



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

HABILITÁCIÓS TÉZISFÜZET

DR UDVARDY PÉTER EGYETEMI DOCENS

**TELEPÍTETT SZENZOROK ÉS PILÓTANÉLKÜLI
LÉGIJÁRMŰVEK ALKALMAZÁSA ÉS
INTEGRÁLÁSA KÖRNYEZETI MONITORING
FOLYAMATOKBAN**

**BIZTONSÁGTUDOMÁNYI
DOKTORI ISKOLA**

Budapest, 2025. május 28.

TARTALOMJEGYZÉK

1.	A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI	3
2.	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	17
1.	TÉZISCSOPORT	17
2.	TÉZISCSOPORT	21
3.	TÉZISCSOPORT	30
3.	A KUTATÁS ÉS A BEMUTATOTT EREDMÉNYEK HATÁSA, VISSZHANGJA	37
4.	IRODALMI HIVATKOZÁSOK LISTÁJA.....	40
5.	A TÉZISPONTOKHOZ KAPCSOLÓDÓ TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK	41

1. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI

A környezet állapotának megismerése ősi emberi vágy, de hatékony eszközök ehhez csak a 20. századtól kezdődően állnak rendelkezésünkre. Kezdetben a nagyobb területek felmérésére alkalmas műholdfelvételek és a repülőgépekről készített fényképek voltak elérhetőek, az elmúlt húsz évben egyre kisebb és egyre jobb kamerával és szenzorokkal felszerelt pilótánélküli légijárművekkel lehet ezeket a feladatokat elvégezni. [1] [2]

Kutatásaim során mindig törekedtem az átfogó megismerésre, a teljes rendszer megismerésére. Okleveles agrármérnök végzettségem, műszaki irányultságom és a későbbiekben megszerzett Mechatronika MSc diplomám mind ebbe az irányba mutattak az elmúlt húsz év során.

Ph.D. fokozatomat 2001-ben szereztem meg Agrártudományok tudományterületen. Ph.D. értekezésem témája a növények tápanyagellátásának és tápanyagpótlási lehetőségeinek vizsgálata volt meghatározott területi vonatkozásban, ahol az akkor még éppen induló precíziós gazdálkodás lehetőségei is részét képezték a vizsgálatoknak. Akkori kutatásaim során fordult

tudományos érdeklődésem a környezetelemzés területe felé, a városi- és vidéki térségek környezeti változásainak kutatása irányába. Az azóta eltelt években kutatásaim során a városi és a vidéki környezet vizsgálatával foglalkoztam műszaki, biztonsági és távérzékelési szempontok alkalmazásával.

2002-től a Nyugat-Magyarországi Egyetem Geoinformatikai Karán folytattam oktatói és kutatói pályámat. A Ph.D. fokozat megszerzése után, az azóta eltelt időszakban számos nemzetközi tudományos kutatási projekt aktív résztvevője, illetve vezetője voltam.

A Nature GIS projekt 2002 és 2005 között valósult meg és célja az Európai Unió természetvédelmi és biodiverzitás megőrzési politikájának megalapozása, az Unió szakpolitikai döntéshozatalának és értékelési folyamatainak információs támogatása volt földrajzi információs rendszerek (GIS) segítségével. Az Európai Unió VI. Környezetvédelmi Cselekvési Programjának (Sixth Environment Action Programme - 6EAP) iránymutatásai alapján a projekt eredményei hozzájárultak a különböző kormányzati szintek közötti párbeszéd fejlesztéséhez, az uniós szinttől a helyi szintekig, továbbá

támogatták a közérdekű adatokhoz és információkhoz való hozzáférés lehetőségét mind az akkori EU-tagállamokban, mind a később csatlakozó országokban.

Ezt a célkitűzést erősítette a konzorciumi partnerek száma és az, hogy több mint tíz tagország vett részt a kutatási anyagok kidolgozásában. A projekt egyik fő eredménye a 'Nature-GIS guidelines - Technical guidelines for spatial data infrastructures for protected areas' könyv, melynek elkészítésében közreműködőként vettem részt.

Az 'Öko-környezeti GIS modell távérzékeléssel Magyarországra és Kína Fujian tartományára' projekt célja az ökológiai környezet komplex vizsgálata volt, mely során meglévő távérzékelési felvételek és helyszíni felmérések alkalmazásával a mintaterület növényborítottság változását, a vízmennyiség változását és a környezeti érzékenységet monitoroztuk.

A projekt 2004 és 2006 között valósult meg, a kínai partner a Fujian Normal University volt, mindkét országban mintaterületet alakítottunk ki a környezeti változások nyomon követhetőségi vizsgálataihoz. A projektben a terepi felmérések mellett a felvételek értékelésében és a modellalkotásban vettem részt.

A Leonardo da Vinci program keretében, 4 Uniós tagország részvételével megvalósuló 'Land valuation project'-ben közreműködőként vettem részt 2005 és 2007 között. A projekt célja a földügyi szakemberek képzésének támogatása és Uniós szintű szttenderdek kialakítása a földügyi igazgatás területén. Ebben a projektben szintén készült egy kézikönyv a földügyi oktatás támogatására, melyben a hazai és nemzetközi jógyakorlatok bemutatásában vettem részt.

2006-2007 között projekt résztvevőként aktív szerepet vállaltam a 'GI-INDEED – Földrajzi információ alkalmazása a hálózatalapú távoktatásban környezeti döntéshozatal támogatására' Leonardo da Vinci program kísérleti projektjében, melynek célja az élethosszig tartó tanulás és a folyamatos szakmai továbbképzés minőségének javítása volt a földrajzi és környezeti információkezelés területén.

