

Paulik Beáta¹ – Dr. Wantuch Ferenc² – Ozoli Zoltán³

PILÓTA NÉLKÜLI LÉGI JÁRMŰVEK METEOROLÓGIAI ÜZEMELTETÉSE⁴

A pilóta nélküli légi jármű rendszerek széleskörű elterjedése szükségessé tette azok folyamatos fejlesztését. Ezen rendszerek biztonságos működéséhez nagyon fontos az időjárás pontos számszerű ismerete a repülés különböző szakaszaiban. A legfontosabb feladatok egyike, hogy egy előre megtervezett, időjárás szempontjából legbiztonságosabb repülési útvonalat tudjunk meghatározni. Az UAV⁵ rendszerekben alkalmazott repülőgépek jellegétől függően változhatnak azok az időjárási minimumok, melyekben a repülőgép még alkalmazható. A feladat elvégzése érdekében egy döntéstámogató rendszer lett kifejlesztve. Egy esettanulmány keretében egy adott repülési feladat végrehajtásakor fennálló időjárás, illetve az időjárás paramétereinek megvizsgálása és kiértékelése után a repülőgép kezelője megállapíthatja, hogy az adott repülési feladat biztonságosan végrehajtható e.

UNMANNED AERIAL VEHICLES METEOROLOGICAL OPERATION

The unmanned aerial vehicles systems necessitated the widespread distribution of their persistent development. Safe operation of these systems is very important for accurate numerical of the weather knowledge of the different sections of the flying. One of the most important tasks that one forward planned, in terms of weather we can determine the safest flight path. The UAV systems used in character of airplanes are may change depending on the weather minimum, in which the airplane is used. The task of a decision support system was developed. A case study of an aviation weather prevailing at the task, and after assess and evalute weather parameter, the aircraft operator may establish that the aircraft safe to do this task.

PILÓTA NÉLKÜLI LÉGI JÁRMŰ RENDSZEREK

UAV, azaz pilóta nélküli légi jármű minden olyan repülő eszköz, mely fedélzetén nincs a repülőgépet irányító szakszemélyzet, az irányítást valamilyen távvezérlő rendszer segítségével oldja meg a földi személyzet. [1][2] Az UAV-k lehetnek egyszer használatosak, vagy többször felhasználhatóak, és a feladatuktól függően különböző hasznos terhelést pl. felderítő eszközöket, fegyvereket is hordozhatnak. Ugyanakkor az UAV-k csak egy alrendszere egy összetett rendszernek, mely az UAS⁶, azaz pilóta nélküli légi jármű rendszer nevet viseli (a légi jármű és annak működését biztosító rendszerek), ebből következően az UAV megnevezést csak abban az esetben használhatjuk, ha magáról a repülő eszközről beszélünk, mint repülő szerkezet vonatkozásában. [3]

¹ ELTE Meteorológiai Tanszék, paulikbeja@gmail.com

² Nemzeti Közlekedési Hatóság Légügyi Hivatal, wantuch.ferenc@nkh.gov.hu

³ Nemzeti Közlekedési Hatóság Légügyi Hivatal, ozoli.zoltan@nkh.gov.hu

⁴ Lektorálta: Dr. Bottyán Zsolt, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bottyan.zsolt@uni-nke.hu

⁵ UAV: Unmanned Aerial/Air Vehicle – Pilóta nélküli légi jármű

⁶ UAS: Unmanned Aircraft System – Pilóta nélküli légi jármű rendszer

Napjainkban egyre nagyobb szerepet kapnak ezek az eszközök, melyek elsősorban csökkentik az emberi életet és egészséget kockáztató katonai, polgári és katasztrófavédelmi feladatokat. [1][4] Tömegük a néhány kilogrammostól több tonnásig is terjedhet, de manapság már a néhány gramm, akár rovar méretű repülőeszközök alkalmazása sem lehetetlen feladat. Meghajtó rendszerüket tekintve lehet elektromos, belső égésű dugattyús motoros valamint gázturbinás. [5] Valamennyi pilóta nélküli légi jármű rendszer két fő alrendszerből tevődik össze: egy földi és egy légi alrendszer. Maga a földi alrendszer feladata a repülési útvonal és repülési feladat megtervezése, a repülés irányítása és a beérkező adatok feldolgozása, majd kiértékelése. Magába foglalja a számítógép alapú képfeldolgozó rendszert, egy irányító eszközt a manuális irányításhoz, továbbá ide tartozik a kommunikációs, az indító és a leszállító alrendszer is. Természetesen számos más berendezés is szükséges a megfelelő földi állomás működéséhez, mint például a tápáramforrások, ellenőrző és karbantartó berendezések. [6] [7] A légi alrendszer a pilóta nélküli légi jármű és a feladatnak megfelelő hasznos teherből tevődik össze. Maga a repülőeszköz a sárkányszerkezetből áll, mely magába foglalja a géptörzset, a szárnyakat, a vízszintes és függőleges irányfelületeket, és a repülőeszköz típusától függően, a futóművet. A géptörzsben található a hajtómű, az elektromos berendezések, a hasznos teher és az adatterminál, valamint az integrált repülési irányító rendszer is. [3] Hasznos teher alatt értjük az UAV alaprendeltetését megvalósító eszközöket, pontosabban a szenzorokat és radarokat, rádióelektronikai felderítő és navigációs berendezéseket. [7]

