

Konceptualno rješenje 3D toranjskog simulatora

Lipanović, Željko

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:259806>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-16**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Željko Lipanović

Konceptualno rješenje 3D toranjskog simulatora

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, svibanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 28. svibnja 2024.

Zavod: **Zavod za aeronautiku**
Predmet: **Upravljanje kapacitetom i protokom zračnog prometa**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 7732

Pristupnik: **Željko Lipanović (0023009902)**
Studij: **Aeronautika**

Zadatak: **Konceptualno rješenje 3D toranjskog simulatora**

Opis zadatka:

Uvodno navesti cilj i strukturu rada. Objasniti važnost simulatora za kontrolu zračnog prometa. Identificirati potrebne dijelove simulatora. Izraditi konceptualno rješenje za razvoj 3D toranjskog simulatora. Odabrati adekvatan softver koji će pokretati simulacije. Predložiti hardversku opremu i dijelove komunikacijskog sustava za komunikaciju između kontrolora i pseudo-pilota. Predložiti izgled kontrolorske i pilotske konzole, uključujući i sve planove za njihovu izradu. Koristeći odabrani softver, izraditi 3D model zračne luke Zagreb, sve rute i točke na zemlji i u zraku koje su potrebne za kvalitetno odvijanje vježbi. Kreirati sve vježbe koje se koriste na predmetu Aerodromski simulator u novi softverski paket. Razmotriti mogućnost primjene simulatora u školovanju, istraživanju ili kao dopunsko nastavno pomagalo te procijeniti trošak nabave dijelova potrebnih za njegovu izgradnju. Dati zaključna razmatranja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

prof. dr. sc. Biljana Juričić

Sveučilište u zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

Konceptualno rješenje 3D toranjskog simulatora

A conceptual design of a 3D tower simulator

Mentor: prof. dr. sc. Biljana Juričić

Student: Željko Lipanović
JMBAG: 0023009902

Zagreb, svibanj 2024.

SAŽETAK

Danas je proces školovanja kontrolora zračnog prometa postao gotovo nemoguć bez upotrebe simulatora. Nekoć je izrada simulatora bilo skup i zahtjevan posao koji su mogli priuštiti samo neki školski centri, ali danas je računalna tehnika toliko napredovala da je simulator moguće izraditi korištenjem uobičajenih računalnih komponenti koje se mogu kupiti u bilo kojoj trgovini računalne opreme. U ovom radu je opisan proces izrade jednog manjeg i jeftinijeg 3D toranjskog simulatora pogodnog za korištenje u obrazovnim institucijama. U radu su detaljno opisani tehnički aspekti izrade simulatora, uključujući računalni hardver, komunikacijski sustav, namještaj i ostalu potrebnu opremu. Dodatno, procijenjeni su ukupni troškovi za nabavu i izradu potrebne opreme. Koristeći simulatorski softver 9A-SIM opisan je proces izrade točaka, ruta i vježbi. Opisane su moguće praktične primjene jednog ovakvog simulatorskog sustava u budućnosti.

Ključne riječi: 3D simulator, toranjski simulator, monitor, pozicija, kontrolor zračnog prometa, vježbe, pseudo-pilot

SUMMARY

Today, the process of training air traffic controllers has become almost impossible without the use of simulators. In the past, creating a simulator was an expensive and demanding job that only some school centres could afford, but today computer technology has advanced so much that it is possible to create a simulator using common computer components that can be purchased at any computer hardware store. This paper describes the process of making a smaller and cheaper 3D tower simulator, suitable for use in educational institutions. The paper describes in detail the technical aspects of making the simulator, including computer hardware, communication system, furniture and other necessary equipment. In addition, the total costs for the acquisition and production of the necessary equipment were estimated. Using the simulator software 9A-SIM, the process of creating points, routes and exercises is described. Possible practical applications of such a simulator system in the future are described.

Key words: 3D simulator, tower simulator, monitor, position, air traffic controller, exercises, pseudo-pilot

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Važnost simulatora u školovanju kontrolora zračnog prometa	3
3. Softversko-hardversko rješenje simulatora	8
3.1. Računala	9
3.2. Prikaz.....	12
3.2.1. Omjer stranica	12
3.2.2. Rezolucija.....	13
3.2.3. Duljina dijagonale	14
3.2.4. Gustoća piksela	15
3.2.5. Zakrivljenost monitora	16
3.3. Mreža.....	16
3.4. Pisač papirnatih stripova	17
3.5. Komunikacijski sustav	18
3.5.1. Sustav komunikacije sa zrakoplovima	19
3.5.2. Sustav telefonije	20
3.5.3. Sustav komunikacije sa zemaljskim službama.....	20
3.6. Ostala oprema.....	20
4. Radne pozicije kontrolora zračnog prometa i pseudo-pilota.....	21
4.1. Pozicija pseudo-pilota	21
4.2. Pozicija kontrolora zračnog prometa.....	24
4.3. Procjena troškova nabave.....	28
5. Izrada zračnog prostora i vježbi	31
5.1. XML deklaracija	31
5.2. XML elementi	31
5.3. XML komentari.....	33

5.4. Izrada mapa	33
5.5. Unos navigacijskih točaka.....	35
5.6. Izrada odlaznih i dolaznih instrumentalnih procedura	37
5.7. Izrada zemaljskih ruta	38
5.8. Izrada vježbi	40
5.9. Izrada vježbi koje se koriste u nastavi.....	43
5.10. 3D model zračne luke Zagreb	47
6. Mogućnost primjene simulatora.....	50
7. Zaključak.....	52
PRILOZI.....	53
LITERATURA.....	68
POPIS KRATICA	71
POPIS SLIKA	73
POPIS TABLICA.....	75

1. Uvod

3D toranjski simulator je specijalizirani softversko-hardverski alat koji se koristi za školovanje budućih ili uvježbavanje postojećih kontrolora zračnog prometa. Svrha simulatora je reproducirati realne radne uvjete i događaje s kojima se kontrolori zračnog prometa susreću tijekom obavljanja svog posla. Postoje različite izvedbe 3D toranjskog simulatora, ali ovaj rad fokusira se na izradu manjeg i financijski povoljnijeg simulatora, naročito pogodnog za korištenje na fakultetima i u drugim ustanovama gdje se školuju budućí kontrolori zračnog prometa.

Brz razvoj računalne tehnologije kojem smo svjedočili proteklih dvadesetak godina je rezultirao pojavom relativno povoljnih ali iznimno snažnih računalnih komponenti pa je danas moguće, softverskim alatima koji su svima dostupni, isplanirati i izraditi potpuno funkcionalan 3D toranjski simulator. Gotovo sve predložene računalne komponente su lako nabavljive u lokalnim trgovinama. Iznimka su samo pisač papirnatih stripova i pojedini dijelovi komunikacijskog sustava koji su predloženi kako bi se povećala realnost simulacije, ali i za njih su ponuđene jeftine alternative. Ideja vodilja pri dizajniranju konzole i namještaja je bila jednostavnost izrade i održavanja. U prilogima na kraju ovog rada dani su detaljni nacrti namještaja i ostalih komponenti na osnovu kojih se sve može izraditi u lokalnim stolarskim i bravarskim obrtima.

Ovaj rad je podijeljen u sedam cjelina.

U drugom poglavlju je obrazložena važnost 3D toranjskog simulatora u školovanju kontrolora zračnog prometa. Opisana je razlika između simulatora i trenažera te je obrazloženo zbog čega se upravo ovaj rad bavi izradom jednostavnog 3D toranjskog simulatora te koje su prednosti takvog pristupa.

U trećem poglavlju se detaljno opisuje predloženi hardverski sustav računala s fokusom na jednostavnost izrade i održavanja. Definira se veličina prostorije, moguće vrste prikaza i na kraju su predložene dvije mogućnosti izrade komunikacijskog sustava.

U četvrtom poglavlju su predloženi izgledi pozicija pilota i kontrolora zračnog prometa. Izrađeni su 3D prikazi svih pozicija. Posebna pažnja usmjerena je na koncept nosača monitora zbog dugotrajne stabilnosti prikaza slike na pet monitora. Opisane su funkcije ostalih monitora u sustavu simulatora.

U petom poglavlju su objašnjene osnove programskog jezika XML i njegova uloga u samom simulatoru. Zatim je opisan postupak izrade zračnog prostora, 2D mapa, navigacijskih točaka, ruta u zraku i na zemlji kao i izrada vježbi. Na kraju je izrađen 3D model zračne luke Zagreb.

U šestom poglavlju predložene su određene mogućnosti korištenja simulatora u nastavi. Opisani su načini na koji se može povećati doživljaj realnosti simulacija te su ponuđena neka od mogućih rješenja koja bi mogla biti temelj za razvoj simulatora u budućnosti.

2. Važnost simulatora u školovanju kontrolora zračnog prometa

Kontrolori zračnog prometa su visoko kvalificirani profesionalci koji pružaju uslugu kontrole zračnog prometa kako bi omogućili sigurno, redovito i nesmetano odvijanje zračnog prometa. Zadaća kontrole zračnog prometa je sprječavanje sudara između zrakoplova u zraku kao i između zrakoplova i prepreka na manevarskim površinama. Kako bi ispunili te zadatke kontrolori moraju: kontrolirati i nadzirati kretanje zrakoplova, komunicirati sa zrakoplovima i susjednim sektorima putem radio veze ili putem telefona. Također moraju tražiti i sprječavati moguće konflikte u svom zračnom prostoru [1].

Osposobljavanje kontrolora zračnog prometa obuhvaća sve teorijske tečajeve, praktične vježbe, uključujući osposobljavanje na simulacijskim uređajima i osposobljavanje na radnom mjestu, a sve namijenjeno stjecanju i održavanju vještina potrebnih za pružanje sigurnih, urednih i brzih usluga kontrole zračnog prometa.

Osposobljavanje kontrolora leta sastoji se od sljedećih vrsta osposobljavanja:

- Inicijalno osposobljavanje, koje vodi do stjecanja dozvole kontrolora zračnog prometa sastoji se od sljedećih faza:
 - osnovnog osposobljavanja;
 - osposobljavanja za ovlaštenje.
- Osposobljavanja za lokaciju koje vodi do izdavanja dozvole kontrolora zračnog prometa te se sastoji od sljedećih faza:
 - faza prijelaznog osposobljavanja;
 - faza osposobljavanja na radnom mjestu;
 - preliminarne faze osposobljavanja.
- Kontinuirano osposobljavanje može biti:
 - osposobljavanje za obnovu znanja;
 - osposobljavanje za konverziju.

Osim gore navedenih vrsta osposobljavanja, kontrolori zračnog prometa mogu pohadati osposobljavanje:

- za instruktora za praktično osposobljavanje;
- za ocjenjivača [2].

Simulator bi se trebao koristiti u praktičnom dijelu osnovnog osposobljavanja budućih prilaznih i oblasnih kontrolora, i u svim fazama osposobljavanja budućih i sadašnjih toranjskih kontrola zračnog prometa.