Kiemelt figyelmet fordított a projekt az adatok harmonizálására az INSPIRE Irányelv (INSPIRE Directive) követelményei szerint. Az INSPIRE irányelv (Infrastructure for Spatial Information in the European Community), az Európai Közösségen belüli térbeli

infrastruktúra az Európai Parlament és az Európai Tanács irányelve a téradatok európai egységes kezelését biztosító infrastruktúra létrehozásához, amely segíti a környezetvédelemmel kapcsolatos adatokhoz való könnyebb hozzáférést és támogatja a fenntartható fejlődést.

Svéd, szlovák, olasz és magyar résztvevők biztosították a tudományos háttérrel a kutatáshoz, az elkészült tudományos anyagokhoz közreműködőként járultam hozzá a hazai környezetvédelmi és fenntartható fejlődéssel kapcsolatos területen.

A 'WAREMA – Vízgazdálkodás védett területeken' uniós INTERREG projektben a Víz Keretirányelv (Water Framework Directive) hatékony megvalósításához szükséges vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési eljárások kidolgozása történt meg 2006 és 2008 között, partnerségben az olasz, a görög, a cseh és a magyar résztvevők hozzájárulásával. Olyan részvételen alapuló vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési prototípust dolgoztunk ki, amely alkalmazható az EU tagállamok vízgyűjtő hatóságai számára.

Akciótervek készültek a hatékony, közösen elfogadott vízgyűjtő-gazdálkodási sémák biztosítása a döntéshozók és érintettek számára, valamint a védett területek föld- és vízgazdálkodásához eszközöket dolgoztunk ki. Fontos eredménye volt a projektnek a közös vízió kialakítása a vízgyűjtő partnerségekben részt vevő illetékes hatóságok, vízhasználók és térségi szereplők között.

Az évek során több fontos együttműködést alakítottunk ki kínai partneregyetemekkel és kutatóintézetekkel. Ennek eredményeképpen számos Európai Unió és Kínai-Magyar kétoldalú tudományos együttműködés jött létre.

A 'Comparative analysis between China and Hungary concerning the efficiency of land utilization management' TÉT Kínai Magyar kétoldalú projekt 2006 és 2008 között zajlott és a feladatok során a magyar és a kínai földhasználati menedzsment főbb elemeinek összehasonlítását végeztük el.

Projektvezetőként vettem részt a 'Comparative research between China and Hungary concerning land resources utilization and ecological environment protection' TÉT Kínai Magyar kétoldalú projektben 2009 és 2010 között, ahol a kínai partner szintén a Fujian Normal University

volt. A kutatások során olyan környezetelemzési és vidékfejlesztési módszertant dolgoztunk ki, amely alkalmasnak bizonyult a mezőgazdaság hosszútávú stratégiai fejlesztési lehetőségeinek ártértékelésére, különös tekintettel az ökológiai gazdasági szempontrendszer figyelembe véve. A kutatás során végrehajtott környezetelemzés figyelembe vételével alakítottuk ki a fenntartható stratégiához illeszkedő környezetvédelmi stratégiát.

Az 'IGIT - Integrált térinformatikai technológiák és azok alkalmazása az erőforrás- és környezetgazdálkodásban a GEOSS célkitűzéseinek irányában' FP7 – Marie Curie program keretében került sor 2011 és 2015 között egy prototípusrendszer fejlesztése a térinformatikai adatok gyűjtésére, elemzésére és terjesztésére, amely egyrészt támogatta a döntéshozatalt, másrészt a nyilvánosság számára is hozzáférhetővé tette a térbeli adatokat.

A GEOSS (Global Earth Observation System of Systems) keretrendszer célkitűzései felé tett lépésként a projektben a kutatócsere-program Kína és Európa számos kutatóintézményét fogta össze egy olyan összetett rendszer kialakítása érdekében, amely integrált

térinformatikai adatgyűjtési és -kezelési funkciókkal rendelkezett, és több alkalmazási területen képes volt a térbeli információk reprezentációjára és elemzésére. A négy kínai egyetem és kutatóintézet mellett négy európai partner vett részt a kutatásban Írországból, Hollandiából, Bulgáriából és Magyarországról.

A projekt során 3 hónapot töltöttem el Pekingben a Kínai Tudományos Akadémia Távérzékelési Alkalmazások Kutató Intézeténél (CAS IRSA), melynek közös tudományos publikáció lett az eredménye. A kutatás legfőbb eredményei az új képfeldolgozási technikák kialakítása a távérzékelési alkalmazásokhoz, a mezőgazdaság és erdészet területén és az integrált térinformatikai rendszerek alkalmazása a földhasználat és környezeti monitorozásban voltak. A projekt részét képezte az éghajlatváltozás és a szénkörforgás monitorozása is.

A 'Városi öko-környezet komplex vizsgálata a Nyugat-Dunántúli régióban' TÁMOP projekt 2014-2015 között valósult meg. A kutatás témaköre a város és környéke anyag és energiaforgalma, a benne zajló információcsere, a térségi környezetminőség változásának nyomon

követése. A kutatás során a mintaterületek helyszíni felmérésével és a nagyfelbontású távérzékelési adatok felhasználásával olyan komplex öko-környezeti modelleket hoztunk létre, melyek hozzájárultak a fenntartható város koncepciójának kialakításához.

2022-2023 között került sor a Tét Kínai-Magyar kétoldalú együttműködés keretében folytatott 'A felszíni formák jellemzőinek vizsgálata vidéki környezetben pontfelhők és távérzékelési adatok alapján' kutatási együttműködésre a Kínai Tudományos Akadémia Aerospace Information Research Institute (korábban CAS IRSA) és az Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar részvételével.

