

Sziroczák Dávid, Gál István, Szilágyi Dávid, Rohács József,
Rohács Dániel

Az autonóm felszíni közlekedés biztonságának növelése UAV-rendszerrel gyűjtött meteorológiai információk figyelembevételével¹

Ez a tanulmány a UAV-eszközök felhasználásának lehetőségeit elemzi meteorológiai adatok gyűjtésére, az adatokból pontosított előrejelzések generálására és ezek hasznosítására, elsősorban az autonóm közúti közlekedésben. Ma jelentős hiány mutatkozik a planetáris határretegben mért adatokban, ezek ismerete kulcsfontosságú a pontosabb előrejelzésekhez, hiszen ez az időjárást befolyásoló föld-légkör interakciók zónája. A mai dróntechnológiával az adatok megfelelő térbeli és időbeli felbontással gyűjthetők, Magyarországon 15 mérőállomásból álló adatgyűjtő rendszer képes 90% lefedettséget biztosítani. Az időjárás-előrejelző rendszerek piaca 22 milliárd HUF gazdasági-társadalmi értéket képvisel, a rendszer fejlesztésével ez az érték mint piac hasznosítható. Az autonóm járművek jelenlegi technológiai szintje mellett a legfontosabb kérdés az útszakaszok azonosítása, ahol a járművek autonóm funkciói biztonságosan használhatók az adott időjárási körülmények mellett, és a rendszer használatával ez az információ a közúti felhasználókkal megosztható.

Kulcsszavak: UAV, meteorológia, időjárás-előrejelzés, előrejelző rendszer, planetáris határreteg, autonóm közlekedés

1. Bevezetés

Az időjárás megfelelő ismerete és előrejelzése egyidős az emberiséggel. Az időjárás az élet szinte minden területére hatással van, de különösképpen a mezőgazdaság, a közlekedés, az építő-, védelmi, szórakoztató- és turisztikai iparágak számára. A jelen és várható időjárás megfelelő pontosságú ismerete kiemelkedő gazdasági-társadalmi előnyöket képes szolgáltatni. Az időjárás előrejelzése közismerten komplex probléma, a kaotikus rendszerek tipikus példája. A ma használt előrejelzési módszerek kimerítő kutatómunka eredményeként nagy pontossággal működnek, de számos terület, többek között a közúti forgalom, kis- és nagygépes repülés, valamint az elterjedőben lévő pilóta nélküli (UAV) és városi légi közlekedés (UTM)

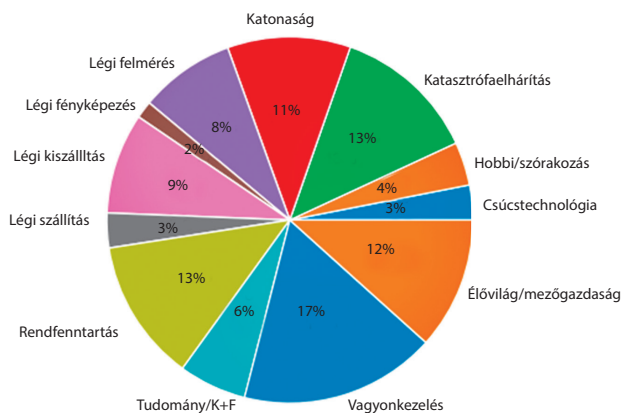
¹ A tanulmány elkészítését a KTI_KVIG_7-1_2021 azonosító számú, „Speciális drón rendszeren alapuló komplex jármű-meteorológiai támogatás kidolgozása az autonóm közlekedés számára” című projekt támogatta.

pontosabb előrejelzést igényel [2], [15], [23]. Az előrejelzések pontosságának növeléséhez számos kutatás szerint [4], [5], [6], [22], [24] ma nincs megfelelő térbeli és időbeli felbontású adat a planetáris határrétegből (PHR). A PHR a légkör legalsó zónája, ahol a földfelszín és a légkör közötti kölcsönhatások végbemennek, ennek megfelelően kiemelt fontosságú az időjárási jelenségek kialakulása szempontjából. A PHR vastagsága a földrajzi elhelyezkedéstől, napszaktól és évszaktól függően 100 m és 3000 m között változik. A PHR tulajdonságainak pontos ismerete alapján a jelenlegi időjárás-előrejelzési módszerek pontosíthatók.

Ez a tanulmány a *Speciális drón rendszeren alapuló komplex járműmeteorológiai támogatás kidolgozása az autonóm közlekedés számára* című előzetes kutatás vizsgálati eredményeit mutatja be, különös tekintettel a közúti közlekedésben elérhető biztonsági előnyökre.

2. UAV-alapú időjárás-előrejelző rendszer ismertetése

A mai világban a pilóta nélküli légi rendszereket (UAS, köznyelvben gyakran drónok) már számos feladatra lehet hatékonyan felhasználni. Tipikus drónalkalmazások közé tartozik a légi szállítás, rendfenntartás, vagyongazdálkodás, védelmi feladatok, mezőgazdaság és a projekt szempontjából különösen fontos légi felmérések végzése. A 2018–2021-es időszakban vizsgált dróneszközfejlesztések és elérhető szolgáltatások alapján a drónokkal végzett feladatok lebontását mutatja az 1. ábra.



1. ábra

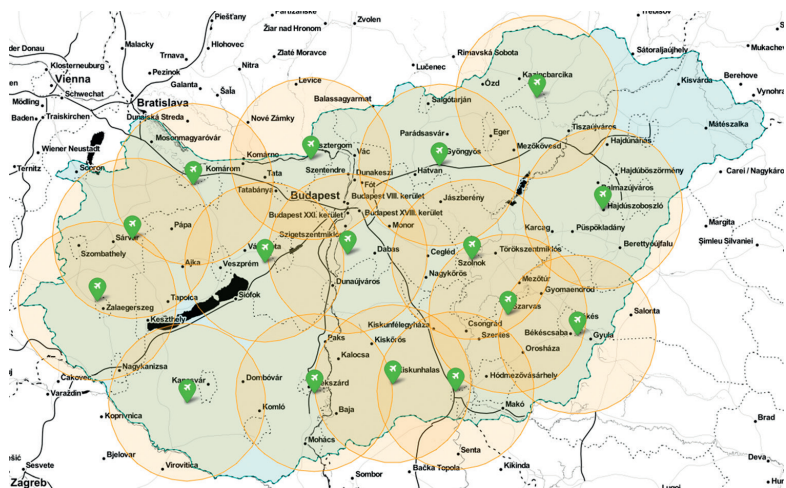
UAV-vel végzett feladatok megoszlása 2018–2021, 800 vizsgált légi jármű és szolgáltatás alapján [a szerzők]