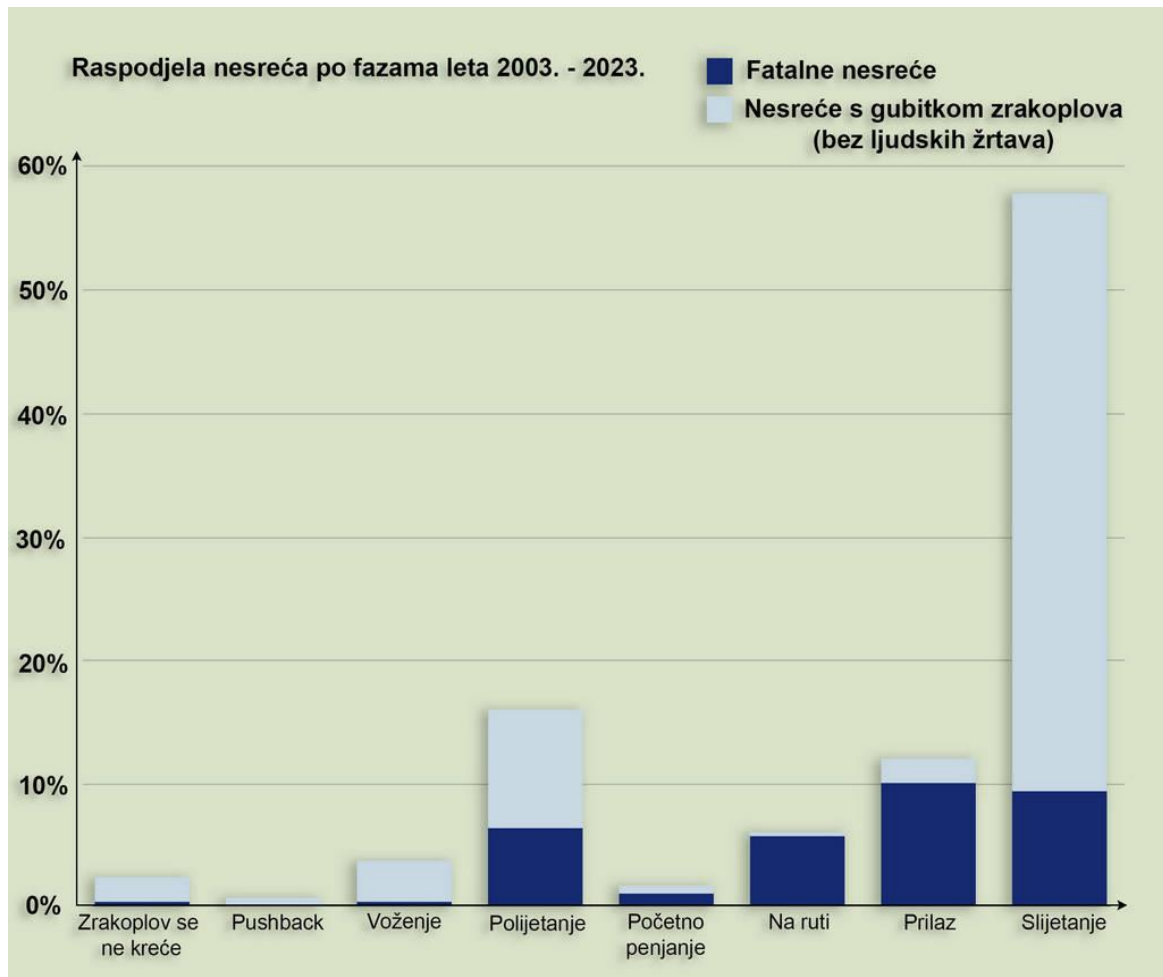
Uređaj za osposobljavanje (STD - *Synthetic Training Device*) je svaka vrsta uređaja kojim se simuliraju operativni uvjeti, uključujući simulatore i uređaje za osposobljavanje za izdvojene zadatke. Simulator je uređaj za osposobljavanje koji prikazuje važna svojstva stvarnog operativnog okruženja i reproducira operativne uvjete pod kojima osoba koja prolazi kroz osposobljavanje može vježbati zadatke izravno i u realnom vremenu. Uređaj za osposobljavanje za izdvojene zadatke ili trenažer (*Part task trainer*) je uređaj za osposobljavanje kojim se pruža osposobljavanje za konkretne, odabrane operativne zadatke, pri čemu se od vježbenika ne očekuje da vježba sve zadatke koji su uobičajeno povezani s potpunim operativnim okruženjem [2].

Obe vrste uređaja za osposobljavanje se koriste prilikom stjecanja praktičnih vještina. Kandidati odrađuju različite praktične vježbe koje su kreirane za svaki segment osposobljavanja prema propisanim zahtjevima. Svaka certificirana organizacija za osposobljavanje kontrolora zračnog prometa definira broj praktičnih vježbi koje treba izvesti u različitim fazama osposobljavanja u skladu s međunarodnim standardima [3]. Budući da je cilj ovog rada izrada konceptualnog rješenja simulatora, u nastavku će se koristiti izraz simulator, a ne uređaj za osposobljavanje za izdvojene zadatke.

Simulacija je realna reprezentacija strukture i dinamike stvarnog objekta ili procesa. Ovisno o stupnju realnosti sudionici aktivno sudjeluju u simuliranom okolišu, integrirajući ga s ljudima i objektima te primjenjuju stečeno znanje kako bi odgovorili na određene probleme ili situacije [4].

Simulator pruža realistično okruženje za vrijeme osposobljavanja i omogućuje praktično iskustvo bez rizika povezanih sa stvarnim prometom. Također, smanjuju se operativni troškovi jer je korištenje simulatora značajno jeftinije od korištenja stvarne opreme. Osim toga, simulacije često uključuju različite scenarije, uključujući i nepredviđene i izvanredne situacije (ABES), otkazivanje opreme, različite vremenske uvjete i sve ostalo što je važno kako bi korisnici stekli široko iskustvo i bili spremni za različite izazove u stvarnom radnom okruženju [5].

Najviše nesreća zrakoplova se događa zrakoplovima na polijetanju i slijetanju, odnosno u ono vrijeme kad su bili na toranjskoj frekvenciji [6]. Na slici 1. se može vidjeti raspodjela nesreća po fazama leta iz koje se može vidjeti zašto je potrebno obratiti posebnu pažnju na vježbanje nepredviđenih i izvanrednih situacija u toranjском okruženju kako s vježbenicima tako i s aktivnim kontrolorima zračnog prometa.



Slika 1. Raspodjela nesreća po fazama leta 2003. - 2023. [6]

Iako bi se određeni aspekti praktične obuke mogli provoditi uz stvarni promet u operativnom okruženju, sigurnost, učinkovitost i ekonomičnost isključuju takvu mogućnost. Primjerice, nepredviđene i izvanredne situacije nemoguće je trenirati u stvarnom prometnom okruženju. Stoga je neizbježno korištenje simulatora tijekom obuke kontrolora zračnog prometa, a obuka je sama po sebi proces usmjeren na praksu pa je samim time dugotrajna i skupa. Upotreba simulatora obujmom je sve veća jer je promet sve složeniji, zbog čega postoji i sve veća potreba za kontrolorima zračnog prometa, kao i zbog čestog uvođenja novih i naprednijih procedura (poput RNAV procedura) i tehnologija (npr. CPDLC) [5].

U okviru kontrole zračnog prometa, simulator predstavlja kombinaciju hardvera i softvera koji zajedno čine simulatorski sustav. Konačan izgled i funkcionalnost simulatora ovisit će o željama naručitelja sustava i može se izraditi u spektru od iznimno jednostavnog do iznimno složenog.

Složeni simulatorski sustav koristi specijalizirane komponente i profesionalne podsustave koji nisu jednostavno dobavljivi poput projektora, konzola i komunikacijske opreme. Primjer takvog sustava se može vidjeti na slici 2. gdje je prikazan *ATM Tower Simulator* pri DFS-u u Langenu [7].



Slika 2. Složeni simulatorski sustav [7]

Navedeni simulator za prikaz koristi 18 4K projektora, a platno je cilindar promjera 12 metara. Sustav projektora je izradila firma *domeprojection.com* iz Magdeburga [8]. U pozadini takvog sustava radi niz umreženih računala koja pokreću razne pozicije, a za održavanje takvog simulatorskog sustava potrebno je zaposliti tehničare te pseudo-pilote koji upravljaju zrakoplovima i vozilima. Uzimajući sve to u obzir, jedan takav sustav je iznimno skup za izradu kao i za rad i održavanje.

Međutim, kod jednostavnog simulatora gotovo čitav hardver, uključujući konzole i namještaj je lokalno nabavljiv u trgovinama računalne i elektroničke opreme. Konzole su

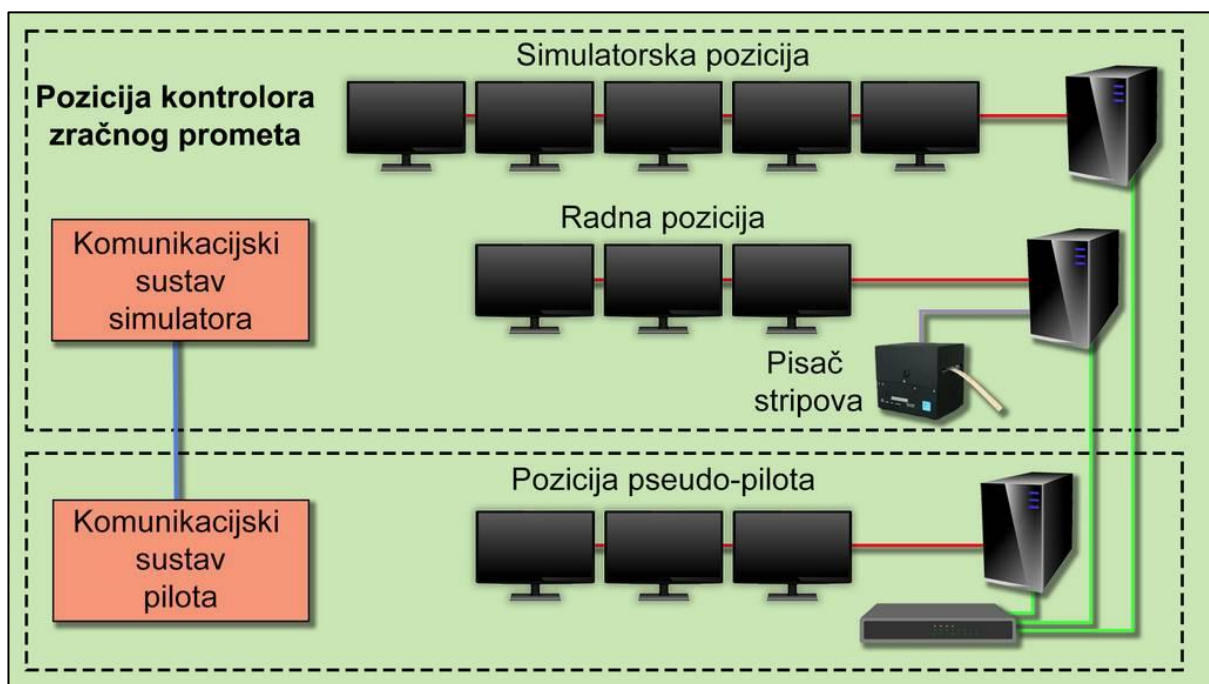
izrađene od namještaja dobavljivog iz lokalnih trgovina ili mogu biti izrađene po mjeri kod lokalnih stolara. Za rad i održavanje nije potrebno zapošljavati tehničare. Po potrebi se računala mogu servisirati u lokalnim računalnim servisima, a pseudo-piloti mogu biti sami polaznici školovanja. Uzevši u obzir gore navedene prednosti, ovaj diplomski rad se bavi izradom konceptualnog rješenja jednostavnog simulatora koji odgovara zahtjevima manjeg školskog centra poput HUSK-a.

