohamad Radzi, Saiful Farik Mat Yatin, Nurul Azira Najihah Mohd Fadzil, Syed Hamzah Jamallulail Syed Abdul Aziz (2018): **Document Preparation for Electronic Document Management System**. Faculty of Information Management, Puncak Perdana Campus, UiTM Selangor, Malaysia.
- [19] Christie Wroten, Susan Zapf, Ellen Hudgins (2020): **Effectiveness of Electronic Documentation: A Case Report**. Rocky Mountain University of Health Professions, Provo, USA.
- [20] Peter Spyns, Werner Ceusters (2002): **Document Management in Healthcare: Presentation of the DOME project**. Proceedings of AMICE (Amsterdam Medical Informatics Congress Europe) Amsterdam, The Netherlands
- [21] Bülent Balkan (2021): **Impacts of Digitalization on Banks and Banking**. Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- [22] Milos Poliak, Jana Tomicová, Marek Jaskiewicz, Natalia Zhuravleva, Gabriel Fedorko (2021): **Neutralization of Transport Documents in Road Transport**. Transport Problems., 16(2), 87-100. DOI: 10.21307/tp-2021-025.
- [23] DJI (2019): **Mavic 2 Enterprise Series User Manual**.
- [24] Dr. Bóna Krisztián: **A járatszerkesztési probléma II.**, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedés és Járműmérnöki Kar Anyagmozgatási és Logisztikai Rendszerek Tanszék, Budapest.