Látható, hogy a választott lebontás szerint csoportosítva, a légi felmérések a 7. helyen találhatók, az összes kínált szolgáltatás 8%-át teszik ki (a szolgáltatások száma alapján, nem feltétlenül volumenre). A légi felmérések között találhatók többek között térképészeti, termikus vizsgálatok, forgalomnagyság-mérés, városok, külterületek feltérképezése, tengerek és egyéb vízterületek felmérése, 3D objektum térképek készítése, valamint levegőtisztasági felmérések. Ma kifejezetten meteorológiai céllal nagyrészt tudományos méréseket végeznek, elsősorban a légkör szerkezetének, viharok kialakulásának és viselkedésének vizsgálatára, modellek alkotására.

Kifejezetten meteorológiai adatgyűjtési célra ma elsődlegesen földi telepítésű eszközöket (időjárásradar, földközeli mérőállomások, SODAR stb.), valamint műholdas méréseket (például EUMETSAT) használnak. Néhány kivétel létezik, mint például az utasszállító repülőgépek által fenntartott AMDAR-rendszer², illetve a szórványosan használt meteorológiai ballonok. Míg a ballonok a teljes repülési idejük alatt képesek adatot szolgáltatni, mind térbeli, mind időbeli felbontásuk túl ritka a megfelelő mennyiségű adatszolgáltatáshoz, a nagy utasszállító repülési magassága pedig bőven a PHR felett található. Ennek megfelelően a mai gyakorlatban nincs megfelelő eszköz a PHR megfelelő feltérképezéséhez.

A drónok alkalmazása jelentős előnyöket biztosíthat a meteorológiai adatok gyűjtése terén. Megfelelő technológiai (és jogszabályi) háttér esetén a drónok képesek emberi beavatkozás nélkül, autonóm módon részletes tér- és időbeli felbontással adatokat gyűjteni. A drónrendszer kiépítéséhez és fenntartásához kapcsolódó költségek a töredékét teszik ki a pilóta vezette légi eszközökhöz, valamint a komplex földi telepítésű műszerekhez (például SODAR) képest. Bár a mai drónok időjárás-tűrési tulajdonságai fejlesztésre szorulnak, de a kis méret és az emberi személyzet hiánya miatt a jövőben elképzelhető, hogy szélsőséges időjárási körülmények között is alkalmasak lehetnek a PHR-mérések elvégzésére, elfogadható kockázati szint mellett.

A projektben a prototípusrendszer létrehozásához egyedileg fejlesztett drónok alkalmazása van terdvéve. A drónok mint mérőállomások az előzetes elképzelések szerint IV. kategóriás repülőterekről lesznek üzemeltetve. A projekt részeként a drónok elhelyezésének topológiáját is vizsgálat alá vették, amennyiben egy-egy mérőállomás 55 km-es körzetben érvényes meteorológiai adatokat tud szolgáltatni, a rendszerben 15 mérőállomás több mint 90%-os országos lefedettséget tud nyújtani. Az 55 km feltételezett sugár a földrajzi elhelyezkedés alapján meghatározott optimális topológiai érték, meteorológiai szempontból további részletes vizsgálatokra van szükség az érvényesség pontos meghatározásához. A topológiai vizsgálatok eredménye és a 15 javasolt repülőtér elhelyezkedését mutatja a 2. ábra.

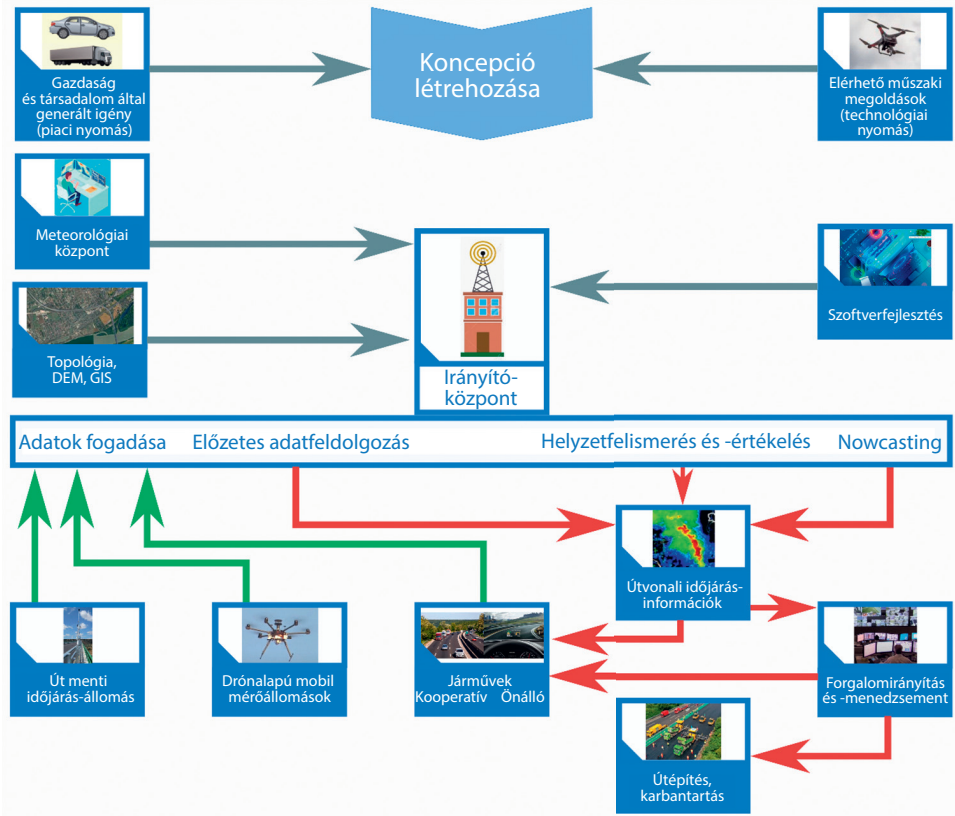


2. ábra

Drón mérőrendszer elhelyezkedése, a zöld repterszimbólumok a javasolt IV. kategóriás reptereket jelölik [a szerzők]

² Aircraft Meteorological Data Relay.