Trenutno nije dostupna literatura koja nudi detaljan uvid u izradu jednog ovakvog sustava. Njih prodaju komercijalne kompanije koje svoja rješenja čuvaju kao poslovnu tajnu te im nije u interesu javno iznositi detalje izrade sustava kao i njihovu cijenu. Neke od tih kompanija su: Adacel Systems (MaxSIM) [9], Airways International (TotalControl) [10], Artisys (CASS 2D/3D) [11], Edda Systems (eCoach ATC simulator) [12], Micronav (BEST Tower) [13], ROSE Simulation (AMOS Tower Simulator) [14] itd.

3. Softversko-hardversko rješenje simulatora

Kao temelj za koncept ovog simulatora korišten je softver 9A-SIM [15], međutim rješenja dana u ovom diplomskom radu moći će se koristiti i s drugim softverskim rješenjima pošto se mora pratiti slična dizajnerska logika. 9A-SIM pokreću tri računala s prikazom koji pokriva do 180 stupnjeva širine pogleda u raznim konfiguracijama monitora. Moguće je simulirati IFR i VFR letove, razne vrste prilaza, operacije zrakoplova na zemlji, vozila, nepredviđene i izvanredne situacije itd. Navedeni simulator je predviđen za upotrebu u manjim prostorijama. Složeni simulatorski sustav na slici 2. zauzima 113 m² unutar simulatora i to ne računajući vanjski prostor koji je potreban za ostalu infrastrukturu i pozicije pseudo-pilota. Dok se 9A-SIM može smjestiti u dvije manje prostorije površina 15 m², a za pokretanje sustava potrebni su jedan pilot i jedan korisnik.

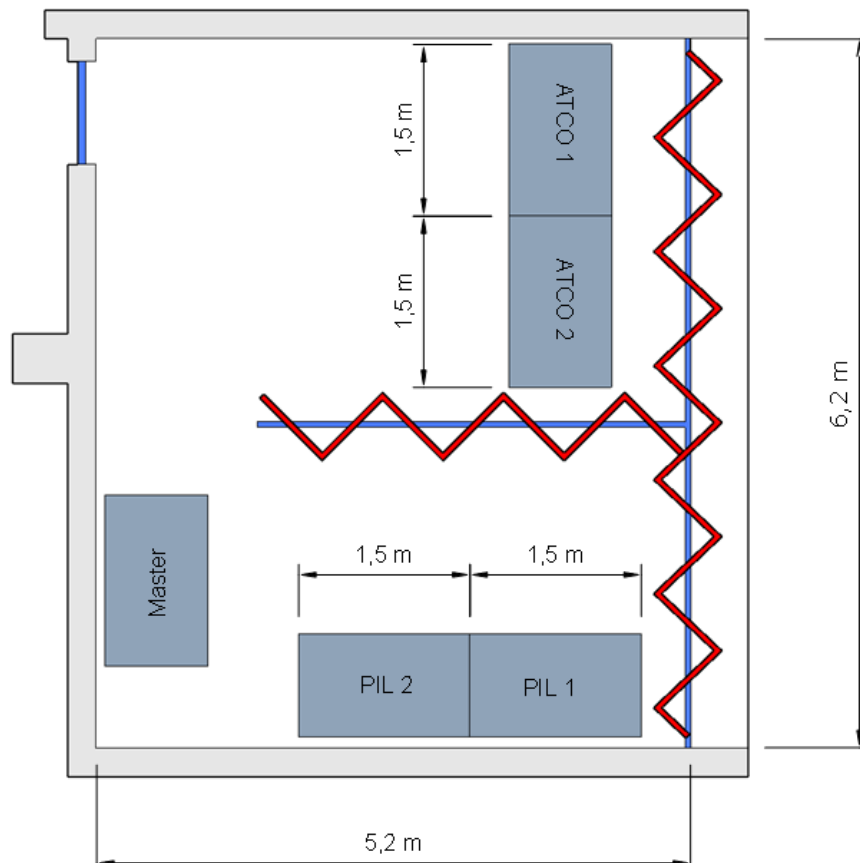
Sustav simulatora pokreću tri umrežena računala koja su povezana s tri radne pozicije: pozicijom pseudo-pilota, radnom pozicijom i simulatorskom pozicijom kako je shematski prikazano na slici 3. Simulatorska i radna pozicija zajedno čine poziciju kontrolora zračnog prometa.



Slika 3. Simulatorski sustav

Na radnu poziciju je spojen pisar papirnatih stripova, a pozicije su međusobno povezane komunikacijskim sustavom koji treba podržavati sustave: komunikacije sa zrakoplovima, komunikacije sa zemaljskim službama i sustav telefonije.

Pozicija kontrolora zračnog prometa i pozicija pseudo-pilota bi trebale biti u odvojenim prostorijama kako se pseudo pilot i vježbenik ne bi mogli vidjeti i čuti. U slučaju da za to ne postoje uvjeti, mogu se koristiti pregrade koje će odvojiti te dvije pozicije. Pri HUSK-u trenutno je instaliran radarski simulator koji se nalazi u prostoriji površine 32 m² koja je podijeljena pregradom. Nacrt te prostorije koji se može vidjeti na slici 4. korišten je kao predložak za konceptualno rješenje simulatora u ovom radu.



Slika 4. Tlocrt prostorije sa simulatorom

3.1. Računala

Kao što je već rečeno sustav pokreću tri računala. Računala, zbog jednostavnosti nabave, mogu biti identična s tim da računalo koje će pokretati simulatorsku poziciju treba imati instaliranu nešto bolju grafičku karticu. Moguće je nabaviti već gotove konfiguracije ili pojedinačne komponente koje će biti potrebno sastaviti u računalo. Gotove konfiguracije će biti nešto jeftinije, ali možda neće u potpunosti odgovarati zahtjevima. Konfiguracija računala treba biti minimalna, optički uređaji i dodatni diskovi nisu potrebni. Za pojedinu konfiguraciju računala treba nabaviti barem sljedećih osam komponenti: matičnu ploču, procesor, hladnjak

za procesor, radnu memoriju, grafičku karticu, disk, napajanje i kućište. Ventilatori za kućište su opcionalna oprema, ali se njihova instalacija preporuča kako se računala ne bi dodatno zagrijavala. Treba imati u vidu da će se računala koristiti dugo vremena, možda i desetak godina, pa je naglasak potrebno staviti na lakoću održavanja sustava, kvalitetno rješenje za hlađenje kao i na potrebnu zaštitu od prašine.

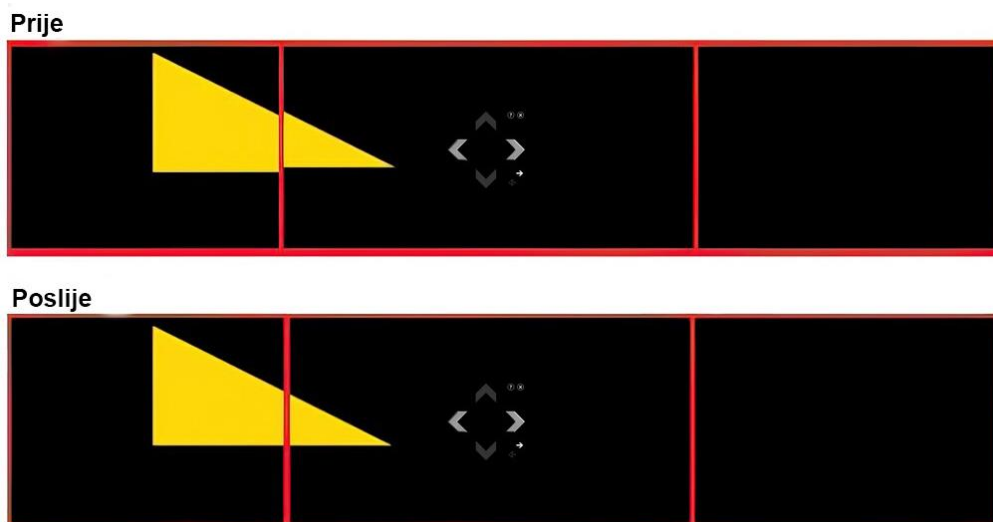
Danas postoji veliko tržište komponenti za igranje igara na računalu (*gaming components*) koje se ističu vrlo dobrim performansama i velikim izborom mogućnosti prilagodbe. Karakteristike komponenti za igranje igara obično su usmjerene prema visokim performansama, velikoj stabilnosti i podršci za overklokiranje (*overclocking*). Primjerice, mnoge igračke matične ploče imaju dodatne mogućnosti za overklokiranje procesora, memorije i same matične ploče omogućujući korisnicima da povećaju performanse svojih komponenti iznad tvorničkih. Kako bi se to omogućilo komponente za igranje često koriste kvalitetnije elektroničke komponente poput elektrolitskih kondenzatora ili poluvodiča što produljuje trajanje računalnog sustava.

Računalo se pri radu grije te ga je potrebno ohladiti i riješiti se viška topline što se postiže ugradnjom hladnjaka na procesoru te ventilatora u kućište računala. U ovom slučaju se preporučuje ugradnja hladnjaka za procesor s toplinskim cijevima. Za zaštitu od prašine trebalo bi odabrati kućišta koja imaju ugrađene filtere za prašinu koji e mogu lako čistiti. Prašina se u računalu često nakuplja na samim hladnjacima što s vremenom smanjuje učinkovitost hladnjaka, a samim time skraćuje i vijek trajanja računala.

Iznimno važan dio svakog računala je grafička kartica, poznata i pod kraticom GPU (*Graphics Processing Unit*). Grafička kartica je računalna komponenta koja se koristi za generiranje i prikazivanje grafike na računalu, a njena glavna svrha je ubrzavanje obrade grafike tako što preuzima zadatke vezane uz grafiku od procesora i obavlja ih mnogo brže.

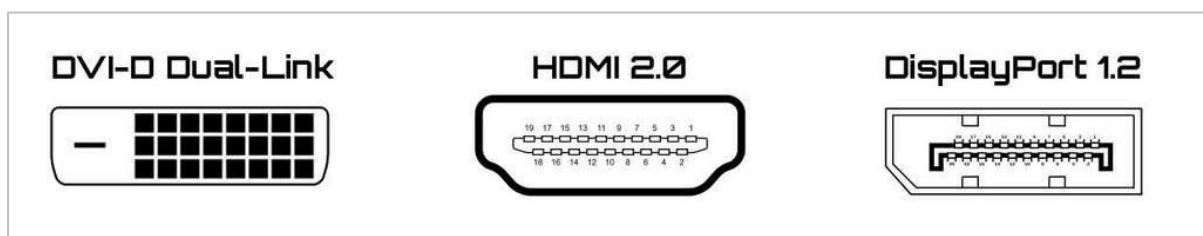
Vodeći proizvođači grafičkih kartica su kompanije Nvidia i AMD (*Advanced Micro Devices*). Obije kompanije nude kartice u svim segmentima, od nižih pa do profesionalnih. Simulatoru koji ima tri monitora na simulatorskoj poziciji odgovarati će kartice obaju proizvođača. Nvidia podražava tehnologiju „*NVIDIA Surround*“ [16], a AMD „*AMD Eyefinity*“ [17]. Navedene tehnologije omogućavaju grupiranje više fizičkih monitora u jednu proširenu radnu površinu (*desktop*). Primjerice, ako se grupiraju tri monitora rezolucije 1920*1080 piksela, dobit će se radna površina rezolucije 5760*1080 piksela. *NVIDIA Surround* podržava spajanje do tri monitora, a *AMD Eyefinity* do 6 monitora.

