

**Horváth Zoltán**

## **Kis- és közepes méretű pilóta nélküli repülő eszközök autonóm feladat-végrehajtásának támogatása digitális domborzat modell alkalmazásával**

*A kis- és közepes méretű pilóta nélküli repülő eszközök alkalmazása számos előnyt rejt magában. Ezek az eszközök felderítő, vagy kutató feladatok végrehajtását végezhetik el nehezen megközelíthető, vagy veszélyes terepen az alkalmazók épségének veszélyeztetése nélkül. Az irányítás a célterületől biztonságos távolságban telepített földi irányítópontról megvalósítható. A bevetéshez az előkészítés, a bevetés utáni karbantartás, az alkalmazói képzés lényegesen kevesebb képzési időt és üzemórát vesz igénybe. Az alkalmazói alkalmasság nincs a légi üzemeltetéshez szükséges egészségügyi követelményekhez kötve.*

A pilóta nélküli repülőgépek (továbbiakban UAV) alkalmazásának egyik sarokpontja a földi irányítópont és az UAV közötti kommunikáció stabilitása, illetve annak vizsgálata, hogy az összeköttetés megszakadása milyen hatással lehet az UAV tevékenységére. Az összeköttetés kiesése többnyire az alkalmazott UAV elvesztését jelentheti. A kommunikáció kiesése egyrészt az UAV irányítását, másrészt a felderített adatok földi irányítópontra történő közlését teszi lehetetlenné.

Ha meg tudjuk oldani, hogy az UAV a fedélzetén a mért és tárolt adatok alapján – folyamatos kommunikáció kiesése esetén a kapcsolat helyreállításáig – képes feladatának folytatására, nagy lépést tehetünk meg az UAV-k önállósítása terén.

A feladat-végrehajtás során – autonómiát biztosítva az UAV részére – lehetőség nyílik arra, hogy egy operátor egyidejűleg több UAV feladat-végrehajtását koordinálja, mivel nem szükséges egy UAV felügyeletének folyamatossága.

### **Az UAV-k tevékenységének hagyományos irányítása**

A hagyományos irányítás komoly felkészültséget és folyamatos figyelmet igényel (1. ábra). Az UAV tevékenységének irányítása során az operátornak folyamatosan ismernie kell a pillanatnyi pozíciót és a repülési paramétereket. Nem szabad megfeledkezni arról sem, hogy az operátor gyakorlatilag egy földi telepítésű „pilótafülkéből” irányítja az UAV tevékenységét. Közben a folyamatosan érkező felderítési adatok feldolgozása külön munkahelyet igényelhet. Összességében az UAV levegőben tartása, a felderítési adatok feldolgozása a folyamatos összeköttetésre támaszkodik, és teljes mértékben igénybe veszi az üzemeltetők figyelmét.



1. ábra: Hagyományos irányítás

## Az UAV-k tevékenységének irányítása fedélzeti számítógép alkalmazásával

Számítógépet elhelyezve az UAV fedélzetére gyökeresen megváltozik a helyzet. A földi irányítási pont utasításai leegyszerűsödnek a repülési irányt, vagy az elérendő koordinátát meghatározó paranccsá. A fedélzeti számítógép ez alapján, figyelembe véve a repülés paramétereit és az UAV lehetőségeit, tartja a repülési sebességet, irányt, kivitelezzi a manőverek végrehajtását. Az UAV fedélzetéről a földi irányítópontra sugárzott repülési paraméterek inkább tájékoztatják a kezelőt, mint alátámasztják a közvetlen irányítást (2. ábra).



2. ábra: Irányítás számítógép támogatásával

Ez a rendszer számos hátrány felszámolását célozza meg. Az UAV kezelőnek nem egy pilóta, sokkal inkább egy repülés irányító feladatait kell ellátnia, eltekintve a felszállás és a leszállás fázisától. Megadja a repülési útvonalat, majd felügyeli a végrehajtást. Ezért egy kezelő alkalmassá válik több UAV repülésének egyidejű felügyeletére, miközben az UAV szerkezeti biztonságáról, a manőverek biztonságos kidolgozásáról a fedélzeti számítógép gondoskodik.

