



Jankovics István<sup>1</sup> – Nagy András<sup>2</sup>

## TANSZÉKI REPÜLÉSSZIMULÁTOR LABORATÓRIUM MODERNIZÁLÁSA<sup>3</sup>

*2000-2002 között a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszékén a Müncheni Műszaki Egyetem Repülésmechanika és Kontrol Tanszékével történt nemzetközi együttműködés keretében, a tanszék akkori oktatóinak és hallgatóinak munkájából felépült egy fix bázisú oktatási, kutatási és bemutató célú szimulátor. 2010-ben hallgatók bevonásával egy nagyszabású fejlesztés kezdődött meg a szimulátorban, melynek eredményeként teljesen új hardver és szoftver rendszer került kifejlesztésre. A cikk ebbe a munkába nyújt betekintést, és részletesen ismerteti a szimulátorban alkalmazott új megoldásokat, a használható új funkciókat és oktatási képességeket.*

### **MODERNIZATION OF THE FLIGHT SIMULATOR LABORATORY**

*Between 2000 and 2002, the staff and the students of the Department of Aircraft and Ships at Budapest University of Technology and Economics, in international cooperation with Technical University of Munich's, Department of Flight Mechanics and Flight Control, built a low-cost, fixed-base flight simulator for educational, demonstration and research purposes. In 2010, together with BSc and MSc students, a large-scale modernization was started in the simulator. A completely new hardware and software system was developed. This paper describes the work, gives details of the applied devices, new features and educational capabilities.*

## BEVEZETÉS

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszékén 2002-ben a Müncheni Műszaki Egyetem Repülésmechanika és Kontrol Tanszékével történt együttműködés keretében épült egy fix bázisú, oktatási, bemutatói valamint kutatási célú repülés szimulátor. Oktatási, bemutatói felhasználása során a hallgatók betekintést nyerhetnek a pilóták munkájába, megfigyelhetik és megtapasztalhatják a repülőgép irányítása során jelentkező feladatokat, azok megoldásait. A szimulátor segítségével interaktívan tanulhatják a „nagygépes” repülés egy jellegzetes modern repülőgépeinek komplex avionikai rendszereit, valamint az IFR és a VFR repülések végrehajtásához szükséges berendezéseit és az ilyenkor alkalmazandó eljárásokat. Így egy repülőmérnöktől elvárható általános tudáshalmazt tudunk átadni a hallgatóknak, tisztában lesznek a pilóták munkájával és a repülőgép-pilóta kapcsolat minőségének fontosságával. Kutatási célú felhasználása során pedig alkalmas saját készítésű repülésmechanikai modellek vizsgálatára, robotpilóta rendszerek tervezésére, működésének kipróbálására, valamint alkalmas a pilóta-gép kapcsolat vizsgálatára.

Az építést követően (egészen 2010-ig) a szimulátor alapfunkcióit ellátó hardvereken és szoftvereken nem történt nagyszabású, jelentős fejlesztés, csupán szinten tartás. A használt hardve-

<sup>1</sup> BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, ijankovics@rht.bme.hu

<sup>2</sup> BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, nagy@rht.bme.hu

<sup>3</sup> Lektorálta: Dr. Békési Bertold okl. mk. alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, bekesi.bertold@uni-nke.hu

rek és szoftverek lassan elöregedtek, elavultak, a szimulátor alkalmatlanná vált a további oktatási és kutatási célú felhasználásra. 2010 decemberében, a HungaroControl Zrt., és a Budapest Airport Zrt. támogatásával, Baburin Róbert Bsc és Szabó András Msc hallgatók bevonásával, egy nagyszabású felújítás/fejlesztés kezdődött, melynek célja az volt, hogy a szimulátor korábbi képességeinek megőrzése mellett új funkciókkal, képességekkel ruházzuk fel azt. A modernizálás mind hardveres, mind pedig szoftveres területet érintett. Hardveres területen a fejlesztés egyfelől a szimulátort működtető számítógépeket, másfelől a szimulátor pilótafülke kijelző és beviteli egységeinek elektronikáját érintette. A régi, már megbízhatatlanul működő rendszer helyett a tanszék elektronikai laboratóriumában egy olyan új, modul rendszerű hardverkörnyezet került kifejlesztésre és megépítésre, amiben az egyes modulok CAN busz technológia felhasználásával kommunikálnak egymással. Szoftveres téren is új programok kerültek felhasználásra, valamint kifejlesztésre (pl. komplex adatgyűjtő, kiértékelő rendszer, repülési pálya vizualizáció, adatkapcsolat külső navigációs rendszerekkel, stb.).

Jelen cikk a szimulátoron az utóbbi két évben végrehajtott, valamint jelenleg is folyamatban lévő fejlesztésekbe nyújt betekintést, melynek során részletesen ismerteti a PC-k és a pilótafülke kijelző és beviteli egységeinek hardver és szoftver összeállítását, valamint a pilótafülke és a szimulációs szoftver között alkalmazott kommunikációs protokollokat. Továbbá leírásra kerülnek a szimulátor jelenlegi, modernizált állapotában használható funkciói és oktatási-kutatási képességei.

## A SZIMULÁTOR ÁLTALÁNOS ISMERTETÉSE

A szimulátor, felépítését tekintve a fix bázisú szimulátorok közé sorolható. Az építmény vázát egy 20x20-as zártszelvényekből hegesztett, illetve csavarozott keret szolgáltatja (1. ábra). Erre a keretre van felépítve a fából épített műszerfal, az oldalfalak, a középső konzol, valamint egy Boeing 737-200 típusú repülőgépből kiszerezelt gázkarpult. A pilótafülke méreteit és elrendezését tekintve egy modern Boeing 737NG mintájára van kialakítva, bár méretét tekintve a valós méretektől ~20%-kal nagyobb.

A kormányzerveket és azok elrendezését tekintve a szimulátor bal oldalán a Boeignél ma is előszeretettel alkalmazott, szarvkormányos elrendezés található, míg a jobb oldalon az Airbus filozófiáját követve egy sidestick került elhelyezésre. Ezt a sajátosságot kivéve a többi kormány szerv a repülőgép pilótafülke építésben megszokott módon került kialakításra. A pilóták lábánál található az oldalkormány mozgatására szolgáló lábpedál, a főfutók külön-külön fékezésére is alkalmas fékpedálokkal együtt. Valamint a két ülés között a gázkarpult, rajta a két reverz állással is rendelkező gázkarral, a fékszárnyak mozgatását biztosító kar, valamint az áramlásrontó lapok mozgatására szolgáló speed brake karral.



1. ábra balra: a szimulátor, még építés közben, jobbra: az elkészült szimulátor [1]

A műszerek megjelenítését 2 darab egyenként 17"-os, 1024\*768 felbontású LCD monitor, valamint 2 darab egyenként 12,1"-os, 800\*600-as felbontású Elo Touchscreen érintőképernyős LCD monitor végzi. A két, nagyobb méretű kijelző került két oldalra a pilóták elé, melyet a műszerfal borításának kialakítása oszt fel a „nagyépes” repülésben megszokott PFD<sup>4</sup>, ND<sup>5</sup> kijelzőkre. A két kisebb kijelző közül az egyik a műszerfal közepén van elhelyezve és az UPPER EICAS<sup>6</sup>, míg a másik a középső konzolon került elhelyezésre, és a pilótafülkében megszokott LOWER EICAS kijelzők feladatait látják el. A középső konzol bal oldalán került elhelyezésre egy saját szerelésű, CRT képernyővel rendelkező, Boeing 747 stílusú CDU<sup>7</sup> is, mely a repülési útvonalak és paraméterek bevitelére szolgált.

A műszerfal felső részén található MCP<sup>8</sup>, és két EFIS<sup>9</sup> Control Panel, valamint a Pedestalon található 1 db navigációs rádió kapcsolói, tekerői, továbbá a kormánysszervek EPIC<sup>10</sup> kártyán keresztül kommunikáltak a szimulátort kiszolgáló számítógépekkel.

