

**Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Elektronikai és Kommunikációs
Rendszerek Intézet Műszertechnikai és
Automatizálási Tanszék**



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

AIRBUS A320NEO SZIMULÁTOR

Szerző(k): **Mezei Balázs Bence**
villamosmérnök BSc. szak, IV. évf.
Papp András
villamosmérnök BSc. szak, IV. évf.

Konzulens(ek): **Borsos Döniz**
tanársegéd

Budapest, 2024.

Tartalomjegyzék

1. ABSZTRAKT	4.
2. BEVEZETÉS.....	5.
3. A PROJEKT MOTIVÁCIÓJA ÉS HATÁSA.....	9.
3.1. A repülésszimulátorok típusai, áraik és beszerezhetőségük.....	9.
4. PROJEKT FELÉPÍTÉSE.....	11.
4.1. Moduláris kialakítás: Miért kiemelkedő?	11.
4.2. Valós repülőgép és szimulátorok: főbb szervek összehasonlítása	13.
4.3. Innováció a mechanikai elemek egyszerűsítésében	15.
4.4. Szoftver innováció: Microsoft Flight Simulator és Arduino.....	15.
4.5. Miért előnyök ezek az újítások?	16.
4.6. Költségek és előnyök más szimulátorokkal szemben	16.
5. RENDSZER FIZIKAI KIVITELEZÉSE	18.
5.1. Szimulátor keret (Cockpit shell).....	18.
5.2. Központi panel (Pedestal panel).....	19.
5.2.1. Központi panel funkciói és struktúrája.....	23.
5.3. Pedálok (Pedals).....	23.
5.3.1. Pedálok kivitelezése	24.
5.4. Oldalsó panel (Sidestick panel).....	24.
5.4.1. Oldalsó Panel: Ergonómiája és mechanikája.....	26.
5.5. Elülső vezérlőpanel (Front panel)	27.
5.5.1. Elülső vezérlőpanel Kivitelezése.....	27.
5.6. Felső vezérlőpanel (Overhead panel)	28.
5.6.1. Felső vezérlőpanel megvalósítása	29.
5.7. Vetítővászon (Projection Screen)	30.
5.7.1. Vetítővászon kivitelezése	30.
6. SZOFTVER ÉS ELEKTRONIKAI MEGOLDÁSOK.....	32.

6.1. Mikrokontrolleres irányítás	32.
6.2. Mikrokontroller programozás	32.
6.3. Moduláris felépítés és gyorscsatlakozók.....	33.
6.4. Mikrokontroller programozás	33.
6.5. Szoftveres összeköttetés a SimConnect API használatával.....	34.
7. FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK	36.
7.1. Trim Kerekek és Trim Indikátorok Meghajtása.....	36.
7.2. Tiller Rendszer és Gurulási Irányítás.....	36.
7.3. Panel Megvilágítás és Világításvezérlés.....	37.
7.4. Fejlettebb Hardverelemek: Pedálok és Központi Panel.....	37.
7.5. További Hardverfejlesztési Lehetőségek.....	37.
7.5.1. Elülső Vezérlőpanel (Front Panel).....	38.
7.5.2. Overhead Panel	38.
7.5.3. Vetítővászon Integrálása	39.
7.5.3.1. Vetítővászon Tervezése és Kivitelezése	39.
7.6. Szoftveres Integráció a Microsoft Flight Simulatorral.....	39.
8. ÖSSZEFOGLALÁS.....	41.
9. KÉP FORRÁSOK.....	42.
10. IRODALOMJEGYZÉK	42.

1. ABSZTRAKT

A dolgozat részletesen ismerteti egy költséghatékony Airbus A320NEO szimulátor fejlesztési projektjét, amely különös aktualitását a növekvő légiközlekedési igények és a pilótaképzés fokozódó jelentősége adja. A professzionális szimulátorok magas költsége és korlátozott hozzáférhetősége jelentős akadályt jelent a légiközlekedési tanulmányokat folytató hallgatók számára, amelyre a dolgozatban bemutatott megoldás kínál választ.

A kutatási projekt a Microsoft Flight Simulator platformot használja alapul, amely a valósághű repülési környezetet biztosítja. A TDK dolgozat bemutatja, hogyan ötvözi a fejlesztés a modern technológiákat, különös tekintettel a 3D nyomtatás és a programozható mikrokontrollerek alkalmazására. A munka három fő célt tűz ki: egy moduláris, könnyen szerelhető és karbantartható rendszer létrehozását, a professzionális szimulátoroknál jelentősen alacsonyabb költség szint elérését, valamint az otthoni gyakorlás lehetőségének megteremtését.

A dolgozat részletesen tárgyalja a szimulátor egyedi hardveres kialakítását, amely fa és 3D nyomtatott alkatrészekből épül fel, Arduino Leonardo platformon alapuló vezérléssel. A rendszer magában foglalja a szükséges vezérlőpaneleket, pedálokat és oldalkormány botkormányokat, amelyek együttesen biztosítják a valósághű repülési élményt. A tanulmány bemutatja, hogyan teszi lehetővé a moduláris felépítés és a gyorscsatlakozók használata a komponensek egyszerű cserélhetőségét és a rendszer rugalmas fejleszthetőségét.

A befejező rész összegzi a projekt eredményeit, és értékeli, hogyan valósítottunk meg egy olyan költséghatékony szimulátort, amely alkalmas oktatási célokra, miközben jelentősen alacsonyabb előállítási és karbantartási költségekkel rendelkezik, mint a hagyományos megoldások.

2. BEVEZETÉS

A repülésszimulátorok története egészen a 20. század elejéig nyúlik vissza, amikor az első egyszerű tréningeszközöket a pilóták alapvető navigációs és manőverezési képességeinek fejlesztésére fejlesztették ki. Az egyik legkorábbi szimulátor, a „Tonneau d'apprentissage” vagy „Antoinette”, az École de Pilotage (Antoinette Repülési Iskola) berkein belül működött a franciaországi Mourmelon-le-Grand-ban, körülbelül 1911-ben [1].

Ez az eszköz manuálisan mozgatható hordóféltételekből állt, amelyek a repülőgép dőlésszögét és emelkedését szimulálták, a tanuló feladata pedig az volt, hogy egy referencia vonalat igazítsa a horizonttal.



Ábra 1: „Antoinette Hordó” 1911, az École de Pilotage-ban, Franciaország. [1]

1917-ben a Breese Penguin újabb érdekes eszköz volt, amely lehetőséget adott a pilótáknak, hogy közel repülési sebességnél gyakorolják a repülőgép-irányítást anélkül, hogy a tényleges repülés kockázatával kellett volna szembenéznük. A Penguin szárnyai túl rövidek és motorja túl kicsi volt a repüléshez, így az eszköz inkább a földi irányítás gyakorlására szolgált.[2]



Ábra 2: “Breese Penguin” 1918, Farmingdale, Egyesült Államok. [2]

Ugyanebben az évben a „Ruggles Orientator” szimulátor lehetővé tette a hallgatók számára, hogy a repülőgéppel való szokatlan helyzeteket felismerjék és helyreállítsák. Az Orientator egy gimbal gyűrűs szerkezetben forgatható üléssel rendelkezett, amely mindhárom tengelyen teljes forgást biztosított, így valóságosan modellezte a repülési szituációkat.

Az első jelentős áttörést a Link Trainer jelentette, amelyet Edwin Albert Link fejlesztett ki 1929-ben. Ez az elektromechanikus szimulátor az 1930-as évektől kezdve a pilótaképzés alapvető eszközévé vált, különösen a második világháború alatt, amikor több ezer pilóta részesült oktatásban ezzel az eszközzel. A Link Trainer az első olyan szimulátor volt, amely háromtengelyes mozgást, pilóta-instruktor közötti kommunikációt, repülési pályakövetést és teljes műszerfalat biztosított, megteremtve a modern repülésszimulátorok alapját [3].



Ábra 3: “Link Trainer” 1929, Edwin Albert Link találmánya. [3]

A digitális forradalom az 1970-es és 1980-as években hozott áttörést, amikor a repülésszimulátorok az analóg rendszerekről digitális platformokra váltottak, így a valósághűség és a felhasználói élmény szintje ugrásszerűen növekedett. Az olyan cégek, mint a Boeing és az Airbus, már akkor olyan szimulátorokat használtak, amelyek valós idejű, pontos repülési modelleket és részletes, háromdimenziós környezeteket kínáltak, lehetővé téve a pilóták számára a teljes repülési ciklus gyakorlását, beleértve a vészhelyzeti eljárásokat is.

Az első teljes körű repülőgépszimulátort a Pan American Airways használta 1948-ban, amit a Curtiss-Wright fejlesztett ki a Boeing 377 Stratocruiser gépekhez. Bár ezek a szimulátorok még nem rendelkeztek mozgás vagy vizuális rendszerrel, az összes többi tekintetben tökéletesen lemásolták a repülőgép pilótafülkéjének megjelenését és viselkedését.

A 21. század elején a személyi számítógépek és a szoftverek, mint a Microsoft Flight Simulator, forradalmasították a repülésszimulátorok piacát. Ezek az új generációs szimulátorok már fejlett grafikai motorokat és valós idejű adatokat használtak, lehetővé téve, hogy a repülés szerelmesei otthoni környezetben is valósághű szimulációkat végezzenek.



Ábra 4: Modern professzionális Airbus A320 szimulátor [4]

A projekt célja egy költséghatékony Airbus A320NEO szimulátor megvalósítása, amely a Microsoft Flight Simulator platformot használja alapul. A szimulátor egyedi jellemzője, hogy modern technológiákat, például a 3D nyomtatást és a mikrokontrollerek alkalmazását ötvözi a konstrukcióban. A moduláris, könnyen szerelhető és javítható szimulátor lehetőséget nyújt az oktatási célú gyakorlásra, miközben alacsony költséggel biztosítja az élethű repülési élményt.

