



# NÁVRH ZDOKONALENIA OVLÁDACÍCH PRVKOV SIMULÁTORA ZLÍN

## DESIGN FOR IMPROVEMENT CONTROL SYSTEMS OF THE ZLÍN SIMULATOR

**Michal Janovec**

Katedra leteckej dopravy  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
michal.janovec@fpedas.uniza.sk

**Matúš Materna**

Katedra leteckej dopravy  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
matus.materna@fpedas.uniza.sk

**Pavol Pecho**

Katedra leteckej dopravy  
Žilinská univerzita v Žiline  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
matus.materna@fpedas.uniza.sk

**Abstract**

*This article deals with possible improvements and improvements of the flight simulator Zlín, which is located at the Air Transport Department of the University of Žilina. The construction of the simulator and the basic control and display units of the simulator were made in the previous period. For the most realistic feeling of flight, it is necessary to constantly innovate and improve the simulator. The created technical improvements of the simulator control panel, the control mechanism of the lateral and longitudinal tilt, the balance control and the flaps control to this improvement of the simulator. In the article, these performed improvements of the simulator are described in detail. According to these procedures, the proposed improvements were subsequently practically performed on a simulator.*

**Keywords**

*Aircraft, Cockpit, Control, Simulation, Simulator Zlín*

**1. Úvod**

V posledných rokoch neustále stúpajú nároky na využívanie leteckých simulátorov počas výcviku leteckého personálu. Z tohto dôvodu sa kladú veľmi veľké nároky na neustále zdokonaľovanie v oblasti softvérového, ale aj hardvérového riešenia leteckých simulátorov a simulácií. V dôsledku neustáleho zlepšovania simulačného priemyslu sme dospeli do bodu, kedy je možné absolvovať pomerne veľkú časť výcviku na simulátoroch, reálne kopírujúcich či už mechanické, alebo dynamické vlastnosti lietadla počas letu a pohybu na zemi. V súčasnosti väčšina najväčších leteckých spoločností disponuje leteckým výcvikovým strediskom, kde sa nachádzajú Full Flight simulátory, na ktorých prebieha výcvik posádok pracujúcich pre konkrétnu leteckú spoločnosť.

Predložený článok sa zaoberá zdokonaľením ovládacieho panelu simulátora, ovládacieho mechanizmu priečného a pozdĺžneho sklonu, mechanizmu ovládania priečného a pozdĺžneho vyváženia a mechanizmu ovládania vztlakových klapiek simulátora Zlín. Vytvorené konštrukčné úpravy a nové návrhy ovládacích prvkov simulátora slúžia ku priblíženiu sa čo najväčšej realnosti simulácie letu.

**2. Súčasný stav riešenej problematiky**

V súčasnosti sa v civilnom aj vojenskom letectve neustále rozširuje využívanie simulačnej techniky pri výcviku. Letecké simulátory sú viacúčelové, nepohyblivé, edukačné, interaktívne zariadenia, ktoré slúžia k nácviku a zdokonaľovaniu určitých operačných postupov za letu a zemi. Hlavným cieľom leteckých simulátorov je viesť pilotov a technikov údržby lietadiel k získavaniu špecifických kompetencií a podporovať učenie objavovaním a tým zlepšovať potrebné zručnosti na výkon budúceho povolania. Simulátory poskytujú pilotom možnosť

interakcie a referencie, čím sú piloti aktívne zapojení do vzdelávacieho procesu. Podľa Aldricha (2005), úspech vzdelávacej skúsenosti na simulátore prostredníctvom simulácie závisí od správnej konfigurácie nasledujúcich troch:

- Simulačná zložka - umožňuje vytvoriť a reprezentovať skutočný svet s rozdielnymi okolnosťami a parametrami, potrebné pri výcviku pilotov, napr. predom definovanú leteckú situáciu.
- Pedagogická zložka – jednou zo základných črt pedagogickej zložky je, že je možné uplatniť koncept Learning by Doing. Piloti sa učia spôsobom robenia chýb na simulátore a následne uvažujú ako by tu situáciu vyriešili zvyčajne s pomocou inštruktora.
- Herná zložka – jednou zo základných črt hernej zložky je možnosť uplatniť koncept Learning by Fun. Herná zložka motivuje pilota počas procesu učenia, ktoré priamo ovplyvňuje jeho schopnosť učenia. Je možné si všimnúť, že pilot na základe svojich nadobudnutých vedomostí a skúseností, t. j. kompetencií, buď splní cieľ (vyhrá) alebo nespĺní cieľ (prehrá).

Praktický výcvik pilota môžeme rozdeliť na dve základné fázy a to: teoretickú výučbu a praktický výcvik. Obe sú diametrálne odlišné vo forme nadobudnutých zručností, no aj napriek tomu navzájom neodlúčiteľné. Počas teoretickej prípravy sa pilot učí letecké predpisy, meteorológiu, rádio-komunikáciu, leteckú frazeológiu, aerodynamiku, všeobecné vedomosti o lietadlách a iné teoretické základy rovnako potrebné pre prax. V praktickej časti si pilot osvojuje základné zručnosti a potrebné návyky pre vzlet, pristátie a samotný let lietadla. Táto fáza zahŕňa aj oboznámenie sa so všetkými prvkami v kokpíte vrátane

ovládania riadiacich plôch (Flight Controls: Primary Flight Controls, 2021).