A megjelenítést egy a pilótafülke felett elhelyezett 1024\*768-as felbontású projektor látta el, mely egy ~400 mm átmérőjű domború tükör közbeiktatásával vetítette a szimulátor képét a pilótafülke előtt ~2 méterre elhelyezett, 3\*2 méteres homorú felületű, kerekeken mozgatható vetítővászonra.

A szimulátor oktatási és bemutató célú alap funkcióinak működéséért 6 darab, hálózatba kötött, a 2002-es építés idején még felsőkategóriás PC volt felelős. Az alapfunkciók ellátásáért felelős 6 darab PC-ből, egy számítógépen futott maga a szimulátor, 1-1 számítógép jelenítette meg a két pilóta előtti PFD/ND képernyők tartalmát. 1 számítógép az EICAS megjelenítését végezte, 1 pedig a szerver szerepét töltötte be. Ezek a gépek Windows 2000 operációs rendszerrel rendelkeztek. A 6. számítógép pedig CDU működését látta el, ezen a gépen Windows 98-as rendszer futott.

Az alapfunkciók ellátásához a következő szoftverek kerültek alkalmazásra:

<sup>4</sup> PFD: Primary Flight Display

<sup>5</sup> ND: Navigation Display

<sup>6</sup> EICAS: Engine-Indicating and Crew-Alerting System

<sup>7</sup> CDU: Control Display Unit

<sup>8</sup> MCP: Mode Control Panel

<sup>9</sup> EFIS: Electronic Flight Instrument System

<sup>10</sup> EPIC: Electronic Programable Interface Card

- Microsoft Flight Simulator 2002 valamint 2004-es verziója, kiegészítőkkal.
- FSUIPC, WideFS [2] programok. Ezen programok segítségével képes hálózaton keresztül kommunikálni a Flight Simulator a szimulátort működtető egyéb programokkal.
- EPIC driver, ez a program biztosította a kapcsolatot a számítógépek és az EPIC kártya között.
- Project Magenta 737-es programcsomag [3], mely a repülőgép műszereinek megjelenítését, valamint a gép avionikai rendszereinek működéséért felelt.
- PM sounds program, mely a GPWS<sup>11</sup> hangjelzéseit szolgáltatja.

Kutatási célú felhasználás esetén a rendszer alapfunkcióit ellátó számítógépeken kívül a hálózatba köthetők további számítógépek is, melyeken futtathatók pl. MATLAB Simulink, FlightGear, FLSIM, VASP szoftverek is, a kutatási feladat jellegétől függően.

Ahogy az a bevezetőben is olvasható volt, az építést követő években jelentősebb fejlesztés nem történt az alapfunkciókat ellátó rendszerben (pl. a kivetítő projektor cseréje), csupán szinten tartó átalakítások, fejlesztések történtek, mellyel biztosítható volt a szimulátor működése. Ezen kívül azért olyan, a szimulátort érintő jelentős változások történtek, mint pl., hogy 2009-ben a korábbi helyről elköltöztetve egy a réginél 3-szor nagyobb helyiségbe költözött, így a szimulátor és a működést biztosító számítástechnikai rendszerek végre egy helyiségbe kerültek, könnyítve ezzel a munkát, valamint a nagyobb helynek köszönhetően a bemutatók tartása is komfortosabbá vált, mind az érdeklődők, mind pedig a demonstrátorok számára. A költözéssel egy időben átalakításra került a szimulátor formáját adó zártszelvény keret, és helyére egy kompozitból készült, a Boeing 737 típusú repülőgép orr részét imitáló héj került, ezzel elrejtve a nem túl szép szerkezetet, valamint valósabbá téve a szimulátor által nyújtott élményt.(2. ábra)



2. ábra balra: a szimulátor burkolata építés közben, jobbra: a kész burkolat az új helyen

## AZ ÚJ RENDSZER SZÜLETÉSE

A szimulátor mélyebb szintű, nagyszabású átalakítását több ok is indokolta. Az alapfunkciókért felelős számítógépek 8 éves életkora igen tekintélyesnek számított, hardvereik elavultak, az újabb technológiák, hardverek, programcsomagok futtatására már alkalmatlanok voltak. Az építés óta eltelt 8 évben egy teljes piaci szegmens épült ki a hobbi szimulátor felhasználók, és a

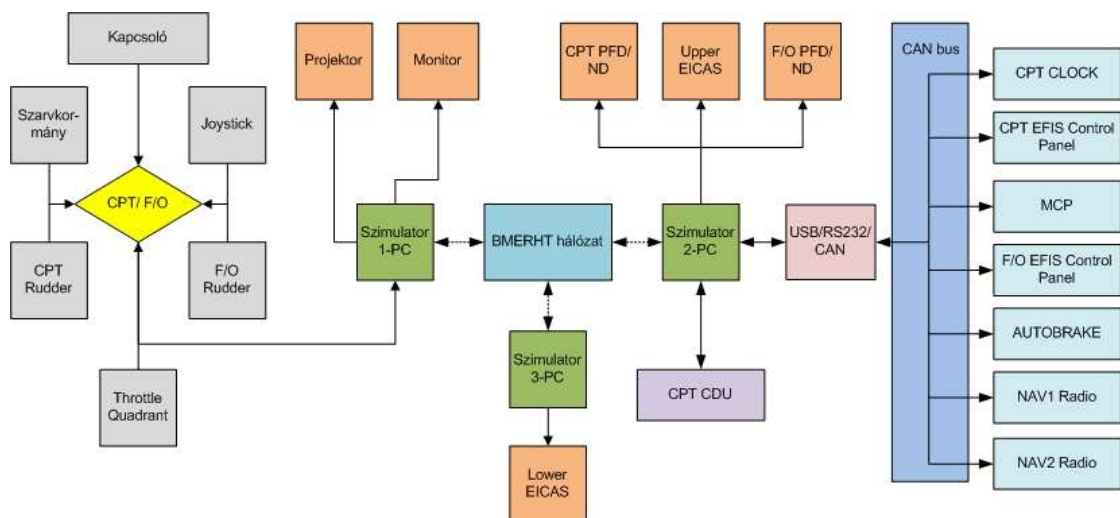
<sup>11</sup> GPWS: Ground Proximity Warning System

„homecockpit” építők igényeinek kiszolgálására, melynek eredményeként sokkal több tudásanyag, tapasztalat, és az építést segítő, önálló működésre képes olcsóbb hardver érhető el. Az átalakítást megelőző egy évben már többször is megmagyarázhatatlan lassulások, fagyások következtek be a rendszerben, ami mind az oktatást, mind a bemutató repüléseket lehetetlenné tette, így sürgössé vált a rendszer felújítása. A mára megtöbbszöröződött számítástechnikai kapacitásnak köszönhetően lehetővé vált, hogy a régivel megegyező teljesítményigényű programokat kevesebb számítógépen futtassuk, így adott esetben, megfelelő rendszerkiépítés mellett, az alapműködést ellátó számítógépek száma a korábbi 6 géphez képest kevesebb lehet.

Az átalakítást tovább nehezítette, hogy a szimulátor építéskor megvásárolt Project Magenta 737-es műszeresomaghhoz, mely a pilótafülke műszereit, valamint CDU-ját jelenítette meg, továbbá biztosította a robotpilóta és egyéb funkciók működését, a gyártó már nem biztosított újabb licenst. Ezt a gyártó gyakorlatilag csak a programsomag újbóli megvételével biztosította volna, amit a kért árajánlatban adott magas, több mint, 6000€-s ár (akkori árfolyamon 1,6 millió forint) és az átalakításhoz rendelkezésre álló alacsony keret miatt elfogadhatatlannak tartottunk. Ez mindenképpen olyan új programsomag beszerzését indokolta, ami funkcióiban egyenértékű a régi rendszerrel, de mindezt alacsonyabb árfekvés mellett biztosítja. Mivel minden fellelhető program más-más elven működik, illetve kapcsolódik a hozzá kapcsolt hardverekhez, átalakításra szorult a régi EPIC kártyát használó rendszer is. Így az alaptól felépítve az új rendszert lehetőség nyílt rá, hogy egy olyan moduláris rendszert hozzunk létre, mely kis anyagi ráfordítással, a tanszéken fellelhető eszközökkel és tudással önállóan is kiépíthető, tetszőleges számú és funkciójú elemmel bővíthető, átalakítható.