A kutatás célja egy modellezési rendszer kifejlesztése volt a vidéki környezet számára. A vidéki térségek fenntartható fejlődése globális probléma, és az ökológiai-környezeti minőségi tényezők nyomon követése közös cél, ugyanakkor a megközelítések országonként eltérnek, mivel a hangsúly különböző szempontokra helyeződik. Ennek ellenére a modellezési eljárás lépései azonosak és végső soron nagyon hasznos az egyes országokra és

városokra vonatkozó modellek, így Magyarország és Kína összehasonlítása,

A tudományos kutatás legfőbb lépései az adatgyűjtés távérzékeléssel, attribútumadatokkal és meglévő térképekkel, a vidéki ökológiai környezeti jellemzők vizsgálata kvantitatív inverziós és validációs technikák alkalmazásával, a vegetációs index térképek készítése kínai és magyar műholdfelvételek alapján és az adatok modellezése és az ökológiai-környezeti téradatok vizualizálása, tematikus térképek és jelentések készítése voltak. A közös kutatás nyomán több publikáció is született.

A 'Vezető nélküli targoncaflotta kifejlesztése szinergikusan együttműködő navigációs technológiák alkalmazásával' GINOP projekthez kapcsolódóan az önvezető logisztikai járműflotta szimulált környezetének geometriai kialakításának modellezési területén kapcsolódtam be a kutatásba 2017 és 2021 között. Az új technológiákat alkalmazó vezető nélküli targoncák és hozzá tartozó flotta irányítási rendszer kidolgozására került sor a konzorciumi tagok együttműködésében.

Az új technológiai megoldások segítségével a korábbi megoldásoknál gazdaságosabb és az alkalmazási környezettel szemben toleránsabb, ezáltal költséghatékonyabb és szélesebb körben alkalmazható rendszerek létrehozása volt a cél. A kidolgozott rendszer újszerűsége az alkalmazott adaptív szenzorfüziós módszerekben, valamint a targoncák által használt útvonalválasztó és optimalizáló eljárásokban rejlik.

A kutatás-fejlesztés célja olyan vezető nélküli targoncaflotta irányító megoldás és prototípus kidolgozása volt, mely több olyan innovatív komponenst feltételez, amely a kutatás kezdetén még ezen az alkalmazási területen nem állt rendelkezésre.

A 2021 és 2023 között megvalósult 'LPWAN kommunikációs technológiára épülő szarvasmarha bendőszonda kifejlesztése' GINOP projekt célja egy LPWAN (Low Power Wide Area Network) kommunikációs technológiára épülő komplex döntéstámogató rendszer fejlesztése tejelő és húshasznú szarvasmarhatartó gazdaságok számára. Az innovatív rendszer a bendőben és az állatok környezetében mért adatok elemzésén alapulva képes az ivarzás és az ellés

megbízható előrejelzésére, a bendőhőmérséklet mérésén keresztül a betegségek akut szakaszban történő felismerésére, és akár a világon egyedülállóan az aktuális stresszállapot folyamatos monitorozására, a szívritmus-mérése által.

A kifejlesztett rendszer az állattartó gazdaságoknak adatalapú döntéstámogatást biztosít oly módon, hogy az állatokról adatokat gyűjt, majd különböző algoritmusok segítségével az adatokat riasztások és javaslatok formájában továbbítja a felhasználóhoz. A kutatás során a kísérleti állatok ivásának és különböző mozgásainak videó alapú validálását végeztem, a szenzorok által gyűjtött adatokat hasonlítottam össze a videófelvételek tartalmával. A tudományos kutatásból több publikáció is született, valamint a megkezdett tudományos kutatómunka folytatása is körvonalazódik.

2017-től munkámat az Óbudai Egyetem Alba Regia Kar Mérnöki Intézetben folytattam, így az elmúlt évek során a távérzékelés, a robotika, a mechatronika és a pilóta nélküli légijárművek témakörében folytattam tudományos kutatásaimat, mindezekkel együtt az önálló kutatási területeken elért eredményeket kiterjesztettem más

tudományterületekre is. Kutatásaim során eljárásokat fejlesztettem ki a haszonállatok tartásához kötődő hatékony és biztonságos monitorozó rendszerek alkalmazásához és alkalmazásukhoz javaslatokat dolgoztam ki.

A gyakorlatban is felhasználható pilóta nélküli légitáncok alkalmazhatóságát vizsgálva a környezet biztonságos UAV technológiával történő monitorozására eljárásokat fejlesztettem ki, melyek jól alkalmazhatóak vidéki környezetben a biztonsági kockázatok elemzésére és ezek megoldására, valamint városi környezetben is alkalmasak a kulturális értékekhez kötődő felmérések gazdaságos és gyors adatgyűjtésére. [3] [4]

Külön hangsúlyt kapott a városi zöldterületek vizsgálati módszerének felépítése földrajzi információs rendszer (GIS) elemekkel, továbbá a vidéki területek környezeti kockázatainak monitorozása GIS fejlesztési eszközökkel. Mindkét környezetben az UAV-k felhasználása új eszközt jelentett a biztonságos és hatékony felmérési vizsgálatokhoz, lehetővé téve újszerű módszerek kialakítását.