REPÜLÉS VÉGREHAJTÁSÁT BEFOLYÁSOLÓ METEOROLÓGIAI PARAMÉTEREK

Mint korábban már említettem a repülőgépek az útjuk során kiemelkedően fontos jelentősége van a biztonságnak. Feladatuk végrehajtását mindenekelőtt az időjárási paraméterekben bekövetkező kisebb változások is jelentősen meghatározzák, akár akadályozzák. Ilyen paraméterek többek között a szél sebessége és iránya, a felhőzet mennyisége, a látástávolság, a zivatar zónák, melyekkel együtt jelentkezhethet, de önállóan is felléphet a turbulencia és a jegesedés, melyek meggátolhatják a repülés sikeres végrehajtást. [8]

Jegesedés tekintetében a kisebb teljesítményű gépek esetében elsősorban a jég súlya a meghatározó, egyébként a jégbevonat rontja a gépek aerodinamikai tulajdonságát. Jégbevonat keletkezhet a légáramlásnak kitett részekben, mely következtében növekedhet az ellenállás az érdesebb felszín miatt, illetve a jeges felszín felett megváltozó áramlási viszonyok során a nyomás eloszlás módosulása miatt csökkenhet a felhajtó erő nagysága.

A szél mezeje térben és időben rendezetlen, s ezt a rendezetlen áramlást nevezzük turbulenciának. A teljes troposzférában, az alsó sztratoszférában is felléphet, de leggyakrabban a 2 km-es szint alatt és a 6 km-es szint felett fordul elő. A repülőgép a turbulenciára rázkódással, dobálással reagál. Némelyik nagyobb léptékű mozgást finomabb vezetési technikával ellensúlyozni lehet, de vannak olyanok, melyek jelentős mértékben befolyásolhatják a repülést, pl. zivatarok esetében.

Szél sebességének és irányának változása, azaz a szélnyírásnak a szélsebesség-vektor kis távolságon történő nagyságának és/vagy irányának megváltozását értjük, mely a légkör bármely részén előfordulhat. Repülési szempontból akkor van jelentősége, ha olyan erős, hogy a gépet hirtelen eltéríti a repülési pályájáról és a kormányozhatóságot lehetetlenné teszi. Maga a

szélnyírás turbulens mozgást idéz elő két réteg határán, ha egy bizonyos nagyságrendet elér, pl. zivatarfelhőben. Szembeszél-szélnyírás esetén a gép levegőhöz viszonyított sebessége nő, ezért emelkedni kezd, hátszél-szélnyírás esetén azonban csökken a sebessége, ezért magasságot veszíthet. Oldalszél-szélnyírás során a gép jobbra vagy balra sodródhat el, le- és feláramlási szélnyíráskor a gép hirtelen süllyedhet vagy emelkedhet.

Zivatar hatása magába foglalja a turbulenciát, jegesedést és szélnyírás kockázatát is. Így külön nem ejtenék szót róla.

A felhőzet egyrészt akadályozza az informálódást, megnehezíti a le- illetve felszállást, de egyes felhőfajtákban akár jegesedés vagy turbulencia is előfordulhat (Cumulonimbus, Cumulus congestus). A felhőben lévő vízcseppek és jégkristályok erősen korlátozzák a látási viszonyokat. A felhőben való repülés annál veszélyesebb minél alacsonyabban vannak, különösen hegyvidéki területek esetében (Stratus). [9][10]

Feladat leírása

Munkánk folyamán egy olyan szoftvert szeretnénk kifejleszteni, amely alkalmas arra, hogy a pilóta nélküli légi járművek különböző alkalmazásakor konkrét operatív gyakorlati segítséget adjon a felhasználói személyzet részére. Az ilyen típusú szoftver jövőbeli alkalmazása biztonságosabbá tenné például a katonai feladatok végrehajtását.

Feladatunk során a meteorológiai állapotváltozók tér és időbeli eloszlásának ismeretében kidolgozásra került egy optimum számítási eljárás, mely a gráfelmélet alapján egy minimalizációs módszer. Az eljárás során megadható az időjárás tekintetében egy lehetséges optimális repülési pálya. Ennek érdekében több C program nyelven íródott kód lett megírva, mely képes a grib formátumban megadott adatokat fogadni, és amely segítségével különböző lekérdezésekkel a számunkra szükséges meteorológia adatokat kiolvastva és általunk megadott számítási képleteket alkalmazva felépíti az optimális útvonalat, ezáltal megadva a feladat végrehajthatóságát. A feladat végrehajtása érdekében az ELTE-n futó WRF numerikus modell kimenő adatait használtuk fel.