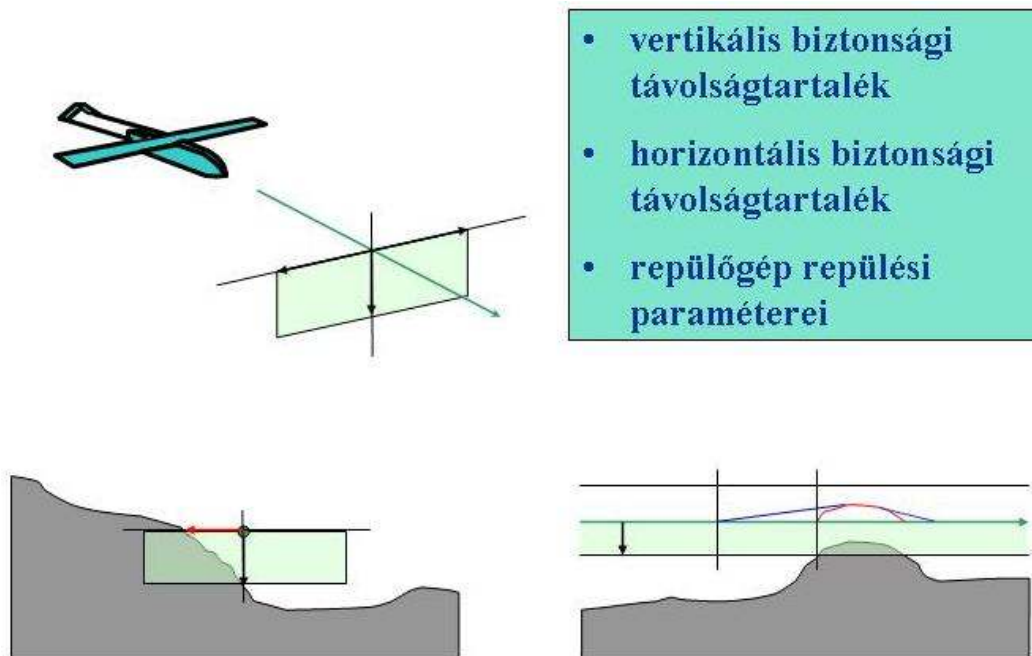
A fedélzeti számítógép, vagy a földi irányító pont számítógépe elvégezheti a különböző (térségi és GPS) koordináta-rendszerek közötti koordináta-transzformációt az egységes megjelenítés érdekében. Így könnyebbé válik az útvonal tervezése és a repülés végrehajtásának figyelemmel kísérése.

Az ilyen rendszer sokkal védettebb az időszakos összeköttetés kiesésével szemben. A fedélzeti számítógép előre kidolgozott algoritmusokkal felkészíthető arra, hogy mi a teendő tartósabb kapcsolathány esetén. A zavarállóság növekedése mellett a vakrepülés is bizonyos szintig megvalósítható. További problémaként merül fel a terepkövető, vagy a kismagasságú repülés biztonságának kérdése.

## A terepdomborzat hatása az UAV-k alkalmazására

Kismagasságú repüléskor, ami a közepes-, de inkább a kis hatótávolságú UAV jellemzője, hogy a legnagyobb veszélyt a terepdomborzat jelenti (3. ábra). Repülés közben bizton-

ságos magasságot kell tartani a terep felett. Szem előtt kell tartani a repülőgép repülési paramétereit (fordulási sugár, maximális emelkedés és süllyedés, stb.). Ügyelni kell arra, hogy a meredek hegyoldalak mellett biztonságos távolságban repüljön el, nehogy kisodródjon, vagy egy erős széláramlat nekisodorja. Az emelkedési képesség meghatározza, hogy egy hegyorom biztonságos átrepüléséhez legalább milyen távolságra kell elkezdeni egy emelkedést. Maximum mekkora lehet a süllyedés, hogy a repülési sebesség ne lépje túl a kritikus értéket.