3. A PROJEKT MOTIVÁCIÓJA ÉS HATÁSA

A projekt motivációja részben személyes érdeklődésünkből fakad, hiszen mind a ketten érdeklődünk a légiközlekedés iránt, mint pilóták. Az elmúlt évek során megfigyelhető, hogy a repülésszimulátorok népszerűsége növekszik, mind a professzionális, mind az amatőr felhasználók körében. Azonban, a professzionális szimulátorok áruk miatt gyakran csak oktatási intézmények vagy repülőiskolák számára elérhetőek. Ezzel szemben, mi egy olyan szimulátort kívánunk létrehozni, amely jelentősen olcsóbb, de továbbra is alkalmas a repülés gyakorlására és oktatására.

A 3D nyomtatás és a mikrokontrollerek kombinációja számos előnyt kínál. A 3D nyomtatás lehetővé teszi az egyedi alkatrészek gyors és olcsó előállítását, míg a mikrokontrollerek segítségével könnyen megvalósítható a vezérlés, akár egy egyszerű USB-kapcsolaton keresztül is. A projekt egyik legfontosabb újítása a moduláris felépítés, amely lehetővé teszi a felhasználóknak, hogy az egyes részegységeket könnyedén cseréljék vagy fejlesszék. Ezzel nemcsak a költségeket csökkentjük, hanem a rendszer rugalmasságát is növeljük.

A szimulátor fejlesztése során kiemelten fontosnak tartottuk, hogy a felhasználók számára valóságghű és pontosan működő vezérlőelemeket biztosítsunk. A projekt jelenlegi állapotában elsődleges célunk a trim kerekek és indikátorok meghajtásának megvalósítása. A vezérlőpult elemei között megtalálható lesz többek között a gázkar, a trim kerék, valamint a botkormány is, amelyeket a valós repülőgép működésének megfelelően programozunk. Emellett, a szimulátorban helyet kapnak olyan rendszerek is, mint a pedálok, valamint a különböző, repüléshez szükséges egyéb vezérlőelemek.

3.1. A repülésszimulátorok típusai, áraik és beszerezhetőségük

A repülésszimulátorok típusai jelentős különbségeket mutatnak a funkcionalitás és a költségek tekintetében. Az egyszerűbb, otthoni használatra tervezett szimulátorok, mint például a Microsoft Flight Simulator vagy a X-Plane, számítógépes szoftverek, amelyek alapvető repülési élményt kínálnak. Ezek a szimulátorok viszonylag olcsón beszerezhetők, és a hozzájuk kapcsolódó alapvető vezérlőeszközök – például joystickok és

pedálok – szintén elérhető árúak, **25 000–200 000 forint** közötti összegért vásárolhatók

meg. [5]

A professzionális szimulátorok, mint amilyeneket a légitársaságok és repülőiskolák használnak, teljesen más kategóriába tartoznak. Ezek az eszközök valóságű, teljes mozgásra képes platformmal, hitelesített repülési dinamikával és komplex cockpit berendezésekkel rendelkeznek, amelyek az adott repülőgép típusát pontosan reprodukálják. Egy ilyen szimulátor ára millió eurós nagyságrendű is lehet, és beszerzésük gyakran speciális gyártóktól, például CAE, L3Harris vagy TRU Simulation + Training cégektől történik. [6] Ezek az eszközök nemcsak a beszerzési költségek, hanem a karbantartás és az üzemeltetés szempontjából is jelentős terhet jelentenek.

Az árak és a komplexitás közötti átmenetet képezik a részlegesen professzionális eszközök, amelyek korlátozott mozgású platformmal rendelkeznek, de még mindig nagyon pontos repülési élményt nyújtanak. Az ilyen szimulátorok árkategóriája néhány millió forinttól kezdődik, és különösen a komoly amatőr pilóták, valamint az oktatási intézmények körében népszerűek.

A projekt célja éppen ezen a területen helyezkedik el, az otthoni felhasználók számára megfizethető, ugyanakkor részben professzionális szintű szimulátor létrehozása, amely a repülés szerelmeseinek és tanulóknak is elérhető alternatívát kínál.

4. PROJEKT FELÉPÍTÉSE

A projekt célja egy költséghatékony, moduláris szimulátor létrehozása, amely mind hardveres, mind szoftveres elemeket integrál annak érdekében, hogy valóság-hű repülési élményt nyújtson a felhasználóknak. A részlegesen professzionális szimulátor felépítése nagyban különbözik a jelenleg közhasználatban lévő, piacon elérhető szimulátoroktól, és számos innovatív megoldást alkalmaz, amelyek lehetővé teszik, hogy a költségek jelentősen alacsonyabbak legyenek, miközben a funkcionalitás magas szinten maradjon.

4.1. Moduláris kialakítás: Miért kiemelkedő?

A szimulátor egyik legnagyobb előnye a **moduláris kialakítás**, amely lehetővé teszi az egyes komponensek cseréjét, fejlesztését vagy bővítését anélkül, hogy az egész rendszert újra kellene építeni. A moduláris tervezés alapja az volt, hogy a szimulátor különböző részegységei, mint például a **vezérlőpult (pedestal panel)** és az **oldalsó panel (side panel)** különálló elemekként is működjenek, amelyeket a felhasználó igényei szerint szerelhet fel vagy le. [7]

- **Vezérlőpult (pedestal panel):** A vezérlőpult központi eleme a szimulátornak, és számos alapvető funkciót integrál. A vezérlőpulton található a **trim kerék**, amely a repülőgép stabilitásának fenntartásáért felelős. Ezen kívül itt helyezkedik el a **trim indikátor**, amely vizuálisan jelzi a repülőgép aktuális trimmelési állapotát. Az egyik legfontosabb eszköz ezen a panelen a **gázkar (throttle quadrant)**, amely a repülőgép motorjainak tolóerejét szabályozza. A gázkaron található az **auto throttle disconnect** gomb, amely lehetővé teszi a pilóta számára, hogy manuálisan állítsa le az automatikus tolóerő-szabályzót, szükség esetén.
- **Oldalsó panel (side panel):** Az oldalsó panel a repülés irányításának egyik legfontosabb része. Tartalmazza az **oldalkormány botkormányát (sidestick)**, amely a repülőgép oldalirányú mozgásáért és az orrfutó kormányzásért felelős. Ezen kívül az oldalsó panel tartalmazza az **orrfutó kormányzást (tiller)** is, amely a földi

mozgások során használatos. Ezen vezérlőelemek segítségével a pilóta valósághűen tudja irányítani a repülőgép mozgását a szimulátorban.

- **Front panel (Front panel):** A front panel a szimulátor egyik leglátványosabb és legkomplexebb eleme, amely a repülés során szükséges legfontosabb műszereket és kijelzőket foglalja magában. Ez a panel általában tartalmazza a műhorizontot (attitude indicator), amely a repülőgép helyzetét mutatja a horizonthoz képest, valamint a sebességmérőt (airspeed indicator), amely a gép aktuális sebességét jelzi. Emellett a front panelen helyet kapnak az olyan fontos kijelzők is, mint az iránytű (heading indicator) és a magasságmérő (altimeter), amelyek elengedhetetlenek a repülés biztonságos végrehajtásához.
- **Pedálok (Pedals):** A pedálok működésének alapja egy rugós ellencsatolós rendszer, amely a valós repülőgépek érzését szimulálja. Az eszköz stabilitása érdekében a pedálok fémkeretre vannak rögzítve, és csapágyakkal biztosítjuk a sima mozgást. Ez a mechanikai felépítés lehetővé teszi, hogy a pedálok mozgása lineáris és precíz legyen, emellett hosszan tartó használatot és minimális karbantartási igényt garantál. Az elektronikai részt tekintve a pedálok szenzorai Arduino mikrokontrollerrel vannak összekötve, amely valós időben továbbítja a pedálok pozícióját a szimulációs szoftver felé. Ez lehetővé teszi, hogy a pedálok minden apró mozdulata pontosan le legyen követve, így a pilóta valósághű élményben részesüljön a kormányzás és fékezés során.
- **Overhead panel (Overhead panel):** Az overhead panel a szimulátor egyik legösszetettebb egysége, amely a repülőgép fő rendszereinek irányítását szolgálja. A felső vezérlőpanelen található a létfontosságú rendszerek kapcsolói és kijelzői, beleértve az elektromos rendszer vezérlőit, az üzemanyagrendszer kezelőszerveit, valamint a környezeti és világítási rendszerek szabályozóit. A moduláris kialakításnak köszönhetően az egyes rendszer elemek könnyen cserélhetők vagy korszerűsíthetők, ami lehetővé teszi a szimulátor folyamatos fejlesztését. Ez a panel kulcsfontosságú

szerepet játszik a valósághű repülési élmény megteremtésében, hiszen ugyanolyan elrendezésben tartalmazza a vezérlőelemeket, mint egy valódi repülőgép pilótafülkéje.