A WRF modell (Weather Research and Forecasting Model) egy mezoskálájú időjárás előrejelző és adatasszimilációs rendszer (kezdeti feltételek előállítás), mely kiválóan alkalmas a légköri folyamatok numerikus modellezésére. Magát a modellt az Egyesült Államokban dolgozták ki, több egyetem közös munkájának eredményeképpen született meg. Két dinamikai megoldó felülettel rendelkezik, ezek egyike a NCAR MMM⁷ által lett kifejlesztve, ez a WRF ARW⁸, illetve a másikat a NOAA NCEP⁹ fejlesztette ki, ez pedig a WRF NMM¹⁰. Előbbit elsősorban kutatásokra, utóbbit pedig operatív célokra alkalmazzák. Jelen munkánkban a WRF ARW rendszert alkalmaztuk.

Fő programegységei: WRF előfeldolgozó rendszer, WRF 3DVAR (3D adatasszimilációs) rendszer, ARW megoldó szegmens, végül az utófeldolgozó rendszer, mely a modell output netCDF fájljait dolgozza fel és akár grafikusán is megjeleníthetővé teszi számunkra.

⁷Center for Atmospheric Research Mesoscale and Microscale Meteorology Division

⁸Advanced Research WRF

⁹National Oceanic and Atmospheric Administration National Centers for Environmental Prediction

¹⁰Nonhydrostatic Mesoscale Model

A WRF V3.3 modell futtatása naponta négyszer, főterminusokban történik az ELTE Meteorológiai Tanszék szerverén. Négy processzor dolgozik folyamatosan a futtatás ideje alatt. A modell kezdeti feltételeit 0.5°x0.5°-os felbontású GFS (Global Forecasting System) mezők adják. Ezek a mezők 180 órára állnak rendelkezésre az analízis időpontjától számítva. 00 UTC-s futtatás esetében a GFS adatok letöltése helyi idő szerint 5.30-kor indul és körülbelül fél óráig tart. Ezt követően az előfeldolgozó rendszer veszi át a szerepet, mely körülbelül 20 percet igényel. Ha ezzel végezett, következik a leghosszabb ideig tartó munkafolyamat, a modellintegrálás, 0-96 óráig, mely nem sokkal kevesebb, mint 2 órát vesz igénybe. Végül az utófeldolgozás pár perces munka után elvégzi feladatát, amikor is a modellváltozókön kívüli egyéb változók is kiszámításra kerülnek, illetve grafikus formában is megjeleníthetővé válnak az adatok. [11][12]

Tesztelés fázisában 2010. Augusztus 13. 00Z időszakra vonatkozó 60 perces időlépcsővel rendelkező, Szeged körüli 20 km-es sugarú körből származó meteorológiai állapotjelzőkkel dolgoztunk. Földrajzi koordináták alapján É.sz. 46.31°- 46.4855° és K.h. 19.91°- 20.0855°, ahol a ráctávolság 0.0045 fok volt, mely 1 km-nek felel meg. Összesen 43 z modellszinttel és 17 modellváltozóval dolgoztunk. A z szintek magasságát a tengerszinthez viszonyítottuk.

VÁLTOZÓ	SZINT	VÁLTOZÓ MEGNEVEZÉSE, MÉRTÉKEGYSÉGE
U	43	X IRÁNYÚ SZÉLSEBESSÉG KOMPONENS (M/S)
V	43	Y IRÁNYÚ SZÉLSEBESSÉG KOMPONENS (M/S)
W	43	Z IRÁNYÚ SZÉLSEBESSÉG KOMPONENS (M/S)
V10	1	10 M-EN Y IRÁNYÚ SZÉLSEBESSÉG KOMPONENS (M/S)
WSPD	43	SZÉLSEBESSÉG (M/S)
WDIR	43	SZÉLIRÁNY (°)
WS10	1	10 M-EN SZÉLSEBESSÉG (M/S)
WD10	1	10 M-EN SZÉLIRÁNY (°)
TC	43	HŐMÉRSÉKLET (°C)
TD	43	HARMATPONT (°C)
TD2	1	2 M-EN HARMATPONT (°C)
HEIGHT	43	MODELL MAGASSÁGI SZINTEK (KM)
SLP	1	TENGERSZINT FELETTI LÉGNYOMÁS (HPA)
PBLH	1	PLANETÁRIS HATÁRRÉTEG MAGASSÁGA (M)
CLFLO	1	ALACSONY SZINTŰ FELHŐZET (%)
CLFMI	1	KÖZEPES SZINTŰ FELHŐZET (%)
CLFHI	1	MAGAS SZINTŰ FELHŐZET (%)