## 2.1. Štruktúra leteckého simulátora

Techniky simulácie letu a technológiu, ktorá sa používa v moderných leteckých simulátoroch popisuje autor Allerton (2009). Medzi hlavné komponenty moderných leteckých simulátorov patria pohybové rovnice, aerodynamický model, model motora, dátová zbernica, model podvozku, model počasia, vizuálny model, zvykový systém, pohybový systém, prístrojový systém, navigačný systém a postupy údržby simulátora. Popis hlavných komponentov simulátora je uvedený v nasledujúcej časti článku (Allerton, 2009).

### 2.1.1. Pohybové rovnice

Sú základným komponentom leteckého simulátora. Hlavnou úlohou pohybových rovníc je modelovať dynamické vlastnosti nezávisle na type simulátora. V jednoduchosti povedané, pohybové rovnice sú špeciálne matematické funkcie, ktoré definujú všetky možné stavy simulátora, aké v priebehu simulácie môžu nastať. Systém vyberá parametre z jednotlivých častí simulátora, ako je napríklad kurz, rýchlosť atď., ktoré slúžia k matematickému riešeniu lineárneho a rotačného pohybu lietadla. V simulátoroch sa pohybové rovnice prerátavajú približne 50 až 60-krát za sekundu.

### 2.1.2. Aerodynamický model

Je to časť simulátora, kde sú definované všetky aerodynamické premenné, ktoré sú potrebné k výpočtu aerodynamických síl a momentov lietadla. Aerodynamické údaje vo forme databáz sú väčšinou získane priamo od výrobcu lietadla. Udáva ich kombináciou letových testov a testov v aerodynamickom tunely. Aerodynamický model je nosnou časťou výcviku pilota. V prípade, ak bude tento model nesprávne zadefinovaný, nastane situácia, že simulovaný model sa nebude správať ako skutočné lietadlo, čo môže mať za následok fatálne zlyhanie pilotov v praxi.

### 2.1.3. Model motora

V modeli motora sú definované základné letové parametre, charakteristiky, riadiace systémy motora. Tieto údaje poskytujú zvyčajne sám výrobca motora, ktoré definoval pomocou letových testov a charakteristik motora. Implementácia modelu motora vyžaduje prístup k premenným vypočítaných v letovom modeli. Z pohľadu dizajnéra simulátora je model motora skôr modelom dynamiky motora, než termodynamickým modelom, ktorý sa používa na odvodenie ťahu motora, prietokov paliva, tlakov a otáčok motora. Pomerne často je model motora taký detailný ako aerodynamický model. Na účely kvalifikácie simulátora bude regulačný orgán musieť vykonať rozsiahle testy režimov zlyhania motora, kedy výrobca motora musí poskytnúť tieto údaje.

### 2.1.4. Dátová zbernica

Dátová zbernica je v oblasti výroby simulátorov rozhodujúcim prvkom pre vernosť simulátora. V moderných simulátoroch sa používa skutočné prístrojové vybavenie z lietadla, pretože výroba presnej kópie pre simulačnú techniku je zvyčajne

ekonomicky náročnejšia, ako použitie reálneho prístrojového vybavenia z lietadla. Väčšina ovládacích prvkov lietadiel, ktoré využívame v simulačnej technike sú mechanické prvky. Tie poskytujú analógové dáta, ktoré je potrebné previesť na digitálny signál.

### 2.1.5. Model podvozku

Počas rolovania je podvozok neustále v kontakte so vzletovopristávacou dráhou, čo má za následok veľmi odlišnú dynamiku lietadla. Pre simulátory, ktoré slúžia aj na pozemnú prevádzku lietadla sa dodáva ďalší model, ktorý zahŕňa účinky pneumatík a podvozku. Mnohé z núdzových situácií, ktoré využívajú letové posádky, zahŕňajú incidenty počas vzletu (prasknutie pneumatík, zlyhanie motora, námraza na dráhe) a po pristávaní (zlyhanie spätného ťahu, prehriatie brzd a aquaplaning). V praxi existujú ďalšie prechody stavu tesne pred vzletom a tesne po pristávaní, kde sa aerodynamický príspevok k pohybu kombinuje s dynamikou podvozku. Okrem toho, vplyv zeme na aerodynamiku lietadla závisí od výšky lietadla nad dráhou a rýchlosťou lietadla. Tento vplyv musí byť tiež zahrnutý v aerodynamickom modeli a aj v modeli pozemnej obsluhy. Podobne aj zatáčanie pri vysokej rýchlosti na rolovacej dráhe, môže spôsobiť odieranie pneumatík, čo si vyžaduje podrobné dynamické modely kolies, brzd a riadenia predných kolies. Piloti sa musia tiež naučiť rolovať a manévrovať s veľkým dopravným lietadlom na neznámom letisku, čo môže byť napríklad v noci, alebo za zhoršených poveternostných podmienok veľmi ťažké. Následok neočakávaného vybočenia z dráhy môže byť pre leteckú spoločnosť veľmi nákladný a preto je pre pilotov vhodný práve nácvik manévrovania s lietadlom na simulátore.