Egy drón vagy drónok önmagukban csak időjárásadatok gyűjtésére alkalmazhatók, egy teljes rendszer kifejlesztése szükséges, hogy a nyers adatok konvertálhatók legyenek gazdasági-társadalmi értékké. A projektben, előzetes elképzelések alapján, a prototípusrendszer felé támasztott kezdeti követelmények rendelkezésre álltak, a projekt során az előzetes rendszer-topológia kidolgozására került sor. A 3. ábra a kidolgozott prototípus időjárás-informatikai rendszer funkcionális vázlatát mutatja be.



3. ábra
UAV-alapú időjárás-előrejelző rendszer funkcionális vázlatja [a szerzők]

A teljes időjárás-informatikai rendszer a drónalapú PHR meteorológiai adatgyűjtés mellett a tradicionálisnak tekinthető meteorológiai adatforrásokat is használja, az adatok egy központi számító- és irányítórendszerbe futnak be, ahol a projektben fejlesztett előrejelző algoritmus felelős a pontosított időjárás-előrejelzések létrehozásáért. Az időjárásadatot a közúti közlekedés számára a megfelelő csatornákon keresztül szintén a központi rendszerből kell megosztani a felhasználókkal. A felhasználók között azonosítottuk a járművezetőket mint B2C üzleti lehetőséget, illetve B2B-vonalon a jármű-üzemeltetőket, infrastruktúra-kezelőket, forgalomirányítókat, információkezelőket, adatfelhasználókat, kutatókat, további időjárás adatszolgáltatókat, valamint az autógyártókat és beszállítókat.

A WSCA³ [18] módszert használva, Magyarországra becsülhetően 6,6% a teljes időjárás-előrejelzési lánc hatásossága. A WSCA-módszerben 7 tényező szorzatából adódik a teljes előrejelzés hasznossága. Ezeket a tényezőket egy adott ország szociális-gazdasági körülményei között szükséges értelmezni. A paraméterek becsléséhez felhasználhatók szimulációs modellek (időjárás, előrejelzési, közlekedési), kérdőíves közönségkutatás, tapasztalati és kísérleti mérések, makróanalízis-eredmények, baleseti statisztikák, termelési függvények és különböző költségmodellek. Az analízis alapja a finn modell volt, amelyet a motorizáltsági fok és közlekedésbiztonsági mutatók alapján korrigáltunk, a magyar viszonylatok pontosabb becsléséhez. Az 1. táblázat a WSCA-módszer magyar viszonylatban alkalmazott értékeit és ezeknek magyarázatát mutatja be.

1. táblázat
A WSCA-analízis értékei magyar viszonylatra adaptálva

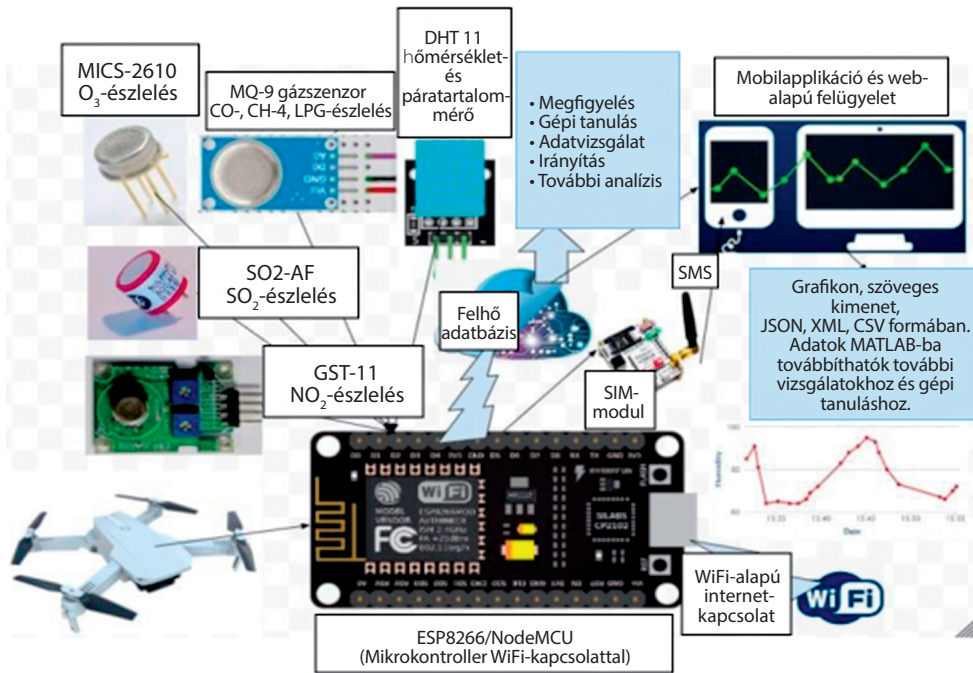
Vizsgálati szint	Érték	Leírás
1. Előrejelzés pontossága	92%	Az időjárás-előrejelzések minőségében a járműpark és a vezetői szokások nem játszanak szerepet, így a finn példa felhasználható.
2. Az üzenet értelmezhetősége	90%	Az időjárás-jelentések formája, információtartalma Európán belül nem mutat nagy eltéréseket, feltételezhető, hogy hazánkban is a közölt adatok 90%-át könnyen értelmezni tudják a felhasználók.
3. Az információ hozzáférhetősége	62%	A kommunikációs csatornák hasonlóak. Az, hogy hányan ellenőrzik az időjárás adatokat vezetés előtt, már függ a vezetői szokásoktól, de itt kulturális okokból még nem szükséges eltéréseket feltételeznünk hazánkban.
4. Az információ feldolgozása	85%	A kinyert információ hasznosítása leginkább a vezető tapasztalatától és gyakorlatosságától függ. Más közlekedési jellemzők alapján nem kell eltérést feltételeznünk Magyarországon.
5. Az információ beépítése	19%	A finn modell 40% értéket feltételez. A közlekedésbiztonsági mutatók alapján a gyakori problémák (pl. gyorsajtás, közlekedési szabályok megsértése) miatt a hazai viszonyok itt térnek el a legjobban. A becsléshez a lakosságra jutó balesetek számával korrigált értéket használunk, mert a sofőrök kisebb százaléka veszi figyelembe a döntéseinél a kinyert információt.
6. Reagálás hasznossága	80%	A vezetői készségek esetén feltételezhető, hogy a képességek azonosak, az egységes európai szabályozás miatt is.