1. táblázat Modellváltozók

Optimális út kiszámítása

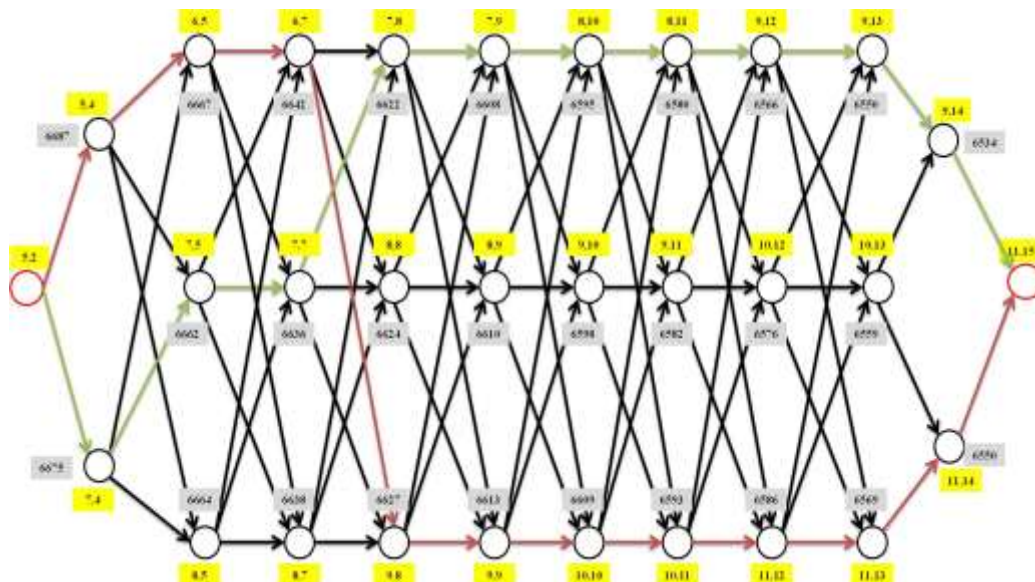
A feladatunk végrehajtásához a gráfelmélet elvét használtuk fel. Ugyanis a Bellman-féle optimum elv kimondja, hogy ha a k-fokozatú rendszer j állapotához tartozó döntéssorozat optimális, akkor ennek első (k-1) eleme is optimális döntéssorozat a (k-1) fokozatú rendszernek arra az állapotára vonatkozóan, amelyet a k-fokozatú rendszer állapota és a k-adik fokozatban

hozott döntés határoz meg. [13] A tétel azt mondja ki, hogy egy optimális döntéssorozat minden egyes lépése szintén optimális. Ennek alapján egy eljárást dolgoztunk ki az optimális útvonal meghatározására és a mi esetünkre vonatkozólag felépítettünk egy gráfot.

Optimális útvonal előállítására szolgáló program felépítése

Először a program bekéri a felhasználótól a kezdő és végpont koordinátákat (hosszúsági és szélességi fokokat), ezek a lambda és fi adatok. Ellenőrzés képen, hogy léteznek e a megadott értékek, felépít egy 40x40-es mátrixot, mely középpontját mi adtuk meg (K.h. 20° és É.sz. 46.4°), és az értékek közti távolság 0.0045 rácsfelbontásnak felel meg. Ha közte van a megadott két pont értéke, akkor folytatódik a program, ellenkező esetben jelez a felhasználónak és új adatot kér be.

Jelenlegi tesztfuttatás a szélsőbességek értékekre van elkészítve. Kezdő pont földrajzi koordinátái K.h. 19.928 és É.sz. 46.3145, végpont földrajzi koordinátái K.h. 19.955 és É.sz. 46.373. Munkánk során a WRF modellből kiolvasott értékeket használjuk fel, melyeket szintén 40x40-es mátrixban tárolunk, és igazodik a földrajzi koordinátákhoz. Tehát a program megnyitja ezt a fájlt és ebből olvassa ki a megfelelő értékeket. A gráf felépítésének menete a következő képen történik. Először a kezdő és végpontot megfelelő koordinátákhoz párosítja (melyik x, y koordinátának felelnek meg a 40x40-es mátrixban, azaz hányadik oszlop és sorban helyezkednek el a földrajzi koordináták), és megállapítja a két pont közötti távolságot, mely segítségével a köztük lévő osztáspontok koordinátáit is ki tudjuk számítani azaz, hogy hány szakaszra osztható fel a köztük lévő távolság, ez fogja megadni a gerincelemeket. A gráf első és utolsó fokozatában 2-2 db koordináta pont, a többiben pedig 3-3 db koordináta pont található. Utóbbit, vagyis hogy hány darab elem legyen az egyes fokozatokban, mi határozhatjuk meg.



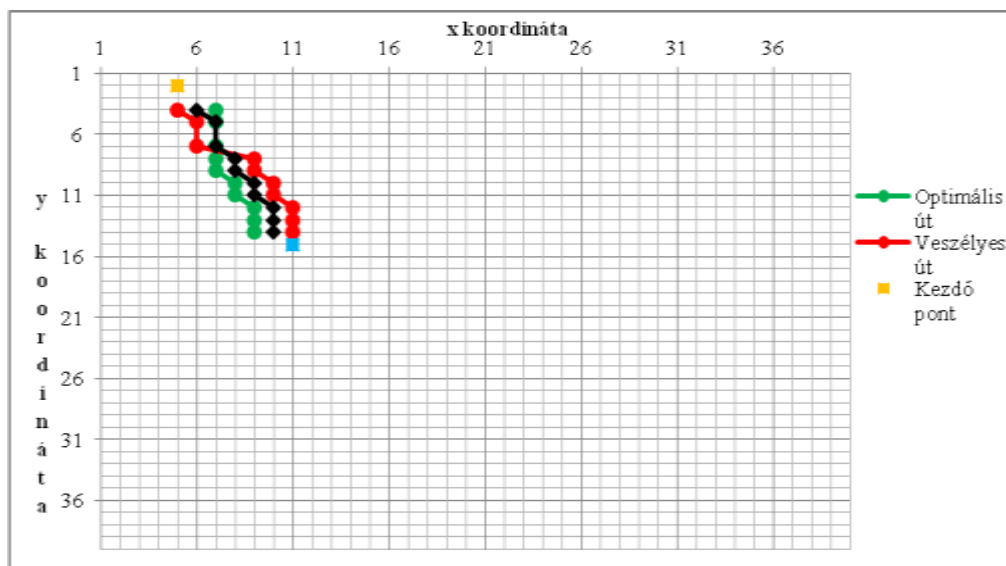
1. ábra Gráf felépítése. A körök jelölik a gráf pontjait, a sárga négyzetek a megfelelő x,y koordinátákat, a szürke négyzetek a súly értékeket, a zöld nyilak az optimális útvonalat, a piros nyilak a veszélyes útvonalat, a fekete nyilak a további lehetséges útvonalat.