3. ábra: az UAV és a terepdomborzat

Lehetséges megoldás, a fedélzetre telepített, terepkövetést biztosító eszközök alkalmazása, de ezek méretei, össztömegük miatt nem kivitelezhető.

Mivel a fedélzet és a földi irányítópont is tartalmaz számítógépet, a megoldás a számítógépen tárolható terepet leíró adatokban és az azokat feldolgozó eljárásokban rejlik, melyeknek nincs fizikai mérete és súlya.

### A raszteres állományú Digitális Domborzat Modell

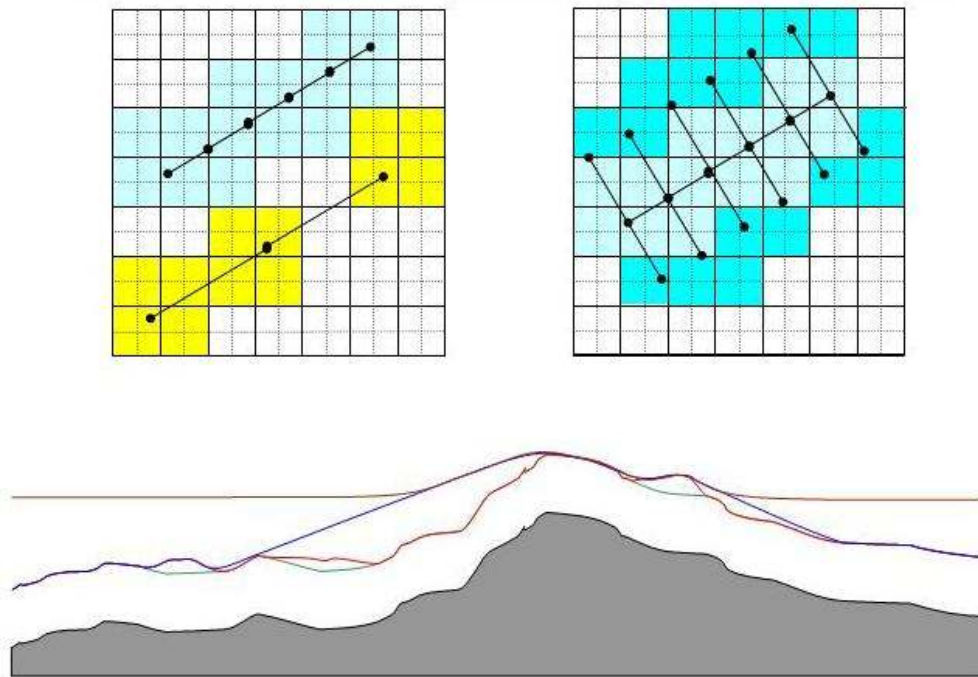
A raszteres állományú DDM a vizsgált terület magassági adatait tartalmazza, rendezett formában. Az adatbázis magassági adatainak létrehozásához a vizsgált területet lefedik egy rácshálóval. Az így létrejövő elemi területeken (cellákban) mért maximális magasságértékeket rendre hozzárendelik egy, a rácsháló méretével azonos sor- és oszlopméretű tömbhöz. Ezt a tömböt oszlop-, vagy sorfolytonosan kiolvastva, háttértárolón szekvenciálisan tárolva megkapjuk a DDM-et. Ha ismert a cellaméret, a tárolás szekvenciája és egy támpont koordinátája, a magasságmérés alapszintje, akkor a vizsgált terület adott pontjának magassága visszakereshető, vagyis koordináta alapján a koordináta-hoz tartozó magasságérték kiszámítható.

### A Digitális Domborzat Modell adatainak feldolgozása

Megfelelően választott lépésközzel a DDM-en vertikális terepmetszet készíthető. A lépésközt úgy kell megválasztani, hogy a metszetkészítés során ne legyen a metszet mentén olyan cella, melynek magassági adata nem kerül feldolgozásra. Ez információvesztéshez vezet (alul-mintavételezés). Ennek elkerülése érdekében a program a cella élhosszánál minden

esetben kisebb lépésközt választ. A metszetkészítés során az osztópont magasságát az öt körülvevő cellanégyes magasságának lineáris interpolációjával állítja elő.