### 2.1.6. Model počasia

Atmosféra má veľký vplyv na vývoj reálnej simulácie, preto je veľmi dôležité, aby boli rovnice na výpočet tlaku vzduchu, hustoty vzduchu a teploty vzduchu integrované do modelu počasia konkrétnej simulácie. Okrem týchto matematických výpočtov je veľmi dôležité zahrnúť aj výpočet vetra. Vietor má veľmi veľký vplyv na lietadlo, či už počas letu, pristátia alebo pohybu na letisku. Vietor tiež hrá dôležitú úlohu pri plánovaní letov pre prevádzkovateľov leteckých spoločností, takže model vetra musí byť trojrozmerný a musí sa meniť v čase. V dnešnej dobe sa v simuláciách používajú dva spôsoby modelovania vetra. Jeden spôsob je namodelovať správanie vetra pomocou tlakovej fronty, polohy a nadmorskej výšky alebo druhým spôsobom je získanie informácií z databáz meteorologických spoločností. Veľmi dôležitou súčasťou je modelovanie turbulencií, pretože je to najčastejší jav, s ktorým sa piloti v priebehu letu stretávajú. Zvyčajne sa turbulentné prúdenie generuje ako pseudonáhodný jav, ktorý pôsobí z ľubovoľného smeru na jednu z troch osí lietadla. Široko používané sú dva modely turbulencie, Dryden model (Beal, 1993) a model Royal Aircraft Establishment (RAE) (Tomlinson, 1975). V dôsledku veľkého počtu nehôd lietadiel z účinkov turbulencií, museli byť tieto vplyvy zapracované do výcviku na leteckých simulátoroch, či už vojenských alebo civilných pilotov. Toto je veľmi dôležitý míľnik v oblasti leteckých simulácií, ktorý už niekoľko desaťročí pomáha identifikovať nepriaznivé javy ako je strih vetra. Ďalším vplyvom, na ktorý nesmieme zabudnúť, je modelovanie potencionálne nebezpečných a rizikových javov, ako je napríklad vznik námrazy alebo silného dažďa. Vznik námrazy na lietadle môže spôsobiť zväčšenie aerodynamického odporu a tým prispieva k vzniku

turbulentného prúdenia počas každej fázy letu, čo môže mať kritické následky. Okrem modelovania týchto vplyvov, by podmienky pre námrazu mali odrážať poveternostné podmienky okolia a v prípade poľadovice, snehu alebo dažďa, by sa tieto podmienky implementovali aj do vizuálneho systému.

#### 2.1.7. Vizuálny model

Vizuálny model zabezpečuje videnie sveta z pozície oka pilota v reálnom čase. Na to, aby sme zabezpečili reálne videnie sveta je potrebné nahráť do pamäte databázu objektov. Databáza sa skladá z modelu sveta, polí, letísk, vozidiel, budov, lietadiel a na generovanie týchto entít existujú rôzne štandardy, pričom OpenFlight je pravdepodobne najviac široko používaný formát. Každý objekt je zredukovaný na farebné a textúrované polygóny (zvyčajne trojuholníky), definované v súradnicovom systéme databázy. Veľmi často sú vykresľované na základe geometrickej charakteristiky, aby boli zabezpečené zobrazené detaily vykresľovaných objektov. V dôsledku zmeny polohy pilotovaného lietadla v čase sa zmení vypočítaná poloha pomocou pohybových rovníc a následne sa scéna vykreslí na prehrávané plátno alebo obrazovku. Hodnotenie kvality vizuálneho systému závisí od veľkého počtu charakteristík. Veľmi dôležitým prvkom pri simuláciách je kvalita vykresľovanej scény. Pri pridávaní ďalších detailov scény môže snímková frekvencia klesnúť pod minimálnu hodnotu pre konkrétny simulátor. Podobne, ak sa počet polygónov zníži, aby sa zvýšila rýchlosť vykresľovania, detaily scény sa môžu znížiť na neprijateľnú úroveň.

#### 2.1.8. Zvukový systém

Kabína lietadla je náročné prostredie na hluk. Piloti počujú rôzne rozsahy zvukov o rozličných frekvenciách z rôznych zariadení, ako sú zvuky prúdu vzduchu, motorov, podsystemov, klimatizácie, pozemného hluku, ovládačov, rádiových signálov, navigačných prístrojov, varovaných signálov. Je potrebné, aby zvuky v simulátore sa čo možno najdôvernejšie podobali zvukom v reálnom svete. Niektoré zvuky ako napríklad rýchlosť vzduchu alebo otáčky motora sa líšia v závislosti od letových podmienok. Zvukový systém je jeden zo základných systémov simulátora, ktorý preberá vstupy z iných modulov, napríklad z modelu motora alebo z navigačného modulu. Vo všeobecnosti sa na vytváranie zvukov v leteckých simulátoroch používajú dva spôsoby. Najjednoduchšia technika je nahrávanie zvuku z reálneho lietadla pomocou vysokokvalitných nahrávačov, ktoré sú počas letu umiestnené v kabíne lietadla. Zvuky sa menia podľa rýchlosti vzduchu, nadmorskej výšky a režimu motora. Záznamy sú potom prístupné pre každú snímku na výstup pri frekvenciách 60 Hz. Zvukové signály musia byť tiež nepretržité – akékoľvek diskontinuity medzi snímkami by viedli k rušeniu, ktoré by bolo zistiteľné.

#### 2.1.9. Pohybový systém

Počas simulácie očakáva pilot, že pocíti zrýchlenie, aké by mohol zažiť aj v skutočnom lietadle. Zrýchlenie sa matematicky generuje v pohybovom modeli a je prenášané z pohybovej

platformy, ktorá sa skladá minimálne zo šiestich lineárnych hydraulických členov (v prípade simulátorov Full Flight). Pri každom jednom pohybe sa platforma posunie do novej polohy, aby bolo možné replikovať pocit pohybu lietadla. Pri pohybovej simulácii sa využívajú akčné členy s veľmi vysokou odozvou, aby sa zabezpečil čo najplynulejší pohyb bez trhania. Pohybový systém sa skladá z počítačov, v ktorých sú generované matematické rovnice na ovládanie akčných členov. Tie následne menia polohu platformy na ktorej je uložený simulátor. Jeden z najdôležitejších aspektov v pohybovom systéme simulátora je bezpečnosť platformy. Kabína simulátora by sa mohla v dôsledku zlyhania pohybového systému prepadnúť o niekoľko metrov a spôsobiť vážne zranenia pilotov a inštruktorov, ktorí by sa v daný moment nachádzali na platforme. Na detekciu nebezpečných pohybov simulátora sa do systému integrujú redundantné počítače, zabezpečujúce vypnutie hydraulickej plošiny, aby sa predišlo prípadným zraneniam. Taktiež tieto počítače zabezpečujú v prípade požiaru vypnutie hydraulickeho systému, čo má za následok pokles plošiny na najnižšiu možnú úroveň. Tento pokles umožňuje včasný únik pilotom a inštruktorom z plošiny.