Okviri monitora koji razdvajaju zaslone mogu predstavljati problem, odnosno oni stvaraju diskontinuitet pogleda. Spomenute tehnologije imaju mogućnost korekcije slike zbog okvira monitora (*bezel correction*). Korekcijom se to popravlja što prikazuje slika 5. gdje je dana usporedba prikaza slike bez korekcije i s korekcijom. Prilikom korekcije se koristi prikaz trokuta omjera kateta 2:1 (*Eyefinity triangle*). Slika se korigira pomicanjem trokuta lijevo ili desno uz pomoć kontrola prikazanih na zaslonu.



Slika 5. Korekcija zbog okvira monitora

AMD-ove grafičke kartice su nešto bolji izbor u slučaju kada sliku prikazujemo na više od tri monitora. Treba voditi računa o tome da tehnologija *AMD Eyefinity* zahtjeva barem jedan kabel s konektorom tipa DP (*DisplayPort*) te maksimalno dva kabela drugih tipova DVI-D (*Digital Visual Interface-Digital*) ili HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*) [18]. Primjerice, ako je na računalo spojeno pet monitora, tri moraju biti spojena preko DP kabela, a ostala dva mogu biti spojena preko DVI-D ili HDMI kabela. Izgled konektora raznih kabela je prikazan na slici 6.

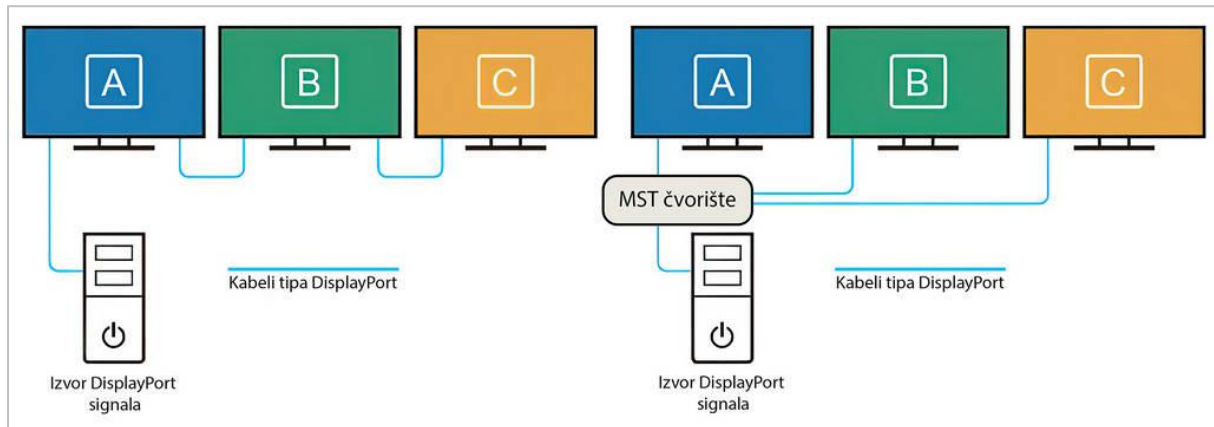


Slika 6. Tipovi konektora [18]

Ponekad grafičke kartice nemaju dovoljno DP konektora pa se u tom slučaju koristi MST čvorište (*Multi-Stream Transport Hub*). Tako se kombinira više video signala u jedan tok (proces poznat kao multipleksiranje) i šalje preko DP kabela na uređaj koji razdvaja signal.

Uređaj za razdvajanje može biti MST čvorište (*hub*) ili niz lančano povezanih (*daisy-chained*) MST monitora [19] kako je prikazano na slici 7.

Monitori koji se mogu lančano povezati su nešto skuplji od monitora koji nemaju tu mogućnost. Upotreba MST čvorišta je jeftinija opcija, ali pri tome treba voditi računa da je potreban jedan DP kabel više i da treba osigurati strujnu utičnicu za napajanje MST čvorišta.



Slika 7. MST čvorište [19]

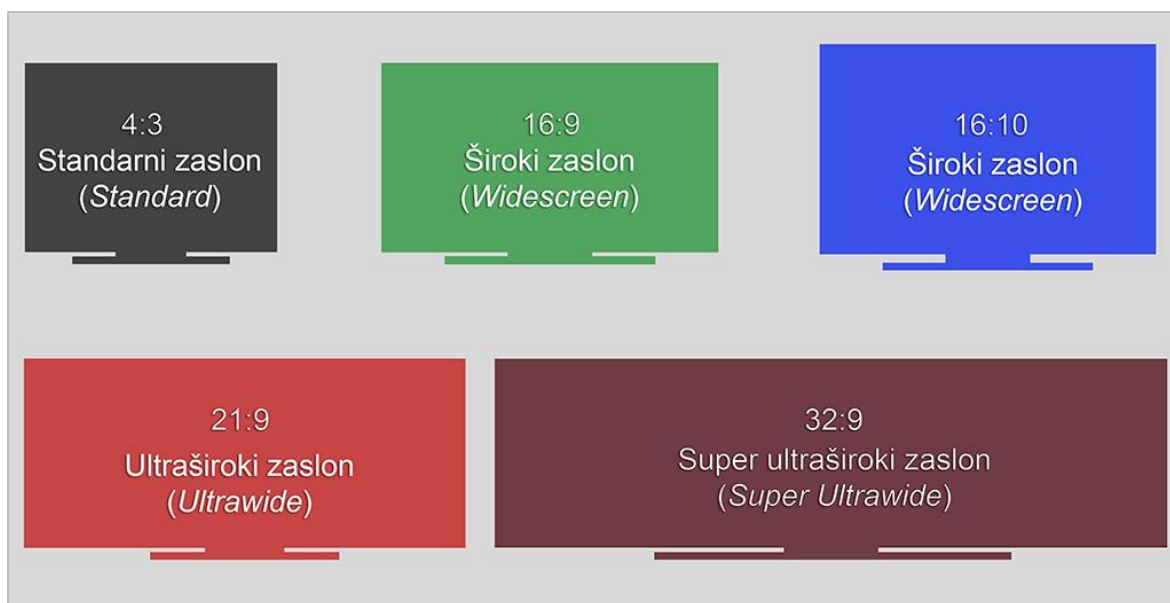
3.2. Prikaz

Prikaz slike koji će se odabrati na simulatorskoj i radnoj poziciji najvećim dijelom određuje izgled simulatora, jer se konzola i ostali sustavi moraju tome prilagoditi. Zbog površine prostorije u koju se planira smjestiti simulator, prikaz na simulatorskoj poziciji preko projektoru nije moguć stoga će se prikazivati preko monitora.

Nekoliko je glavnih parametara koji određuju karakteristike svakog zaslona monitora: omjer stranica (*aspect ratio*), rezolucija, duljina dijagonale i gustoća piksela. Dodatan parametar kod zakrivljenih monitora je zakrivljenost monitora (*monitor curvature*).

3.2.1. Omjer stranica

Omjer stranica se odnosi na omjer vodoravnih i okomitih piksela zaslona monitora. U prošlosti su bili popularni monitori sa zaslonima omjera stranica 4:3, a danas se najviše koriste monitori sa zaslonima omjera stranica 16:9 [20]. Međutim, koriste se i monitori s drugačijim zaslonima, a neki od njih i njihovi nazivi prikazani su na slici 8. [21].



Slika 8. Slikovni prikaz omjera stranica zaslona monitora [21]

U ovom konceptualnom rješenju simulatora će se koristiti monitori sa zaslonima omjera stranica 16:9 jer su najčešći na tržištu.

3.2.2. Rezolucija

Rezolucija se odnosi na broj vodoravnih i vertikalnih piksela na zaslonu monitora. Primjerice, ako je dana rezolucija 1920*1080 piksela to znači da zaslon ima 1920 vodoravnih piksela i 1080 okomitih piksela. Često se rezolucija izražava samo preko broja okomitih piksela, u navedenom slučaju to bi bilo 1080p. Danas, većina zaslona omjera stranica 16:9 koristi tri glavne rezolucije: 1080p, 1440p i 4K. Omjeri stranica u pikselima s nazivima rezolucija se mogu vidjeti u Tablici 1.

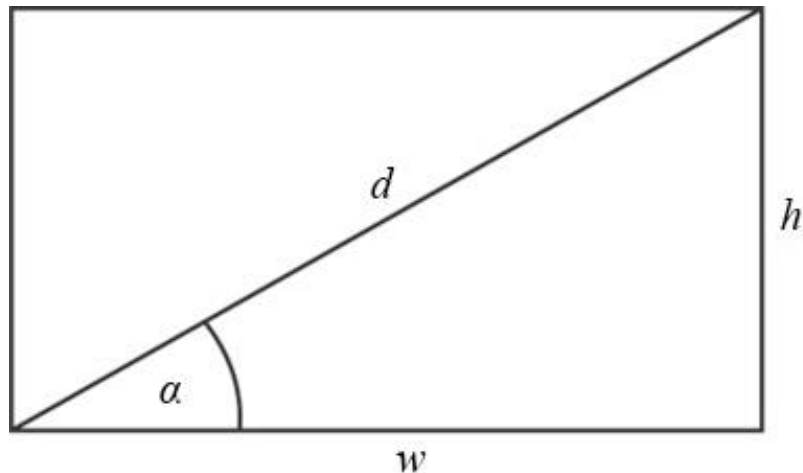
Tablica 1. Rezolucije zaslona monitora

Ime	Alternativno ime	Rezolucija
1080p	Full HD, FHD	1920*1080
1440p	Quad HD, QHD	2560*1440
4k	2160p, Ultra HD, UHD	3840*2160

U Ovom radu će se koristiti monitori sa zaslonima rezolucije 1920*1080 jer su jeftiniji i mogu se koristiti s nešto skromnijim hardverom.

3.2.3. Duljina dijagonale

Veličina monitora se izražava duljinom dijagonale zaslona, obično u inčima. Duljina dijagonale ne određuje dimenzije zaslona nego treba uzeti u obzor i odnos stranica. Da bi se izračunale dimenzije potrebno je koristiti trigonometriju kako je prikazano na slici 9.



Slika 9. Dimenzije zaslona monitora

Omjer stranica i duljina dijagonale zaslona su poznate veličine. Primjerice, pri nabavi monitora omjer stranica zaslona može biti 16:9 ($W:H$), a duljina dijagonale 24 inča (d) dok se kut α računa prema sljedeće navedenoj formuli:

$$\alpha = \cot^{-1} \frac{W}{H}$$

Širina zaslona w se računa prema formuli:

$$w = d * \cos \alpha$$

Visina zaslona h se računa prema formuli:

$$h = d * \sin \alpha$$

Neke uobičajene dimenzije monitora čiji su omjeri stranica zaslona 16:9, 21:9 i 32:9 su prikazane u tablici 2. Uočljivo je da određeni zasloni različitih duljina dijagonala imaju slične visine. Primjerice, zaslon omjera stranica 16:9 i duljine dijagonale 32 inča ima istu visinu kao i zaslon omjera stranica 21:9 i duljine dijagonale 40 inča. Isto vrijedi i za zaslon omjera stranica 32:9 i duljine dijagonale 57 inča. Drugim riječima, iako je navedeni zaslon duljine

dijagonale 57 inča površinom otprilike duplo veći od monitora duljine dijagonale 32 inča oni imaju istu visinu.