Gondolható, hogy az elkészült terepmetszet már jó kiindulópont a megkívánt repülési magasság számításához. A terepmetszet magassági adatát a megkívánt vertikális biztonsági távolságtartalékkal pontról-pontra növelve célt értünk, de ez a megoldás nem elég körültekintő. Példaként említve meredek hegyoldalhoz közeli útvonal esetén ez a megoldás nem biztosítja a horizontális távolságtartalékot. Tehát a terepmetszet készítésének algoritmusát úgy kell változtatni, hogy nem egy egyenes mentén, hanem egy szélesebb sávban kell a vizsgálatot elvégezni. Így a sávon belül mért maximális magassági adatot kell a megkívánt vertikális biztonsági távolságtartalékkal pontról-pontra növelni (4. ábra).



4. ábra: A DDM adatainak feldolgozása

### A pilóta nélküli repülőgép repülési paramétereinek figyelembevétele

A már eddig kidolgozott repülési útvonal további finomításához a továbbiakban az UAV technikai paramétereit kell figyelembe venni. A maximális emelkedési képességet a hajtómotor teljesítménye, a maximális süllyedés lehetőségét a repülési sebesség kézben tartatósága határozza meg.

Az emelkedés kézben tartása bonyolultnak tűnik, de a DDM alapján számított értékek már rendelkezésre állnak. Ki kell számítani, hogy a repülés során maximális emelkedéssel milyen magasságon érné el a következő pontot az UAV. Ennek ismeretében a számított magasságot összehasonlítva a DDM alapján tervezett magassággal eldönthető, hogy erre a megkívánt emelkedésre az UAV képes-e, vagy sem. Ha nem, akkor a következő, DDM alapján tervezett magasságra kell illeszteni egy egyenest (melynek meredeksége az emelkedés), amely visszametszéssel alkalmas annak megállapítására, hogy hol kell elkezdeni az emelkedést ahhoz, hogy az adott pontot biztonságos magasságon átrepülhesse. Ennek az egyenesnek megfelelően kell korrigálni a DDM alapján tervezett magasságértékeket az emelkedés kezdeti pontja és az adott pont között. Ezt a műveletet a teljes útvonal mentén, pontonként végighaladva kell elvégezni.



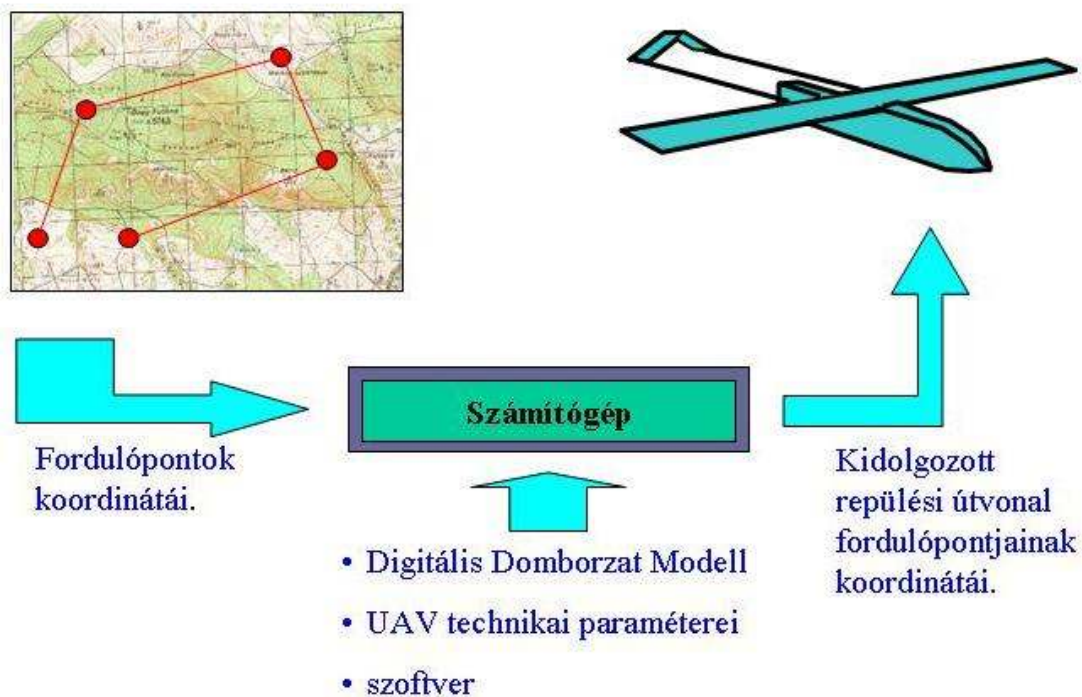
A süllyedés kézbentartása egyszerűbb feladat. Ki kell számítani, hogy a repülés során maximális süllyedéssel milyen magasságon érné el a következő pontot az UAV. Ennek ismeretében a számított magasságot összehasonlítva a DDM alapján tervezett magassággal eldönthető, hogy erre a megkívánt süllyedésre az UAV képes-e, vagy sem. Ha nem, akkor a következő, DDM alapján tervezett magasságot a biztonság érdekében fel kell cserélni a számított magassággal. Ezt a műveletet a teljes útvonal mentén, pontonként végighaladva kell elvégezni.