#### 2.1.10. Prístrojový systém

Prístroje pred rokom 1980 boli palubné prístroje lietadiel ako mechanické členy, ktoré sa skladali z náročných pohybových a spojovacích mechanizmov. Po roku 1980 prešli prístrojové systémy v civilnom a vojenskom letectve na digitálne prístrojové systémy. Tieto systémy sú založené na počítačovej technológii s grafickým zobrazovaním údajov. Išlo o robustné monitory, ktoré obnovovali údaje aspoň 20-krát za sekundu. Grafický hardvér na displeji má veľmi vysokú rýchlosť kreslenia na udržanie snímkovej frekvencie a zahŕňa algoritmy vyhladzovania, ktoré vyhladzujú všetky zubaté čiary, alebo okraje pri vykresľovaní znakov a čiar. Simulátory v súčasnosti využívajú moderný počítačový procesor s nízko výkonnou grafickou kartou, ktorý je možný emulovať prístroje systémy, ktoré sa nachádzajú vo väčšine lietadiel. V súčasnosti vojenské aj civilné lietadla hlavne využívajú <sup>1</sup>Head - Up displeje a tzv. <sup>2</sup>Glass Cockpit.

#### 2.1.11. Navigačný systém

Významnú časť leteckého výcviku tvorí navigačný výcvik. Letová simulácia má veľmi veľa výhod, v dôsledku toho, simulátory poskytujú rôzne stupne navigačných schopností. Pre prístrojové priblíženia sú emulované systémy <sup>3</sup>VOR, automatické vyhľadávanie smeru (<sup>4</sup>ADF) a <sup>5</sup>ILS. To si vyžaduje integráciu s rádiovými riadiacimi panelmi alebo <sup>6</sup>FMS na výber frekvencií prijímačov a aktuálnu databázu navigačných pomôcok. Okrem toho musia byť chyby spojené s týmito systémami správne modelované. Napríklad VOR pracuje v pásme veľmi vysokých frekvencií (VHF). Obdobne je potrebné modelovať falošnú indikáciu sklonu, bežné na niektorých zariadeniach ILS. Pre navigačné systémy ako VOR, inerciálne navigačné systémy (INS) a globálny polohový systém (<sup>7</sup>GPS) je potrebné simulovať okrem správnej funkčnosti aj chybové vlastnosti týchto systémov. V lietadle sú navigačné systémy integrované s FMS cez dátové

<sup>1</sup> priehľadový displej

<sup>2</sup> letecký kokpit osadený elektronickými prístrojmi a (obvykle) LCD displejmi

<sup>3</sup> VKV všesmerový rádio maják

<sup>4</sup> automatický rádio kompas

<sup>5</sup> systém pristávania podľa prístrojov

<sup>6</sup> počítač manažmentu letu

<sup>7</sup> globálny polohový systém

zbernice Arinc, ktoré je potrebné simulovať aj v leteckých simuláciách.

### 2.1.12. Údržba

Správna funkčnosť systémov v simulátore musí byť neustále kontrolovaná, aby bolo zabezpečené, že systémy pracujú v povolených medziach limitov. V prípade reálnych simulátorov, ktoré sú certifikované na výcvik leteckého personálu, musí prevádzkovateľ viesť záznamy o plánovaných a neplánovaných údržbách v údržbárskom denníku. Taktiež je potrebné vykonávať diagnostické testy, aby sme boli schopní overiť potrebné vlastnosti simulátora. Pre všetky moduly a podsystemy simulátora sú vytvorené špecifické testy, ktoré majú za úlohu overiť funkčnosť simulátora. Vizualný systém a projekčný systém sú kontrolované na zarovnanie, kde sa na detekciu posunu v optických systémoch používajú vzory obdĺžnikov a bodiek. Pre mechanické časti a akčné členy simulátora sa robia testy na opotrebenie a únavu. Takéto testy sú zvyčajne založené na počítači, kde sa iniciujú a výsledky sa porovnávajú s výsledkami z počiatočných referenčných testov. Okrem mechanických porúch môže dochádzať k zlyhaniu elektronických systémov ako sú jednotlivé snímače. Okrem toho, aby bola zabezpečená funkčnosť simulátora mal by mať vlastník simulátora vyškolený personál technickej podpory, ktorá poskytuje údržbu v prípade poruchy simulátora.

## 3. Návrh zdokonalenia ovládacích a riadiacich systémov simulátora

Simulátor Zlín je základný<sup>8</sup> CBT simulátor, ktorý je lokalizovaný na Katedre leteckej dopravy, Žilinskej univerzity v Žiline. Návrh zdokonalenia simulátora je zameraný na ovládací panel simulátora, ovládací mechanizmus priečného a pozdĺžneho sklonu, mechanizmu ovládania priečného a pozdĺžneho vyváženia a mechanizmu ovládania vztlakových klapiek. Jednotlivé návrhy sú uvedené v nasledujúcej časti článku.