4.2. Valós repülőgép és szimulátorok: főbb szervek összehasonlítása

A szimulátor fejlesztése során fontos szempont, hogy a valós repülőgép vezérlőszerveit minél pontosabban leképezze. Az alábbi táblázat bemutatja a valós repülőgépek és a szimulátor főbb szerveinek összehasonlítását, kiemelve a funkcionális különbségeket és hasonlóságokat. Az összehasonlításból látható, hogy a szimulátor törekszik a valósághű érzés biztosítására, miközben a költséghatékonyságot, a modularitást és a könnyű karbantarthatóságot szem előtt tartja. Az egyes szervek különböző szintű valósághűséggel rendelkeznek, de a cél az, hogy a felhasználók az irányítást és a repülési élményt a lehető legjobban megközelítsék. [8]

Főbb szervek	Valós repülőgép	Saját készítésű szimulátor	Boltí Szimulátor
Gázkar (throttle quadrant)	Mechanikusan precíz szerkezet, amely biztosítja a motorok pontos tolóerő-szabályozását	3D nyomtatott alkatrészekkel ellátott gázkar, amelyet Arduino mikrokontroller vezérel	Professzionálisan gyártott, finom mechanikai rendszerrel és integrált szoftverrel
Trim kerék	Finom mechanikai rendszer, amely manuálisan is állítható, visszajelzéssel a pilóta számára	3D nyomtatott, dörzshajtásos mechanizmus, valós idejű adatok alapján működik	Magas precizitású gyári trimkerék digitális visszajelzéssel
Botkormány (sidestick)	Elektronikus visszajelzéssel rendelkező kormány, amely precíz irányítást biztosít	Arduino által vezérelt sidestick, amely a SimConnect API-n keresztül továbbítja az adatokat	Haladó visszajelzési rendszerrel, állítható ellenállással és programozható gombokkal
Orrfutó kormányzás (tiller)	A földi manőverezéshez használt eszköz, pontos mechanikus vezérlőberendezéssel	Integrált eszköz, amely mikrokontrolleres vezérléssel biztosítja a földi irányítást	Gyárilag beépített, kompakt és precíz vezérlő, szimulátor-specifikus interfésszel
Trim indikátor	Vizuális kijelző a trim aktuális beállításának megjelenítésére	3D nyomtatott kijelző, amely valós idejű adatokat mutat a szoftverből	Színes LCD kijelző, valós idejű adatokkal és automatizált kalibrációval
Pedálok	Hidraulikus vagy elektronikus rendszerrel működő pedálok, irányítással és fékezéssel	Arduino és egyszerűbb mechanikai elemek segítségével épített pedálok, valóságghú érzettel	Rugós visszacsatolású pedálok, állítható erősséggel és beépített elektronikával

Táblázat 1: Összehasonlítás a valós repülőgép és szimulátor főbb szervei között

4.3. Innováció a mechanikai elemek egyszerűsítésében

A projekt egyik kiemelkedő tulajdonsága, hogy jelentősen kevesebb **mechanikai elemet** használ a hagyományos szimulátorokhoz képest. Ez nemcsak a költségek csökkentését teszi lehetővé, hanem a rendszer megbízhatóságát és szerelhetőségét is növeli. Az áramvonalas tervezés miatt egyszerűbb a probléma forrását megtalálni, és megjavítani. A hagyományos szimulátorok gyakran bonyolult mechanikai rendszereket alkalmaznak, amelyek drágák és időigényesek a karbantartás szempontjából. Emellett a mi rendszerünkben az anyagok is költséghatékonyak így egyszerűbb őket kicserélni.

A **3D nyomtatott** alkatrészek használata egy másik kulcsfontosságú szempont. A 3D nyomtatás lehetővé teszi az alkatrészek egyedi tervezését és gyors előállítását, miközben a gyártási költségek alacsonyan tarthatók. A 3D nyomtatásnak köszönhetően a szimulátorban alkalmazott mechanikai alkatrészek könnyűek, de mégis tartósak, ami hosszú élettartamot biztosít számukra.

4.4. Szoftver innováció: Microsoft Flight Simulator és mikrokontrollerek

A projekt szoftveres oldala szintén innovatív megközelítést alkalmaz. Míg sok szimulátor a **X-Plane** platformot használja, mi a **Microsoft Flight Simulator** mellett döntöttünk, mivel az utóbbi szélesebb körben elérhető, és valósághűbb grafikai és repülési modellt kínál. A Microsoft Flight Simulator támogatja a külső eszközök integrációját, így a felhasználók könnyen csatlakoztathatják a szimulátor vezérlőit a számítógéphez. A **Flight Simulator 2024** platformja ezen felül még extra támogatást fog elérhetővé tenni, amivel például az MCDU (Multipurpose Control and Display Unit, magyarul: Többcélú Vezérlő és Kijelző Egység) adatait könnyeb módon lehet elérni.

Ezenkívül, a hardverek vezérléséhez az **Arduino pro micro** mikrokontrollert választottuk, amely egyszerűen programozható **C nyelvben**. Az Arduino alapú vezérlés lehetővé teszi, hogy az egyes eszközök, például a trim kerék, a joystick és a gázkar,

pontosan kövessék a valós repülési adatokat, amelyeket a Microsoft Flight Simulatorból nyerünk ki. Az adatok továbbítása a SimConnect SDK segítségével történik, amely lehetővé teszi a valós idejű interakciót a szimulátor és a hardver között.

4.5. Miért előnyök ezek az újítások?

Azon modern technológiák, mint például a 3D nyomtatás, a moduláris kialakítás, valamint a mikrokontroller és a Microsoft Flight Simulator integrációja, számos előnyt kínálnak:

1. **Költséghatékonyság:** A projekt költségei jelentősen alacsonyabbak, mint a kereskedelmi forgalomban kapható szimulátoroké, amelyek általában több ezer dollárba kerülnek. A 3D nyomtatott alkatrészek és az olcsó mikrokontrollerek használata lehetővé teszi a költségek minimalizálását, miközben a szimulátor funkcionalitása nem csorbul.
2. **Egyszerű javítás és karbantartás:** A moduláris felépítés lehetővé teszi az egyes alkatrészek gyors cseréjét, karbantartását és fejlesztését. Ez különösen előnyös az amatőr felhasználók számára, akik szeretnék saját szimulátort építeni, de nem rendelkeznek mély technikai ismeretekkel.
3. **Pontosság és valósághűség:** A szoftver és a hardver közötti valós idejű kommunikáció lehetővé teszi, hogy a felhasználók valósághűen szimulálják a repülési folyamatokat, beleértve a gázkarok mozgatását, a trim beállítását és az oldalkormány használatát. A Microsoft Flight Simulator fejlett grafikai motorja és repülési modellje révén a felhasználók olyan élményben részesülhetnek, amely szinte azonos a valós repüléssel.

4.6. Költségek és előnyök más szimulátorokkal szemben

A hagyományos, professzionális repülési szimulátorok rendkívül drágák, és gyakran csak repülési iskolák vagy légitársaságok számára elérhetők. Ezzel szemben a mi szimulátorunk a költségek töredékéért biztosít hasonló funkcionalitást. A **kereskedelmi forgalomban lévő szimulátorok** általában több tízezer dollárba kerülnek, míg a

mi projektünk becsült költsége nagyságrendileg sokkal alacsonyabb; ami tervek szerint kb. 650 000 Ft lesz; köszönhetően az olcsóbb anyagoknak, mint például a 3D nyomtatott elemek és az Arduino mikrokontrollerek. A projektünk becsült összege befejezéskor. [9][10]

A könnyebb szerelhetőség és a moduláris felépítés miatt a projektünk nemcsak olcsóbb, hanem **hosszú távon fenntarthatóbb** is, hiszen a rendszer könnyedén frissíthető és karbantartható anélkül, hogy nagyobb beruházásra lenne szükség. Ez különösen fontos azoknak a felhasználóknak, akik hosszú távon tervezik a szimulátor használatát, vagy akik különböző típusú repülőgépeket szeretnének szimulálni ugyanazon a platformon.

5. RENDSZER FIZIKAI KIVITELEZÉSE

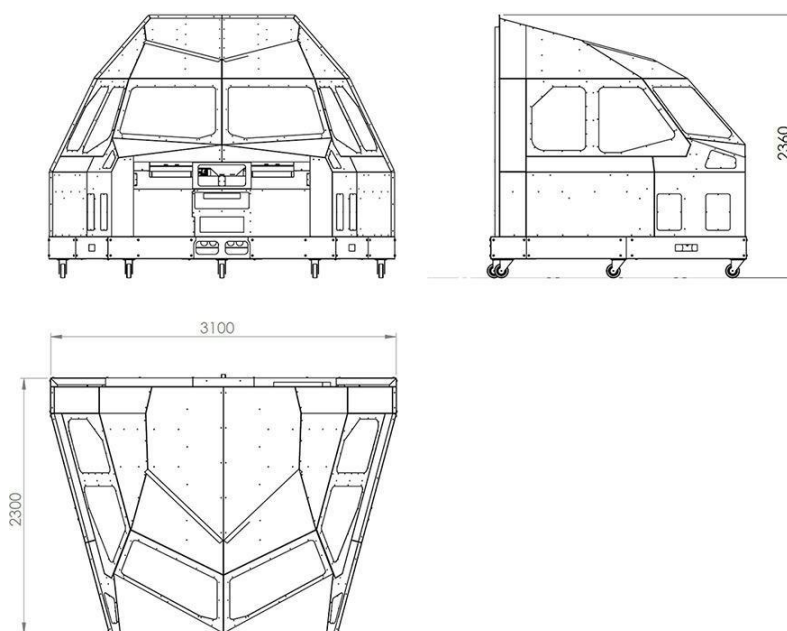
5.1. Szimulátor keret (Cockpit shell)

A szimulátor keret a projekt egyik legfontosabb szerkezeti eleme, mivel ez a szerkezet biztosítja a moduláris elemek – mint az oldalsó panel, a központi panel, az elülső panel és később a felső vezérlőpanel – megfelelő rögzítését és integrációját. A szimulátor keret egy robusztus, stabil alapot nyújt, amely lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy beleüljenek, és valóság-hű repülési élményben részesüljenek. A keret kialakítása során elsődleges szempont volt a tartósság és az egyszerű összeszerelhetőség, hogy a szerkezet hosszú távon is biztonságos és kényelmes használatot nyújtson.

A szimulátor keret anyaga erős, strapabíró fémszerkezet, amely biztosítja a szükséges stabilitást és merevséget a teljes szerkezet számára. A pontos és alapos tervezés lehetővé teszi, hogy a moduláris elemek tökéletesen illeszkedjenek a helyükre, ezáltal gyorsan cserélhetők és frissíthetők legyenek. A keret méreteit úgy határoztuk meg, hogy azok hűen tükrözzék az Airbus A320 család pilótafülkéjének dimenzióit, ezzel biztosítva a realisztikus és ergonomikus felhasználói élményt. [11]

A szimulátor keret lesz az alap, amire a végleges termék fog épülni. Erre kerülnek majd a modulok és a beépített ülések is, amelyek kényelmet biztosítanak a pilótának, valamint azoknak, akik oktatási vagy szórakozási célból használják a szimulátort. A 180 fokos vászon biztosítja majd, hogy a Microsoft Flight Simulator által generált vizuális élmény közvetlenül a pilóta látóterébe kerüljön, így a repülési élmény még élethűbb és magával ragadóbb lesz.