A szenzorok és szenzorhálózatok kialakítása és alkalmazása az UAV-k integrálásával lehetővé teszi a környezeti kockázatelemzést, mely további kutatásaim témakörébe szervesen illeszkednek. [5]

2. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. TÉZISCSOPORT

Szenzorok és szenzorhálózatok kidolgozása és összehasonlítása hatékony és biztonságos adatgyűjtés érdekében [P1, P2]

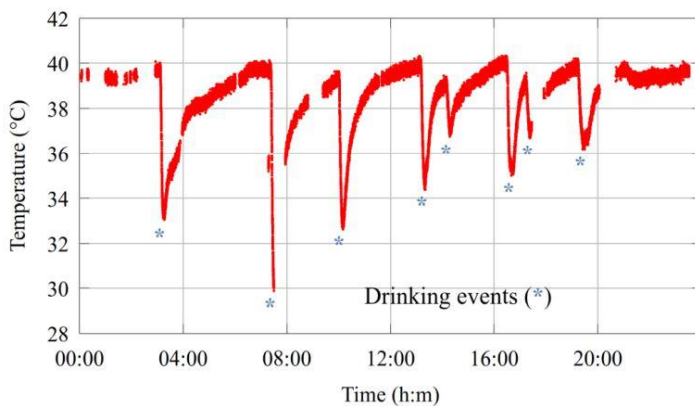
A szenzorok és szenzorhálózatok alkalmazása mezőgazdasági környezetben hatékonyabbá és jobban megismerhetővé teszi a termelési folyamatokat, így jelentős segítséget nyújt a biztonságos termékelőállítás során.

Az élő rendszerek összetettsége révén a szenzorokat alkalmazó rendszerek hatékonyabban képesek működni és termelni. Vizsgálataim során a szenzorok fejlesztése és alkalmazása révén biztonságosabb, a termelési folyamatok minden lépését pontosan monitorozó megoldások lettek kifejlesztve.

Mindezek érdekében az 1.1 és az 1.2 altézisben részletezett módon eljárásokat dolgoztam ki.

1.1. Haszonállatok hatékony és biztonságos monitorozó rendszerében ivásdetektáló módszereket fejlesztettem ki és videó alapú validálással bizonyítottam ezek működését[P1, P2].

A precíziós mezőgazdaságban és ezen belül az állattenyésztésben az egyre növekvő automatizálási törekvések megkövetelik az állatok folyamatos és komplex monitorozását.



A bendőhőmérséklet mérése 5 percenként és az ivás időpontjai

A bendőbolus érzékelők, amelyek újszerű technológiai megoldások és gyorsan fejlődő kutatási terület alapját képezik, kivételes lehetőséget kínálnak az állatok egészségi állapotának, fiziológiai paramétereinek és ivarzásának monitorozására.

A kutatás során új bolus érzékelő került kifejlesztésre, a tervezés során a fizikai kialakítás mellett az alkalmazott szenzorok, a tápegység, a hardvermegoldások és a kommunikációs megoldások megtervezése is újszerű megközelítésben került kialakításra. Fontos eleme a kialakított rendszernek az érzékelődetektáló algoritmus, melynek in vivo alkalmazása hatékony élőállat megfigyelést, ezáltal végső soron biztonságos termékellátást tesz lehetővé.

Kutatásaim során az állatok bendőbolus segítségével történő ivásdetektálását és ennek videó alapú validációját végeztem. A bendő hőmérséklete a nagy mennyiségű hideg víztől hirtelen lecsökken, amit a bendőbolus szenzorai érzékelnek. Az istállóban elhelyezett kamerák felvételeinek validációjával bizonyítottam a bendőhőmérséklet változásának és az állatok ivási aktivitásának összefüggését, ami által jól követhető a

kísérleti állatok hőmérséklettűrő és stresszkezelő képességének állapota.

1.2. Haszonállatok hatékony és biztonságos monitorozó rendszerében olyan módszert fejlesztettem ki, amely gyorsulásmérő szenzor segítségével az állatok általános aktivitását monitorozza és videó alapú validálással ellenőriztem a rendszer hatékonyságát [P1, P2]

Az összetett kutatások során a bolus adatok megismerése, a bolusban található 3D gyorsulásérzékelő szenzor segítségével következtettünk a kísérleti állatok általános aktivitására, melynek detektálása folyamatos nyomon követést tesz lehetővé. Az eljárás nehézségét az adta, hogy a kísérleti egyedek különböző aktivitásai más-más amplitúdóval rendelkeztek, így az egyes mozgások elkülönítése (járás, ugrálás, kérődzés) meghatározó volt a mozgásformák felismerésénél.

A kapott eredmények alkalmasak alapvető riasztások (stressz, betegség, ellés kezdete) megvalósítására egy

precíziós állattenyésztési (Precision Livestock Farming - PLF) rendszerben.

2. TÉZISCSOPORT

Pilóta nélküli légitárműveken (UAV) alapuló speciális felmérési technológiák kidolgozása a hagyományos módszerek helyettesítésére [P3, P4, P5, P6, P7]

A pilóta nélküli légitárművek megjelenése alapvetően változtatta meg a speciális felmérési technikák alkalmazhatóságát. Míg korábban műholdfelvételek vagy repülőgépről készített fotók álltak rendelkezésre ezekhez a vizsgálatokhoz, addig az UAV-k elterjedésével a városi és vidéki területek felmérése, az adatgyűjtés és adatfeldolgozás elérhetőbbé vált és a rájuk felszerelt szenzorok alkalmazásával speciális feladatokat is el lehet végezni. Ennek támogatására a 2.1 altézisben részletezett felmérési módszert fejlesztettem ki. A környezet megfigyelésére kihelyezett szenzorok adatait rendszeres időközönként a pilótánélküli légitármű, mint mobil adatgyűjtő egység gyűjti össze és így épül fel a hatékony,

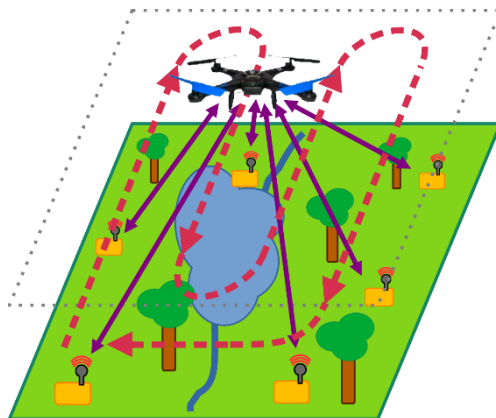
biztonságos és a környezetet csak kismértékben zavaró a monitorozó rendszer.