### 3.1. Ovládací panel

Ovládací panel je zariadenie, ktoré je umiestnené na lietadle Zlín medzi sedadlami pilotov. Ovládací panel, ktorý sme využili pri úprave simulátora bol odstránený z lietadla Zlín 142. Ovládací panel pozostáva so šestnástich prepínačov. Prepínače nachádzajúce sa na ovládacom paneli sú dvojpohové, to znamená, že ich vieme prepnúť do dvoch základných polôh, kedy je kontakt prepínača zopnutý a obvodom preteká elektrický prúd alebo kontakt prepínača je rozpojený a obvodom nepreteká elektrický prúd. Prepínače umiestnené na ovládacom paneli simulátora Zlín slúžia k ovládaniu nasledujúcich zariadení:

- pristávacích reflektorov,
- majáku,
- osvetlenia,
- rádia,
- meniča,

- batérie,
- generátora,
- štartéra,
- odpovedača,
- letových prístrojov,
- rádiokompasu.

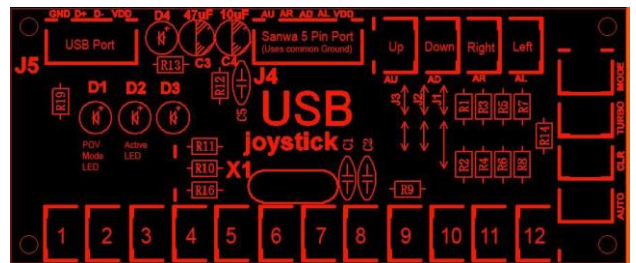
#### 3.1.1. Komponenty potrebné k ovládacímu panelu

Na prepojenie ovládacího panelu, ktorí sme demontovali z vyradeného lietadla so simulačným softvérom X-Plane, sú potrebné nasledujúce komponenty:

#### Digitálny USB Enkodér

Hlavnou úlohou enkodéra je digitalizovanie signálnych impulzov prichádzajúcich od prepínačov ovládacího panelu. Digitálny enkodér je vytvorený pomocou<sup>9</sup> CMOS technológie na doske plošného spoja o veľkosti 8,5 cm x 3,5 cm x 1 cm, ktorá slúži ako rozhranie medzi počítačom a prepínačmi umiestnenými na ovládacom paneli lietadla Zlín (Leo Bodnar Electronics, 2017).

Enkodér pozostáva z dvadsiatich dvoch portov, na ktorých sú pripojené plastové konektory Molex. Dvadsať portov enkodéra slúži na prívod vstupných signálov a dva porty slúžia ako výstup z digitálneho enkodéra. Z dvadsiatich portov umiestnených na doske plošného spoja je vyčlenených dvanásť portov, ktoré slúžia na pripojenie dvojpohových prepínačov. Na blokovej schéme na obrázku 1 sú analógové vstupy na pripojenie prepínačov označené číslami 1 až 12. Výstupné signály je možné prenášať cez USB port označený na schéme ako J5. USB port je tvorený štyrmi pinmi, kde prvý pin má označenie GND a slúži ako uzemnenie medzi jednotlivými elektrickými zariadeniami. Nasledujúce dva piny pod označením D- a D+ sú dátové piny, ktoré vytvárajú komunikačnú cestu medzi pripojenými elektrickými zariadeniami. Posledný pin má označenie VDD a slúži na pripojenie zdroju napätia o veľkosti 3,3 Voltu. Taktiež enkodér obsahuje možnosť pripojiť ako vstupné zariadenie joystick typu SANWA, ktorý je na obrázku 1 označený ako J4 a pozostáva z piatich pinov, reprezentovaných označením AU,AD,AL,AR (Leo Bodnar Electronics, 2017).



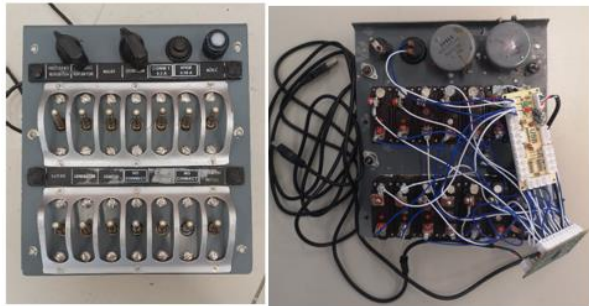
Obrázok 1: Blokovaná schéma enkodéra využívaný pri ovládacom paneli simulátora Zlín (Leo Bodnar Electronics, 2017).

V našom prípade sme odstránili jednotlivé uzemňovacie vodiče, ktoré boli upevnené ku kostre ovládacího panelu. Po odstránení sme prepojili jednotlivé prepínače novou kabelážou,

<sup>8</sup> školenie pomocou počítača

<sup>9</sup> technológia výroby logických integrovaných obvodov (čipov)

ktorá bola určená na simulačnú techniku. V následnom kroku sme novovytvorené vodiče pripojili podľa schémy zapojenia. Na jednej strane sme dvojice vodičov pripájali ku kontaktom prepínačov ovládacieho panela a na druhej strane sme prepájali káblové zväzky s portami digitálneho enkodéra pomoc plastového konektora Molex, ktorý je súčasťou balenia.



Obrázok 2: Ovládací panel lietadla Zlín.