Az átalakítást úgy kellett megvalósítani, hogy az az oktatást és a tervezett bemutatókat a lehető legkisebb mértékben befolyásolja. Így több hónapos kutatás, tervezgetés, és próba után, mikor a próbák azt mutatták, hogy sikerült felépíteni egy olyan rendszert mely minimális szinten, de már képes átvenni a régi szimulátor szerepét, megtörténhetett a régi rendszer szétbontása, az új rendszer beépítése, installálása, konfigurálása. Ennek köszönhetően az átállás a régi rendszerről az új rendszerre meglehetősen gyorsan, és zökkenőmentesen mindössze 2 nap alatt megvalósult.

A továbbiakban ennek az új rendszernek a felépítése és az egyes elemek, funkciók részletes ismertetése következik



3. ábra A teljes rendszer felépítése



---

## AZ ÚJ RENDSZER HARDVER KIÉPÍTÉSE

Ebben a fejezetben a kiépített alaprendszer (3. ábra) felépítésének és elemeinek részletes ismertetése következik.

### **Alkalmazott számítógépek**

A későbbiekben ismertetésre kerülő kiválasztott szoftvereknek, és a számítástechnika fejlődésének köszönhetően a régi rendszert alkotó 6 számítógép helyett az új rendszerben az alapfunkciók ellátásához mindössze 3 PC használatát tette szükségessé. Ez jelentősen leegyszerűsítette a szimulátor felépítését, valamint az egész rendszer kezelését és ellenőrzését.

Az új rendszert felépítő 3 PC az alább részletezett feladatokat látja el.

#### **szimulátor1\_pc:**

Ez a számítógép felelős a Flight Simulator futtatásáért, projektoron keresztül a táj megjelenítéséért, a hangokért, ide vannak bekötve a kormányok, a gázkar pult vezérlőelemei USB csatlakozón keresztül. A számítógéphez egy monitor és egy projektor van kötve másolt képernyő tartalommal. A számítógéphez tartozik még továbbá egy billentyűzet és egy egér. A számítógépen 64 bites Windows7 operációs rendszer került telepítésre. A számítógép az alábbi paraméterekkel rendelkezik:

CPU: Intel Core i7 920

RAM: 6 GB

Grafikus kártya: 1 db ATI Radeon HD5700 1GB

#### **szimulátor2\_pc:**

Ezen a számítógépen futnak azok a programok, melyek felelősek a pilótafülke kijelzőinek vezérléséért, kivéve a LOWER EICAS kijelzőt, a kapitány oldali CDU kezeléséért, valamint az épített hardverelemekből (MCP, EFIS Control panel, AUTOBRAKE, stb.) érkező jelek feldolgozásáért. A számítógép 2 videokártyát tartalmaz, mely 4 monitort vezérel. Ebből az 1. monitor a kapitány oldali külső és belső kijelző, a 2. az UPPER EICAS, a 3. a másodpilóta oldali külső és belső kijelző, a 4. monitor a szimulátor kezelő asztalon került elhelyezésre, ezen jelennek meg a különböző futtatandó programok, melyekről részletesebben a későbbi fejezetekben lesz szó. A képernyők kiterjesztett asztalként vannak egymás mellé helyezve. A számítógép a szimulátor orrában a burkolat alatt került elhelyezésre. A számítógépen 64 bites Windows7 operációs rendszer került telepítésre. A számítógép az alábbi paraméterekkel rendelkezik:

CPU: Intel Core2Duo E7500

RAM: 3 GB

Grafikus kártya: 2 db ASUS EAH5450 1GB, passzív hűtés

#### **szimulátor3\_pc:**

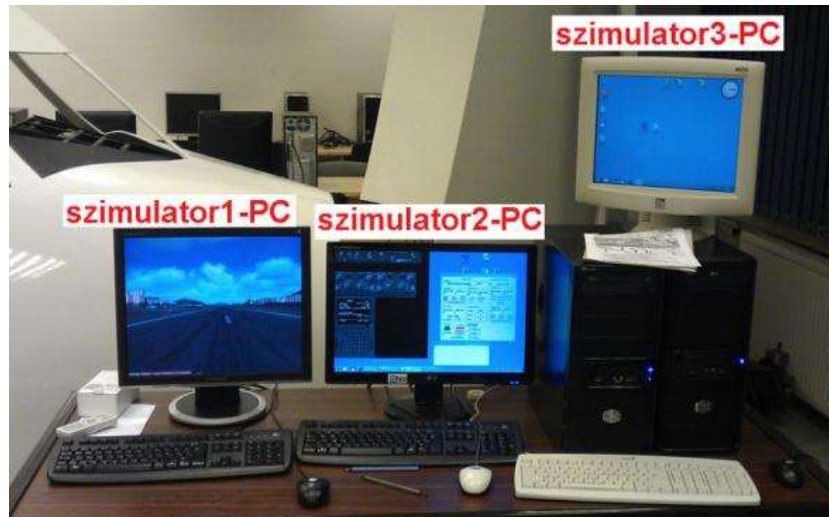
Jelenleg a feladata a LOWER EICAS kijelző vezérlése, valamint ezen a számítógépen fut a komplex adatgyűjtő rendszer. A számítógéphez egy billentyűzet, egy egér, és két érintőképernyős monitor csatlakozik, melyek közül egyik, a 15"-os méretű, a szimulátor vezérlő asztalon

kapott helyet, az operátor ezen a monitoron követheti figyelemmel az adatgyűjtő rendszer működését és a repülés egyes paramétereit. A másik, 12,1”-os pedig a pilótafülkében, a gázkar pult előtt található. Alapbeállításban ezen jelenik meg a LOWER EICAS képe. A monitork kiterjesztett asztalként vannak kezelve a Windows 64 bites operációs rendszerben. A szabad kapacitások miatt még további felhasználásra alkalmas a számítógép.

CPU: Intel Core2Duo E7500

RAM: 2 GB

Grafikus kártya: 1 db ASUS EAH5450 1GB, passzív hűtés

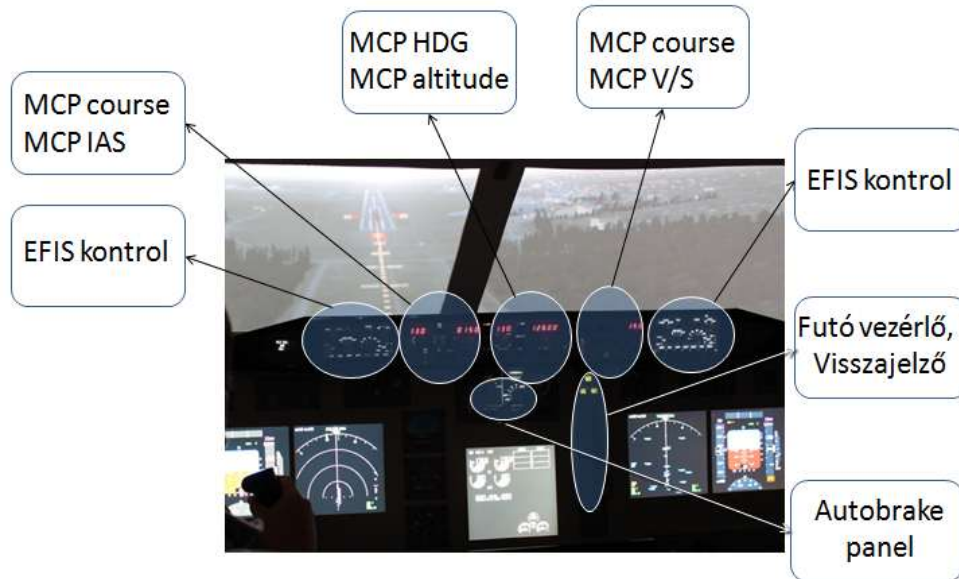


4. ábra A szimulátor kezelő munkahelye

A számítógépes rendszer az alkalmazott szoftverekkel lehetővé teszi, hogy tetszőleges számú számítógépet csatlakoztassunk az alapfunkciókat ellátó 3 számítógépből alkotott alaprendszerhez. A számítógépek csatlakoztatása Ethernet kábelen és vezeték nélküli kapcsolaton keresztül is lehetséges. Ennek biztosítására egy WiFi access pointot helyeztünk el a szimulátor laboratóriumban.