Az egyes modulok, például az oldalsó panel, a vezérlőpult és az elülső panel, egyszerűen rögzíthetők és cserélhetők, ami lehetővé teszi a későbbi bővítéseket és fejlesztéseket. Ez a kialakítás biztosítja a szimulátor hosszú távú fenntarthatóságát, valamint azt, hogy a rendszer alkalmazkodni tudjon a technológiai újításokhoz és a felhasználói igények változásához.



Ábra 5: Airbus A320 család pilótafülke keret dimenziója (3100mm X 2300mm X 2360mm) [11]

5.2. Központi panel (Pedestal panel)



Ábra 6: Airbus A320 megvalósított Központi panel [12]

A központi panel fontos szerepet tölt be mind a repülőgép-szimulátorokban, mind a valós repülőgépek pilótafülkéjében, mivel itt helyezkednek el a pilóta számára alapvető fontosságú vezérlőelemek. Ezek az elemek lehetővé teszik a repülőgép alapvető rendszereinek irányítását és beállítását a repülési ciklus különböző fázisaiban. Az alábbiakban bemutatjuk a panel legfontosabb elemeit, a tervezési és kivitelezési megoldásokat, valamint a 3D nyomtatás előnyeit.



Ábra 7: Airbus A320 megvalósított Trim kerék [12]

- Trim kerék: A trim kerék alapvető fontosságú a repülőgép hosszanti stabilitásának fenntartásában, lehetővé téve a pilóta számára a repülési beállítások finomhangolását. A valódi repülőgépeken a trim kerék gyakran egy összetett, fogaskerekes mechanizmust használ, amely precíziós működést biztosít. A szimulátorban a 3D nyomtatott trim kerék egy dörzshajtásos megoldást alkalmaz, amely egyszerűbb, de mégis elegendő visszajelzést nyújt a felhasználónak. Ez a konstrukció biztosítja a sima, fokozatmentes mozgást, miközben költséghatékonyabb és könnyebben gyártható, mint a hagyományos megoldások.

- Trim indikátor: A trim indikátor vizuális visszajelzést nyújt a pilótának a trim aktuális beállításáról, azaz arról, hogy a magassági kormány milyen pozícióban van, és milyen mértékű erőt kompenzál. A szimulátorban ez az eszköz szintén 3D nyomtatott elemekből épül fel, és valós idejű adatokat jelenít meg, amelyeket a szimulációs szoftver és az Arduino mikrokontroller biztosít. Ez lehetővé teszi a pontos és valósághű visszajelzést a felhasználó számára.



Ábra 8: Airbus A320 megvalósított Trim indikátor [12]

- Gázkarok: A gázkarok a repülőgép hajtóműveinek tolóerejének szabályozására szolgálnak. A szimulátorban a gázkarok kialakítása és mozgása megegyezik a valódi repülőgépekén, beleértve az olyan funkciókat is, mint a reverse thrust (tolóerő megfordítása a földön). Ez a funkció elengedhetetlen a leszállás utáni fékezéshez. A szimulátorban használt gázkarok 3D nyomtatott elemekből állnak, és az irányítást egy Arduino mikrokontroller végzi, amely lehetővé teszi a valós repülési adatok alapján történő szabályozást.

- Auto throttle disconnect gomb: Az auto throttle disconnect gomb az automatikus gázkar vezérlés (auto throttle) kikapcsolására szolgál. Ez a funkció lehetővé teszi a pilóta számára, hogy manuálisan irányítsa a hajtóműveket a repülés különböző szakaszaiban. A szimulátorban a gomb funkcionalitása és elhelyezése megegyezik a valós repülőgépekben található gombéval, biztosítva ezzel az autentikus élményt.

5.2.1. Központi panel funkciói és struktúrája

- Trim Kerék Mechanizmusa: A szimulátorban alkalmazott 3D nyomtatott trim kerék egy dörzshajtásos mechanizmust használ. Ez a megoldás egyszerűbb és költséghatékonyabb, mint a hagyományos fogaskerékes rendszerek, de mégis megfelelő működést biztosít a pilótának. Az ilyen típusú mechanizmus könnyen szerelhető, és szükség esetén gyorsan cserélhető, így ideális választás a moduláris szimulátorokhoz.
- Gázkar Tervezése és Funkciója: A gázkar szimulátorban való alkalmazása az eredeti repülőgépek precíziós mozgását utánozza, biztosítva a valósághű repülési élményt. Az Arduino mikrokontroller által vezérelt 3D nyomtatott gázkarok nemcsak költséghatékonyak, hanem könnyen módosíthatók is a jövőbeli fejlesztésekhez. A 3D nyomtatás lehetővé teszi a gázkarok személyre szabott tervezését, gyors előállítását és cseréjét, ami a hagyományos megmunkálási módszerekhez képest nagy előnyt jelent.
- 3D Nyomtatás a Gázkar és Trim Kerék Kialakításában: A 3D nyomtatás lehetővé teszi az alkatrészek egyedi tervezését és prototípusok gyors elkészítését, ami növeli a fejlesztési rugalmasságot. Ezen kívül a nyomtatott alkatrészek könnyebbek és egyszerűbben karbantarthatók, így hosszú távon csökkentik az üzemeltetési költségeket.

5.3. Pedálok (Pedals)

A pedálok a repülőgép irányíthatóságának és stabilitásának szempontjából elengedhetetlen vezérlőelemek. A repülési manőverek során az oldalkormány irányításáért felelnek, lehetővé téve a repülőgép oldalirányú mozgásának pontos vezérlését. Emellett a pedálokat a földi manőverezés során is használják, például gurulás közben, amikor a pilóta az orrfutót irányítja.

A szimulátorban alkalmazott pedálok kialakítása során a valósághű érzet és a könnyű kezelhetőség kiemelt szempont volt. [13] Az eszközök egy fémvázas szerkezetre épülnek, amely biztosítja a stabilitást és a hosszú élettartamot. A pedálok mozgását egy rugós ellenszatolós rendszer teszi élethűvé, amely az ellenállást az oldalkormány aktuális helyzetéhez igazítja. Ez a rendszer a repülés során fellépő természetes visszacsatolást szimulálja, ami a pilóta számára hasznos, hogy pontosabb irányítást és valósághű repülési élményt érjen el.

5.3.1. Pedálok kivitelezése

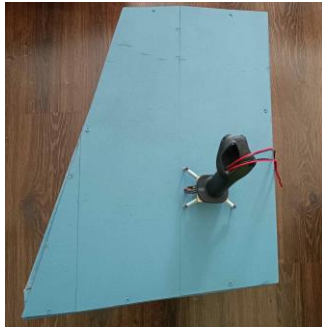
A mechanikai felépítés alapját képező rugós ellenszatolás és a csapágyazott tengelyek lehetővé teszik a sima, fokozatmentes mozgást, csökkentve a kopást és a karbantartási igényt. Az ilyen megoldások különösen fontosak a hosszú távú használat során, mivel biztosítják a rendszer tartósságát és a pontos visszajelzést. A precíziós csapágyak és a fémváz konstrukció nemcsak a stabilitást garantálják, hanem a mozgás könnyedségét és simaságát is elősegítik.

Elektronikai szempontból az Arduino mikrokontroller felelős a pedálok pozíciójának beolvasásáért és a szimulációs szoftverhez történő továbbításáért. Az analóg szenzorok segítségével az Arduino pontos adatokat kap a pedálok helyzetéről, amelyeket a SimConnect API-n keresztül valós időben továbbít a szimulátorprogramnak. Ez biztosítja, hogy a pedálok minden mozdulata szinkronban legyen a virtuális repülőgépen végrehajtott irányítási parancsokkal.

A pedálok kialakítása során a 3D nyomtatás is fontos szerepet kapott, mivel az apróbb alkatrészeket, mint például a rögzítőelemek vagy az érzékelőtartók, gyorsan és költséghatékonyan lehet előállítani. Ez növeli a projekt rugalmasságát és lehetőséget ad a későbbi módosításokra vagy javításokra anélkül, hogy jelentős költségeket vonna maga után.

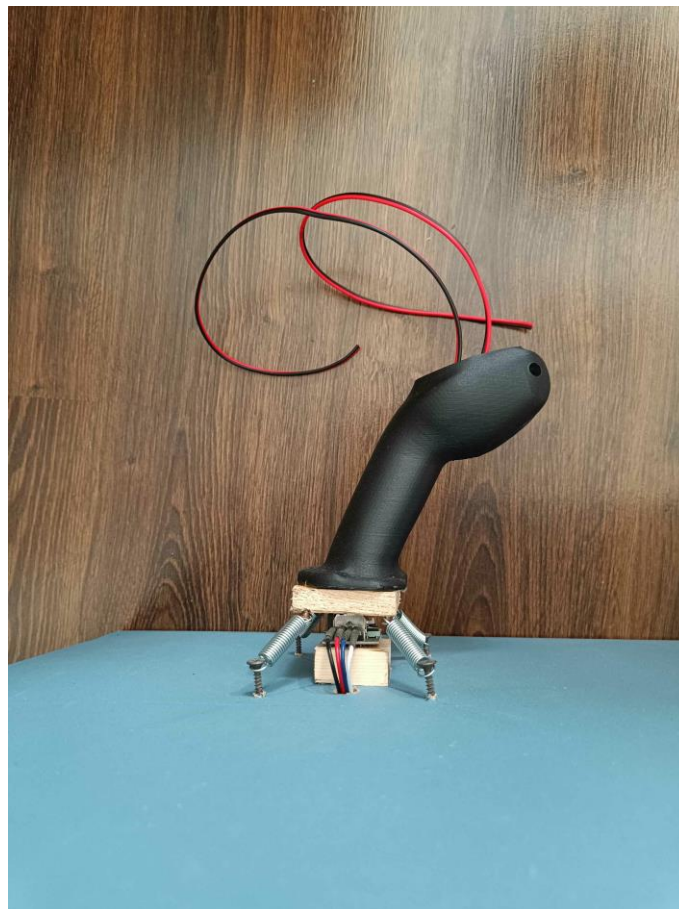
5.4. Oldalsó panel (Sidestick panel)

A sidestick panel az oldalkormány (joystick) és a tiller integrációját foglalja magában, amelyek nélkülözhetetlenek a repülőgép irányításában. Ezek az elemek lehetővé teszik a repülőgép hosszirányú és keresztirányú mozgásának, valamint a földi irányításának pontos vezérlését.