Tablica 2. Dimenzije zaslona monitora

W	H	d ["]	α [°]	w [cm]	h [cm]
16	9	22	29,36	48,70	27,40
16	9	24	29,36	53,13	29,89
16	9	27	29,36	59,77	33,62
16	9	32	29,36	70,84	39,85
16	9	37	29,36	81,91	46,07
16	9	40	29,36	88,55	49,81
21	9	27	23,20	63,03	27,01
21	9	32	23,20	74,71	32,02
21	9	34	23,20	79,38	34,02
21	9	40	23,20	93,39	40,02
32	9	49	15,71	119,81	33,70
32	9	57	15,71	139,37	39,20

3.2.4. Gustoća piksela

Gustoća piksela je važan faktor kada se govori o oštrom slike. Oštrina slike je proporcionalna količini piksela po jedinici površine zaslona. Manji zaslon ima veću gustoću piksela od većeg zaslona ako imaju istu rezoluciju. Također, ako se uspoređuju dva zaslona jednakih dimenzija, veću gustoću piksela ima onaj koji ima veću rezoluciju. Gustoća piksela se mjeri jedinicom PPI (*Pixels Per Inch*). PPI se dobije korištenjem pitagorinog teorema koristeći duljine kateta izražene u pikselima i duljinu dijagonale u inčima prema formuli:

$$PPI = \frac{\sqrt{w^2 + h^2}}{d}$$

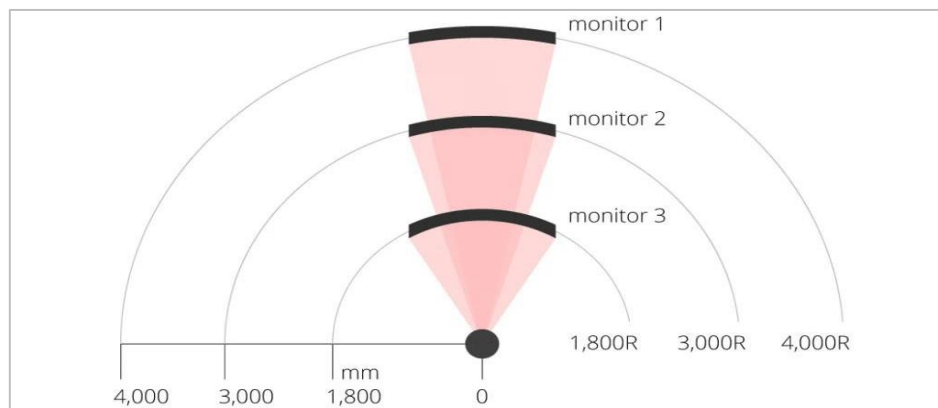
Rezultat se zaokružuje na više [21] kako je prikazano u tablici 3. gdje su izračunate vrijednosti PPI za 27 inčne zaslone rezolucija 1080p, 1440p i 4K.

Tablica 3. PPI

w ["]	h ["]	d ["]	Dijagonalna rezolucija	PPI
1920	1080	27	2202,91	82
2560	1440	27	2937,21	109
3840	2160	27	4405,81	164

3.2.5. Zakrivljenost monitora

Zakrivljenost monitora je vrijednost koja govori u kojoj mjeri je zaslon monitora zakrivljen i izražava se preko brojčane vrijednosti sa sufiksom R. Primjerice, monitor čija je zakrivljenost zaslona označena s 1800R prati luk promjera 1800 milimetara. Uobičajene vrijednosti se kreću od 1800R pa do 4000R kako je prikazano na slici 10. [22].



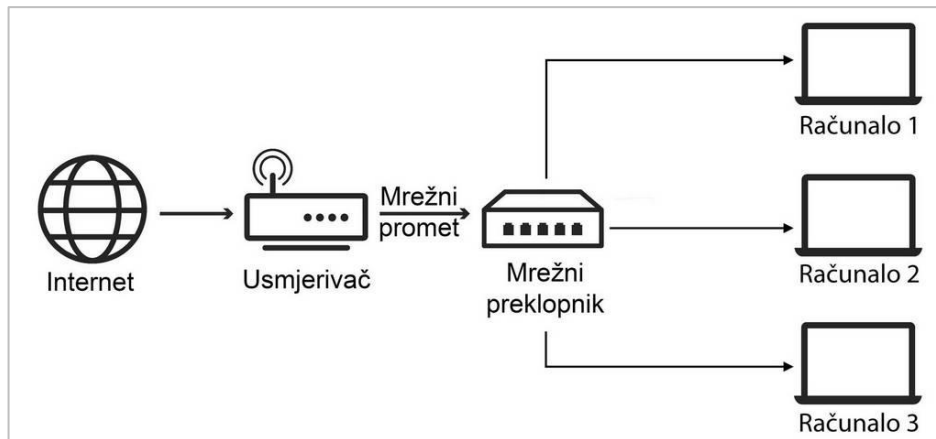
Slika 10. Zakrivljenost monitora [22]

Na zakrivljenim zaslonima neće biti distorzije slike i prikaz će stoga biti prirodniji. Istovremeno su i skuplji od ravnih monitora.

3.3. Mreža

Sustav simulatora mora na određeni način umrežiti svoja računala. To se može postići uz pomoć mrežnog preklopnika (*network switch*) koji povezuje uređaje unutar mreže (lokalne mreže tj. LAN) i prosljeđuje pakete podataka prema navedenim uređajima. Usmjerivač povezuje različite mreže i prosljeđuje podatke među njima [23].

Slika 11. nudi shematski prikaz računalne mreže. Spoj prema usmjerivaču nije potreban i hoće li računala imati vezu prema internetu ovisi o željama naručitelja. Moguće je koristiti i



Slika 11. Shematski prikaz izgleda računalne mreže [23]

postojeću infrastrukturu, ako ona postoji, pa u tom slučaju nije potrebno nabavljati mrežnu opremu. Zbog jednostavnosti u ovom radu je planirano korištenje jednog mrežnog preklopnika.

3.4. Pisač papirnatih stripova

Pisač papirnatih stripova se može ali i ne mora koristiti u simulatoru 9A-SIM. Kada se koristi, stripovi se ispisuju u točno određenom vremenu prije nego li simulirani zrakoplov treba ući u kontroliranu zonu ili startati. Time se postiže veća realnost rada na simulatoru, jer se stripovi na isti način ispisuju i u stvarnosti. Pisač papirnatih stripova nije moguće kupiti bilo gdje, njih proizvodi svega nekoliko firmi u svijetu. Prilikom nabave treba paziti da je pisač



Slika 12. Pisač papirnatih stripova BOCA FSP [24]

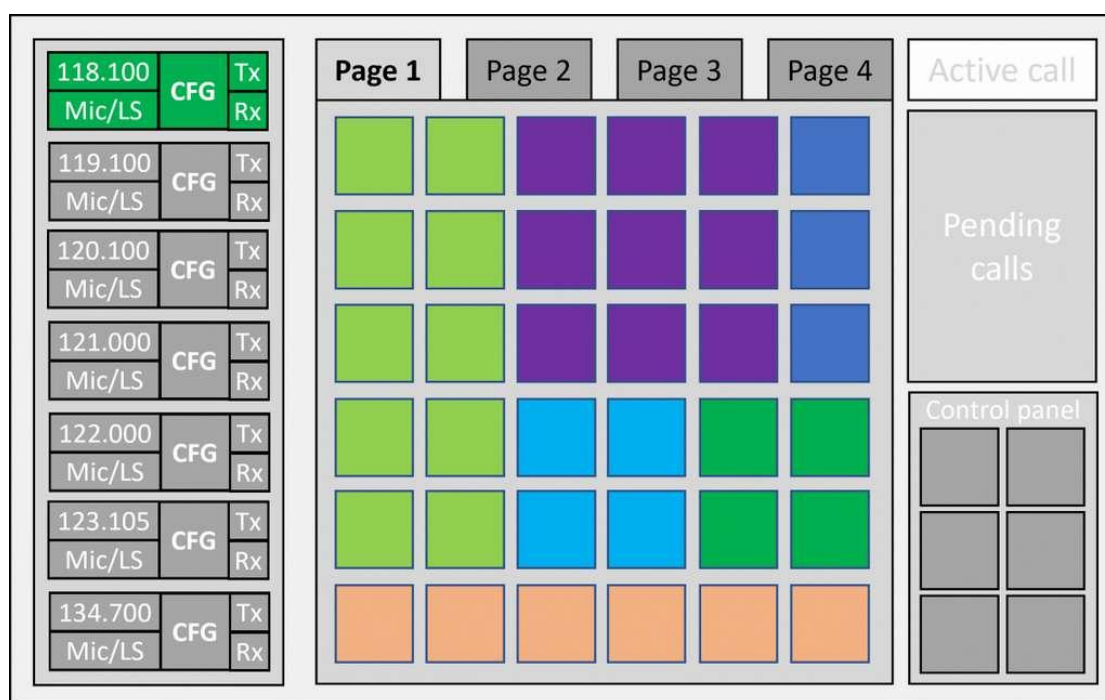
kompatibilan s operativnim sustavom Windows i da postoje odgovarajući upravljački programi (*driveri*).

Simulator 9A-SIM je testiran na printerima firme BOCA. Printeri BOCA nemaju toner nego se stripovi ispisuju na termo-papiru i automatski se režu na odrađenu duljinu, slika 12. [24].

Alternativa pisaču papirnatih stripova je klasični A4 uredski pisač. Stripovi se ispisuju svi zajedno na običnom papiru i onda se ručno izrezuju nožicama ili uredskim rezačem papira. Ako se školovanje provodi na manjem broju zrakoplova onda je i ovo prihvatljiva opcija.

3.5. Komunikacijski sustav

Komunikacijski sustav simulatora je zaseban sustav i sastoji se od sustava: komunikacije sa zrakoplovima, komunikacije sa zemaljskim službama i sustava telefonije. Najbolje rješenje bi bila nabavka sustava glasovne komunikacije tzv. VCS (*Voice Communication System*) po uzoru na sustave koji se koriste u većini kontrola zračne plovidbe. Sustav glasovne komunikacije integrira više sredstava komunikacije u jedan sustav. Uobičajeno se radi o sustavu koji se kontrolira preko zaslona osjetljivog na dodir na kojem se upravlja frekvencijama, telefonijom, raznim postavkama kao i izgledom i rasporedom funkcija ovisno o



Slika 13. Generički prikaz rasporeda funkcija na VCS-u [25]

sektoru koji je trenutno postavljen kao aktivan. Na slici 13. je prikazan jedan od mogućih rasporeda funkcija na zaslonu sustava glasovne komunikacije [25].

Nažalost, radi se o skupoj profesionalnoj opremi koju nije moguće kupiti u trgovinama s računalnom opremom, međutim postoje alternativna rješenja kojima se ovakav sustav može nadomjestiti.