Az utolsó lépés a minimális tengerszint feletti repülési magasság figyelembe vétele. Ez oldható meg a legegyszerűbben. Végigvizsgálva a repülési útvonal pontjai feletti magasságokat, ha a minimális tengerszint feletti repülési magasság nagyobb, mint a számított, ki kell cserélni a számítottal.

További lehetőség a létrehozott repülési útvonal tömöríthetőségének vizsgálata. Mivel az eredeti fordulópontok kijelölését követően a program az útvonalat számos pontra bontja, melyeket magassági adattal is ellát, ez első megközelítésként sok adatnak tűnik. Az adatmennyiség csökkentése az információtartalom megőrzése mellett a tömörítés alap gondolata, a posztprocesszálas. A repülési útvonal mentén a szomszédos pontok és a hozzá tartozó magasságok között elemi háromdimenziós vektorok feszíthetők ki. Ezen szomszédos elemi vektorok összevonhatók egy vektorrá, ha irányuk azonos.

### A pilóta nélküli repülőgépek útvonaltervezése számítógépes támogatással

A földi irányító pont számítógépét bevonva a repülési útvonal tervezésébe, a folyamat első lépése, térképről leolvastva a koordinátákat az útvonal fordulópontjainak meghatározása (5. ábra). A koordináták és a DDM adatai alapján a számítógép létrehoz egy új repülési útvonalat, melynek függőleges vetülete megegyezik az eredetivel, de lényegesen több koordinátát is tartalmazhat, ugyanis egyenes repülési szakaszon belül a repülési irány nem, de az előírt átrepülési magasság változhat. Figyelembe véve az UAV technikai és térbeli lehetőségeit, minden koordináta-hoz magassági adatokat rendel. Ez a magassági adat vagy a megkövetelt utazómagasság – vagy ha a terep megköveteli – akkor az akadály átrepüléséhez szükséges minimális magasság.



5. ábra: Repülési útvonal tervezési folyamata

Az új repülési útvonalat az UAV fedélzeti számítógépébe töltve, az útvonal összekötés nélkül berepülhető, akár terepkövető módban. Csak a fel- és leszállásról kell gondoskodni.

Az UAV fedélzeti számítógépét bevonva a repülési útvonal tervezésébe a helyzet tovább egyszerűsödik. Elegendő a repülési útvonal fordulópontjainak térképről leolvasott koordinátáit letölteni az UAV fedélzeti számítógépébe. A további feladatokat az UAV önállóan megoldja. Ennek a lehetőségnek további előnye, hogy bizonyos helyzetekben az UAV alkalmassá válik biztonságos repülési útvonal önálló tervezésére (például „feladat megszakítása, hazatérés a legrövidebb úton” parancs hatására).

Minkét esetben a térképelemző munka időigénye erősen lecsökken.