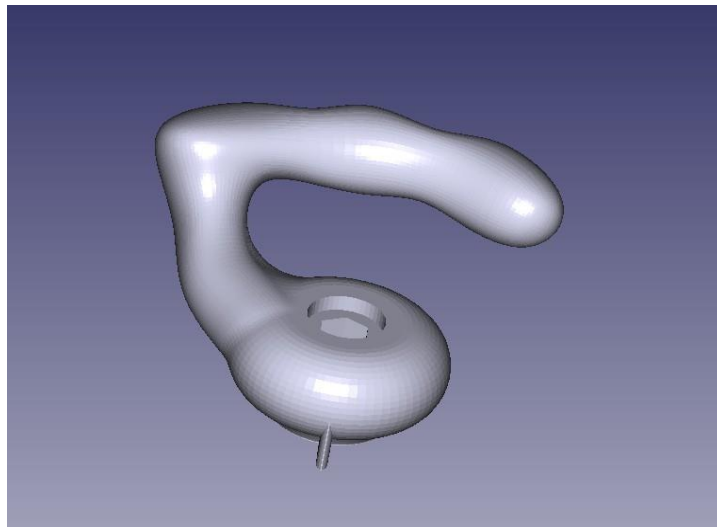
Ábra 9: Airbus A320 megvalósított Oldalsó panelek

- Joystick: A joystick a repülőgép hosszirányú (pitch) és keresztirányú (roll) mozgásának vezérlésére szolgál. Az előre-hátra mozgás a magassági kormány vezérlését irányítja, míg a balra-jobbra elmozdulás az oldalsó vezérsíkok mozgását szabályozza, amelyek a repülőgép billentéséért felelnek. A szimulátorban alkalmazott joystick kialakítása az eredeti repülőgépekhez hasonló visszacsatolást nyújt. Bár a mechanikai ellenállás és az erőhatások nem teljesen érik el a professzionális szintet, az eszköz pontosan modellezi a repülési helyzeteket, beleértve a turbulenciát és a gyorsulást.



Ábra 10: Airbus A320 megvalósított Oldalsó panel joystick

- **Tiller:** A tiller a földi irányítás egyik alapvető eleme, amely az orrfutó kormányzását végzi. Ez lehetővé teszi a pilóta számára, hogy a repülőgépet pontosan irányítsa gurulás közben, például a repülőtér kifutópályáin és gurulóútjain. A szimulátorban a tiller egy egyszerűsített, Arduino mikrokontrollerrel vezérelt mechanikai rendszer része, amely a valósághoz közeli vezérlési élményt biztosít. A mechanikai elemek könnyen cserélhetők és karbantarthatók, így a rendszer fenntartása költséghatékony és praktikus.



Ábra 11: Airbus A320 3D tervezett tiller

5.4.1. Oldalsó Panel: Ergonómiája és mechanikája

- **Sidestick Ergonomikus és Mechanikai Megközelítése:** Az oldalkormány (sidestick) kialakítása során az ergonomikus tervezési szempontokat figyelembe véve olyan eszközt hoztunk létre, amely kényelmesen hozzáférhető a pilóta számára. A sidestick az Arduino mikrokontrollerrel van összekapcsolva, amely a SimConnect API segítségével kommunikál a szimulációs szoftverrel. Ez a kapcsolat biztosítja, hogy a joystick mozgásai szinkronizáltak legyenek a szimulátorban zajló repülési eseményekkel. Az egyszerűsített mechanikai megoldás lehetővé teszi a költségek minimalizálását, miközben a felhasználói élmény még mindig megfelelő szinten marad.
- **Tiller Mechanikai Részletei:** Az orrfutó kormányzásáért felelős tiller a földi manőverek során segíti a repülőgép precíz irányítását. A szimulátorban alkalmazott változat egy alapvető mechanikai rendszerrel és Arduino vezérléssel rendelkezik. Ez a kialakítás

egyszerű és hatékony megoldást nyújt a földi manőverezéshez, és lehetővé teszi a könnyű karbantarthatóságot, amely az amatőr és félprofesszionális felhasználóknak is előnyt jelent.

5.5. Elülső vezérlőpanel (Front panel)

Az elülső vezérlőpanel kiemelkedő szerepet játszik a szimulátorban, hiszen itt helyezkednek el a legfontosabb kijelzők és vezérlőelemek, amelyek közvetlenül a pilóta látóterében vannak. Ennek a panelnek a megépítése és integrálása alapvető fontosságú ahhoz, hogy a repülési élmény minél valóságosabb legyen.



Ábra 12: Airbus A320 Elülső vezérlőpanel [14]

5.5.1. Elülső vezérlőpanel Kivitelezése

A front panel kivitelezését a szimulátor keretének stabil szerkezetére építjük, mely biztosítja a panel megfelelő rögzítését és illeszkedését. Az első lépés a panel faalapú keretének elkészítése, amely tartós és egyszerűen alakítható. Ezt követően a panel kialakítása során a legfontosabb elem a robotpilóta vezérlés lesz, amely lehetővé teszi a repülőgép automatikus irányításának szimulálását.

A front panel további kiemelt elemei a különféle kijelzők, amelyek a pilóta számára nélkülözhetetlen információkat jelenítenek meg. A szimulátorban összesen hat darab kijelző kerül beépítésre, amelyek valóságosan imitálják a repülőgép műszereit és navigációs rendszereit. A kijelzők kiválasztásánál fontos szempont, hogy könnyen cserélhetők és kompatibilisek legyenek a szimulációs platformmal, amely másodlagos képernyőként képes megjeleníteni az adatokat.

Potenciális problémák merülhetnek fel a kijelzők számának és a szükséges hardverkapacitásnak a kezelése során. Összesen hat kijelző, valamint két MCDU (Többcélú Vezérlő és Kijelző Egység), ami nyolc monitort jelent, és ehhez további három monitor is kapcsolódik a szimulátor működéséhez. Ez a szám meghaladhatja egy hagyományos

videokártya kapacitását, ezért a rendszer bővítése és a megfelelő hardver kiválasztása kiemelt figyelmet igényel a projekt későbbi fázisában.

A front panel fejlesztésének következő lépése a megfelelő kijelzők és vezérlőelemek integrálása. Olyan megoldásokat kell alkalmazni, amelyek biztosítják a panel ergonómiáját és könnyű hozzáférhetőségét, miközben fenntartják a valósághűséget és az autentikus felhasználói élményt.

5.6. Felső vezérlőpanel (Overhead panel)

A felső vezérlőpanel a repülőgép-szimulátor egyik kulcsfontosságú része, amely a pilóta feje fölött helyezkedik el. Ez a panel számos alapvető rendszert és folyamatot szabályoz, mint például a hajtóművek indítása, az elektromos rendszerek vezérlése, valamint a légkondicionáló és a hidraulikus rendszerek működtetése. Az overhead panel megvalósítása fontos szerepet játszik a repülési szimuláció valósághűségének fokozásában.



Ábra 13: Airbus A320 Felső vezérlőpanel [15]

5.6.1. Felső vezérlőpanel megvalósítása

A felső vezérlőpanel megépítése első lépésként egy faalapú keret elkészítését igényli, amely stabil alapot biztosít az összes vezérlőelem számára. Ez a keret lehetővé teszi a különféle kapcsolók, gombok és kijelzők rögzítését, miközben biztosítja a könnyű hozzáférhetőséget és az autentikus repülési élményt. [16]

A kivitelezés során főként potenciométereket és többállású kapcsolókat alkalmazunk, amelyek lehetővé teszik a különböző repülési rendszerek működtetését. Az ilyen típusú elemek használata egyszerűbbé teszi a panel mechanikai megoldásait és költséghatékonyabb kivitelezést biztosít. Bár a panel nem tartalmaz elektronikus visszajelző kijelzőket, a felhasználói élmény szempontjából a lehető legvalóságosabb elrendezést biztosítjuk.

A panel későbbi fejlesztési fázisaiban legfeljebb hét segéd kijelző beépítése is lehetséges, amelyek vizuális visszajelzést nyújthatnak bizonyos funkciókról. Az overhead panel legnagyobb kihívása a különböző rendszerek helyes összekapcsolása és az egyes elemek megfelelő szimulációs szoftverrel való összehangolása.

A mechanikai elemek tervezése során ügyelünk arra, hogy könnyen karbantarthatók és cserélhetők legyenek, ezzel biztosítva a szimulátor hosszú távú üzemeltethetőségét. A panel kialakítása során fontos szempont, hogy a vezérlőelemek ergonomikus elrendezése a pilóta számára intuitív és könnyen kezelhető legyen.

5.7. Vetítővászon (Projection Screen)

A vetítővászon (angolul projection screen) a szimulátor élményének egyik meghatározó eleme, amely a vizuális megjelenítést biztosítja. Ez a komponens helyettesíti a hagyományos monitorokat, és lehetővé teszi a szimulációs szoftver, például a Microsoft Flight Simulator valóságos és környezetbe ágyazott kivetítését. A Vetítővászon használatával a pilóta látótere teljes mértékben lefedhető, így az élmény sokkal magával ragadóbbá válik. [17]

5.7.1. Vetítővászon kivitelezése

A Vetítővászon első lépésként a megfelelő keret és tartószerkezet megépítését igényli, amely biztosítja a vászon stabil rögzítését. A keret anyaga könnyű, de erős legyen – például alumínium vagy egy masszív faanyag –, hogy a szimulátor terhelését és méretét figyelembe véve stabilan álljon.