A lánc figyelembe veszi az időjárás előrejelzések pontosságát, az időjárás információ értelmezhetőségét, hozzáférhetőségét, a feldolgozás egyszerűségét, az arra adott reakciókat és a reakciók hasznosságát. Figyelembe véve az International Transport Forum (2017-es) tanulmányát [9], a közúti balesetek nagyságrendileg 982 milliárd HUF gazdasági hatással járnak (beleértve az emberéleteket, sérüléseket és az anyagi kárt). A KSH statisztikái [11] alapján a balesetek 33,5%-ában játszott szerepet a derülnél rosszabb időjárás, tehát az időjáráshoz kapcsolható költségek 329 milliárd HUF értéket képviselnek. Ezekből a WSCA 6,6% teljes hasznosítása alapján becsülhető, hogy Magyarországon az időjárás-előrejelző rendszerek nagyságrendileg 22 milliárd HUF gazdasági-társadalmi értéknek megfelelő piacot jelentenek. Az időjárás-előrejelzések pontosításával (illetve a lánc többi elemének javításával) még tovább növelhető a lánc eléréhető haszon.

³ Weather Service Chain Analysis.

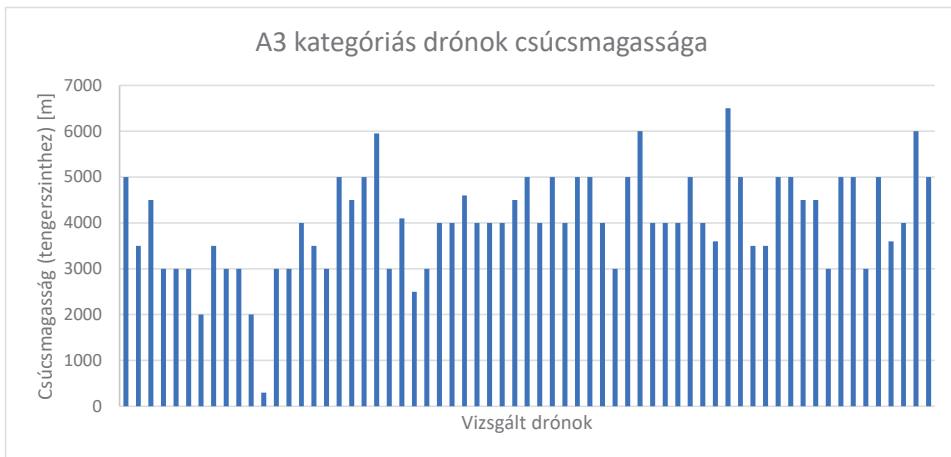
3. Meteorológiai célú drónrendszerek ismertetése

A kutatás megvizsgálta a drónok alkalmazhatóságát a PHR-ben strukturált adatgyűjtéshez. Ma a piacon kapható legtöbb, hasznos teher szállítására képes drón alkalmas az alsóbb légrétegekben mérések végzésére. Több kutatás foglalkozik kifejezetten drónrendszeren alapuló időjárás-figyeléssel, ennek egy specifikus megvalósítását mutatja a 4. ábra.



4. ábra
Drón bázisú mobil időjárás-megfigyelőállomás

A Komaco nevű cég drónjait kifejezetten időjárási adat gyűjtésére fejlesztették, ők hat-rotoros (hexakopter) drónokat használnak, 12 kg maximális felszállótömeggel, 2500 m (talajszint feletti) csúcsmagassággal [10]. A csúcsmagasságokhoz kapcsolódóan a ma piacon kapható UAV-k közül a piacvezető DJI multikopter drónok közül egyesek akár 6000 m (tengerszint feletti) magasság elérésére képesek. Merevszárnyú drónok közül a 20–25 kg közötti kategóriában is tipikusan 3000–6000 m között alakulnak a (tengerszint feletti) csúcsmagasságok (lásd 5. ábra). Ilyen csúcsmagasság-értékekkel ezek a drónok, leszámítva a magashegységeket, gyakorlatilag Európa teljes területén képesek a teljes PHR-ben profilmérés megvalósítására.



A merevszárnyú drónok közül a Black Swift Technologies kínál 2 méretben (1,6 és 9,5 kg maximum felszállótömeg) merevszárnyú drónokat, kifejezetten időjárás-jelenségek, akár trópusi viharok vizsgálatára [3]. A cég egyébként quadkoptert is készít, szintén időjárás-jelenségek tanulmányozására. Természetesen a meteorológiai mérések nagyméretű merevszárnyú drónokkal is megvalósíthatók, a NASA például a Global Hawk UAV-vel több repülést végzett hurrikánok tanulmányozására már 2013-ban [17]. Hibrid drónokat időjárás-jelenségek céljára is használtak, például az Anemoment cég, ők a Censys Sentaero VLOS UAV-t használták, illetve a Wingtra One VTOL drón is gyakorta alkalmazott. Kutatási projektekben gyakran használnak saját építésű vagy a célra módosított UAV-eket, akár többféle kialakítással. A 6. ábra az ISOBAR-projekt során használt, nagyrészt saját építésű atmoszferikus mérő drónokra mutat példát.

Magyarországon elsőként a HUMAS⁴ rendszert fejlesztették ki, amely kifejezetten a PHR-ben végrehajtott profilmérések céljára készült [5]. A UAS a BHE Bonn repülőeszközén alapul, amely maximum 3 kg hasznos terhet képes szállítani, erre a platformra integrálták a meteorológiai szenzorcsomagot. A UAV fő adatai az alábbiak:

- 3 kg hasznos teher;
- 16 kg teljes felszálló tömeg;
- 60–90 km/h közötti utazósebesség;
- 90 perc repülési idő;
- 3000 m (AGL) feletti csúcsmagasság;
- 20 km hatótávú adatkommunikációs rendszer.