### 3.2. Ovládací mechanizmus priečného a pozdĺžneho sklonu

Ovládací mechanizmus je zariadenie, ktorým pilot nastavuje výchylky smerových a výškových kormidiel lietadla. Vďaka týmto pohybom je možné ovládať simulátor lietadla v dvoch navzájom kolmých osiach. Ovládaciu páku, ktorú využívame v simulátore Zlín je možné reálne vidieť na modely lietadla Zlín 142. Ovládacia páka lietadla Zlín 142 je principiálne veľmi jednoduchá pretože pozostáva len s ergonomicky tvarovanej tyče na ktorej sa nachádzajú dve tlačidlá pre ovládanie interkomu a vysielacky.

#### Snímacie elementy

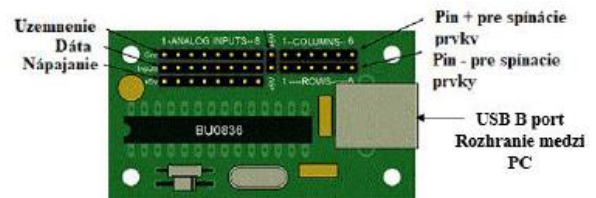
V pôvodnom návrhu bol využitý ako snímací element Allegro A1302, ktorý využíva metódu snímania magnetického poľa pomocou hallového javu. Senzor zachytáva zmenu magnetického poľa pomocou magnetu, ktorý je upevnený na oceľových tyčiach pohybového mechanizmu ovládacej páky. V našom prípade dochádzalo ku zlej indikácii magnetického poľa pomocou hallových snímačov pri krajných výchylkách ovládacej páky. Z tohto dôvodu sme vybrali ako náhradu snímacieho elementu potenciometer P260. Rozdiel potenciometra oproti hallovému snímaču je v tom, že potenciometer prevádza rotačný pohyb na zmenu elektrického odporu. V našom riešení je potenciometer pevne spojený s ovládacím mechanizmom simulátora, takže vychýlenie ovládacieho mechanizmu je prevádzané na pootočení snímacieho potenciometra.



Obrázok 3: Zmena snímacích elementov ovládacieho mechanizmu simulátora Zlín.

#### Ovládač Leo Bodnar BU0836A

Ovládač Leo Bodnar zabezpečuje prenos pohybov ovládacích prvkov a spracovanie elektrických signálov prichádzajúcich so snímacích elementov simulátora. Ovládač Leo Bodnar je tvorený ôsmymi trojkoľikovými konektormi na prívod analógových signálov, v našom prípade na prívod signálnou z potenciometrov a taktiež obsahuje šesť dvojkoľikových konektorov, ktoré sú určené napríklad na prenos prepínačov a tlačidiel. Blokovú schému zariadenia Leo Bodnar BU0836 aj s popisom je možné vidieť na obrázku 4.



Obrázok 4: Schéma ovládača Leo Bodnar BU0836A (Leo Bodnar Electronics, 2017).

#### Potenciometer P260

Potenciometer je základná elektrická súčiastka – regulovaný delič napätia. Potenciometer P260 je lineárny jednootáčkový potenciometer, ktorý dokáže meniť hodnotu elektrického odporu v rozsahu 10 kΩ. Potenciometer P260 je tvorený tromi prívodmi elektrických signálov.

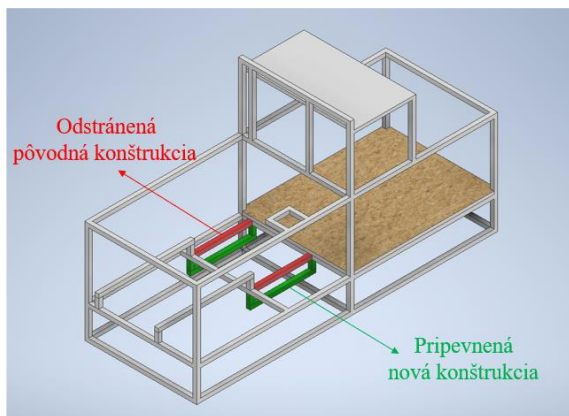
#### Plynová vzpera

Plynová vzpera je viacúčelový výrobok jednoduchého valcovitého tvaru s rôznymi variantmi uchytenia, pracujúca ako plynová pružina s tlmiacim účinkom na základe stlačeného plynu. Napomáha resp. uľahčuje otváranie a zatváranie, vysúvanie alebo zasúvanie a zároveň aretáciu v krajnej polohe na to vhodných, prispôsobených, pohyblivých častiach rôznych zariadení. Plynová vzpera bola použitá v ovládacom mechanizme na utlmenie kmitov po uvoľnení knipla z maximálnych výchyliek. Plynová vzpera taktiež slúži na simulovanie síl v ovládacom mechanizme. Použitím plynových vzpier s odlišnými hodnotami tlakov potrebných na ich stlačenie, vieme simulovať sily v ovládacom mechanizme simulátora.

#### 3.2.1. Postup úpravy ovládacieho mechanizmu simulátora Zlín

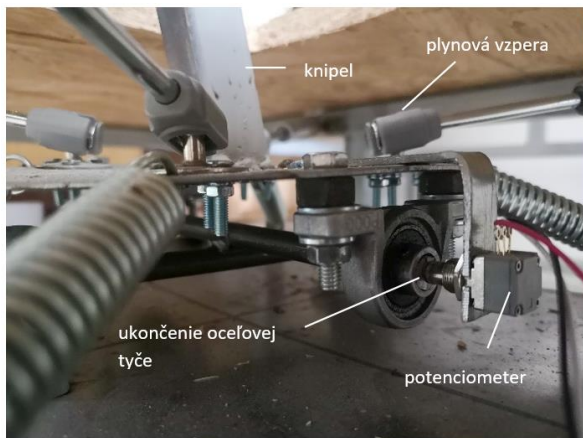
V dôsledku nastavenia výchyliek páky ovládania „knipla“, ktoré zodpovedajú skutočným výchylkám reálneho lietadla, bolo potrebné zmeniť polohu ovládacieho mechanizmu. Polohu ovládacieho mechanizmu bolo potrebné upraviť aj z dôvodu vytvorenia podlahy simulátora. V našom prípade sme polohu ovládacieho mechanizmu znižovali o 200 mm oproti pôvodnému riešeniu. Vykonaná zmena je zobrazená na obrázku 5.