Belső terek felméréséhez UAV technológiára épülő alternatív felmérési módszert dolgoztam ki a 2.2 altézisben részletezett módon. Ennek támogatására kidolgozásra kerültek új módszerek a környezet állapotának folyamatos megfigyelésére, a városi környezetben lévő kulturális örökségek felmérésére és bemutatására.

Az UAV-ra szerelt érzékelők adatai feldolgozásra kerültek a 2.3 altézisben leírt matematikai módszerek segítségével, így az adatgyűjtés sikeressége és hatékonysága megnövekedett.

2.1. Egyedi környezet monitorozási felmérési módszereket dolgoztam ki szenzorhálózatból származó adatok biztonságos gyűjtésére UAV segítségével és adatintegrálásra. Felmérési technológiát dolgoztam ki szélerőművek vizsgálatára extrém körülmények között, mely felválthatja a hagyományos és kevésbé biztonságos állapotfelmérést. [P3] [P4]

A vidéki területek monitorozása kulcsszerepet játszik a környezetvédelemben. Ez a feladat azonban számos megoldandó problémát vet fel a kommunikáció és az adatgyűjtés terén. A nehezen hozzáférhető területek, például erdők és vizes élőhelyek megfigyelésének kihívásaira összpontosítva a probléma lehetséges megoldásainak hatékonyságát vizsgáltuk meg, különös tekintettel a szenzorhálózatokra és az alacsony fogyasztású, széles hatótávolságú hálózatokra (LPWAN) összpontosítva, és egy UAV alapú megoldást dolgoztunk ki.



Rendszerarchitektúra

A módszer egy robusztus és megbízható, mégis egyszerű adatgyűjtési megoldást kínál. A hardver- és szoftverarchitektúrát, a kommunikációs protokollt ismertetjük, és elemezzük a rendszer becsült teljesítményét. A mérőeszközök hasonlóak egy vezeték nélküli szenzorhálózat csomópontjaihoz, de a folyamatosan fenntartott hálós topológia helyett közvetlen kapcsolatot használnak egy ritkán megjelenő bázisállomással. A rálátást UAV technológia biztosítja, ami egyúttal alacsony jelveszteséget, nagy lehetséges sávszélességet, gyors adatátvitelt és ennek következtében hosszabb élettartamot eredményez.

További kutatásomban a megújuló energiatermeléshez kapcsolódó biztonsági aspektusokat vizsgáltam. A megújuló energiák termelése a nyilvánvaló haszon mellett biztonsági kockázatokkal is jár.

A szélerőművek segítenek megvédeni a környezetet, és egyre nagyobb részesedést képviselnek a világ energiamixében. Az utóbbi időben ezek a gépek nagyobbak és erősebbek lettek, de ez a folyamatos növekedés növeli a környezetükre leselkedő kockázatokat is meghibásodás esetén. Ezeket a kockázatokat a pilóta

nélküli repülőgépek által végzett rendszeres ellenőrzésekkel lehet csökkenteni.



Egy kiégett szélérőmű 3D modellje

A kidolgozott módszer segítségével a pilóta nélküli légijárművek által rögzített képek 3D-s modellekké alakíthatók, amelyek hatékonyan felhasználhatók karbantartási célokra. A 3D modellek elkészítése után fontos szerep jut a pontosságvizsgálatnak, mely során a kidolgozott technológia segítségével 3-5 centiméteres pontosságú modellek készülnek el. Az UAV-technikák, a

fotogrammetria és a 3D-s modellezés értékes eszközöknek tűnnek a környezeti veszélyek megelőzésében.

2.2. Újszerű felmérési eljárást dolgoztam ki a kulturális örökségvédelem területén történő gazdaságos és gyors adatgyűjtésre UAV alkalmazásával, mely felválthatja a geodéziai alapú lézeres és mérőállomásos felméréseket. [P5]

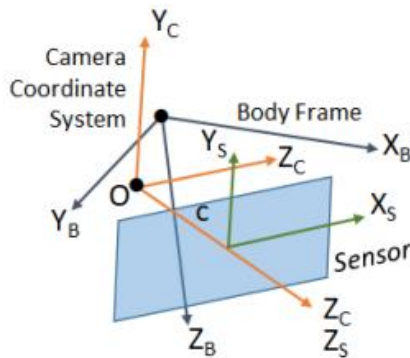
Új eljárást dolgoztam ki a gyors és hatékony felmérések elvégzésére városi területeken található, örökségvédelem alá tartozó épületekben UAV segítségével. A történelmi épületek és helyszínek modellezésének hosszú története van, de manapság új módszerek és technikák állnak rendelkezésre erre a célra.

A pilóta nélküli légi járművek használata megkönnyíti és felgyorsítja ezen helyszínek felmérését, és ugyanolyan pontosságot biztosít, mint a hagyományos mérési módszerek. A tudományos tapasztalatok azt mutatják, hogy a pilóta nélküli légi járművek használata a történelmi helyek felmérésére és régészeti felhasználására egy pontos, nagyon perspektivikus és nem túl drága módszer.

A felmérés során számos fénykép készült a templom belsejében különböző magasságokból (általában a magasságkülönbség 1 méter volt) és különböző nézőpontokból (3 pozícióból és minden magasságban három irányból készültek a fényképezés során). Az elkészített 3D modellek alkalmasak az épületek bemutatására, utólagos mérések elvégzésére és alapként szolgálnak állagmegóvási és felújítási munkálatokhoz.