### **Mode Control Panel, EFIS Control Panel**

Ezek a panelek többállású kapcsolókat, forgó kódkapcsolókat, 7 szegmenses LED kijelzőket és nyomógombokat tartalmaznak.



5. ábra Egyes vezérlőáramkörökhöz tartozó kezelőszervek

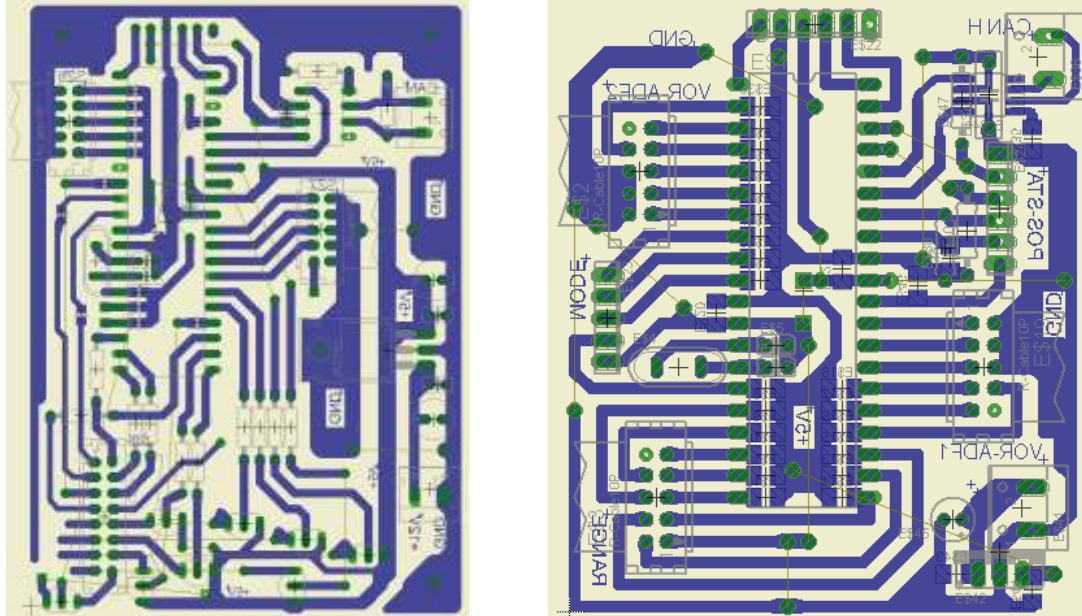
A panelek vezérlő áramköreinek feladata a kapcsolók, nyomógombok, forgó enkóderek állapotváltozásainak detektálása és a kijelzőkön a megfelelő számok megjelenítése. A kezelőszervek funkció szerint csoportosítva kerültek egy-egy áramkörhöz, ezek a csoportok láthatók az 5. ábrán. Az áramkörök tervezése és legyártása a Tanszék elektronikai laboratóriumában történt. Az egyes funkciókat megvalósító áramkörök CAN buszra kapcsolódva küldik és fogadják az adatokat. A CAN busz PC-hez történő illesztését egy külön áramkör végzi, ami a PC soros portjára kapcsolódik (3. ábra). Ezzel a modul rendszerű elrendezéssel egy könnyen bővíthető, fejleszthető rendszert kapunk, ami az oktatói-kutatói szimulátor követelményeinek teljes mértékben megfelel. Az egyes modulok (áramkörök) kivehetőek, fejleszthetőek anélkül, hogy ezzel a teljes rendszer működését befolyásolnánk. Új modulok egyszerűen hozzákapcsolhatóak egészen 127 modulig (ez a 7 bites CAN címzés korlátja), ami a jelenleg minden funkciót megvalósító 12 egység számát figyelembe véve szinte korlátlan bővítési lehetőséget kínál.



6. ábra Szimulátor orr részének elektronikai egységei

Az áramkörök a PIC 18F4580-as és PIC 18F2580-as mikrovezérlőkre épülnek, több kiegészítő IC-vel a kijelzők vezérléséhez és a kommunikációhoz. A kiegészítő vezérlő IC-k pl. a 7 szegmenses kijelző meghajtó MAX7221, vagy a CAN transceiver MCP2550. A szimulátor orr részébe épített áramkörökről készült kép a 6. ábrán látható.





7. ábra MCP IAS-ALT modul és MCP EFIS modul NYÁK terve

## Control Display Unit

Ahogy az a korábbi fejezetben ismertetésre került, a régi rendszerben használt CDU működését egy külön PC biztosította. A régi rendszer bizonytalan működése miatt a CDU használata nehézkessé, olykor lehetetlenné vált. A billentyűzete már nem működött megbízhatóan, és olykor csak jelentős késéssel jelenítette meg a bevitt adatokat. Ezért a rendszer építéskor a régi CDU nyugdíjazása és egy új CDU beszerzése mellett döntöttünk. A szimulátor hardverek piacán ma már sokféle gyártó, sokféle komplett CDU-t kínál megvételre, melyek a 10 éve kapható hardverekkel ellentétben mind kinézetben, mind méretben is sokkal jobban hasonlítanak a valós repülőgépekben alkalmazott eszközökre. Ezeket az eszközöket többnyire USB kapcsolaton keresztül lehet a számítógépre kötni, emellett saját hálózati áramforrással is rendelkeznek, így a felhasználónak erről se kell gondoskodni. A CDU működését egy külön, más gyártótól (pl. Project Magenta, Flight Deck Software, stb.) megvásárolt műszerek megjelenítését végző szoftver biztosítja. A felhasználónak csak arról kell gondoskodnia, hogy a vásárolt hardver és szoftver kompatibilis legyen egymással.

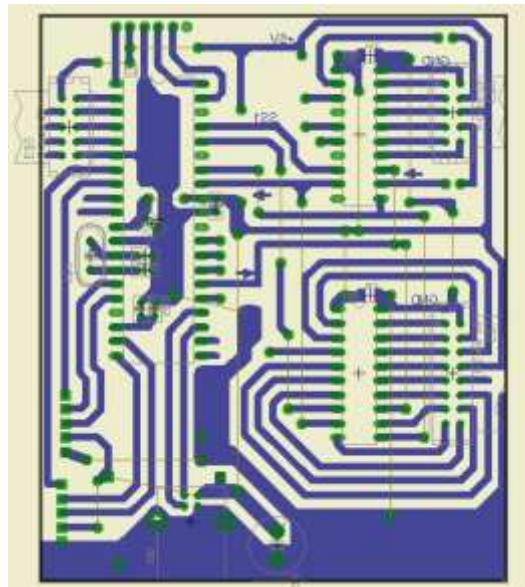
Ezeket a szempontokat figyelembe véve a FlyEngravity [8] 737NG CDU-ját választottuk, melyet a gyártó 1000€-s áron kínált. A CDU az áramforrás bekötése, a számítógéphez csatlakoztatás, és a driverek installálása után azonnal működépes. Rendelkezik saját világítással, így a sötét pilótafülkében is jól látható, és könnyen kezelhető. A magas ára miatt, jelenleg csak egy CDU beszerzése történt meg, melyet a pilótafülkében a bal oldalon a LOWER EICAS mellett helyeztünk el, ahogy az a legtöbb modern utasszállító repülőgépben is található.