Szegeden, nemzetközi mérési kampány keretén belül 2013-ban a rendszert sikeresen bevetették, november 27–30 között több mérési sorozat lefolytatását sikeresen megvalósította. A HUMAS rendszert mutatja a 7. ábra.

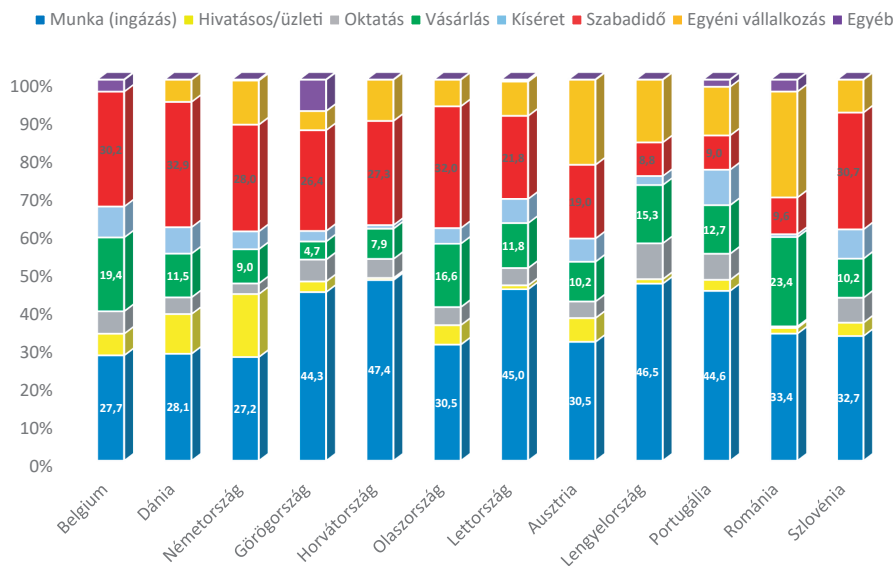


7. ábra
HUMAS rendszer a szegedi mérési kampány során [5]

⁴ Hungarian Unmanned Meteorological Aircraft System.

4. A közúti közlekedés számára elérhető előnyök

Jelenleg Magyarország teljes járműállománya 4,8 millió (Magyarországon) regisztrált jármű, amelyek túlnyomórészt, azaz 90%-ban személygépjárművek és 7,5 t alatti tehergépjárművek [12]. Az EU hasonló motorizáltsági fokú országaiban az arányok nagyságrendileg hasonlóak, ami az esetleges jövőbeni külföldi terjeszkedés szempontjából fontos. A járművek felhasználásának arányára nincs magyar viszonylatban elérhető kimutatás a közelmúltból, de más európai országok példájából a leggyakoribb közúti forgalom az ingázás, és országtól függően a vásárlás vagy a szabadidő. Ezeket az adatokat szemlélteti a 8. ábra.



8. ábra
Közlekedési célok az EU mintavizsgálatában [8]

A felhasználók kategorizálásán felül az időjárásnak a forgalmi rendszer egyes elemeire gyakorolt hatását is szükséges vizsgálni. Ezek az elemek kategorizálhatók a pálya, jármű, közlekedésirányítás komponensekre. Az elemeken felül a közlekedés fő teljesítményjellemzői is fontosak, ezek a sebesség, illetve az eljutási idő, az útvonal, a kapacitás és a biztonság. Itt fontos megemlíteni, hogy a gazdaság és a szállítás (közlekedés) rendkívül szoros kapcsolatban van, minden termék árának nagyságrendileg 5–30%-át a szállítással kapcsolatos költségek generálják [20]. Szintén tényként kezelhető, hogy a GDP növekedését majdnem egyező mértékű közlekedésiigény-növekedés kíséri [7]. Ennek megfelelően a közlekedés stratégiai-gazdasági jelentőségű ágazat. A közlekedés egyik további sajátossága, hogy nagymértékű érzékenységet mutat az időjárási körülményekre és nem csak a már bemutatott balesetekkel kapcsolatos társadalmi-gazdasági szempontokból. Már könnyebb eső is 1–10 km/h átlagsebesség-csökkenést jelent az autópályákon, intenzívebb csapadék akár 15–45 km/h értéket, míg jelentős zivatar akár teljes forgalmi leálláshoz vezethet. Szintén jelentős faktor a szél, amely kedvezőtlen körülmények között 10%-os, a hó és havazás pedig átlagosan 15–40%-os kapacitáscsökkenéssel

jár [19]. Az időjárás okozta kapacitás- és sebességcsökkenés, így a késések és elvesztegetett idő szintén számítható gazdasági értéket képvisel [21]. Az időjárásinformációs-rendszer használatával tehát az említett 22 milliárd HUF értéken felül további, indirekt gazdasági előny is megvalósítható.

A közúti végfelhasználók, azaz a vezetők, illetve autonóm járművek esetén utasok, szempontjából az időjárási adatok felhasználása több szinten valósulhat meg. Ma teljesen autonóm földi járművek nem léteznek, néhány autógyár kínál közel autonóm működést mint vezetéstámogató rendszert, mint például a Tesla FSD⁵ Beta néven elterjedt rendszere. A Victoria Transport Policy Institute tanulmánya [14] szerint 2045-re az újonnan eladott járművek fele autonóm lesz, míg 2060-ra az összes aktív jármű szintén fele lesz autonóm. Ugyan a tanulmány Kanadában készült, de várhatóan a trend az összes országra érvényes lesz. A jövő autonóm járművei feltételezhetően a mai ember vezette járművekben is megtalálható vezetéstámogató rendszerekhez nagyon hasonló megoldásokat fognak alkalmazni, így ezek vizsgálata is fontos információforrást jelent a várható működés előrevetítéséhez. Az egyszerűség kedvéért a vezetőre és utasokra közösen utasként hivatkozik a tanulmány a továbbiakban.