2.3. Közvetlen matematikai kapcsolatot vezettem le a légi navigációban és a fotogrammetriában használt tájékozási elemek között, mely univerzálisabbá tette a felvételek feldolgozási folyamatát. [P6] [P7]

A közvetlen tájékozás a fotogrammetriában használt technika, ahol a kép térbeli adatait a kép készítésének pillanatában mérik, így az tájékozási adatok azonnal rendelkezésre állnak, és felhasználhatók térbeli rekonstrukcióhoz. A tájékozási paraméterek a repülőgép navigációs adataiból és a kamera pozíciójából nyerhetők ki.



A repülő, a kamera és a szenzor koordinátarendszer
közötti kapcsolat

Ehhez térbeli transzformációkra vagy olyan körülmények figyelembevételére van szükség, mint a Föld felszínének görbülete, vagy a földrajzi koordinátarendszer és a vetített koordinátarendszer közötti transzformáció. A térbeli transzformációknál fontos figyelembe venni a koordinátarendszerek értelmezését és a forgatási szögek pozitív orientációját a helyes eredmény érdekében. A közvetlen georeferáláshoz szükséges paraméterek a repülőgépen mérhetők, és ezek a paraméterek térbeli transzformációkkal fotogrammetriai feldolgozáshoz szükséges orientációs adatokká alakíthatók.

A fotogrammetriai felmérés és a fotogrammetriai feldolgozás azonban különböző rendszerekben történik. A felmérés földrajzi koordinátarendszerben történik, amelyet egy görbült felületen értelmeznek, míg a fotogrammetriai feldolgozás egy háromdimenziós derékszögű objektumkoordináta-rendszerben. Ez a körülmény elhanyagolható a jellemzően kis magasságokat és távolságokat használó UAV-s felméréseknél. Nagy magasságú képalkotás és nagy területű felmérések esetén azonban figyelembe kell venni az ívelt felületet.

Ezen kívül a geoid rendszerben mért néhány fizikai paramétert és a referencia felületen értelmezett irányokat (mágneses deklináció, függőleges deklináció) korrigálni kell.

Kutatásaim során a kutatócsoportban eljárást dolgoztam ki az inerciális mérőegységek pontosságának mérésére. Az inerciális mérőegységeket széles körben alkalmazzák a szórakoztató elektronikától a nagy pontosságot igénylő precíziós felmérési rendszerekig.

Az IMU-kat (Interfacing Multi-Modules, inerciális mérőegységek) széles körben használják a repülésben, különösen a pilóta nélküli repülőgépeknél (UAV). Az

IMU-kban található giroszkópok és gyorsulásmérők speciális működési módokkal rendelkeznek, amelyek az ilyen eszközökre jellemző hibákat eredményeznek. Ezen hibák kiszűrése sikeressé teszi az adatfeldolgozást.

3. TÉZISCSOPORT

Vizsgálati módszerek kidolgozása városi és vidéki környezetben távérzékeléssel a környezeti kockázatok folyamatos monitorozása érdekében [P8, P9, P10]

A városi és a vidéki területek megismerése, felmérése, térképek készítése segíti a helyi hatóságokat a döntéshozatalban, támogatást jelet a klímaváltozás okozta kihívások kezelésében és segíti a területen élők mindennapjait is. A korábban vidéki területek beépítése, ipari parkok kialakítása zöld-, illetve barnamezős beruházásokkal kockázatokat rejt magában, így az ezen területeken végzett felmérések biztonsági aspektusai sem elhanyagolhatók. A 3.1 altézisben részletezett egyedi zöldterületi vizsgálati módszert dolgoztam ki, mely hatékonyabbá teszi az adatgyűjtést a térinformatikai

rendszerek számára és alkalmas a döntéstámogatási rendszerek biztonságosabbá tételére.

A vidéki területeken jellemző mezőgazdasági térhasználat pontos felmérése a klímaváltozás hatásait tompító segítség lehet nagy területen. A kidolgozott vizsgálati módszerek segítenek az aszálymonitoring, a viharkárok felmérése és a táji vízviisszatartás témakörében.

A 3.2 altézisben részletezett módon a mezőgazdasági területeket fenyegető biztonsági kockázatok vizsgálatára űrfelvételeken alapuló elemzési módszert dolgoztam ki tematikus térképek készítésére, mely alkalmas a változások pontos terület alapú nyomon követésére.

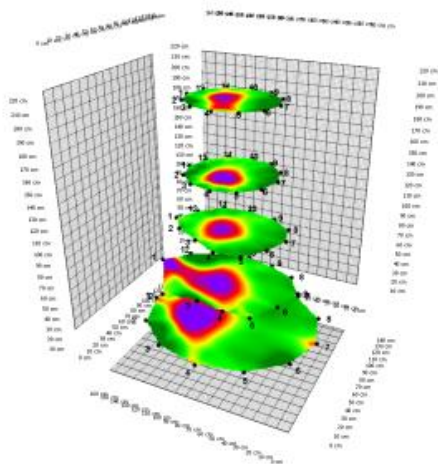
3.1. Újszerű vizsgálati módszert fejlesztettem ki a városi zöldterületek vizsgálati módszerének felépítésére földrajzi információs rendszer (GIS) elemekkel a hatékonyabb adatgyűjtés és feldolgozás elősegítésére. [P8]

Kutatásunk egy GIS-alapú biztonsági térkép előállítását tűzte ki célul, amely a városi zöldterületek fáinak nem invazív vizsgálatával készül el. A cél egy városi GIS-alapú

adatbázis létrehozása a zöldterületekről, a fák rejtett patológiájára összpontosítva, annak érdekében, hogy növelje a városi parkok biztonságát, és eszközt biztosítson a döntéshozatalhoz a rejtett patológia miatt veszélyt jelentő fák eltávolítására.