8. ábra A FlyEngravity CDU

## Kormányok, gázkarpult

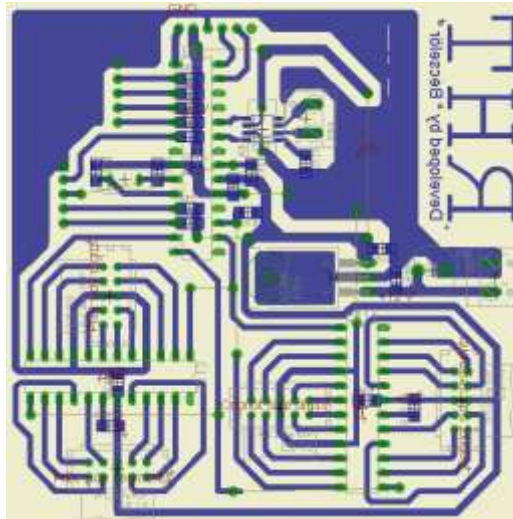
A kormányszervek, gázkarpult kezelőszervei döntően analóg tengelyekből és nyomógombokból állnak. Ezek szimulátorhoz történő csatlakoztatása USB porton keresztül történik, a táplálásáról a PC USB portja gondoskodik. Az áramkör a PC oldalról egy 8 tengelyes, 16 gombos joystickként kerül felismerésre, drivert nem igényel, mert HID szabványra épülő interfésszel rendelkezik.



9. ábra Analóg vezérlőket HID joystick-ként megjelenítő áramkör NYÁK terve

## Navigációs rádiók

A navigációs rádiók kezelőszervei a gázkarpult mögött található. A navigációs rádió két kezelőpultján beállítható NAV1 és NAV2 frekvenciák a rádió navigációs IFR repülések során fontos feladatot kapnak, ezért fontos implementálásuk a szimulátorban. A modulnak összesen 20 db 7 szegmenses LED kijelzőt kell vezérelnie, amik 4x5-ös csoportba vannak rendezve, valamint két forgó kódkapcsoló és 2x2 db nyomógomb jelét is fel kell dolgoznia (11. ábra).



10. ábra Navigációs rádiók vezérlőpaneljének NYÁK terve

A modul szintén CAN buszon kapcsolódik a szimulátor belső mikrovezérlős hálózatához, NYÁK terve a 10. ábrán látható.



11. ábra A navigációs rádiók

## Kapitány oldali óra

A szimulátorban végrehajtandó különféle navigációs feladatokhoz (pl.: dead reckoning<sup>12</sup>, piloting<sup>13</sup>) szükséges az időmérés megoldása. Ennek megfelelően egy stopper funkciót is tartalmazó, 4 digités, 7 szegmenses kijelzőből álló óra került kialakításra a szabványos B737 óra helyén. Ezen alaphelyzetben a szimuláció aktuális ideje látható, de egy nyomógomb segítsé-

<sup>12</sup>dead reckoning: pozíció becslésen alapuló navigáció

<sup>13</sup>piloting: összehasonlításon alapuló navigáció (földi referenciapontok alapján)

gével átváltható stopper üzemmódra. A szükséges adatot, a szimuláció aktuális idejét ez a modul is a belső CAN buszon kapja.



12. ábra Az időmérő óra a kapitány oldalán

### Egyéb fejlesztések

A fent felsoroltakon túl további kisebb fejlesztések is történtek a szimulátoron. A régi rendszerben a futóművet működtető kar, egy egyedi gyártású vékony acéllemezből, alumínium rúdból, rugóból és két mikrokapcsolóból álló szerkezet volt, ami a 8 éves használat során megkopott, kotyogott, valamint erősen korrodálódott. A mikrokapcsolók már bizonytalanul működtek, illetve gyenge szerkezete miatt túlságosan finom kezelést igényelt. Ezt a szerkezetet cseréltük ki, egy teljesen alumínium építésű, szerkezeti kialakítását tekintve strapabíróbb, erős szerkezetre, melyben 2 mikrokapcsoló kapott helyet a benti illetve kinti helyzet érzékelésére. Az új szerkezet 3 pozícióval rendelkezik, ahogy az igazi Boeing 737-es repülőgépen is van.

Emellett a pilótafülkében végzett munkát, térképek olvasását megkönnyítendő, a glareshield alsó felületére, LED fényforrásokból építve műszerfal világítás került, melyet a műszerfal mindkét oldalán elhelyezett nyomógombbal lehet kapcsolni. (13. ábra)



13. ábra balra: műszerfal világítás nélkül, jobbra: műszerfal bekapcsolt világítással



14. ábra Működés közben

## AZ ÚJ RENDSZER SZOFTVERES FELÉPÍTÉSE

### Szimulátor program

Az oktatásra és bemutatóra használt szimulátor konfigurációnál több lehetséges kereskedelmi forgalomban kapható szimulátor program alkalmazása is számításba jöhetett. A programok kiválasztásánál fontos szempont volt az:

- alacsony árfekvés,
- jó minőségű grafika,
- alkalmas legyen VFR repülésre, az ilyen eljárások megismerésére
- alkalmas legyen IFR repülésre, az ilyen eljárások megismerésére (megfelelő navigációs adatbázissal rendelkezzen)
- könnyen konfigurálható legyen,
- együttműködjön az egyedi építésű hardverekkel,
- megfelelően kicsi gépigénye legyen,
- lehető legtöbb adatot szolgáltatssa a repülésről a nem repülésmechanikával kapcsolatos kutatások, vizsgálatok (pl. ergonómia, pilóta munkaterhelés, stb.) segítésére.

A számtalan lehetőség közül végül 4 program bizonyult alkalmasnak:

- **Microsoft Flight Simulator 2004:** A Flight Simulator sorozat 9-ik verziójaként 2003-ben került kereskedelmi forgalomba. FSUIPC/WideFS programcsomag segítségével könnyen adatok nyerhetők ki, illetve vihetők be a programba. Gépigénye a mai hardverekhez viszonyítva kicsi. A korábbi szimulátor is ezt a verziót használta. Nagy felhasználói táborának köszönhetően, nagyon sokféle hardver és szoftver kiegészítő található hozzá.
- **Microsoft Flight Simulator X [4]:** A Flight Simulator sorozat legmodernebb verziója, 2007-ben került forgalomba. Az előző verzióhoz képest jobb grafikával rendelkezik, az FSUIPC/WideFS programcsomag mellett saját beépített simconnect technológiájával is lehetőséget nyújt az adatok be illetve kiolvasására, valamint egyedülként a szimulátor

mulátor funkcióinak kibővítésére. Számítógépigénye meglehetősen nagy, emiatt felhasználói tábora csak lassan növekszik, de a 2004-es verzióval közel azonos mértékű a támogatottsága.

- **X-plane9** [5]: Ahogy a neve is mutatja ez az X-plane sorozat 9. része (azóta megjelent a 10. legújabb része is), az előző két programhoz képest felhasználói tábora kisméretű, ezért kevesebb kiegészítő érhető el hozzá, bár ezek száma folyamatosan növekedik. A gyártó részéről jó támogatással bír, ami nem mondható el az előző két programról. Gépigénye a Flight Simulator X-hez hasonlóan magas, de jól skálázható. Ezen kívül több olyan egyedi jellemzővel bír, mely az oktatásban hasznos lehet, de az előző két program nem tudhat magáénak.
- **FlightGear** [6]: Az előző 3 programmal ellentétben ez a program ingyenesen elérhető szabad forráskódú. Grafikája messze elmarad a többitől, viszont a repülésdinamikai modulja könnyen kikapcsolható és helyettesíthető más, tudományos kutatás szempontjából pontosabb, egyedi készítésű programmal (pl. MATLAB Simulink). Ilyenkor a FlightGear csak a repülési adatok vizuális megjelenítését végzi. Több egyetem, pl. az Aacheni egyetem Repülésdinamika Tanszéke is ezt a szimulátort használja a repülésdinamika c. tantárgyak oktatásában. A korábbi szimulátorban is alkalmazásra került ez a program repülésmechanikai és szabályzó rendszerek vizsgálatánál. Ezt leszámítva a program felhasználói tábora igen kicsi, „homecockpit” építésben nem terjedt el.