3.5.1. Sustav komunikacije sa zrakoplovima

Sustav komunikacije sa zrakoplovima se koristi za komunikaciju vježbenika sa pseudo-pilotom i može se izvesti na više načina. Jedan od načina je nabavka mrežnog radija (*network radio*). Mrežni radio je uređaj koji izgledom i funkcijom podsjeća na radio stanicu, ali za prijenos signala ne koristi radio valove nego internetsku vezu. Ovisno o uređaju veza se ostvaruje bežično (WiFi ili GSM) ili preko mrežnog kabela (LAN). Mrežni radio imitira poludvosmjernu (*half-duplex*) komunikaciju korištenjem PTT (*Push-To-Talk*) mikrofona. Poludvosmjerna komunikacija se može odvijati u oba smjera ali ne istovremeno. Mrežni radio uobičajeno ima ugrađen zvučnik, a često se može ugraditi i dodatni zvučnik. Na slici 14. lijevo je prikazan jedan primjer mrežnog radija, model TM9 proizvođača „Inrico“ [26].

Mrežni radio je sličan pametnom telefonu, pokreće ga operativni sustav Android putem kojeg se instaliraju aplikacije. Aplikacije „*TeamSpeak*“, ili „*Zello*“ imitiraju radio komunikaciju između dva uređaja.



Slika 14. Mrežni radio „Inrico TM9“ [26] i Motorola T62 [28]

Drugi način je korištenje navedenih aplikacija preko računala na poziciji pseudo-pilota i na radnoj poziciji simulatora. U tom slučaju će biti potrebno instalirati mikrofona s PTT funkcijom i zvučnike na obje pozicije.

3.5.2. Sustav telefonije

Ako se ne koristi VCS, sustav telefonije se najlakše može izvesti korištenjem postojeće telefonske infrastrukture. Potrebno je osigurati po jedan telefon koji ima opciju direktnog biranja broja na pozicijama pseudo-pilota i kontrolora zračnog prometa.

3.5.3. Sustav komunikacije sa zemaljskim službama

Sustav komunikacije sa zemaljskim službama se koristi za komunikaciju između kontrolora zračnog prometa i zemaljskih službi pri čemu se za to koriste radio stanice. Danas na tržištu postoje radio stanice koje koriste građanski opseg frekvencija (CB - *Citizens Band*). Te frekvencije su namijenjene za glasovnu komunikaciju te ih može koristiti svatko i za njihovo korištenje nije potrebna nikakva dozvola [27]. Navedeni uređaji su jeftini i lako nabavljivi, a njihova glavna prednost je što omogućavaju komunikaciju koja je gotovo identična onoj u stvarnim radnim uvjetima. Primjer takvog uređaja je prikazan na slici 14. desno, model T62 proizvođača „Motorola“ [28].

Mana ovog sustava je što su CB frekvencije dostupne svima pa postoji mogućnost da se bilo tko uključi u razgovor. Navedeni uređaj podržava 16 različitih kanala pa se kanal po potrebi može promijeniti.

3.6. Ostala oprema

Osim do sada navedenog hardvera treba voditi računa o nabavi tipkovnica, miševa, kabela, produžnih kabela za struju itd. Iako to u kontroli zračnog prometa nije uobičajeno preporučuje se korištenje bežičnih miševa i tipkovnica kako bi se smanjila količina kabela na radnoj površini. Danas postoje miševi i tipkovnice koji imaju punjive baterije pri čemu jedno punjenje traje i više mjeseci, a s jednim mišem i tipkovnicom moguće je upravljati s više računala istovremeno. Na taj način se smanjuje količina kabela i uređaja na poziciji kontrolora zračnog prometa.

4. Radne pozicije kontrolora zračnog prometa i pseudo-pilota

Hardver koji je opisan u prethodnim poglavljima potrebno je složiti na način kako bi se dobile funkcionalne radne pozicije. Konačan izgled pozicija ovisi o željama naručitelja, a u ovom poglavlju će se prikazati jedna od mogućih izvedbi. Kako bi se pozicije mogle dovršiti bit će potrebno izraditi ili kupiti namještaj, poput stolova, uredskih stolica i ostalog. Treba naglasiti sa su potrebni stolovi nestandardnih dimenzija kakvih nema u trgovinama namještaja pa bi bilo bolje naručiti ih kod lokalnih stolara.

4.1. Pozicija pseudo-pilota

Na slici 15. prikazan je prikazan predložen izgled pozicije pseudo-pilota kako je zamišljen na simulatoru 9A-SIM. Na ovoj poziciji je potrebno jedno računalo, 3 monitora duljine dijagonale od 22 do 24 inča, miš, tipkovnica, mrežni radio, CB radio i telefon te se preporuča korištenje bežične tipkovnice i bežičnog miša.



Slika 15. Pozicija pseudo-pilota

Pozicija pseudo-pilota iziskuje jedan stol dimenzija 200*70 i visine 77 cm i barem jednu uredsku stolicu. Stol sa zadnje strane ima pretinac koji služi kao spremište za kabele, punjače, i ostalu opremu kako se može vidjeti na presjeku stola na slici 16.

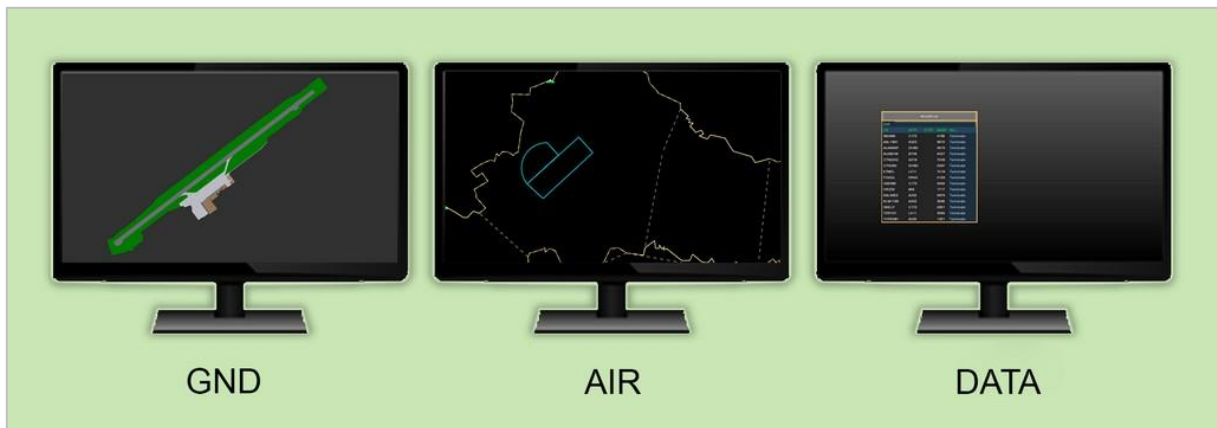


Slika 16. Presjek stola na poziciji pseudo-pilota

Pretinac je koristan u slučaju servisiranja pozicije jer tada neće biti potrebno pomicati stol koji može postati težak kada se na njega postavi sva oprema. Isti princip vrijedi i za stol na poziciji kontrolora zračnog prometa. Na stolu treba predvidjeti dovoljan broj otvora kroz koje se mogu provlačiti kabele kako bi pozicija bila što urednija. Detaljni nacrti stola pseudo-pilota se mogu se vidjeti u priložima 1., 2. i 3.

Na poziciji pseudo-pilota se nalaze tri monitora: GND, AIR i DATA. Na monitoru GND se upravlja zrakoplovima na zemlji, na monitoru AIR zrakoplovima u zraku, a na monitoru DATA se nalazi tablica na kojoj pilot može očitati neke važne podatke poput slota (CTOT), predviđenog vremena ulaska u sektor, a također može, ako je potrebno, ukloniti zrakoplov iz vježbe. Raspored monitora na poziciji pseudo-pilota prikazan je na slici 17.

Pseudo-pilot upravlja zrakoplovima za vrijeme izvođenja vježbe i za to se uglavnom koristi miš, a tipkovnica se koristi samo u slučaju kada se zrakoplovu daje neplanirana ruta, npr. točka koja nije bila u planu leta.



Slika 17. Raspored monitora na poziciji pseudo-pilota

Zrakoplovima se upravlja putem radarskih oznaka slično kako to rade kontrolori zračnog prometa u stvarnom poslu. Oznake su povezane s kružićima koji predstavljaju zrakoplove. Primjeri radarskih oznaka mogu se vidjeti na slici 18., lijevo na monitoru GND, a desno na monitoru AIR.



Slika 18. Izgled radarskih oznaka na monitorima GND i AIR

Navedeni način upravljanja je iznimno jednostavan za obuku pseudo-pilota i najčešće su potrebna do dva dana obuke, naravno to ovisi i o kompleksnosti samih vježbi.

4.2. Pozicija kontrolora zračnog prometa

Na slici 19. prikazana je jedna od mogućih konfiguracija pozicije kontrolora zračnog prometa koja je kompatibilna sa simulatorom 9A-SIM.



Slika 19. Izgled pozicije kontrolora zračnog prometa

Navedena pozicija iziskuje: dva računala, tri monitora na radnoj poziciji duljine dijagonale od 22-24 inča, pet monitora na simulatorskoj poziciji duljine dijagonale 32 inča, pisac papirnatih stripova (opcionalno), miš, tipkovnica, mrežni radio, CB radio i telefon. Kao i

na pilotskoj poziciji preporuča se korištenje bežičnog miša i tipkovnice. Bilo bi dobro odabrati modele s kojim se može upravljati s više računala istovremeno, na taj način bi pozicija kontrolora zračnog prometa bila urednija.

Također, na poziciji kontrolora zračnog prometa potreban je jedan stol dimenzija 340*100 cm i visine 77 cm. Stol sa zadnje strane ima tri pretinca koji služe kao spremišta za kabele, punjače i ostalu opremu, slično kao i na poziciji pseudo-pilota. Potrebno je unaprijed planirati dovoljno otvora za kabele kako bi pozicija bila što urednija i kako bi naknadno održavanje bilo što lakše. Stol s opremom će biti dosta težak i biti će ga teško naknadno pomicati. Stoga je odabran ovakav dizajn kako bi se omogućio jednostavan pristup svim komponentama sustava s prednje strane.

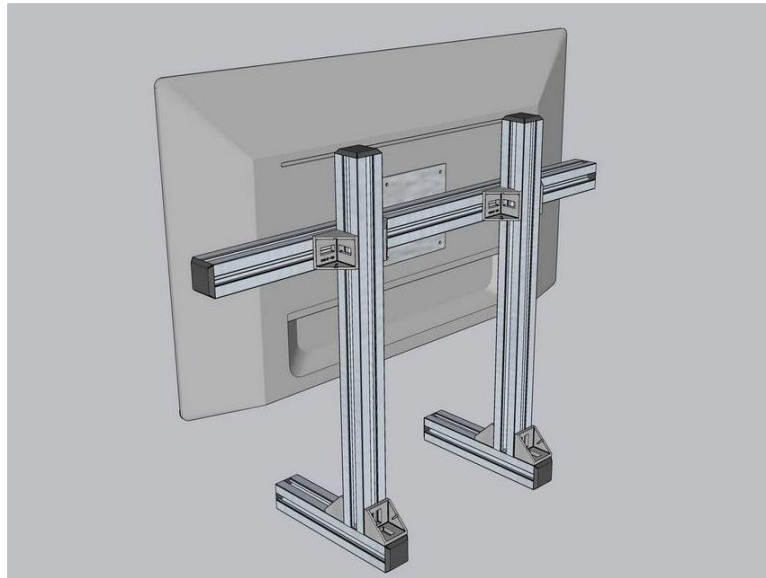
Osim stola treba izraditi držač stripova i nosač za tri monitora na radnoj poziciji. Ti su monitori zakrenuti pod kutom od 45° kako bi što manje zaklanjali pogled na monitore na simulatorskoj poziciji. Konačan izgled nosača monitora na radnoj poziciji će ovisiti o odabranom modelu monitora. Većina monitora je kompatibilna s VESA MIS-D standardom nosača monitora. Rupe za montažu kod navedenih monitora nalaze se na stražnjoj strani te imaju vodoravnu i okomitu udaljenost od 75 ili 100 mm što odgovara VESA standardu od 75*75 ili 100*100 kao što je pokazano u prilogu 14. Potrebno je koristiti M4 vijke za učvršćivanje monitora na nosač [29].