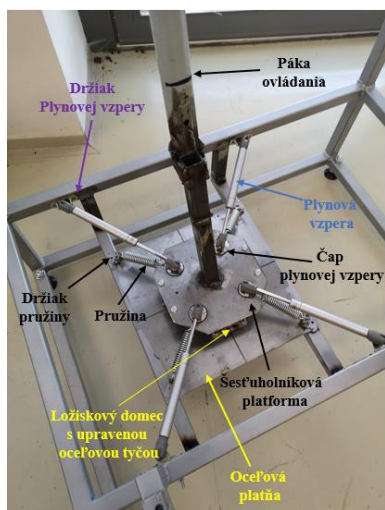
Obrázok 5: Zmena polohy ovládacieho mechanizmu v konštrukcii simulátora.

Na zabezpečenie prenosu pohybov z ovládacieho mechanizmu do ovládacej jednotky Leo Bodnar bolo potrebné vyhotoviť uchytenie snímacích potenciometrov. Potenciometre sme umiestnili na oceľové tyče, ktoré sú súčasťou ovládacieho mechanizmu.



Obrázok 6: Umiestnenie potenciometrov na ovládacom mechanizme simulátora.

Výsledné technické riešenie ovládacieho mechanizmu simulátora je zobrazené na obrázku 7.



Obrázok 7: Ovládací mechanizmus simulátora Zlín.

### 3.3. Mechanizmus ovládania priečného a pozdĺžneho vyváženia a mechanizmus ovládania vztlakových klapiek

Pri mechanizme ovládania vyváženia a ovládania vztlakových klapiek sme samotný návrh vytvárali, nejednalo sa o úpravu už vytvoreného mechanizmu. Poloha klapiek lietadla Zlín sa nastavuje pomocou páky, ktorá je umiestnená v ovládacom paneli lietadla, nachádzajúcom sa medzi sedadlami lietadla. Klapky lietadla je možné nastavovať v troch základných polohách a to:

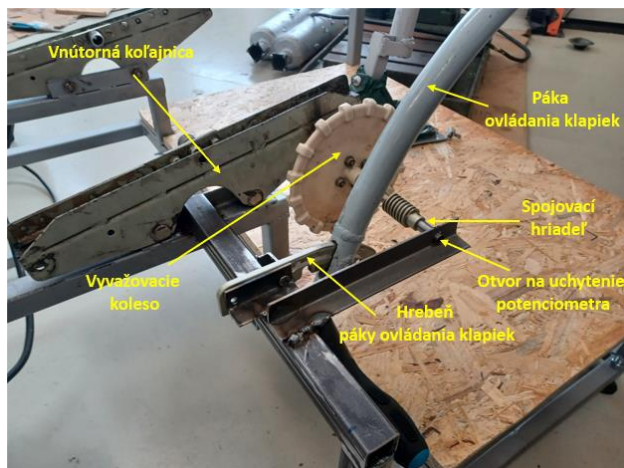
- zatiahnuté ( $0^\circ$ ),
- vzlet ( $14^\circ$ ),
- pristátie ( $37^\circ$ ).

Páka ovládania klapiek lietadla Zlín sa skladá z ložiska umiestneného v spodnej časti páky, aretačnej zarážky a aretačného tlačidla. Jednotlivé polohy klapiek sa nastavujú pohybom a zaaretovaním páky v danej polohe. Ovládacia páka sa v jednotlivých polohách zabezpečí pomocou ozubeného hrebeňa, do ktorého zapadá poistný mechanizmus.

Komponenty, ktoré sme použili pre vytvorenie mechanizmu sú nasledovné:

- potenciometre, potrebné na snímanie polohy páky ovládania klapiek a pozdĺžneho a smerového vyváženia,
- vertikálny nosník,
- prepojovací nosník,
- zaistovací hrebeň ovládania klapiek,
- úchyty hrebeňa a páky ovládania klapiek,
- uchytenie sedačky pilota,
- úchyt na prepojenie vyvažovacieho kolesa.

Pre vytvorenie mechanizmu ovládania klapiek a vyvažovania bolo potrebné vytvoriť nosnú konštrukciu. Nosná konštrukcia pozostáva z vertikálneho a prepojovacieho nosníka. Na vytvorenie nosnej konštrukcie boli použité oceľové profily rozmeru 25 mm x 25 mm. Po úprave a stanovení rozmerov sme nosníky umiestnili na konštrukciu simulátora pomocou zvarových spojov. Vytvorený konštrukcia je zobrazená na obrázku 8.



Obrázok 8: Hlavné časti konštrukcie vytvorenej na umiestnenie vyvažovacieho kolesa a páky ovládania klapiek.

V záverečnom kroku sme uchytili vyvažovacie koleso na vnútornej koľajnici sedadla tak, aby sme zabezpečili správne osadenie vyvažovacieho kolesa do centrálného panelu. Následne je cez otvor v hriadeli umožnené zabudovať potenciometer BK10, ktorý slúži ako snímací element. Ako posledný krok, bolo potrebné pripojiť potenciometer BK10 s ovládacou jednotkou Leo Bodnar. Výsledné umiestnenie páky ovládania klapiek a ovládania vyvažovania je zobrazené na obrázku 9.