A gráf felépítése során ellenőrzésre kerül a koordináták egyezősége, ugyanis ha talál egyező koordinátákat az eljárás során, akkor azt kihagyja és folytatódik tovább az építés úgy, hogy a gerinc elemek első vagy második koordinátájához hozzáad, illetve kivon 1-et, ezáltal a gerinc elem két szomszédos eleme is meghatározásra kerül. Ha megvannak a gráf koordinátái, akkor a megfelelő

koordinátákhoz megkeresi a szélesség adatokból a hozzá tartozó értékeket, és az általunk megadott súlyozás szerinti értéket adja át az adott koordináta pontnak. Jelenleg a súlyozást, hogy észrevehetőbb különbségeket lássunk, mivel elég kicsik az eltérések az egyes szélesség értékek között, ezért megnéztük, hogy milyen minimum illetve maximum érték található köztük, és ez alapján állítottunk fel egy súlyozási kategóriát. Amennyiben egy adott értéket meghalad a szélesség értéke és nincs mód más irányú repülésre, akkor jelez a program és egészében veszélyesnek ítéli a repülés végrehajtását, így nem ad optimális útvonalat sem. Abban az esetben, ha nincs veszélyes érték, az optimális útvonal kerül kiszámításra. Ennek során a program megnézi, hogy az indulási pontot követően a következő pontokban melyik a legkisebb súlyozott értékű koordináta pont és abba megy tovább. Azonban, ha ugyan olyan értékeket talál, akkor az indulást követő pontoknál a legelső (felső) ponton halad tovább, a továbbiakban talált ugyanolyan értékek esetében pedig, az előző pont alapján dönti el a további haladás irányát. Vagyis ha az előző pontban a 3. ponton haladt, és a következő döntés során azt tapasztalta, hogy mind a 3 pontban ugyanolyan súlyértékek vannak, akkor újra a 3. pontot fogja választani. Végül eljutunk a végpontba.

A program során nem csak az optimális út kerül kiíratásra, hanem a legveszélyesebb útvonal is, ehhez éppen az ellenkezőjét veszi figyelembe, azaz nem a legkisebb súlyértékekkel, hanem a legnagyobbakkal számol.

Minden szükséges információ txt fájlba kiíratásra kerül. Azaz a gráf pontok, gerincelemek, optimális útvonal koordinátái, a veszélyes útvonal koordinátái, illetve egy külön táblázatba pedig az optimális útvonalhoz tartozó földrajzi koordináták és szélesség értékek is, valamint abban az esetben, ha toronyiránt menne a gép, milyen értékek tartoznak hozzá. Az utak koordinátáinak segítségével grafikusán is megjeleníthető az útvonal, melyet Excel táblázat kezelővel hajtottunk végre. Ezt a futtatást különböző magassági szintekre el lehet végezni.



2. ábra Az optimális, a veszélyes és a toronyiránt vezető útvonalak.

optimalisut_3000.txt - Jegyzetkönyv

Fájl Szerkesztés Formátum Nézet Súgó

Egy optimális útvonal:

Lambda	Fi	3000 m
19.928000	46.314500	9.453330 m/s
19.923500	46.337000	9.415160 m/s
19.928000	46.337000	9.400960 m/s
19.937000	46.337000	9.371900 m/s
19.941500	46.337000	9.356710 m/s
19.946000	46.337000	9.341360 m/s
19.950500	46.341500	9.326820 m/s
19.955000	46.341500	9.310080 m/s
19.959500	46.346000	9.294620 m/s
19.964000	46.346000	9.276910 m/s
19.968500	46.346000	9.258470 m/s
19.955000	46.373000	9.255560 m/s

Toronyirányban:

Lambda	Fi	3000 m
19.928000	46.314500	9.453330 m/s
19.923500	46.332500	9.420600 m/s
19.928000	46.337000	9.400960 m/s
19.937000	46.337000	9.371900 m/s
19.941500	46.341500	9.358410 m/s
19.946000	46.341500	9.342610 m/s
19.950500	46.346000	9.329920 m/s
19.955000	46.346000	9.312330 m/s
19.959500	46.350500	9.305360 m/s
19.964000	46.350500	9.286930 m/s
19.968500	46.350500	9.267250 m/s
19.955000	46.373000	9.255560 m/s

3. ábra Optimális útvonal földrajzi koordinátái és a hozzá tartozó szélsősebesség értékek 3000 méteres szintre.