A felsorolt programok közül a tanszék rendelkezik mindegyik programmal. A felsorolt tulajdonságok alapján, az oktató és bemutató feladatokhoz, a szimulátorban korábban is alkalmazott Flight Simulator 2004 használata mellett döntöttük, a mai számítógépek teljesítményéhez mérten kis gépigénye, kedvező konfigurálhatósága, valamint nagyobb támogatottsága miatt. Az elérhető rengeteg kiegészítő miatt grafikai képességei nagyon jól javíthatók, minimális számítási kapacitás növekedés mellett. Sokrétúsége miatt pedig mind a járműmérnökök, mind pedig a közlekedésmérnökök képzésben alkalmazható.

### **Műszerek, repülőgép avionikai rendszerei**

Erre a célra korábban a szimulátorban a Project Magenta 737-es programcsomagja volt telepítve. Ez a program magában foglalta a repülőgép műszereit megjelenítő Glass Cockpit modult, ami megjelenítette a műszerfalon a PFD, ND, és EICAS kijelzőket. Továbbá magában foglalta az MCP modult, melynek segítségével a Boeing 737 típusra jellemző robotpilóta funkciók váltak elérhetővé. Ezen kívül magában foglalta még a CDU modult, mely modul a repülőgép Flight Management rendszerét szimulálta. Ennek a modulnak a képe jelent meg a korábbi CDU-n. A 2002-es építés, és a program megvásárlása óta a Project Magenta 737-es programcsomag sok fejlesztésen esett át, több újabb, kibővített képességekkel rendelkező verzió jelent meg. Az előző fejezetben ismertetett okok miatt egy új verzió beszerzése nem jöhetett szóba, így más megoldást kellett találni a program helyettesítésére.

Napjainkban már a Project Magenta programon kívül több gyártó is kínál ilyen műszer csomagokat különböző típusú repülőgépekhez, mindezt közel tized akkora áron. Az elérhető programok próba verzióinak tesztelése után a választás a Flight Deck Software 737-es programcsomagjára [7] esett. A cég a programot többféle konfigurációban forgalmazza, melyből a teljes, „Suite” csomag nettó 500€-ba kerül és a következő elemeket tartalmazza:

- CPT és F/O oldali PFD, ND, CDU, EFIS control panel,
- Upper és Lower EICAS,
- Server program,
- MCP program,
- System Logic/Hardware support,
- Hardware modul,
- Instructor Station

A program átalakítás, konfigurálás nélkül alkalmazható az FS2004 és az FSX programokkal is. A flight simulator és ez a program FSUIPC/WideFS modulon keresztül kapcsolódik egymáshoz, illetve a pilótafülkéből CAN buszon érkező parancsok (pl. gombok lenyomása, tekerők állítása) is mind ezen a modulon keresztül érik el a programot, illetve ezen a modulon keresztül küld adatokat a CAN buszra a program.

A program kompatibilis a megvásárolt FlyEngravity CDU-val, mellyel soros kapcsolaton keresztül kommunikál.



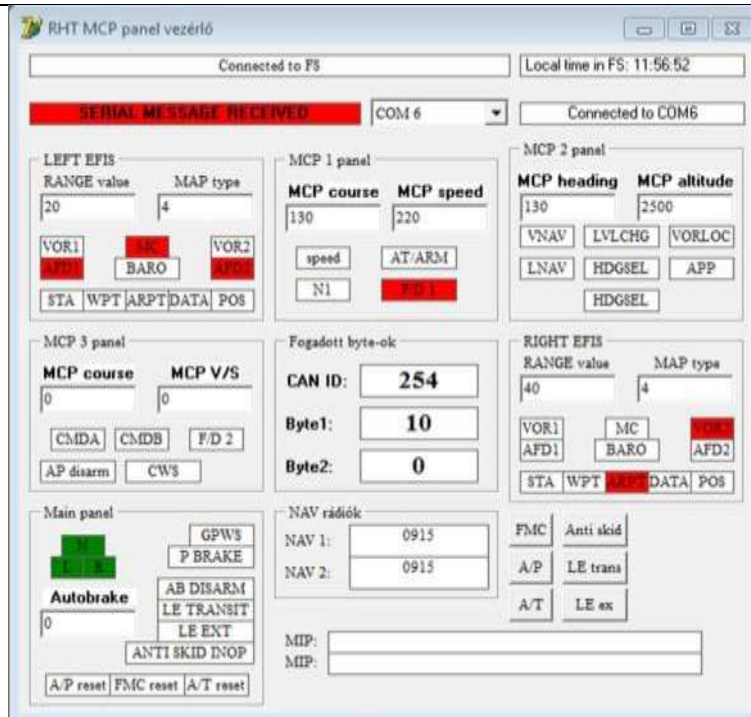
15. ábra A program által megjelenített műszerek

### **FSUIPC/WideFS**

Ez a modul biztosítja a flight simulator kapcsolatát a külső programokkal, TCP/IP kapcsolaton keresztül. A két program ára összesen 48€. Ennek segítségével több száz különböző adat olvasható ki, illetve olvasható be a szimulátorba. Ez a programcsomag a régi szimulátorban is alkalmazásra került, így részletesen nem kerül ismertetésre.

### **Szimulátor vezérlő program**

Ez a program egy a tanszéken a szimulátorhoz Delphi7 környezetben fejlesztett vezérlő program, mely megteremti a kapcsolatot a szimulátor épített hardver elemeit összekötő CAN bus rendszer, és a szimulátort kiszolgáló számítógépek, valamint szoftverek között. A program egyrészt soros porton keresztül adatot olvas be a CAN bus rendszerről, feldolgozza a kapott adatokat, majd FSUIPC OFFSET-en keresztül továbbküldi a szimulátornak, vagy az avionikai rendszert működtető programoknak. Másrészt pedig FSUIPC OFFSET-en keresztül kapott adatokat dolgozza fel, és továbbítja a CAN bus rendszeren keresztül a megfelelő modulnak (pl. a pilótafülkében elhelyezett órának, vagy a különféle visszajelző lámpáknak).



16. ábra A szimulátor vezérlő program felhasználói felülete

## Szimulátor ellenőrző program

A pilótafülkében zajló munka felügyeletére, online nyomon követésére, valamint a bemutatók során az érdeklődők tájékoztatására, Delphi környezetben kifejlesztésre került egy olyan szoftver, melynek felhasználói felületén (17. ábra), Google térkép, illetve műholdképek felhasználásával nyomon követhető a repülőgép múltbeli repülési útvonala, illetve aktuális pozíciója, valamint a legfontosabb repülési adatok, mint

- mágneses irány,
- repülési magasság,
- műszer szerinti repülési sebesség,
- függőleges sebesség,
- valamint a repülőgép gyorsulásai a testkoordináta rendszerben.