Obrázok 9: Mechanizmus ovládania vztlakových klapiek a ovládania vyváženia umiestneného na simulátore Zlín.

#### 4. Záver

Predložený článok sa zaoberal možnosťami vylepšenia a zdokonalenia leteckého simulátora Zlín. Časti simulátora, ktoré boli zdokonalené sú ovládací mechanizmus priečneho a pozdĺžneho sklonu, zdokonalenie ovládacieho panelu simulátora a mechanizmus ovládania vztlakových klapiek.

Vylepšenia, ktoré sme navrhli a nakoniec aj prakticky vykonali, poskytnú pre užívateľov simulátora realistickejší pocit z letu na simulátore. Pri ovládacom paneli sme vytvorili funkčný panel prepínačov, ktorý spolupracuje so simulačným softvérom X-Plane. Na spracovanie signálov z jednotlivých prepínačov bol použitý digitálny enkodér, ktorý prevádza signály do softvéru X-Plane. Dôležitým ovládacím prvkom, ktorý sme zdokonalili, je ovládací mechanizmus priečneho a pozdĺžneho sklonu lietadla. Pri tejto úprave boli vykonané zmeny v oblasti konštrukcie, zmeny snímania polohy mechanizmu, kedy sme urobili zmeny v snímacích senzoch. Pôvodné hallove snímače boli nahradené potenciometrami. Pre túto úpravu sme sa rozhodli z dôvodu nestability signálu z hallových snímačov a následnej nemožnosti správnej kalibrácie v softvéri X-Plane. Z vytvoreného riešenia, potenciometre poskytujú stabilnejší a presnejší priebeh signálu, ktorý je potrebný pre čo najpresnejšiu kalibráciu ovládacieho mechanizmu. Posledným zlepšením simulátora bolo vytvorenie mechanizmu ovládania vztlakových klapiek a vyváženia lietadla. Pri tomto riešení sme využili demontované komponenty z lietadla, ktoré sme použili v simulátore. Na zber signálu zo snímacích potenciometrov sme použili jednotku od spoločnosti Leo Bodnar, ktorá spolupracuje so softvérom X-Plane. Softvér X-Plane využívame ako simulačný softvér pre náš letecký simulátor.

Vytvorené konštrukčné úpravy prispievajú k zdokonaleniu simulátora Zlín. V budúcnosti sa budeme ešte zaoberať zdokonaleniami v oblasti zobrazovacích prístrojov letových údajov, prístrojového panelu a ovládania smerového riadenia, pre čo najrealistickejšiu simuláciu letu na lietadle Zlín.

#### Poďakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Výskum a vývoj bezkontaktných metód pre získavanie geopriestorových údajov za účelom monitoringu lesa pre zefektívnenie manažmentu lesa a zvýšenie ochrany lesov, kód ITMS 313011V465, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

#### Referencie

- Aguado, C., Moreno, R., Sergio, R. 2014. Education simulation in practice: teaching experience using a flight simulation. Journal of Technology and Science Education vol. 4, ISSN 2013-6374, 20 s. Dostupné na: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1135499.pdf>
- Aldrich, C. 2005. Learning by Doing. A Comprehensive Guide to Simulations, Computer Games, and Pedagogy in e-Learning and Other Educational Experiences. San Francisco: Pfeifer.
- Allerton, D. 2009. Principles of flight simulation, John Wiley and Sons, West Sussex, UK, ISBN 978-0-470-75436-8, 501 s.
- Allegro Microsystems. 2009. Data sheet A1301 and 1302, Allegro MicroSystems Inc. 10 s. Dostupné na <http://www.leobodnar.com/products/BU0836X/A1302.pdf>
- Ehest Company. 2015. Teaching and Testing in Flight simulation Training Devices. European aviation safety agency, 32 s. Dostupné na:

[https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/206904\\_EASA\\_EHEST\\_HE\\_10.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/206904_EASA_EHEST_HE_10.pdf)

Flight Safety International Simulation. 2011. Flight simulation training systems. Flight Safety International Simulation, 12 s. Dostupné na: [https://www.flightsafety.com/html/pdf/3739\\_comm%20sim\\_bro\\_pgxpg\\_final.pdf](https://www.flightsafety.com/html/pdf/3739_comm%20sim_bro_pgxpg_final.pdf)

Janovec, M., Čerňan, J. & Novák, A. 2021. Design of construction and instrumentation of the Zlín aircraft simulator. Transportation Research Procedia, pp. 46-56.

Janovec, M., Kandra, B., Materna, M., Pecho, P., Radosa, F. 2021. Prototyp simulátora letového environmentálneho laboratória evirolab. 5 s. Dostupné na: [https://drepo.uniza.sk/bitstream/handle/hdluniza/535/2021\\_01-19-23.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://drepo.uniza.sk/bitstream/handle/hdluniza/535/2021_01-19-23.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Leo Bodnar Electronics. 2017. Operating manual. Leo Bodnar electronics, 5 s. Dostupné na: <http://www.leobodnar.com/products/BU0836A/BU0836A.pdf>

Stalter, C. I. 1981. Characteristics of flight simulator visual systems. Ames research center NASA, 90s, Dostupné na: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA098267.pdf>

Zlín Aircraft. 2017. Flight manual of the Aircraft Z142. Zlín Aircraft a.s. 172 s. Dostupné na: <https://www.manualslib.com/manual/1792761/Zlin-Aircraft-Z-142.html>