Ez különösen fontos a szélvihar okozta katasztrófák, valamint az egyidejű heves esőzések és árvizek okozta hatalmas fizikai pusztítás, sérülés, emberéletek és gazdasági károk fényében, amelyek az elmúlt évtizedekben egyre gyakoribbá váltak. A megfigyelési képességek és az ilyen események rögzítésének javulása a súlyos időjárási eseményekkel kapcsolatos nagyobb társadalmi tudatossághoz vezetett. Az akusztikus tomográfia technikáját városi zöldterületeken alkalmaztuk annak valószínűségének értékelésére, hogy a nagy értékű fák belső korhadása kimutatható-e.

Az akusztikus tomogramok előzetes elemzése alapján hatékony eszköznek bizonyult a városi fák belső szerkezeti változásainak kimutatására, megmutathatja a belső korhadt területek helyét, relatív méretét és alakját is.



A belső szerkezet felépítése és állapota

Az elkészített fakataszter támogatja a városi zöldterületek biztonsági koncepcióját és döntéstámogatási rendszerként szerepelhet a városi zöldterületekkel és erdőkkel kapcsolatos értékelés és adatrögzítés során.

3.2. Egyedi monitorozási rendszert fejlesztettünk ki a kutatócsoportommal a vidéki területek környezeti kockázatainak monitorozására GIS fejlesztési eszközökkel, mely alkalmas az aszály és mezőgazdasági területek beépítésének folyamatos nyomon követésére. [P9] [P10]

Az aszály egy összetett veszély, amelyet a vízháztartás egyensúlyának felborulása okoz, és mindig hatással van a mezőgazdasági, ökológiai és társadalmi-gazdasági szférára. Bár a távérzékelési adatokból származó aszályindexeket használták már a meteorológiai vagy mezőgazdasági aszály monitorozására, nincsenek olyan indexek, amelyek megfelelően tükröznék az aszály átfogó információit a meteorológiai vagy mezőgazdasági szempontoktól kezdve.

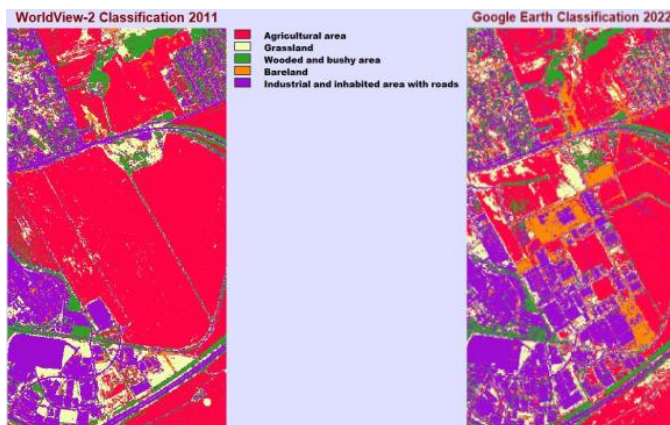
A kutatásban a szintetizált aszályindexet (SDI) a vegetációs állapotindex (VCI), a hőmérsékleti állapotindex (TCI) és a csapadékviszonyok indexe (PCI) fő összetevőjeként definiáljuk. Az SDI integrálja a közepes felbontású képalkotó spektrométerből (MODIS) és a trópusi csapadékmérő misszióból (TRMM) származó több forrásból származó távérzékelési adatokat, és szintetizálja a csapadékhiányt, a talaj termikus stresszt és a vegetáció növekedési állapotát az aszályos folyamatban.

Ezért ez egy újszerű módszer az átfogó aszály monitorozására. Kutatásunkban egy 2010 és 2011 között

Kínában, Shandong tartományban zajló súlyos aszályos folyamatot vizsgáltunk meg SDI segítségével. Végül validációt végeztünk, és az eredmények azt mutatják, hogy az SDI nemcsak a 3 hónapos skálájú standardizált csapadékindexszel (SPI3) mutat szoros korrelációt, hanem a terméshozam és az aszály sújtotta termőterületek változásával is.

Bebizonyítottuk, hogy ez az index egy átfogó aszálymonitoring-indikátor, és nemcsak a meteorológiai aszály információkat tartalmazza, hanem az aszály mezőgazdaságra gyakorolt hatását is tükrözi.

A kapcsolódó kutatásokban a távérzékelte adatok vidéki környezeti monitoring célú integrálásának feltételeivel és körülményeivel új rendszert dolgoztunk ki, ahol a fő feladat a döntéstámogatás segítése a különböző felbontású, elhelyezkedésű, spektrális csatornájú és dimenziójú adatforrások segítségével.



Földhasználat változása 11 év alatt

Az integrációs és adatfúziós lehetőségek pontos ismeretéhez szükséges ismerni az adatokat jellemző tulajdonságokat (metaadatokat), így hatékonyabban lehetett összekapcsolni a mintaprojekten keresztül az adatforrásokat. Az adatintegráció során számos körülményt vettünk figyelembe, így azokat az adatokat, amelyek jelentősen csökkentik a teljes adatkészlet pontosságát, kihagytuk az integrációból, törekedtünk a minél több metaadat összegyűjtésére és az adatintegrációt csak egyedi megoldásokkal végeztük el biztonságosan.

3. A KUTATÁS ÉS A BEMUTATOTT EREDMÉNYEK HATÁSA, VISSZHANGJA

A tézisfüzetben bemutatott eredmények több hazai és nemzetközi kutatási projekt részét képezték (TÁMOP projektek, Kínai-magyar Tét projektek, Erasmus+ projektek), részben ezen projektek kutatásainak eredményeként, részben ezekben a projekteken felhasznált és továbbfejlesztett kutatás részeként.

Eredményeimet számos hazai és külföldi konferencián mutattam be, vendégelőadóként számos országban tartottam előadást (Ausztria, Németország, Szlovákia, Románia, Kína, Üzbegisztán). Jelenleg összesen 80 közlemény szerepel az mtmt szerzői listámon (2 elfogadott folyóirat cikk még nem került be), független hivatkozásaim száma 373. Hirsch indexem 4.