Az alábbiak kategóriákra bontva ismertetik a rendszerek időjárás-informatikai rendszerrel elérhető előnyeit:

- automata kényelmi rendszerek: ma már számos modellben szériatartozékok, mint például az automata ablaktörlő vagy klíma. Ezeknek a rendszereknek direkt gazdasági-társadalmi hozzáadott értéke nincs, egyedül az utasok kényelme érdekében lehet meteorológiai adatot felhasználni, például előre elindítani a hűtés/fűtés funkciót amennyiben jelentős változás észlelhető a hőmérsékletben;
- sebességcsökkentés: az autonóm vezetési módokban a rossz időjárás körülmények között gyakori rendszerreakció a maximális sebesség csökkentése. Ez különösen autópályán és hasonló nagy sebességű környezetben fordul elő. Érdekes módon a Tesla járműveiről fellelhető adatok alapján a leszabályzás nem a jármű, hanem a vezető miatt van, mert jelenleg bármelyik pillanatban vissza kell tudnia venni az irányítást, és a rossz időjárás különösen a látótávolságot, így a vezető reakcióképességét befolyásolja. A csökkentett sebességű vezetési helyzeteket az időjárás-informatikai rendszer potenciálisan képes előre jelezni, és ezt az útvonal tervezésénél figyelembe venni;
- teljes leállás: A mai autonóm módok amennyiben észlelik, hogy nem képesek biztonságosan ellátni a feladatukat, visszaadják az irányítást a vezetőnek. Ennek oka lehet az útburkolati jelek hiánya, a kipörgésgátló, ABS és hasonló rendszerek aktiválódása, látótávolság erős csökkenése, napsütés, homokvihár vagy egyéb tényező hatására elvakított szenzorok. Ha minden szituációt, például az ABS aktiválását nem is, de az autonóm működést meggátló körülményeket az időjárásrendszer képes előre jelezni, így az utas tisztában lehet vele, hol használható biztonságosan a jármű. Ezenfelül a navigációs szoftverekbe integrálva megfelelő kerülőutak tervezhetők, ahol az autonóm működés lehetséges, vagy adott esetben, például veszélyes intenzitású csapadéknál a jármű kiállhat az első biztonságos megállóhelyen. Az autonóm működésre alkalmas útvonalak mint kapacitás biztosítása a mai autonómítási szintek mellett az egyik legjelentősebb kérdés, így ez a rendszerrel rövid távon elérhető legnagyobb haszon;

⁵ Full Self-Driving.

- akkumulátor-előfűtés: 0 °C alatt a jelenleg elterjedt lítiumalapú akkumulátorok nem képesek teljes kapacitáson és teljesítményen működni, ezért indulás előtt a legtöbb elektromos jármű képes előfűteni a rendszert. Ez a folyamat nagyságrendileg 45–60 min is lehet. Ez a funkció manuálisan, illetve programozható módon is kapcsolható. Ma leggyakrabban előre időzített módon működnek, esetleg öntanuló algoritmussal, amely a használat alapján megbecsüli, mikor lesz a jármű használva, de a vásárlók visszajelzései ezekre a rendszerekre általában negatívak, a felesleges és az elmulasztott előfűtések miatt. Az időjárás-előrejelzéssel lehetséges azonosítani a várható fagyponthoz alatti hőmérsékleteket és így kondíciófüggően kapcsolni az előfűtést. Ennek a kényelmesen felül direkt gazdasági haszna van, mert a megfelelő használat növeli az akkumulátorok élettartamát;
- hajtásüzemmódok: szintén elektromos járművek esetén lehet kritikus, hideg időben a fűtésre (járműrendszerek és utasok is) igénybe vett energia miatt jelentősen, akár 40%-kal is csökkenhet a jármű hatótávja. Megjegyzendő, hogy kifejezetten meleg időben is hasonló, akár 17% veszteség is lehet. Ezt kompenzálható a jármű teljesítményleadása visszaszabályozható, így kevesebb a terhelés az akkumulátoron, és valamelyest kompenzálható a többletenergia-érvétel. Ma ezeket a módokat manuálisan kell kapcsolni, megfelelő időjárás-előrejelzéssel akár út közben, kondíciótól függően automatikusan kapcsolható lehet, akár folytonos szabályzással is. Nem elektromos járműveknél, mivel a belső égésű motor érzéketlen ilyen szempontból, általában nincs hasonló mód. Néhány autóban, mint a Jaguar F-type vagy a Porsche 911 (2019-es modell évtől) megtalálható eső mód, amely a leadott nyomatékot szabályozza, de a maximális teljesítményt nem. A kipörgésgátló rendszerek szintén a teljesítményleadást szabályozzák, de a gyújtás részleges megszakításával és működésük automatikus, folyamatos készenléte mellett. Motorokékpároknál gyakori még az eső mód, de a jármű jellegéből adódóan téli üzemeltetésre nem terveznek rendszereket. Az időjárás-előrejelzés ezeknek a rendszereknek is nyújthat információt, elősegítve ezzel a biztonságosabb és/vagy hatékonyabb közlekedést;
- objektív csapadék mérték: A kondicionális sebességhatároló táblák és hasonlóknak esetén szolgáltatathat az időjárásrendszer objektív, hivatalos állapotot, miszerint az adott kiegészítő tábla aktív vagy sem. Ezzel az esetleges szubjektív értékelés és ebből eredő jogos vagy jogtalan következmények helyett objektív állapot határozható meg, amely végső soron társadalmi hasznot jelent.