Prije izgradnje nosača za monitore treba provjeriti kakav je VESA standard odabranog monitora te kakav mu je oblik. Detaljni nacrti stola, nosača monitora i držača stripova na poziciji kontrolora zračnog prometa dani su u prilogima od 4. do 11. Strip koji je korišten u ovom modelu je dimenzija 200*300 mm, a na nosač stripova može stati po deset stripova u svakom stupcu.

Na simulatorskoj poziciji se nalazi pet monitora širine dijagonale 32 inča. Ti monitori moraju biti izdignuti iznad monitora na radnoj poziciji. Kako bi se to postiglo potrebno je izraditi nosače za njih jer tvornički nosači neće odgovarati. Monitori moraju biti na visini većoj od tvornički predviđene i moraju biti dugotrajno stabilni te se ne smiju pomicati po bilo kojoj osi. Monitori koji nisu u liniji i samim time su nagnuti učinit će da pogled sa simulatorske pozicije ne izgleda prirodno.

Za izradu nosača monitora se preporuča korištenje ekstrudiranih aluminijski profila 4040 U10. Profili se naručuju po metru duljine, a za izradu svih nosača je potrebno 10,75 metara profila. Nacrt predloženog profila je prikazan u prilogu 12.

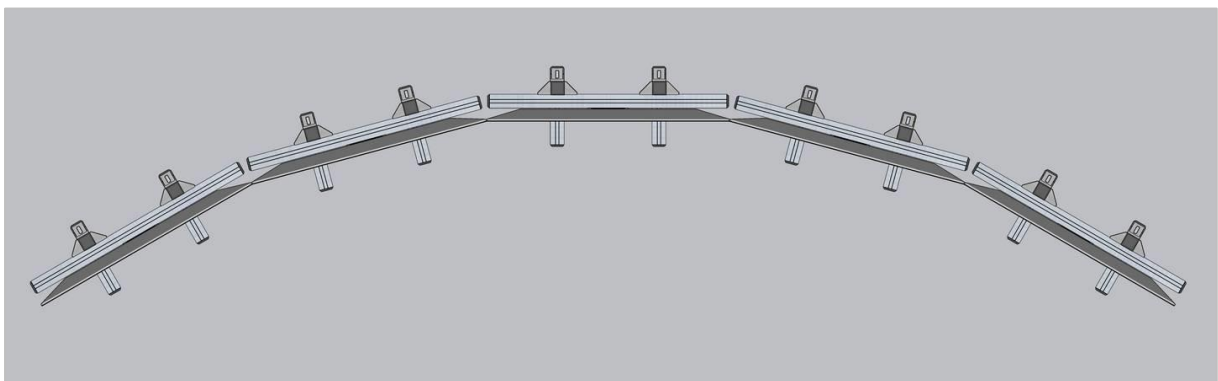
Također, osim navedenih dijelova potrebno je izraditi VESA nosač koji se može učvrstiti na aluminijski profil 4040. Konačan izgled nosača s monitorom se može vidjeti na slici 20., a detaljni nacrti nalaze se u prilogima 13. i 14.



Slika 20. Nosač s instaliranim monitorom

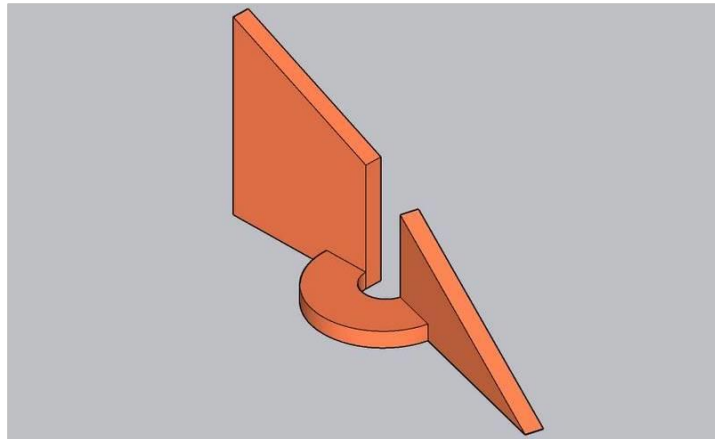
Treba naglasiti da ovaj prijedlog nosača nije konačan i kako će možda trebati izraditi testnu verziju i možda doraditi koncept. Izrada nosača je iznimno bitan dio ovog konceptualnog rješenja i treba mu posvetiti posebnu pažnju jer će doživljaj rada na poziciji kontrolora zračnog prometa uvelike ovisiti o kvaliteti izrade. Također, simulator će se možda koristiti i više od desetljeća pa je potrebno osigurati kvalitetnu izradu svih mehaničkih komponenti.

Nakon što se izrade svi nosači monitora potrebno ih je pravilno orijentirati. Gledano s desna na lijevo svaki susjedni monitor je zakrenut za 15 stupnjeva čime se dobiva konfiguracija koja je prikazana na slici 21.



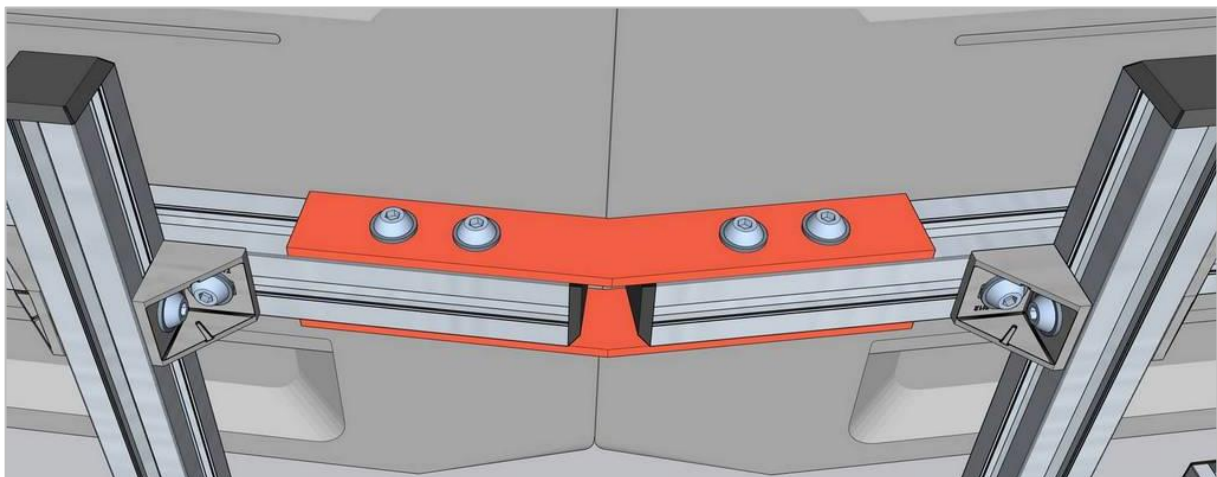
Slika 21. Orijentacija monitora na simulatorskoj poziciji

Kako bi se olakšalo postavljanje konfiguracije monitora može se na 3D printeru izraditi alat za pravilnu orijentaciju monitora. Radi se o prelomljenom pravokutnom trokutu omjera kateta 2:1 čiji je jedan prelomljeni dio zarotiran za 15 stupnjeva po okomitoj osi kao što je prikazano na slici 22. Navedeni trokut (*Eyefinity triangle*) je već prikazan na slici 5. u poglavlju 3.1. Ovaj alat je koristan kada se korigira slika zbog okvira monitora (*bezel correction*).



Slika 22. Alat za pravilnu orijentaciju monitora

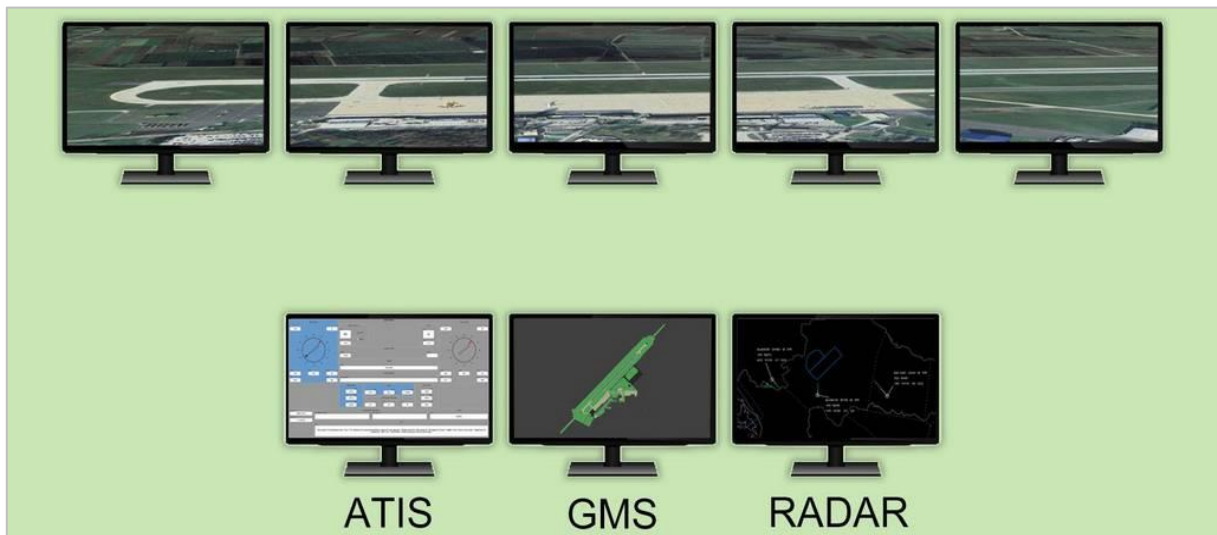
Kako bi konfiguracija bila dugotrajno stabilna potrebno je nosače monitora povezati u jednu cjelinu. Za to će biti potrebno izraditi kutnike koji će osigurati dugotrajnu stabilnost nosača. Kutnik je prikazan na slici 23., a nacrt se može vidjeti u prilogu 15. Ukupno će trebati izraditi 8 kutnika, a za njihovo spajanje još su potrebna 32 vijka M10, 32 podloška i 32 T-matice.



Slika 23. Kutnik za nosače monitora na simulatorskoj poziciji

Konačan raspored monitora na poziciji kontrolora zračnog prometa se može vidjeti na slici 24. Na simulatorskoj poziciji se prikazuje pogled s tornja ili s neke druge odabrane točke. Na radnoj poziciji se nalaze monitori: ATIS (*Automatic Terminal Information Service*), GMS

(*Ground Movement Surveillance*) i RADAR. Monitor ATIS prikazuje meteorološke podatke te podatke o stanju uzletno sletne staze. Na monitoru GMS se prikazuju položaji zrakoplova na zemlji dok se na monitoru RADAR mogu vidjeti zrakoplovi u zraku. Prikazi na monitorima GMS i RADAR se mogu isključiti ako je potrebno.