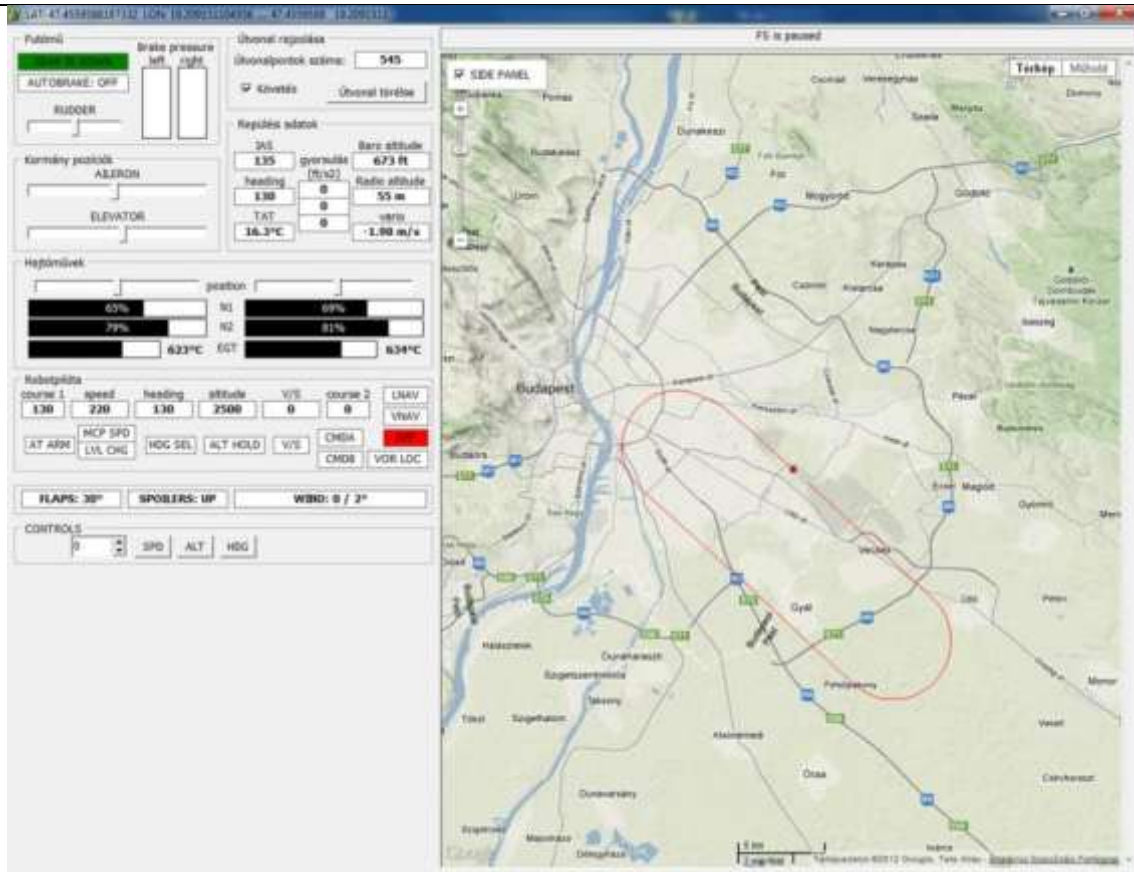
Ezen kívül megjelenítésre kerülnek:

- a repülőgép kormányainak aktuális pozíciói,
- a futóművek helyzete,
- alkalmazott fékerő nagysága a főfutó kerekein,
- a hajtóművek főbb paraméterei és a gázkarok pozíciója,
- valamint a robotpilóta egyes funkcióinak állapotai,

Valamint távolról vezérelhetők egyes robotpilóta funkciók is.

A program hasonlóan a többi szoftverhez, képes bármely a hálózatra csatlakoztatott számítógépen futni, a szimulátorhoz csatlakoztatásához csak a WideFS kliens program használata szükséges.





17. ábra A szimulátor ellenőrző program felhasználói felülete

## Komplex adatgyűjtő program

A repülőgépeken alkalmazott repülési adatrögzítő mintájára került kifejlesztésre egy komplex adatgyűjtő program, melynek feladata, hogy tetszőleges mintavételezéssel rögzítse a szimulált repülés paramétereit, a pilóta tevékenységét, és sok más adatot, mint pl. a pilóta életfunkcióit. Felhasználó felületének segítségével online is követhetők az egyes rögzített paraméterek, melyeket folyamatosan ment a program, későbbi offline kiértékelés céljából.

A program feladata, hogy lehetőséget nyújtson olyan kutatási feladatokra a szimulátorban, mellyel vizsgálható a pilótafülkében zajló munka, illetve megjelenítsen olyan adatokat, melyek a repülőmérnök hallgatóknak szemléletesen és interaktívan segítenek megérteni és elsajátítani az aerodinamika, és elsősorban a repülésmechanika összefüggéseit, valamint betekintést nyújtson a repülési mérések kivitelezésének gyakorlatába is.

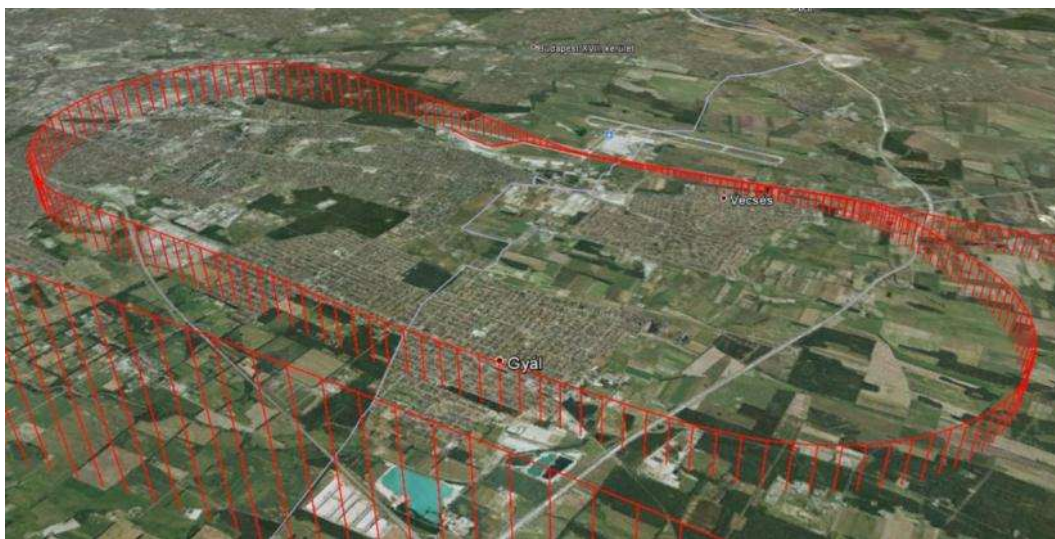
## GPS szimulációs program

A program feladata, hogy lehetővé tegye olyan külső navigációs eszközök csatlakoztatását a rendszerhez, melyek nem rendelkeznek belső GPS vevővel, vagy külső GPS eszközt használva is képesek működni. A program egy NMEA mondatokat küldő GPS vevő eszközt szimulál, melyhez a szükséges pozíció, sebesség, és egyéb adatokat FSUIPC OFFSET-en keresztül olvassa ki a szimulátorból, majd ezeket standard NMEA mondatokká alakítva vezetékcsatlakoztatott eszközön, vagy Bluetooth SPP kapcsolatán keresztül küldi tovább a csatlakoztatott eszköznek. A program fejlesztésének célja a különböző külső navigációs eszközök használatának

biztosításán kívül az, hogy egy megfelelő platformot biztosítson navigációs eszközök fejlesztéséhez és teszteléséhez.

### Útvonal vizualizációs program

A fentiekén túl, elkészült egy kis program, melynek használatával, az ingyenesen letölthető Google Earth [9] programban online követhető a repülés útvonala. Használata közben a program folyamatosan rögzíti az útvonalat, az útvonalpontok rögzítése tetszőlegesen állítható, jellemzően 0,1-2 másodperces mintavételezési sebességgel történik. Segítségével 3dimenziós térben szemléltethető a repülőgép repülési pályája, a használt indulási érkezési eljárások útvonala, valamint egy a légtérket tartalmazó adatbázist betöltve ezek egymáshoz viszonyított térbeli elhelyezkedése. Ez a program szintén FSUIPC OFFSET-en keresztül kommunikál a rendszerrel, futtatása tetszőleges, Google Earth-t és WideFS kliens futtató számítógépen lehetséges.