A vászon kiválasztásakor fontos szempont, hogy az anyaga olyan legyen, amely képes a projektor által kibocsátott fényt egyenletesen visszaverni, így tiszta és éles képet biztosítson. Ezzel elérhetővé válik a repülési szimulátor teljes látómezőjének megjelenítése, amely a perifériás látást is lefedi, fokozva a valósághűséget.

A szimulátorban alkalmazott projektor kiválasztása szintén kiemelten fontos, mivel a nagy fényerőjű és nagy felbontású projektorok biztosítják a megfelelő vizuális élményt. Az optimális kivetítési beállításokhoz elengedhetetlen a projektor helyes pozicionálása és a vetítési szög pontos beállítása. Az így kialakított rendszer lehetővé teszi, hogy a repülési szimuláció során a pilóta teljes körű, 180 fokos vagy annál nagyobb látómezőben tapasztalhassa meg a repülési élményt.

Ezen túlmenően, a Vetítővászon és a szimulációs szoftver közötti kompatibilitás biztosítása érdekében szükség van a szoftver megfelelő konfigurálására, hogy az képes legyen a több képernyős megjelenítést kezelni, és egyetlen, összefüggő képet alkotni a vásznon.

A Vetítővászon használata nemcsak fokozza a valósághűséget, hanem lehetővé teszi a környezeti hatások, például az időjárási viszonyok, napfelkelték vagy éjszakai repülések még intenzívebb élményét is.

6. SZOFTVER ÉS ELEKTRONIKAI MEGOLDÁSOK

6.1. Mikrokontrolleres irányítás

A szimulátor vezérlőrendszerének központi eleme az **Arduino Leonardo** alapú Arduino Pro Micro mikrokontroller, amely a költséghatékonyság és a funkcionalitás kombinációját kínálja. [18] A Leonardo platform beépített USB-kommunikációs képességekkel rendelkezik, lehetővé téve, hogy közvetlenül csatlakozzon a számítógéphez billentyűzetként vagy játékvezérlőként. Ezt a tulajdonságot kihasználva a vezérlők egyszerűen és hatékonyan integrálhatók a szimulációs szoftverrel.

Az Arduino mikrokontroller különböző hardverelemeket vezérel, és folyamatos adatáramlást biztosít, amelynek során olvassa a gázkarok, a joystick és más vezérlők pozícióját, majd az adatokat továbbítja a szoftver felé. Ezzel a rendszer garantálja a motorok pontos vezérlését és az egyéb irányítóegységek működtetését.

A **Joystick** az oldalsó panelen egy szoftveresen konfigurált eszköz, amely egérként viselkedik a számítógépen. Az Arduino feldolgozza a joystick mozgásait, és ezeket továbbítja a szimulátor szoftveréhez. A **Gombok** különböző gombok kezelése szintén az Arduino által történik, amelyek parancsokat küldenek a szimulátor felé.

6.2. Mikrokontroller programozás

Az Arduino Pro Micro mikrokontrollereket Leonardo profillal kell programozni, mivel ezek általában olcsóbb beszerzési forrásokból származnak. A programozás C nyelven történik, biztosítva a vezérlők és érzékelők adatainak feldolgozását és továbbítását.

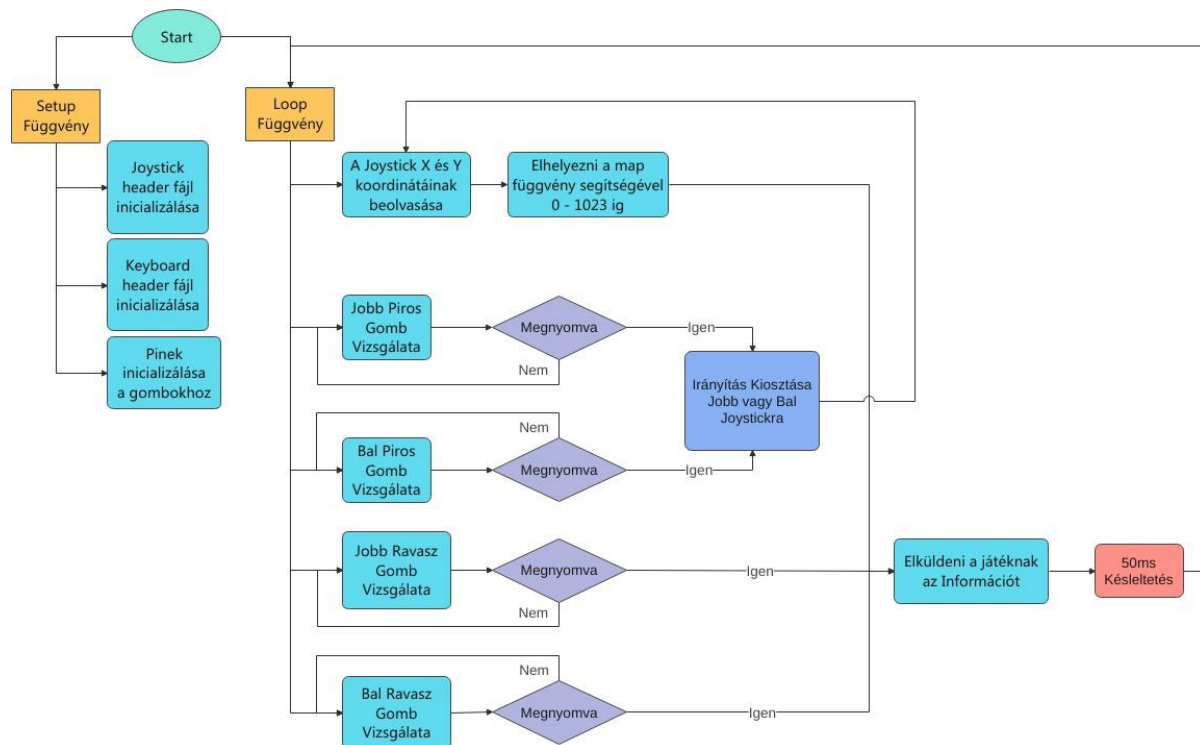
A mikrokontroller programja folyamatosan olvassa az analóg és digitális bemeneteket, mint például a gázkarok állását és a trim kerék helyzetét. Az értékeket valós időben továbbítja a szimulációs szoftvernek, amely ennek alapján vezérli a virtuális repülőgépet. Például a gázkar adatainak feldolgozása során a motorok teljesítménye közvetlenül szabályozható a felhasználó mozdulatai alapján.

6.3. Moduláris felépítés és gyorscsatlakozók

A szimulátor rendszere moduláris felépítésű, ami azt jelenti, hogy az oldalsó panelek és a központi panel elektronikája külön modulokban működik. Ezek a modulok egyetlen Arduino vezérlőhöz csatlakoznak, de a kialakítás lehetővé teszi további modulok csatlakoztatását, ha a rendszer bővítése szükségessé válik. A gyorscsatlakozók használata jelentősen megkönnyíti a rendszer összeszerelését, karbantartását és bővítését. Ez a megoldás gyors alkatrészcserét tesz lehetővé, anélkül, hogy az egész áramköri rendszert újra kellene szerelni.

6.4. Mikrokontroller programozás

A projekt mikrokontrollerei központi szerepet töltenek be, mivel ezek végzik a vezérlőelemek adatainak feldolgozását és továbbítását. Az Arduino Leonardo úgy van programozva, hogy az adatokat a mikrokontroller valós időben továbbítja a szoftvernek, így a szimuláció a valósághű repülési élményt kínálja.



Ábra 14: Oldalsó panel botkormány működésének folyamat ábrája

Az Arduino által beolvasott adatok valós időben kerülnek továbbításra a szimulációs szoftvernek, amely ezeket az információkat felhasználva irányítja a virtuális repülőgépet. Ez a rendszer lehetővé teszi, hogy a felhasználók egy valósághű szimulációs környezetben gyakorolhassanak.

6.5. Szoftveres összeköttetés a SimConnect API használatával

A SimConnect API [19] egy kulcsfontosságú eleme a projektnek, amelyet a Microsoft és az ACES Game Studio fejlesztett ki, és 2006-ban a **Microsoft Flight Simulator X (FSX)** verzióval mutatták be először. Az API létrehozásának fő motivációja az volt, hogy a repülésszimulátor fejlesztők számára egy strukturáltabb, hivatalos SDK-t (Szoftverfejlesztő készlet) biztosítson, mivel korábban a fejlesztők harmadik féltől származó megoldásokra, például az FSUIPC-re vagy kockázatos közvetlen memória hozzáférésre kényszerültek. [20]

A SimConnect architektúrája kliens-szerver modellt használ, ahol a **Flight Simulator** a szerverként működik. Az adatátvitel egy protokollon keresztül történik, amely képes helyi vagy hálózati kapcsolaton keresztül is kommunikálni. Az API-hoz tartozik egy DLL (Dinamikus csatolókönyvtár), amelyet a fejlesztők integrálhatnak alkalmazásaikba.

Ez a struktúra lehetővé teszi a fejlesztők számára, hogy külső eszközöket és paneleket hozzanak létre, mozgó platformokat építsenek, valamint AI forgalmi rendszereket és egyedi cockpit hardver interfészeket fejlesszenek.

A projektünkben a SimConnect API-t egy Python program segítségével használjuk, amely biztosítja, hogy valós idejű adatokat olvassunk be és továbbítsunk a hardveres elemekhez. Ez a valós idejű kommunikáció lehetővé teszi, hogy a repülési paraméterek – például a sebesség, magasság és irány – folyamatosan monitorozva legyenek, valamint automatikus beállításokat végezzünk az irányítópult elemein. Például, ha a repülőgép magassága megváltozik, a trim kerék automatikusan hozzáigazítja a pozícióját a szoftverből érkező adatok alapján, biztosítva a valósághű élményt.