A fent felsorolt lehetőségek, amint a leírásból látható, sok esetben passzív biztonsági, kényelmi, társadalmi vagy gazdasági előnyöket jelentenek. A kivételt leginkább az autonóm működés teljes leállása, vagy a forgalomból kiállítás jelenti, ugyanis ebben az esetben aktív döntéshozatalra és megvalósításra van szükség. Ennek kapcsán felmerül a felelősség és megbízhatóság kérdése, valamint az, hogy az időjárásrendszer által szolgáltatott adat jellege alapján információ, javaslat, utasítás vagy kötelezően végrehajtott autonóm döntés. A felsorolt lehetőségektől függően kérdés, hogy utasítások figyelmen kívül hagyása esetén mi a jogkövetkezmény, az autonóm döntés felülbíráható-e az utas által. Szintén kérdés, hogy hibás pozitív előrejelzés, azaz amikor a rendszer kritikus időjárást jósol, de a valóságban nem az, és az erre adott reakció, például autonóm forgalomból kiállítás esetén az elvesztegetett időért ki tartozik felelősséggel. Hasonlóan kérdéses, hogy hibás negatív esetben, azaz nem

azonosított kritikus időjárás és a miatta esetlegesen bekövetkező baleset esetén felelősségre vonható-e a rendszer szolgáltatója. Ezeknek a kérdéseknek a megválaszolása globális és megoldatlan probléma az autonóm közlekedésben, de ezeket a jövőben meg kell tudni válaszolni. A rendszer fejlesztése szempontjából a javaslat elsősorban az információsintű, a rendszer működésével nyert tapasztalat és megfelelő megbízhatósági szint elérése után javaslatok generálása.

5. Összefoglalás

Ez a tanulmány megvizsgálta az UAV-légieszközök felhasználásának lehetőségét meteorológiai adatok gyűjtésére, az adatokból pontosított előrejelzés generálására és ezek hasznosítására az autonóm közúti közlekedésben, a forgalom biztonságának növelésére. Az előrejelzések kapcsán a meteorológiai kutatások rámutattak, hogy jelentős hiány mutatkozik a légkör alsó, nagyságrendileg 3000 m tartományából, azaz a planetáris határretegéből származó adatokból. A PHR-nek nagy jelentősége van, hiszen ez az időjárás kialakulását befolyásoló felszín-légkör kölcsönhatások zónája. A ma használt meteorológiai célú szenzorok túlnyomó része vagy alacsonyabb vagy magasabb légköri rétegekből gyűjt adatokat, a PHR-ben ma főleg ballonos méréseket végeznek, alacsony tér- és időbeli felbontással. A meteorológiai drónok alkalmazása jelentős előnyöket biztosíthat a meteorológiai adatok gyűjtése terén. Megfelelő technológiai (és jogszabályi) háttér esetén a drónok képesek emberi beavatkozás nélkül, autonóm módon részletes tér- és időbeli felbontással adatokat gyűjteni. A drónrendszer kiépítéséhez és fenntartásához kapcsolódó költségek töredékét teszik ki a pilóta vezette légieszközökhöz, valamint a komplex földi telepítésű műszerekhez képest. Bár a mai drónok időjárás-tűrés tulajdonságai fejlesztésre szorulnak, de a kis méret és az emberi személyzet hiánya miatt a jövőben elképzelhető, hogy szélsőséges időjárási körülmények között is alkalmasak lehetnek a PHR-mérések elvégzésére, elfogadható kockázati szint mellett.

Az UAV-rendszerekkel már több kutatási és kereskedelmi lehetőség rendelkezésre áll meteorológiai adatokat gyűjteni. A ma elérhető UAV-k túlnyomó része 3000 m tenger feletti csúcsmagasságot teljesít, de számos példa található 6000 m értékre is, ezzel Európán belül a magashegységek kivételével gyakorlatilag teljes éves lefedettség biztosítható a PHR-vizsgálatokhoz. Magyarország területén vizsgálva, a kutatás során javasolt rendszer képes 90% területi lefedettséget biztosítani, 15 mérőállomás üzemeltetésével, IV. kategóriás repülőterekről. A mérőállomások használatával megvalósítható rendszertervezetet mutattuk be. A rendszer fő célja az UAV-eszközökkel mért időjárásadatokból hatékonyabb előrejelzések generálása, és ezeket a közúti közlekedés résztvevői számára használható formában biztosítani, ezáltal gazdasági-társadalmi értéket teremtve.

Magyar viszonylatban a balesetek, ahol az időjárás hatásai szerepet játszottak, nagyságrendileg 329 milliárd HUF gazdasági kárt jelentenek. Az előrejelző rendszerek ezt a kárt képesek csökkenteni, Magyarországon a WSCA-módszerrel becsülhetően 6,6%-kal, azaz 22 milliárd HUF gazdasági-társadalmi hasznot jelentenek a balesetek és káresemények elkerülésével. A közúti közlekedésben Magyarországon és hasonló motorizáltságú EU-országokban a járművek 90%-a 7,5 t vagy az alatti kategóriába tartozik, felhasználás szempontjából elsősorban ingázás, vásárlás és szabadidős célokra. Az időjárás hatása ezeket a járműtípusokat és célokat eltérően érinti, 10–40%-ban, de akár 100% kapacitáscsökkenést eredményezve. Az autonóm

közlekedés esetén a ma megvalósított szinteken az autonóm funkcióra alkalmas biztonságos útvonalak azonosítása és az információ rendelkezésre bocsátása a rendszerrel elérhető rövid távú célok közül a legfontosabbnak tekinthető.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány elkészítését a KTI_KVIG_7-1_2021 azonosító számú, *Speciális drón rendszeren alapuló komplex jármű-meteorológiai támogatás kidolgozása az autonóm közlekedés számára* című projekt támogatta.