### Egy útvonaltervező demonstrációs program bemutatása

A kivitelezhetőség bemutatása érdekében készült egy számítógépes program, mely az UAV technikai paramétereinek (repülési sebesség, horizontális- és vertikális biztonsági távolságtartalék, maximális emelkedés és süllyedés) figyelembevételével, Digitális Domborzat Modellt (DDM) alkalmazva előzetes repülési terv alapján kidolgoz egy biztonságosan berepülhető útvonalat. A fő cél a megvalósíthatóság bemutatása.

### A program futtatási eredményeinek ismertetése

A továbbiakban két futtatás eredményét szeretném bemutatni. A térképről leolvasott előzetes terv mindkét esetben megegyezik (6. ábra). A két eredmény közötti különbség a megkövetelt minimális tengerszint feletti magasság, illetve az UAV repülési paramétereinek közötti különbségnek köszönhető.

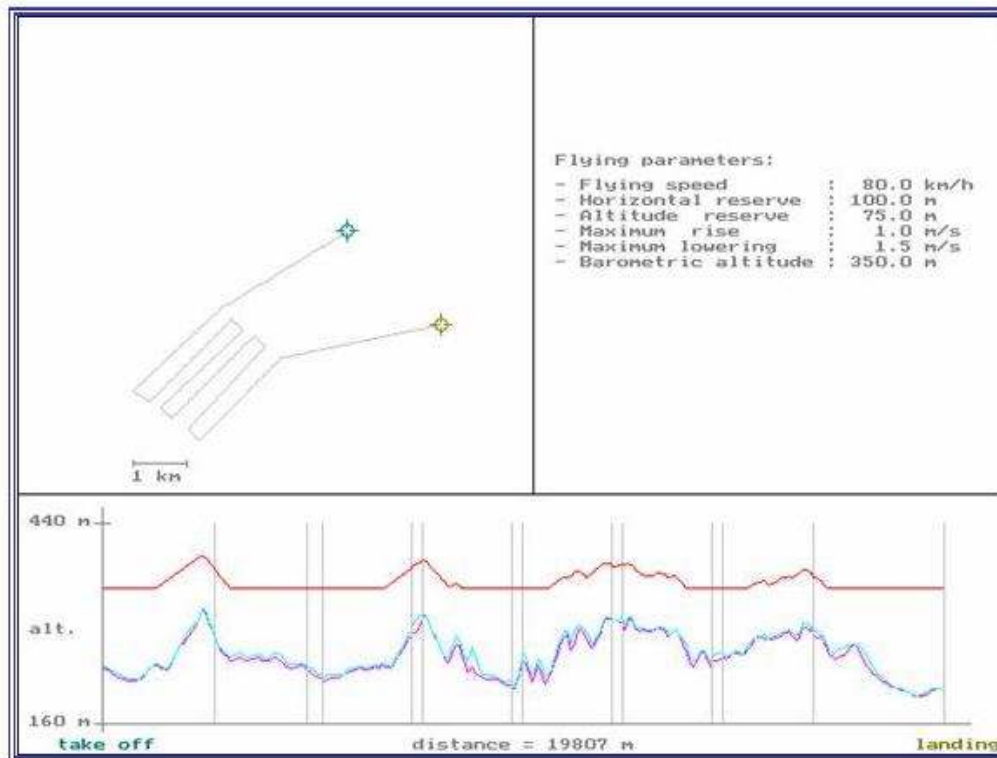
671300,249500  
669000,248100  
667400,246600  
667700,246400  
669200,247900  
669400,247700  
667900,246300  
668100,246100  
669600,247600  
669800,247400  
668400,245900  
668600,245700  
670100,247200  
673000,247800

Állandó repülési sebesség: **80.0 km/h**  
Horizontális távolságtartalék: **100.0 m**  
Vertikális távolságtartalék: **75 m**  
Max. emelkedés: **1.0 m/s**  
Max. merülés: **1.5 m/s**  
Min. magasság: **350 m**