Az újabb **Microsoft Flight Simulator** platformok (pl. 2024-es verzió) lehetőséget biztosítanak arra, hogy a vezérlőpanel elemei TCP/IP-alapú kommunikációval csatlakozzanak, így az MCDU egység adatai könnyebben hozzáférhetők és integrálhatók a szimulációs környezetbe. Ezáltal csökken a bitmap-alapú megjelenítés szükségessége, amely korábban korlátozta a funkciók terjedelmét és komplexitását, és a rendszer általános funkcionalitása jelentősen javul. A SimConnect segítségével a szimulációk olyan szintű részletességet érhetnek el, amely eddig csak professzionális rendszerekben volt tapasztalható.

7. FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A projekt jelenlegi állapotában számos olyan fejlesztési irány létezik, amelyek célja a szimulátor funkcionalitásának és valóságűségének továbbfejlesztése. Az alábbiakban részletezzük a tervezett fejlesztési lépéseket és azok fontosságát.

7.1. Trim Kerekek és Trim Indikátorok Meghajtása

A trim kerekek és trim indikátorok fejlesztése a szimulátor egyik legfontosabb eleme, mivel ezek kulcsfontosságú szerepet játszanak a repülőgép hosszú távú stabilitásának fenntartásában. A pilóták számára a trim rendszer lehetővé teszi, hogy finomítsák a repülőgép állásszögét, amely jelentős mértékben befolyásolja az üzemanyag-fogyasztást és a repülés komfortját. A projekt során célunk, hogy a trim mechanizmus megfelelő visszacsatolást biztosítson a felhasználók számára, így a pilóták pontosan érzékelhetik a trim beállításának hatásait a repülés során.

Az Arduino mikrokontroller segítségével a trim rendszer valós idejű adatokat fogad és dolgoz fel a Microsoft Flight Simulator szimulációs szoftverből, így a trim kerekek és indikátorok folyamatosan szinkronizálva vannak a repülés aktuális állapotával. A trim motorokat úgy tervezzük, hogy azok egy finom dörzshajtásos mechanizmus révén fokozatos, egyenletes mozgást biztosítsanak, ami költséghatékony és könnyen karbantartható megoldás.

7.2. Tiller Rendszer és Gurulási Irányítás

A tiller rendszer szintén egy olyan terület, amely komoly fejlesztést igényel. A repülőgép földi manőverezése során a tiller felelős az orrfutó irányításáért, ami elengedhetetlen a pontos és biztonságos gurulás során. Az oldalsó panelen található tiller mechanikája és vezérlése az Arduino segítségével kerül meghajtásra, lehetővé téve a pontos és érzékeny irányítást. A fejlesztés során a célunk az, hogy a pilóták a valósághoz hasonló visszajelzést kapjanak, például ellenállást és stabilitást a kormányzás során.

A mechanikai rendszerben rugók és csapágyak kerülnek alkalmazásra, hogy a tiller mozgása sima és megbízható legyen. Az elektronikát gyorscsatlakozókkal látjuk el a

könnyű karbantartás és modularitás érdekében, így a tiller esetleges javítása vagy cseréje minimális időráfordítást igényel.

7.3. Panel Megvilágítás és Világításvezérlés

A panel megvilágítása kiemelkedően fontos a szimulátor valóságosságának növelése érdekében. A repülőgépek pilótafülkéjében az összes vezérlőpanel megfelelően meg van világítva, hogy a pilóták minden körülmények között – nappal és éjszaka egyaránt – könnyen láthassák a kezelőszerveket. A szimulátor esetében ezt LED-alapú világítással kívánjuk megoldani, amely egyszerűen programozható és szabályozható a szimuláció során. A világításvezérlést szintén az Arduino biztosítja, ami lehetővé teszi a fényerő és a színhőmérséklet dinamikus állítását.

A megfelelő világítás biztosítása növeli a felhasználói élményt, és hozzájárul a valósághű érzet megteremtéséhez. Terveink szerint a panel megvilágítása több szakaszban fog megvalósulni, kezdve az alapvető háttérvilágítással, majd később a speciális figyelmeztető és visszajelző fények integrálásával.

7.4. Fejlettebb Hardverelemek: Pedálok és Központi Panel

A projekt hosszú távú fejlesztési tervei között szerepel a pedálok és a központi panel fejlesztése és integrálása is. A pedálok a repülőgép oldalkormányának irányításáért felelnek, amely a repülés közbeni manőverezést segíti. Az oldalkormány pontos visszacsatolásának biztosítása érdekében rugós ellencsatolásos megoldást alkalmazunk, amely fém kereten és csapágyak segítségével kerül kivitelezésre. Az ilyen típusú mechanikai rendszer biztosítja a pedálok stabilitását és hosszú élettartamát.

A központi panel különböző elemei, mint a flaps, a speed brake és a parkolófék, szintén a fejlesztési terv részei. Ezen vezérlők pontos modellezése és integrálása növeli a szimulátor valóságosságát, és segíti a felhasználókat a repülőgép különböző repülési fázisainak gyakorlásában.

7.5. További Hardverfejlesztési Lehetőségek

A szimulátor további bővítése érdekében a következő hardverfejlesztési irányokat határoztuk meg:

7.5.1. Elülső Vezérlőpanel (Front Panel)

Az elülső vezérlőpanel kulcsfontosságú eleme a repülőgép irányításának, mivel itt található a legfontosabb kijelzők és vezérlőeszközök, mint az autopilot, a navigációs kijelzők, a hajtómű-monitorok és a horizont-monitorok. A fejlesztés során a cél egy olyan panel létrehozása, amely valós idejű adatokat jelenít meg a szimulációból, biztosítva a pilóták számára a repülés közben szükséges összes információt.

A panel megépítése több lépésben történik:

- Elsőként a robotpilóta vezérlőegység kerül kivitelezésre, amely lehetővé teszi a repülőgép automatikus irányítását. Az autopilot interfésze tartalmazza a magasság-, sebesség- és irányszabályozást, amelyek Arduino által vezérelt kapcsolókkal és potméterekkel működnek.
- A kijelzők kiválasztása szintén fontos szempont. Olyan monitorokat kell alkalmaznunk, amelyek könnyen cserélhetők és integrálhatók a meglévő rendszerbe. A Microsoft Flight Simulator támogatja a másodlagos kijelzőkön való megjelenítést, így az adatokat közvetlenül a szoftverből tudjuk kivetíteni.

A legnagyobb kihívás a kijelzők számának növelése és azok megfelelő vezérlése lesz. A panel hat kijelzőt, valamint két MCDU-t (Multipurpose Control and Display Unit) tartalmaz, ami már több monitort igényel, mint amit egyetlen videokártya képes kezelni. Ezért a megvalósítás során figyelembe kell venni a grafikai erőforrások optimalizálását és a monitorok hatékony elosztását.

7.5.2. Overhead Panel

A felső vezérlőpanel (overhead panel) a repülőgép különféle rendszereinek, például az elektromos, üzemanyag és légkondicionáló rendszerek vezérlésére szolgál. Az overhead panel megvalósítása a projekt egyik hosszú távú célkitűzése, mivel összetett kapcsolók, kapcsolókarok és visszajelzők sorozatát foglalja magában.

A tervezett overhead panel főbb elemei közé tartoznak:

- Többállású kapcsolók és potméterek, amelyek egyszerűen kezelhetők, de lehetőség szerint valóságos élményt nyújtanak.

- Segéd kijelzők és LED-lámpák, amelyek visszajelzik a különböző rendszerek állapotát. Ezek egyszerű digitális kijelzők formájában valósíthatók meg, Arduino vezérlővel összekötve.

Az overhead panel elsődleges célja, hogy növelje a szimulátor valósághűségét, miközben fenntartja a modularitást és a könnyű karbantarthatóságot. A tervezés során figyelmet kell fordítani arra, hogy a kapcsolók és kijelzők elhelyezése ergonomikus legyen, hogy a felhasználók természetes módon érhessék el őket.

7.5.3. Vetítővászon Integrálása

A szimulátor teljes repülési élményének növelése érdekében a vizuális megjelenítést egy Vetítővászon segítségével kívánjuk megoldani. A Vetítővászon lehetővé teszi a szimulációs környezet széles látószögű megjelenítését, így a pilóta számára egy sokkal realisztikusabb és magával ragadóbb élményt nyújt.

7.5.3.1. Vetítővászon Tervezése és Kivitelezése

A Vetítővászon egy ívelt, 180 fokos látószögű szerkezet lesz, amely fából készült keretre kerül rögzítésre. Ez a szerkezet biztosítja a stabilitást, miközben lehetővé teszi a képminőség szempontjából optimális vetítést. A vászon anyagának kiválasztásakor figyelembe kell venni a fényvisszaverődési tulajdonságokat, hogy a projektor által vetített képek élesek és jól láthatóak legyenek.

A projektor elhelyezése szintén kritikus fontosságú, mivel megfelelő távolságra és szögben kell rögzíteni, hogy a képek torzítás nélkül jelenjenek meg. A vetítéshez használt szoftveres beállításokat úgy konfiguráljuk, hogy a Microsoft Flight Simulator adatai folyamatosan és valós időben frissüljenek, biztosítva a gördülékeny repülési élményt.

7.6. Szoftveres Integráció a Microsoft Flight Simulatorral

A Microsoft Flight Simulator kiváló alapot biztosít a valósághű szimulációhoz, amely részletes repülési modelleket és valósághű környezeti elemeket tartalmaz. A SimConnect API-n keresztüli integráció lehetővé teszi, hogy a szimulátor és a szoftver közötti kommunikáció zökkenőmentesen működjön, biztosítva a valós idejű adatátvitelt a hardveres vezérlők és a szimuláció között.

A szimulátorban használt eszközök, például a trim kerék, a gázkarok és a sidestick adatai folyamatosan beolvasásra kerülnek, majd továbbítódnak a szimulációs szoftverhez. Ezáltal a felhasználók azonnali visszajelzést kapnak minden mozdulatról, ami növeli a repülési élmény hitelességét. Az újabb verziójú Microsoft Flight Simulator platform lehetőséget biztosít arra is, hogy az MCDU adatai TCP/IP alapú kommunikáción keresztül jelenjenek meg, ezáltal a szimulátor különböző kijelzőin keresztül is elérhetőek lesznek.