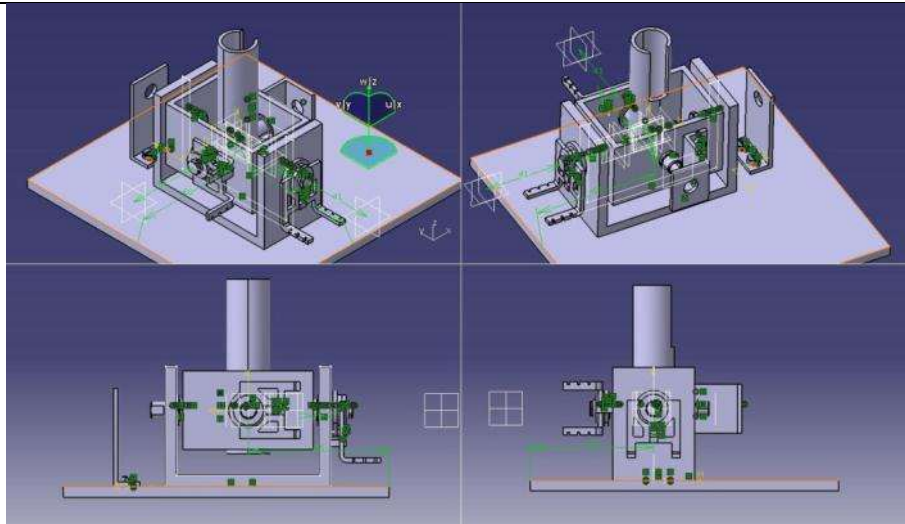
18. ábra A repülési pálya valós idejű vizualizációja Google Earth programban

## FOLYAMATBAN LÉVŐ FEJLESZTÉSEK

Ebben a fejezetben röviden ismertetésre kerülnek a folyamatban lévő legújabb fejlesztések.

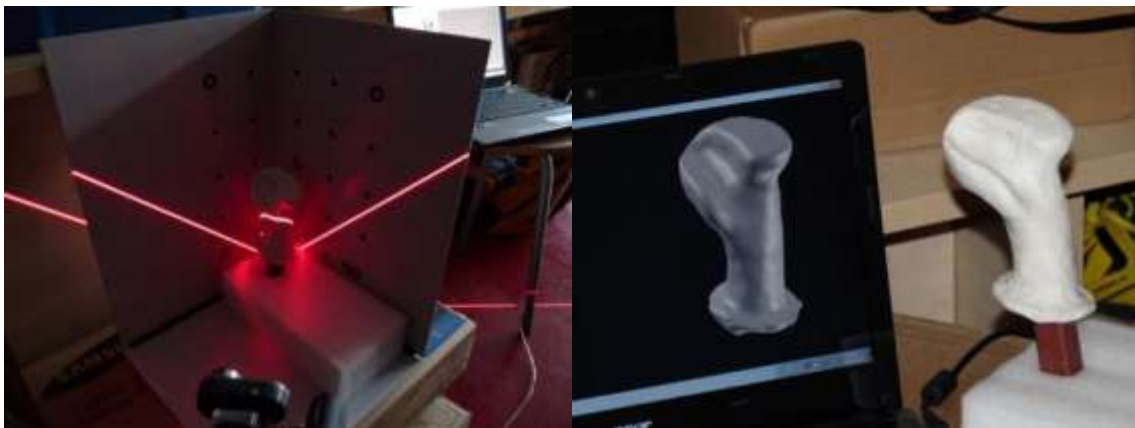
### Joystick

Szabó András végzős Msc hallgató, diplomamunkájában egy olyan joystick megtervezését és megépítését tűzte ki célul, amivel egyrészt lecserélhető a régi rendszerből visszamaradt joystick, másrészt alkalmas a pilóta pulzusának és bőrnedvességének mérésére, lehetővé téve a pilóta fiziológiai vizsgálatát különböző repülési szituációk során, mindezt úgy, hogy nem igényel különleges felkészítést, a pilóta munkáját nehezítő, vagy akadályozó eszközök viselését. Munkája során megtervezte a joystick belső mechanizmusát (19. ábra), megvizsgálta a kormány szervbe integrált pulzus és bőrnedvesség érzékelés módjait.



19. ábra A joystick mechanizmusának CATIA modellje

A méréshez alkalmas markolatot tervezett, melyet lézerszkenneléssel 3dimenziós modellé alakított (20. ábra). A 3D-s modell kialakítása után a markolat FDM eljárású gyors prototípusgyártással kerül legyártásra. Ezen kívül megtervezi és megépíti a vizsgálathoz szükséges áramköröket, és szoftvereket.



20. ábra balra: a markolat lézerszkennelés közben, jobbra: a beszkennelt modell és a valós gyurma modell

## Android kliens

A mai trendeknek és igényeknek megfelelően egy olyan szoftver fejlesztése is folyik a szimulátorhoz, amely Android operációs rendszert futtató „okostelefonra” telepíthető. A szoftver on-line módon a szimulátor több adatát is képes megjeleníteni, továbbá egy beépített térképen a repült útvonalat is megjeleníti, az aktuális pozícióval együtt. Ez a szoftver a BME VIK Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszékkal együttműködésben készül, a szoftver konkrét fejlesztési munkái ezen a tanszéken kerülnek elvégzésre, hallgatói önálló laboratórium téma keretében. A fejlesztés alatt álló mobilalkalmazás egy képernyőjének lehetséges kialakítása a 21. ábrán látható, a végleges szoftverben ennél professzionálisabb kialakítás lesz elérhető. A szoftver amellet hogy egy plusz adatmegjelenítő felület, a szimulátor látogatóinak (pl. kutatók éjszakája, ipari, vagy külföldi látogatók) saját mobil eszközén történő adatmegjelenítésre is használható, amivel növelhető a bemutatók színvonala.



21. ábra A tervezett mobilalkalmazás térképnézetének egy lehetséges kialakítása

## ÖSSZEFOGLALÁS

2010 decemberében, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repülőgépek és Hajók Tanszékének Repülés szimulátor laboratóriumában, a HungaroControl Zrt. és a Budapest Airport Zrt. támogatásával, valamint Bsc-s és Msc-s hallgatók bevonásával egy nagyszabású felújítás, fejlesztés vette kezdetét. Ezen felújítás célja volt, hogy a szimulátor alapfunkcióit ellátó előregedett, olykor már nem megfelelően működő hardverek és szoftverek helyett új modernebb eszközök kerüljenek felhasználásra úgy, hogy a szimulátor korábbi képességei mellett azt új funkciókkal is felruházzuk. Hardveres területen a fejlesztés egyfelől a szimulátort működtető számítógépeket, másfelől a szimulátor pilótafülke kijelző és beviteli egységeinek elektronikáját érintette. A régi, már megbízhatatlanul működő rendszer helyett a tanszék elektronikai laboratóriumában egy olyan új, modul rendszerű hardverkörnyezet került kifejlesztésre és megépítésre, amiben az egyes modulok CAN busz technológia felhasználásával kommunikálnak egymással. Szoftveres téren is új programok kerültek felhasználásra, valamint kifejlesztésre (pl. komplex adatgyűjtő, kiértékelő rendszer, repülési pálya vizualizáció, adatkapcsolat külső navigációs rendszerekkel, stb.).

A jelen cikk, az eddig elvégzett fejlesztésekbe nyújtott betekintést, részletesen ismertette a pilótafülke kijelző és beviteli egységeinél alkalmazott új hardvereket és szoftvereket, valamint a szimulátor pilótafülke és az alapfunkciókat ellátó szoftverek közötti kommunikációs protokollokat. A cikk végén bemutatásra kerültek a jelenleg is folyamatban lévő fejlesztések, amelyekből látható, hogy a szimulátor fő funkcióját, a kutatási-oktatási tevékenységet jelenleg is aktívan ellátja.

### Köszönetnyilvánítás

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0009 program támogatja.

---

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] BME Repülőgépek és Hajók Tanszék, tanszéki fénykép archívum
- [2] FSUIPC, WideFS, url: <http://www.schiratti.com/dowson.html>
- [3] Project Magenta, url: <http://www.projectmagenta.com>
- [4] Microsoft Flight Simulator X, url: <http://www.microsoft.com/games/flightsimulatorx/>
- [5] X-plane, url: <http://www.x-plane.com/>
- [6] FlightGear, url: <http://www.flightgear.org/>
- [7] Flight Deck Software, url: <http://www.flightdecksoftware.com/>
- [8] FlyEngravity, url: <http://www.flyengravity.com/>
- [9] Google Earth, url: <http://www.google.com/earth/index.html>