Meteorológiai paraméterek megadása

A WRF modell segítségével kapott adatokat a következő képen használtuk fel a program segítségével. Minden paraméter fájl egy 40x40-es mátrixban található, mely a földrajzi koordinátáknak megfelelően lett kiolvasva a modell fájlból.

Először is meghatározzuk, hogy mely adatokra van szükségünk a számítások során és a megfelelő fájlokat megadjuk a programnak. Mi több magassági szint adatait használtuk fel: 10 m-es szélsősebesség és szélirány, 100 m, 300 m, 600 m, 900 m, 1500 m, 3000 m, és 4000 m szélsősebesség, szélirány, vertikális sebesség, hőmérséklet, valamint harmatpont és magasság értékek, 5500 m-es hőmérséklet, alacsony, közepes és magas szintű felhőzet mennyisége, tengerszint feletti légnyomás értéke.

Ez a program is, először bekéri a felhasználótól többek között a kimenő fájl nevét, az adott időszakra szóló értékek dátumát (év, hónap, nap, óra), a földrajzi koordinátákat és a repülőgép szárnyfesztávolságát (későbbiekben a turbulencia számításhoz).

Számítási műveletek

A tengerszint feletti légnyomás értéke tájékoztatási jelleggel kerül megadásra a fejlécbe a dátum és földrajzi koordináták mellett. Ezt követően a felsorolt magassági szintekhez tartozó megfelelő értékeket kiolvasva kiíratásra kerül egy táblázat formájában a txt fájlba. Hasonló képen jártunk el, mint korábban a gráf során. Itt is 40x40-es mátrixból a korábban a földrajzi koordinátákhoz társított x, y koordináták alapján kikeresi a megfelelő értékeket és kiírja azokat. A szintek után következő táblázat a felhőzet mennyiségéről és alapjáról tájékoztat. A

fájlból kiolvasott 0 és 1 közötti értékeket társítja a következő öt kategóriákhoz: SKC – 0 okta (0 érték), FEW – 1-2 okta, SCT – 3-4 okta, BKN – 5-7 okta és OVC – 8 okta (1-es érték). Felhőalap számításra is sor került, mégpedig a Ferrel formula használatával, mely felhasználja a felszín hőmérsékleti és harmatponti értékét: [14]

$$(T - TD) \times 125 \quad (1)$$

ha van alacsony szintű felhőzet, akkor oda írja az értéket, ha nincs akkor a következő szintű mellé. A további fejlesztések során ez a modul kicserélhető akár összetett felhőfizikai modellel is.

Ezután a veszélyes időjárási jelenségek előfordulásának megbecslése a fő feladat. Ezeknek a repülésre veszélyes időjárási jelenségeknek kiszámításához első közelítésben könnyen programozható képleteket alkalmaztunk, de természetesen ezek később könnyen kicserélhetőek összetettebb modellekkel a jobb és pontosabb eredmények érdekében.

Először a zivatar valószínűségével kezdtünk, melyhez első közelítésben a K index tűnt a leghasználatóbbnak. [15]

$$KI = (T850 - T500) + TD850 - (T700 - TD700) \quad (2)$$

A képletben a 850 hPa, 500 hPa és 700 hPa-os szint hőmérséklet, illetve 700 hPa és 850 hPa-os szint harmatpontjának értékei szerepelnek. Ha a $KI < 15$ - Nem várható zivatar, 15-21 között az előfordulás valószínűsége kisebb, mint 20%, 21-26 között 20-40%, 26-31 között 40-60%, 31-36 között 60-80% és 36-41 között 80-90% a zivatar valószínűsége, ha pedig nagyobb, mint 41 a KI értéke, akkor közel 100%, hogy heves zivatar várható. [16]

A látástávolság kiértékelése a FOGSI index kiszámításával történik. Maga a FOGSI index egyébként a látástávolság és a különböző fizikai mennyiségek közötti kapcsolatot írja le. [17]

$$FOGSI = 2 \times |T_{fsz} - T850| + 2 \times (T1000 - TD1000) + 2 \times W850 \quad (4)$$

ahol

- T_{fsz} a felszíni hőmérséklet (°C);
- $T850$ a 850 hPa-os szint hőmérséklete (°C);
- $T1000$ és $TD1000$ az 1000 hPa-os szint hőmérséklete és harmatpontja (°C);
- $W850$ a 850 hPa-os szint szélessége (m/s).

A FOGSI index azonban önmagában nem, csak igen összetett döntési eljárások egyidejű alkalmazásával alkalmas a látástávolság megbecsülésére. Mi ezt az összetett többszörös döntési fákot alkalmazó algoritmust használtuk fel.