A további fejlesztések közé tartozik a szimulátor adatainak finomhangolása, hogy az érzékelők és vezérlők válaszüzeje a lehető leggyorsabb és legpontosabb legyen.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A projekt célja, hogy egy költséghatékony, moduláris és könnyen összeszerelhető repülőgép-szimulátort hozzunk létre, amely mind az amatőr repülés szerelmeseinek, mind a szakmai felhasználóknak kiváló eszköz lehet a gyakorlásra és a tanulásra. A rendszer fejlesztése során számos innovatív megoldást alkalmaztunk, amelyek révén a szimulátor pontosan utánozza a valós repülőgép rendszereit, miközben a költségek alacsonyan tarthatók.

Eddig megvalósult a szimulátor *oldalsó panelje* a joystickokkal és rugós visszacsatolás mechanizmussal. A negyedik verzió sikeresen működött a korábbi iterációkból, amelynek fejlesztése jelentős mérföldkőnek számított. Továbbá elkészült a *trim kerék* és a *trim indikátor*, valamint a középső panel kerete, amelybe a *gázkarok* és azok komponensei is integrálva lettek. A trim kerekek meghajtásának kivitelezése jelenleg a következő fő célkitűzés, amelyre több megoldási javaslat is rendelkezésre áll, és ezek közül választjuk majd ki a legmegfelelőbbet.

A projekt során olyan technológiák integrációjára helyeztük a hangsúlyt, mint a 3D nyomtatás és az Arduino alapú mikrokontrollerek használata. A 3D nyomtatás lehetővé tette a testreszabott alkatrészek gyors előállítását, amelyek a szimulátor különböző moduljaihoz, például a pedestal panelhez, a sidestick panelhez és az overhead panelhez lettek alkalmazva. Ez a technológia biztosította a költséghatékonyt és a gyors iterációs ciklusokat, amelyek révén az alkatrészek könnyen fejleszthetők és cserélhetők voltak.

A mikrokontrolleres megoldások, különösen az Arduino Leonardo platform, lehetővé tették a különféle vezérlőelemek pontos szimulációját és vezérlését. Az Arduino programozása révén a gázkar, a trim kerék, a pedálok és az oldalkormány mozgásának valós idejű adatfeldolgozása is biztosítva lett. Az USB-kommunikáció segítségével ezek az eszközök úgy viselkednek, mintha egy standard periféria lenne csatlakoztatva a számítógéphez, ami rendkívül leegyszerűsítette a szimulációs rendszer szoftveres összekapcsolását a hardverrel.

A projekt során egyaránt fókuszáltunk a hardveres és szoftveres összetevők hatékony kombinációjára. A SimConnect API használata lehetővé tette a valós repülési adatok valós idejű feldolgozását, és azok pontos továbbítását a hardveres elemekhez. Ezáltal a repülési

paraméterek, például a sebesség és magasság, folyamatosan monitorozhatók voltak, és a vezérlőelemek automatikusan reagálhattak ezekre a változásokra. A rendszer moduláris kialakítása lehetővé tette a különálló hardvermodulok közötti egyszerű integrációt, ezáltal megkönnyítve a karbantartást és a jövőbeli bővítéseket.

A fejlesztési munka során a valós repülési élmény minél pontosabb visszaadása érdekében törekedtünk arra, hogy a szimulátor kezelőfelületei, mint például a joystick és a gázkar, élethű visszajelzést adjanak. A gázkarok például pontosan szimulálják a valós repülőgépek motorvezérlő mozgásait, beleértve a fordított tolóerő funkciót is, amely a leszállás utáni fékezést teszi lehetővé.

Az elvégzett munka során számos tanulságot vontunk le a rendszer tervezése és kivitelezése kapcsán. Az egyik legfontosabb tapasztalat az volt, hogy a moduláris megközelítés nemcsak a szimulátor szerelhetőségét könnyítette meg, hanem lehetőséget biztosított arra is, hogy a felhasználók saját igényeik szerint testreszabhassák a szimulátort. Ez a flexibilitás hosszú távon nagy előnyt jelent, különösen azok számára, akik az alapvető repülési funkciók mellett különleges manővereket vagy speciális repülési szituációkat szeretnének gyakorolni.

A jövőbeli fejlesztések további kihívásokat jelentenek, de célunk, hogy a repülési szimulátor piacán egy versenyképes és könnyen elérhető terméket biztosítsunk, amely a felhasználói igényeket teljes mértékben kielégíti. Ezen törekvéseink közé tartozik a MCDU kijelzők integrációja, amelyek valós időben képesek lesznek megjeleníteni a repülési adatokat a Microsoft Flight Simulator új fejlesztéseinek köszönhetően. Továbbá, a fejlesztési tervek között szerepel az overhead panel teljes kidolgozása is, amely a repülőgép segédrendszereinek vezérlésére szolgál.

A projekt során szerzett tapasztalatok alapján a jövőbeli fejlesztésekre vonatkozóan megfogalmaztunk néhány fontos irányelvet:

- Továbbfejlesztett szoftveres funkciók integrációja, amelyek lehetővé teszik a különböző repülési forgatókönyvek részletesebb modellezését.
- Az USB-alapú kommunikáció optimalizálása, hogy a hardverelemek közötti adatátvitel még gyorsabb és hatékonyabb legyen.
- További hardvermodulok, például a pedálok és az előlap panel véglegesítése, hogy a szimulátor funkciói teljes mértékben lefedjék a valós repülőgépek vezérlési lehetőségeit.

Összességében a projekt egyértelműen bemutatta, hogy a modern technológiák, mint a 3D nyomtatás és az Arduino alapú vezérlés, hatékonyan alkalmazhatók a költséghatékony, mégis valósághű szimulációs rendszerek létrehozásában. A projekt moduláris felépítése és a fejlett szoftveres integráció lehetővé teszi, hogy a felhasználók valósághű élményt szerezzenek, amely összehasonlítható a piacon elérhető professzionális szimulátorokkal, de sokkal alacsonyabb költséggel és nagyobb testreszabhatósággal rendelkezik.

9. KÉP FORRÁSOK

- [1] “Your Engineering Heritage”, megtekintés: 2024.11.03,
https://www.aerotoons.com/blog/images/antoinette_trainer_x600.jpg
- [2] “Cradle of Aviation Museum.”, megtekintés: 2024.11.03,
<https://cdn.firespring.com/images/afda48ab-d4e7-45fb-9d1e-21cf2e76a5fe.jpg>
- [3] “Flight Simulators of Yesteryear.”, megtekintés: 2024.11.03,
https://www.aerotoons.com/blog/images/article_link_outside.jpg
- [4] “Airbus A320 Simulator EASA FTD Compliant.”, megtekintés: 2024.11.04,
<https://www.grupooneair.com/wp-content/uploads/2020/12/airbus-a320-simulator-type-specific-training-software.jpg>
- [11] “A320 Shell.”, megtekintés: 2024.11.04,
<http://symulatory.com/shop/airbus-a320/cockpit-elements-2/a320-shell-side>
- [12] “Airbus A320NEO szimulátor csoportmunka.”, megtekintés: 2024.11.04,
Papp András & Mezei Balázs Bence
- [14] “Flightvectors”, megtekintés: 2024.11.04,
<https://www.flightvectors.com/Aircraft-Cockpit-Posters-Procedure-Trainers/Airbus-Cockpit-Posters-Procedure-Trainers/A320/>
- [16] „Airbus Flight path simulation”, megtekintés: 2024.11.04,
<https://www.flightpathsimulation.club/a320-cockpit-build/>

10. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] “Your Engineering Heritage”, megtekintés: 2024.11.03,
<https://insight.ieeeusa.org/articles/history-early-flight-simulation/>
- [2] “Cradle of Aviation Museum.”, megtekintés: 2024.11.03,
https://www.cradleofaviation.org/history/exhibits/exhibit-galleries/world_war_i/breese_penguin.html
- [3] “Flight Simulators of Yesteryear.”, megtekintés: 2024.11.03,
https://www.aerotoons.com/blog/yesteryear_sims.html
- [5] “Thrustmaster TCA Captain Pack X Airbus Edition - Kontroller | Alza.hu.”, megtekintés: 2024.11.05,
<https://www.alza.hu/gaming/thrustmaster-tca-captain-pack-x-airbus-edition-d7499594.htm>
- [6] „AIRportal.hu”, megtekintés: 2024.11.05,
<https://airportal.hu/mar-harom-cae-7000xr-szimulator-mukodik-a-wizz-budapesti-kepzesi-kozpontjaban/>
- [7] „A320 Simulator BE”, megtekintés: 2024.11.06,
<https://www.a320simulator.be/>
- [8] „RealSimGear”, megtekintés: 2024.11.05,
<https://help.realsimgear.com/en/articles/4213106-a-simple-guide-to-building-your-home-flight-simulator>
- [9] „Opencockpits”, megtekintés: 2024.11.06,
<https://www.opencockpits.com/catalog/a320-full-cockpit-p-636.html?language=en>
- [10] „Skalarki”, megtekintés: 2024.11.06,
<https://skalarki-electronics.com/>
- [13] „Flight Simulator Center”, megtekintés: 2024.11.06,
<https://www.fsc.it/Product.aspx?lang=ENG&ID=5c77e416-a46b-46cf-a972-ec80a51b445b>

- [15] “Repülőgép fedélzeti rendszerek”, megtekintés: 2024.11.04,
<https://oktatas.mai.kvk.uni-obuda.hu/user/view.php?id=3729&course=217>
- [17] „SBSS simulators”, megtekintés: 2024.11.06,
<https://sbssimulators.com/product/flight-simulator-projection-screen/>
- [18] „Arduino Pro Micro”, megtekintés: 2024.11.06,
<https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-micro-schematic.pdf>
- [19] „SimConnect SDK”, megtekintés: 2024.11.06,
<https://pypi.org/project/SimConnect/>
- [20] „Microsoft Flight Simulator SDK”, megtekintés: 2024.11.06,
<https://docs.flightsimulator.com/html/Introduction/Introduction.htm>