Állandó repülési sebesség: **80.0 km/h**  
Horizontális távolságtartalék: **150.0 m**  
Vertikális távolságtartalék: **75 m**  
Max. emelkedés: **2.0 m/s**  
Max. merülés: **2.0 m/s**  
Min. magasság: **terepkövetés**

6. ábra: Az útvonaltervezés bemenő adatai

A repülési terv vízszintes vetülete a képernyőtervek bal felső részében látható (7. ábra). A megkövetelt minimális tengerszint feletti magasság, illetve az UAV repülési paramétereit a képernyőtervek jobb felső negyedében látható. A képernyőtervek alján található a terepszint alapján létrehozott repülési útvonal bíbor, a repülési sáv vizsgálata alapján létrehozott repülési útvonal világoskék, illetve a végeredménynek számító, UAV tulajdonságait is figyelembe vevő repülési útvonal piros színnel, melyek függőleges vetületek.



7. ábra: Az útvonaltervezés képernyőterve

## A bemenő adatok és az eredmény formátuma

A program az előzetes repülési tervet szövegfájlként kapja meg, mely soronként EOVS koordináta-párokat tartalmaz, ahol a koordinátákat a ',' karakter választja el. A feladat, a soronként adott koordinátájú pontok feletti átrepülés. Ez az útvonal egy kb. 20 km-es előzetes repülési tervet tartalmaz. A létrehozott repülési útvonalakat a program szintén szövegfájlként hozza létre, ahol soronként a koordináta-párok kiegészülnek az adott koordináta-hoz tartozó megkívánt repülési magassággal (8. ábra).

## Az elért eredmények értékelése

A számítógép alkalmazásával elkerülhetővé válik a folyamatos összeköttetés igénye, leegyszerűsödhet a repülőgép irányítása. Ez az útvonal berepülésének félautomata, automata üzemmódját jelentheti (nem folyamatos irányítással, hanem csak beavatkozással, esetleg beavatkozás nélkül), akár terepkövető módban is. A Digitális Domborzat Modell alkalmazásával lehetővé válik az UAV-k autonómiájának növelése, az UAV „valódi robot”-ként viselkedhet.



**Állandó repülési sebesség: 80.0 km/h**  
**Horizontális távolságtartalék: 100.0 m**  
**Vertikális távolságtartalék: 75 m**  
**Max. emelkedés: 1.0 m/s**  
**Max. merülés: 1.5 m/s**  
**Min. magasság: 350 m**

**Állandó repülési sebesség: 80.0 km/h**  
**Horizontális távolságtartalék: 150.0 m**  
**Vertikális távolságtartalék: 75 m**  
**Max. emelkedés: 2.0 m/s**  
**Max. merülés: 2.0 m/s**  
**Min. magasság: terepkövetés**

...  
670235,248852,**350**  
670193,248826,**352**  
670150,248800,**354**  
670107,248774,**356**  
670065,248748,**358**  
670022,248722,**361**  
669980,248696,**363**  
669937,248670,**365**  
...

...  
670235,248852,**322**  
670193,248826,**323**  
670150,248800,**320**  
670107,248774,**318**  
670065,248748,**322**  
670022,248722,**327**  
669980,248696,**331**  
669937,248670,**336**  
...

8. ábra: Az útvonaltervezés kimenő adatai

### Felhasznált irodalom

- [1] BENKŐ TIBORNÉ – BENKŐ LÁSZLÓ – TÓTH BERTALAN – VARGA BALÁZS,  
Programozzunk Turbo Pascal Nyelven, ComputerBooks Kiadói Kft.,  
Budapest, 1999/2000
- [2] DR. DETREKŐI ÁKOS – DR. SZABÓ GYÖRGY,  
Bevezetés a térinformatikába, Nemzet Tankönyvkiadó, Budapest, 1995
- [3] ZENTAI LÁSZLÓ,  
Számítógépes térképészet, ELTE Eötvös kiadó, Budapest, 2000
- [4] MICROPILOT UAV AUTOPILOTS HOMEPAGE,  
<http://www.micropilot.com/>
- [5] UAV FLIGHT SYSTEMS HOMEPAGE,  
<http://www.uavflight.com/>