Részt vettem tananyagfejlesztésben is, számos magyar és angol nyelvű tananyag szerzőjeként szerepelek, a tananyagok egy részét más intézményekben is felhasználják.

Résztvevője, illetve témavezetője voltam számos projektnek:

- GINOP-2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00109 LPWAN kommunikációs technológiára épülő szarvasmarha bendőszonda kifejlesztése - résztvevő
- RRF 2.1.2-21-2022-00019 számú Gyakorlatorientált képzésfejlesztés az Óbudai Egyetemen az Ipar 4.0 jegyében – tananyagfejlesztő, lektor
- A GINOP-2.2.1-18-2020-00028 Kutatás, fejlesztés a nemzetközileg is piacképes, azonos elemekre épülő, elektromos meghajtású, önjáró, intelligens szervizképességű autóbusz alvázcsalád kifejlesztésére és piaci bemutatására - résztvevő
- GINOP-2.2.1-15-2017-00097 Önvezető logisztikai járműflotta szimulált környezetének geometriai kialakítása - résztvevő
- Comparative research between China and Hungary concerning land resources utilization and ecological environment protection Tét Sino-Hungarian bilateral project (2009-2010) - projektvezető
- Comparative analysis between China and Hungary concerning the efficiency of land utilization management Tét Sino-Hungarian bilateral project (2007-2008) - résztvevő

- Monitoring and improvement of ecological environment
TÉT Sino-Hungarian bilateral project (2004-2006) -
résztvevő

4. IRODALMI HIVATKOZÁSOK LISTÁJA

- [1] A. Kumar, H. Kim, and G. P. Hancke, "Environmental monitoring systems: A review," *IEEE Sensors Journal*, vol. 13, no. 4, pp. 1329–1339, Apr. 2013, doi: 10.1109/JSEN.2012.2233469.
- [2] G. Tmušić et al., "Current practices in UAS-based environmental monitoring," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 6, Art. no. 1001, 2020, doi: 10.3390/rs12061001.
- [3] T. Arnold, M. De Biasio, A. Fritz, and R. Leitner, "UAV-based multispectral environmental monitoring," in *Proc. 2010 IEEE Sensors*, Waikoloa, HI, USA, 2010, pp. 995–998, doi: 10.1109/ICSENS.2010.5690923.
- [4] G. Xu, W. Shen, and X. Wang, "Applications of wireless sensor networks in marine environment monitoring: A survey," *Sensors*, vol. 14, no. 9, pp. 16932–16954, 2014, doi: 10.3390/s140916932.
- [5] K. Zhang, V. Pakrashi, J. Murphy, and G. Hao, "Inspection of floating offshore wind turbines using multi-rotor unmanned aerial vehicles: Literature review and trends," *Sensors*, vol. 24, no. 3, Art. no. 911, 2024, doi: 10.3390/s24030911.

5. A TÉZISPONTOKHOZ KAPCSOLÓDÓ TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

[P1] G. Vakulya, É. Hajnal, P. Udvardy, and G. Simon, "In-depth development of a versatile rumen bolus sensor for dairy cattle," *Sensors*, vol. 24, no. 21, Article 6976, pp. 1–20, 2024.

[P2] É. Hajnal, G. Vakulya, and P. Udvardy, "Heart rate (HR) detection by cattle rumen bolus," in *Proc. 27th IEEE Int. Conf. Intelligent Engineering Systems (INES)*, Anikó Szakál, Ed., IEEE Hungary Section, 2023, pp. 155–159.

[P3] P. Udvardy, L. Dimen, and G. Vakulya, "Data collection in the wild: Challenges and solutions," *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation and Surveying, Environmental Engineering*, vol. 12, pp. 167–175, 2023.

[P4] P. Udvardy, J. Semjéni, and K. Pál, "The use of UAVs in assessing damages to onshore and offshore wind power stations," in *Proc. New Trends in Aviation Development 2024*, R. Andoga and L. Főző, Eds., IEEE, Starý Smokovec, Slovakia, 2024, pp. 200–204.

[P5] P. Udvardy, T. Jancsó, and B. Beszédes, "3D modelling by UAV survey in a church," in Proc. New Trends in Aviation Development 2019: The IX. Int. Scientific Conf., R. Andoga, Ed., IEEE, 2019, pp. 189–192.

[P6] A. Varga, T. Jancsó, B. Beszédes, and P. Udvardy, "Production of rotation angles for direct photogrammetric orientation," in Proc. 2023 New Trends in Aviation Development (NTAD), R. Andoga and L. Főző, Eds., IEEE, Starý Smokovec, Slovakia, 2023, pp. 270–274.

[P7] A. Varga, T. Jancsó, and P. Udvardy, "Typical errors, accuracy classes and currently expected accuracy of inertial measurement units," *Acta Avionica*, vol. 23, no. 1, pp. 8–14, 2021.

[P8] P. Udvardy, L. Dimen, and T. Borsan, "Assessment of the safety of urban green areas using GIS," *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation and Surveying, Environmental Engineering*, vol. 12, pp. 245–250, 2023.

[P9] L. Du, Q. Tian, T. Yu, Q. Meng, T. Jancsó, P. Udvardy, and Y. Huang, "A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data,"

Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf., vol. 23, pp. 245–253, 2013.

[P10] T. Jancsó, A. Podor, E. Nagyné Hajnal, P. Udvardy, G. Nagy, A. Varga, Q. Meng, and L. Zhang, "Data integration with geographic information system tools for rural environmental monitoring," in Proc. IRC 2022 XVI. Int. Research Conf., Peking, China, 2022, pp. 52–59.