Felhasznált irodalom

- [1] S. Al Moshin, A. Rahman, N. Islam, Weather Monitoring IoT Drone. Dhaka, Bangladesh, Daffodil International University, 2020.
- [2] Bartholy J. et al., Meteorológiai alapismeretek. Budapest, ELTE, 2013.
- [3] Black Swift Technologies, S2 UAV Datasheet. Online: <https://bst.aero/wp-content/uploads/2020/10/S2-Data-Sheet-Oct2020-web.pdf>
- [4] Bottyán Zs., A közfeladatokat ellátó repülések meteorológiai biztosításának kérdései. Budapest, NKE, 2017.
- [5] Bottyán Zs. et al., „Measuring and Modeling of Hazardous Weather Phenomena to Aviation Using the Hungarian Unmanned Meteorological Aircraft System (HUMAS),” *Időjárás*, 119. évf. 3. sz. pp. 307–335. 2015.
- [6] D. Leuenberger et al., „Improving High-Impact Numerical Weather Prediction with Lidar and Drone Observations,” *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 101, No. 7, pp. E1036–E1051. 2020. Online: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0119.1> Online: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0119.1>
- [7] European Commission, EU Transport in Figures. Luxembourg, Publications Office of the EU, 2018.
- [8] EuroStat, Passenger Mobility Statistics. 2021. Online: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Passenger_mobility_statistics
- [9] International Transport Forum, Road Safety Report 2020 Hungary. OECD, 2020. Online: www.itf-oecd.org/sites/default/files/hungary-road-safety.pdf
- [10] Komaco, Weather Observation. Online: http://komaconvis.com/stech3_weatherobserv
- [11] Központi Statisztikai Hivatal, Közlekedési baleseti statisztikai évkönyv 2015. Budapest, KSH, 2016. Online: www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/baleset/baleset15.pdf
- [12] Központi Statisztikai Hivatal, Magyarországon első alkalommal forgalomba helyezett új és használt közúti gépjárművek száma járműnemenként. KSH, 2019. Online: www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ode007.html
- [13] S. T. Kral et al., „Innovative Strategies for Observations in the Arctic Atmospheric Boundary Layer (ISOBAR) – The Hailuoto 2017 Campaign,” *Atmosphere*, Vol. 9, No. 7. 268. pp. 1–29. 2018. Online: <https://doi.org/10.3390/atmos9070268>
- [14] T. Litman, Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Implications for Transport Planning. Victoria Transport Policy Institute, 2021. Online: www.vtpi.org/avip.pdf

- [15] M. Pearson, Certification and Standards – Manned and Unmanned Flight. Vertical Flight Society, April 22, 2020. Online: <https://vtol.org/files/dmfile/20200422---marilyn-pearson---faa---weather-standards.pdf>
- [16] Meteomatics, Meteodrones-Meteobase. Online: www.meteomatics.com/en/meteodrones-meteobase/
- [17] National Aeronautics and Space Administration, „NASA-led Airborne Mission Studies Storm Intensification in Northern Hemisphere,” NASA, 2017. augusztus 15. Online: www.nasa.gov/centers/armstrong/features/airborne-mission-studies-northern-hemisphere.html
- [18] A. Perrels, V. Nurmi, P. Nurmi, „Weather Service Chain Analysis (WSCA) – An Approach For Appraisal of the Social-Economic Benefits of Improvements in Weather Services,” In 16th International Road Weather Conference, SIRWEC 2012, May 2012. pp. 1–8.
- [19] R. Hranac et al., Empirical Studies on Traffic Flow in Inclement Weather. Washington, Contract nr. FHWA-HOP-07-073, Federal Highway Administration, 2006. Online: <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/55110/weatherempirical.pdf>
- [20] J-P. Rodrigue, The Geography of Transport Systems. New York, Routledge, 2020. Online: <https://doi.org/10.4324/9780429346323>
- [21] Rohács J., Rohács D., „Total Impact Evaluation of Transportation Systems,” Transport, Vol. 35, No. 2. pp. 193–202. 2020. Online: <https://doi.org/10.3846/transport.2020.12640>
- [22] S. Mayer et al., „Atmospheric Profiling with the UAS SUMO: A New Perspective for the Evaluation of Fine-Scale Atmospheric Models,” Meteorology and Atmospheric Physics, Vol. 116, No. 1. pp. 15–26. 2012. Online: <https://doi.org/10.1007/s00703-010-0063-2>
- [23] Szegei Cs., Dombai F., Csirmaz K., Németh P., Országos meteorológia szolgálat időjárási radarhálózatának mérései. Budapest, Országos Meteorológiai Szolgálat, 2014.
- [24] V. A. Korolkov et al., „Autonomous Weather Stations for Unmanned Aerial Vehicles. Preliminary Results of Measurements of Meteorological Profiles,” IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, Vol. 211, p. 012069. 2018. Online: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/211/1/012069>

Improving the Safety of Autonomous Road Traffic with the Use of Meteorological Data Collected with UAVs

This study investigates the use of UAVs for the purpose of collecting meteorological data, using this data to generate improved weather forecast, and utilising the results for autonomous road traffic. Today, an information gap is identified in the field of meteorological data from the planetary boundary layer. This data can be of key importance for improved weather forecasting, as it is the zone of ground-atmospheric interactions. With today's drone technology, acceptable temporal and spatial data resolution can be achieved, in Hungary 15 data stations can be used to cover 90% of the country. The market for weather forecasting services can be estimated at HUF 22 billion economic-societal value, which value can be unlocked as the market for the proposed system. At the current level of autonomous technologies, the key question is the identification of road sections, where the autonomous functions can be utilised in a safe manner under the actual weather conditions. Utilising the proposed system this information can be generated and shared with the road users.

Keywords: UAV, meteorology, weather forecasting, forecast system, planetary boundary layer, autonomous traffic

<p>Dr. Sziroczák Dávid Adjunktus Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar</p> <p>Repüléstudományi és Hajózási Tanszék sziroczak.david@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-0949-8912</p>	<p>Dávid Sziroczák (PhD) Lecturer Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture sziroczak.david@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-0949-8912</p>
<p>Gál István Tanársegéd Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar</p> <p>Repüléstudományi és Hajózási Tanszék gal.istvan@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0001-8293-3645</p>	<p>István Gál Teaching Assistant Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture gal.istvan@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0001-8293-3645</p>
<p>Szilágyi Dávid MSc-hallgató Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar</p> <p>Repüléstudományi és Hajózási Tanszék dszilagyimail@gmail.com orcid.org/0000-0001-9789-9195</p>	<p>Dávid Szilágyi MSc student Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture dszilagyimail@gmail.com orcid.org/0000-0001-9789-9195</p>
<p>Dr. Rohács József Professzor Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar</p> <p>Repüléstudományi és Hajózási Tanszék rohacs.jozsef@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-4607-9063</p>	<p>József Rohács (PhD) Professor Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture rohacs.jozsef@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-4607-9063</p>

Dr. Rohács Dániel Tanszékvezető Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar	Dániel Rohács (PhD) Head of Department Budapest University of Technology and Economics Faculty of Transportation Engineering and Vehicle Engineering Department of Aeronautics and Naval Architecture
Repüléstudományi és Hajózási Tanszék rohacs.daniel@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417	rohacs.daniel@kjk.bme.hu orcid.org/0000-0002-4629-4417