Ezt követi a jegesedés valószínűségének megállapítása. Ha van jegesedés, akkor milyen magassági szinten várható. Ennek során az úgynevezett *hazai kombinált módszert* alkalmaztuk, azaz kiszámítjuk a harmatpont-depressziót és megszorozzuk -8-cal. Ha az így kapott érték nagyobb vagy egyenlő a réteg hőmérsékletével, akkor ott jegesedésre lehet számítani. Ezen kívül, ha a réteg hőmérséklete kisebb, mint -15 °C, de nagyobb, mint 0,01 °C és a relatív nedvesség értéke eléri vagy meghaladja a 85%-ot, akkor is riaszt. Ez minden magassági szintre kiszámítható, és csak annak a magasságnak az értéke kerül kiíratásra, amelyiken ezek a feltételek teljesültek, ha

egyiken sem tapasztalható jegesedés, akkor jegesedés nem várható jelzés adódik. [18]

Végül, de nem utolsó sorban a turbulencia számítása. Ez meglehetősen nehéz feladat, mert pontos számítási mechanizmus még nem került előállításra. Talán az egyik könnyen programozható képlet a Reynolds szám meghatározása segítségével történhet. A képlet során felhasználjuk az adott szint hőmérsékleti értékét, valamint a különböző magasság értékekhez tartozó nyomási értékeket is, mindezt a kinematikai viszkozitás meghatározásához. Továbbá szükséges még az áramlás sebessége és a szárnyfeszítávolság mérete is. [19] [20]

$$Re = \frac{v \times l}{\vartheta} \quad (5)$$

ahol

- v az áramlás sebesség (m/s);
- l szárnyfeszítávolság (m);
- ϑ a kinematikai viszkozitás (m^2/s), kiszámítása a következő képen történik:

$$\vartheta_{T,p} = \vartheta_0 \times \left(\frac{p_0 \times (T_0 + C)}{p \times (T + C)} \right) \times \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (6)$$

ahol

- ϑ_0 referencia szint kinematikai viszkozitása, értéke $1,47 \times 10^{-5} m^2/s$;
- p_0 referencia szint nyomása, értéke 101325 Pa;
- T_0 referencia szint hőmérséklete, értéke 288,15 K;
- C állandó, 120 K;
- p adott szint nyomása (Pa);
- T adott szint hőmérséklete (K).

Ezzel kapunk egy értéket, mely ha meghalad egy kritikus számot, akkor jelez, hogy milyen nyomási szinten várható turbulencia. Ez a kritikus érték önkényesen lett megadva, sík felületek esetében 300 000 és 500 000 között változik, mi köztes értéket, azaz 400 000-et adtunk meg. [21]

Legutoljára a szélnyírás mértéke került meghatározásra a cosinus tétel alkalmazásával, mely két szélsősebesség vektor nagyságának értéke és a közbe zárt szögükkel a harmadik szélsősebesség vektor nagysága is megadható, azaz egyfajta szélnyírás-vektorok különbsége segítségével.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2 \times a \times b \times \cos \alpha \quad (6)$$

Végül egységesen mindez így mutat táblázat formájában:

A_pont.txt - Jegyzetfőm

Fájl Szerkesztés Formátum Nézet Súgó

Dátum: 2010.08.13.192 LON: 19.9280 LAT: 46.3145 Nyomás: 1012.970000

Szint (m)	Szélesség (m/s)	Szélirány (°)	W (m/s)	T (°C)	Td (°C)
Talaj(10 m)	1.636130	108.713000			
100 m	3.331620	108.726000	-0.001406	29.926200	19.853900
300 m	5.462680	130.346000	0.000927	30.268400	17.273200
600 m	7.047070	131.680000	0.013011	28.028300	15.849100
900 m	7.930450	139.897000	0.008117	23.805100	14.679400
1500 m	11.931300	153.102000	0.033309	19.122300	13.227800
3000 m	11.125300	191.014000	-0.039456	7.158800	1.167780
4000 m	11.856900	199.216000	-0.054582	-0.293184	-11.882400

Felhőzet	Mennyiség	Alap
alacsony	SKC - 0.000000	
közepes	SKC - 0.000000	
nagas	SKC - 0.000000	

veszélyes jelenségek

Zivatar: KI = 36.240890 - Intenzív zivatarvétekenység valószínűsége 80-90 %

Látástávolság: 20.6 km

Jegesedés: Nem várható

Turbulencia: Turbulencia várható 1000 hPa-on, 970 hPa-on, 940 hPa-on, 910 hPa-on, 850 hPa-on, 700 hPa-on, 600 hPa-on

Szélnyírás mértéke: 11.983472 m/s

4. ábra. Kezdőpontban lévő meteorológiai paraméterek

Összegzés, jövőbeli célok

A napjainkban egyre gyakrabban használatos pilóta nélküli légi járművek esetében a meteorológiai állapotjelzők figyelembe vételével kidolgozható egy szoftverrendszer, mely javaslatot tesz a földi irányító személyzet számára a repülési útvonal során fellépő időjárási minimumok alapján kidolgozott optimális és veszélyes útvonalról.

A jövőben figyelembe fogjuk venni a jegesedés, a látástávolság, a szélnyírás, a turbulencia nagyságát és a zivatar valószínűségét is az egyes pontokban és különböző súlyértékekkel látjuk el, hasonlóan a szélesség értékekhez, majd pedig egy-egy ponthoz tartozó súlyértékek összegét figyelembe véve fog kiszámításra kerülni az optimális útvonal. A további terveink közt szerepel, hogy a cikkben leírt szoftverrendszert hamarosan gyakorlati tesztelésnek is alá fogjuk vetni, azaz éles helyzetben is kipróbálásra fog kerülni, hogy mennyire használható a repülés biztosításához.



TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg”.

„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] WÜHRL TIBOR: Kisméretű pilóta nélküli repülőgépek biztonságtechnikája. Doktori (Phd) értekezés. 2007.
- [2] DR. KOVÁCS LÁSZLÓ, DR. VÁNYA LÁSZLÓ: Pilóta nélküli repülőgépek a terrorizmus elleni harcban. Repüléstudományi közlemények különszáma, Szolnok, 2007. Április 20.
- [3] url: http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2007_cikkek/kovacs_laszlo_vanya_laszlo.pdf (2011.11.15.)
- [4] PALIK MÁTYÁS: Pilóta nélküli légijármű rendszerek légi felderítésre történő alkalmazásának lehetőségei a légierő haderőnem repülőcsapatai katonai műveleteiben. Doktori (Phd) értekezés. Budapest, 2007.
- [5] POGÁCSÁS IMRE: A pilóta nélküli repülőeszközök, avagy egyenes út a robothadviselésig? Repüléstudományi közlemények XX. Évfolyam 2008. 2. Szám.
- [6] Pilóta nélküli repülőgép.
- [7] url: http://hu.wikipedia.org/wiki/Pil%C3%B3ta_n%C3%A9lk%C3%BCl%C5%91g%C3%A9p (2011.12.10.)
- [8] GÁCSEI ZOLTÁN: A mini és a mikro pilóta nélküli repülőgépek. Repüléstudományi Közlemények Különszám 2003.
- [9] GÖNCZI SÁNDOR, GYULAFFY BÉLA, MÁTYÁS ATTILA, PROKK PÉTER, RÁTH TAMÁS, SIMON ATTILA, VAJDA RÓBERTNÉ: Pilóta nélküli felderítő repülőeszközök. Honvédelmi Minisztérium Haditechnikai Intézet, Budapest, Haditechnikai Füzetek 1999. 1. Szám
- [10] BARBARA SAUTER: Army Research Laboratory: Weather Impacts on the Aerostar Unmanned Aircraft System Based on Climatology over the U.S./ Mexico Border, March 2007.
- [11] SÁNDOR VALÉRIA, WANTUCH FERENC: Repülésmeteorológia. 2005. Budapest, Országos Meteorológiai Szolgálat.
- [12] A repülés alapjai – Szélnyírás.
- [13] url: http://www.pcpilotcenter.com/index.php?option=com_content&view=article&id=31%3Aklub-archive-tamas&catid=9%3Aairasok-a-repulesrl&Itemid=9&limitstart=6 (2011.11.15.)
- [14] HADOBÁCS KATALIN, DR. BOTTYÁN ZSOLT, DR. WEIDINGER TAMÁS, GYÖNGYÖSI ANDRÁS ZÉNÓ: Repülésre veszélyes időjárási helyzetek rekonstrukciójának alkalmazási lehetőségei – Felületi jegesedés becslése és a hozzá tartozó szimulációs környezet kialakítása. Budapest, 2011.
- [15] WENDL BERNADETT, GYÖNGYÖSI ANDRÁS ZÉNÓ, DR. WEIDINGER TAMÁS: A WRF modell működése az ELTE Meteorológiai Tanszék számítógépes rendszerében. Szélprofil becslések. Budapest, 2009.
- [16] KÓSA ANDRÁS: Optimum számítási modellek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979, pp. 337-344.
- [17] Lifted condensation level.
- [18] url: <http://www.answers.com/topic/lifted-condensation-level> (2012.03.10.)
- [19] GEORGE J.J.: Weather Forecasting for Aeronautics. New York, Academic Press, 1960, pp. 407-41.
- [20] Jesse's Blog: Severe Weather Indices.
- [21] url: http://www.accuweather.com/adcbn/public/community_blog_extra.asp?extra=severe# (2012.03.10.)
- [22] DR. WANTUCH FERENC: Visibility and fog forecasting based on decision tree method. 2001. Időjárás 105, pp. 29-38.
- [23] KOCZOR ESZTER, DR. WANTUCH FERENC, SIMON SÁNDOR, DR. HABIL ÁCS FERENC: Repülőgépek jegesedése: egy esettanulmány. Budapest, 2011.
- [24] Aerodinamika.
- [25] url: <http://repklub.uw.hu/PDF/Aerodinamika%20bevezetes.pdf> (2012.03.10.)
- [26] HORÁNSZKY BEÁTA: Gázjellemzők.
- [27] url: <http://www.uni-miskolc.hu/~gazhbea/> (2012.03.10.)
- [28] CHRIS HEINTZ: Airfoils Part 1.
- [29] url: <http://www.zenithair.com/images/kit-data/ht-87-5.html> (2012.03.10.)