Slika 24. Raspored monitora na poziciji kontrolora zračnog prometa

Za pomicanje pogleda i korištenje funkcije dalekozora se koristi miš na isti način kao i u FPS (*First-Person Shooter*) računalnim igrama. Riječ je o vrsti igre u kojoj igrač kontroliraju svoj lik iz prvog lica odnosno igrač gleda kroz oči lika koji se nalazi u igri. Pomicanjem miša lijevo ili desno pogled se rotira po okomitoj osi (*yaw*), a pomicanjem miša gore ili dolje pogled se rotira po vodoravnoj osi (*pitch*).

4.3. Procjena troškova nabave

U ovom poglavlju će biti dana procjena troškova nabave svih dijelova koji su potrebni za izradu simulatora. Cijena su date u eurima s uključenim porezom na dodanu vrijednost i kao takve su bile aktualne sredinom kolovoza 2024. godine. Za neke dijelove nije bilo moguće doznati cijenu pa su date procjene. To se prije svega odnosi na izradu namještaja i izradu nekih bravarskih dijelova potrebnih za nosače monitora. Međutim, ove procjene se odnose na manji dio troškova. Troškovi su podijeljeni na troškove: računalne tehnike, izrade alu-profilnih dijelova, elektroničkih uređaja i troškove izrade namještaja. Gdje je bilo moguće dan je točan model opreme koji se nabavlja.

Tablica 4. Troškovi nabave računalne tehnike

Računalna tehnika	Jed. cijena	Kom.	Cijena
Matična ploča - <i>MSI Desktop PRO B650M-B</i>	97,25	3	291,75
Procesor - <i>Ryzen 5 7600</i>	199,00	3	597,00
Hladnjak - <i>Thermalright Peerless Assassin 120 SE</i>	46,00	3	138,00
Memorija - <i>32GB, G.Skill Trident Z5</i>	92,69	3	278,07
Grafička kartica - <i>Radeon RX 7800 XT</i>	580,84	1	580,84
Grafička kartica - <i>Radeon RX 7600</i>	326,96	2	653,92
Disk - <i>Samsung 250GB 980</i>	45,68	3	137,04
Napajanje - <i>Be quiet! System Power 9 700W</i>	126,25	3	378,75
Kućište - <i>Fractal Design Pop Mini Silent</i>	88,19	3	264,57
Monitor - <i>LG 32ML600M-B</i>	164,90	5	824,50
Monitor - <i>Fujitsu E22-8 TS Pro</i>	71,99	6	431,94
MST čvorište - <i>Lindy 38430</i>	63,99	1	63,99
Miš i tipkovnica - <i>Logitech MX Keys S Combo</i>	158,61	2	317,22
Kabeli i ostali sitni materijal (procjena)			150,00
Ukupno			5107,59

Tablica 5. Troškovi nabave elektroničkih uređaja

Elektronički uređaji	Jed. cijena	kom	cijena
Pisač papirnatih stripova - <i>BOCA Lemur-FSP</i>	3262,50	1	3262,50
Digitalni radio - <i>Inrico TM9</i>	348,59	1	348,59
Radiostanica - <i>Motorola T62</i>	69,99	1	69,99
Ukupno			3681,08

Tablica 6. Troškovi nabave alu-profilnih dijelova

Alu-profilni dijelovi	Jed. cijena	kom	cijena
ALU profil - 40x40 U10 (u metrima)	12,59	11	138,49
Poklopci za profile - PA 40x40	0,66	40	26,40
Kutni spojevi - ALU 40x40	1,56	40	62,40
Poklopci za kutne spojeve	0,62	40	24,80
Vijak - M8x14	0,18	112	20,16
T-matica - U10 M8	0,56	112	62,72
Izrada ostalih dijelova (procjena)			200,00
Ukupno			531,82

Tablica 7. Troškovi nabave namještaja

Namještaj	Jed. cijena	kom	cijena
Izrada konzola (procjena)			700,00
Uredske stolice	50,00	4	200,00
Ukupno			900,00

Ukupna cijena svih komponenti je 10.220,49 eura. Naravno, mogući su i dodati troškovi koje u ovom trenutku nije moguće predvidjeti, poput troškova dostave i sl. Neke uštede su moguće primjerice kod nabave računalne opreme ili nabave pisača papirnatih stripova.

5. Izrada zračnog prostora i vježbi

Pojam zračnog prostora unutar sustava simulatora obuhvaća sve 3D modele, 2D mape i systemske datoteke koje je potrebno izraditi kako bi simulator pravilno funkcionirao. Izrada 3D modela terena, zgrada i zrakoplova je već opisana u završnom radu „Nadogradnja simulatora 3DAD za aerodromsku kontrolu zračnog prometa“ [30] te neće biti obuhvaćena ovim radom. 2D mape se koriste za prikaz dvodimenzionalnih objekata na raznim monitorima, npr. konture obale ili granice sektora na radarskim monitorima, a systemske datoteke definiraju sve parametre koji određuju ponašanje zrakoplova i vozila, rute koje trebaju pratiti u zraku ili na zemlji, točke i navigacijska sredstva, vježbe itd.

2D mape i systemske datoteke se u simulatoru 9A-SIM definiraju unutar XML (*Extensible Markup Language*) datoteka. XML je proširivi označni računalni jezik koji pruža pravila za definiranje bilo kojih podataka putem raznih oznaka i sličan je drugim označnim jezicima poput HTML-a. XML je osmišljen za spremanje i prijenos podataka, dok je HTML osmišljen za prikaz podataka na zaslonu. Označni simboli se koriste kako bi se pružilo više informacija o podacima. Važno je naglasiti XML ne izvodi nikakve računalne operacije pa je potrebno koristiti neki drugi softver koji će koristiti te podatke.

5.1. XML deklaracija

Za razliku od HTML-a, XML u principu nema unaprijed definirane oznake već ih programer sam stvara ovisno o potrebi. Kako bi se označio početak XML datoteke, u prvoj liniji se mora nalaziti XML deklaracija „`<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>`“. XML deklaracija nije oznaka već se u njoj unose meta podaci o XML datoteci, u ovom slučaju verzija XML-a i vrsta kodiranja.

5.2. XML elementi

Sve ostale oznake se nazivaju XML elementi, a svaki element može imati sljedeće značajke: tekst, attribute, ostale elemente ili kombinacije svega navedenog. Primjeri nekih XML elemenata se mogu vidjeti na slici 25.

```

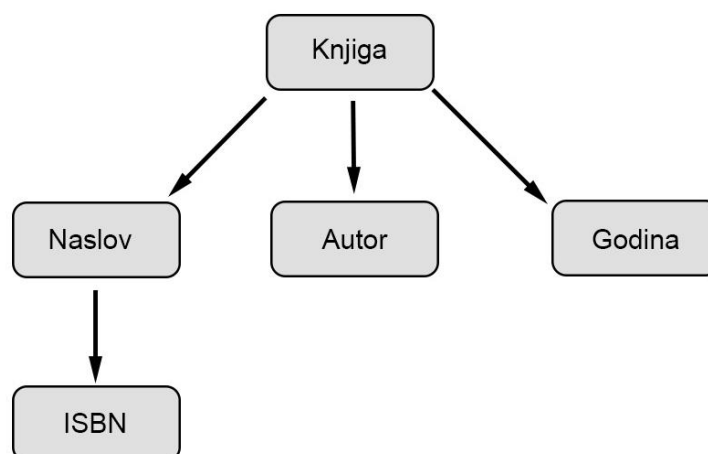
1 | <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 |
3 | =<Knjiga>
4 | =  <Naslov>Nadogradnja simulatora 3DAD...
5 |   <ISBN broj="1234567890123"></ISBN>
6 | </Naslov>
7 | <Autor>Željko Lipanović</Autor>
8 | <Godina>2021.</Godina>
9 | </Knjiga>
10 |
11 | =<Knjiga>
12 | =  <Naslov>Konceptualno rješenje 3D toranjskog simulatora
13 |   <ISBN broj="2345678901234"></ISBN>
14 | </Naslov>
15 | <Autor>Željko Lipanović</Autor>
16 | <Godina>2024.</Godina>
17 | </Knjiga>

```

Slika 25. Primjer XML elemenata

Sve oznake imaju istu sintaksu za početak „<IME OZNAKE>“ te sintaksu za završetak „</IME OZNAKE>“, a unutar oznake se dalje mogu nalaziti tekst ili atributi. Glavni element u gornjem primjeru je <Knjiga> </Knjiga>, a ta oznaka ima ugniježdene oznake: <Naslov>, <Autor> i <Godina>. Oznaka <Naslov> ima još i ugniježdenu oznaku <ISBN> unutar koje se nalazi atribut „broj“ preko kojeg se elementu ISBN pridaje određena vrijednost. Svaka vrijednost pojedinog atributa mora biti unutar navodnika.

Na ovaj način se dobilo XML stablo čija se struktura može vidjeti na slici 26.



Slika 26. Struktura XML stabla

5.3. XML komentari

Ukoliko je potrebno zbog lakšeg snalaženja u XML datoteci se mogu unositi komentari sa sljedećom sintaksom „**<!--OVO JE KOMENTAR -->**“. Treba obratiti pažnju na to da unutar komentara se ne smiju nalaziti dva znaka minus za redom. „**<!--OVO NIJE ISPRAVAN -- KOMENTAR -->**“ [31].

Na osnovu podataka u navedenoj datoteci može se izraditi softver koji će upravljati bazom knjiga, pa će biti moguće ispisati sve knjige određenog autora te sve knjige objavljene u određenoj godini ili se mogu unositi nove knjige u bazu podataka.

5.4. Izrada mapa

Unutar simulatora 9A-SIM sve 2D mape se unose unutar XML datoteka prateći sintaksu koja je prikazana na slici 27. Ako postoji više različitih mapa, npr. mapa kontroliranih zona ili mapa granica terminala, onda će svaku od njih biti potrebno spremiti u posebnu XML datoteku.

```
1 <?xml version="1.0"?>
2 <Map material="Simulator/LightGrey" technique="solid">
3   <MapPart name="Coastline">
4     <Segment type="lines">
5       <Coordinate>460624N 0194922E</Coordinate>
6       <Coordinate>460617N 0194933E</Coordinate>
7       <Coordinate>460608N 0194945E</Coordinate>
8       <Coordinate>460557N 0194954E</Coordinate>
9       <Coordinate>460542N 0194957E</Coordinate>
10      <Coordinate>460530N 0194949E</Coordinate>
11      <Coordinate>460624N 0194922E</Coordinate>
12    </Segment>
13  </MapPart>
14 </Map>
```

Slika 27. Sintaksa za izradu 2D mapa

U navedenom primjeru radi se o mapi *Coastline.xml* s kojom se vektorski iscrtava obalna linija, državne granice i drugi geografski elementi ovisno o potrebi. Unutar oznake **<Map>** se nalaze atributi *material* i *technique*. Atribut *material* određuje boju linije koja će se iscrtavati u određenoj mapi, a atribut *technique* određuje vrstu linije. Atribut *material* može imati vrijednosti: *Red*, *Green*, *Blue*, *Yellow*, *Orange*, *White*, *LightGrey*, *Grey* i *DarkGrey*

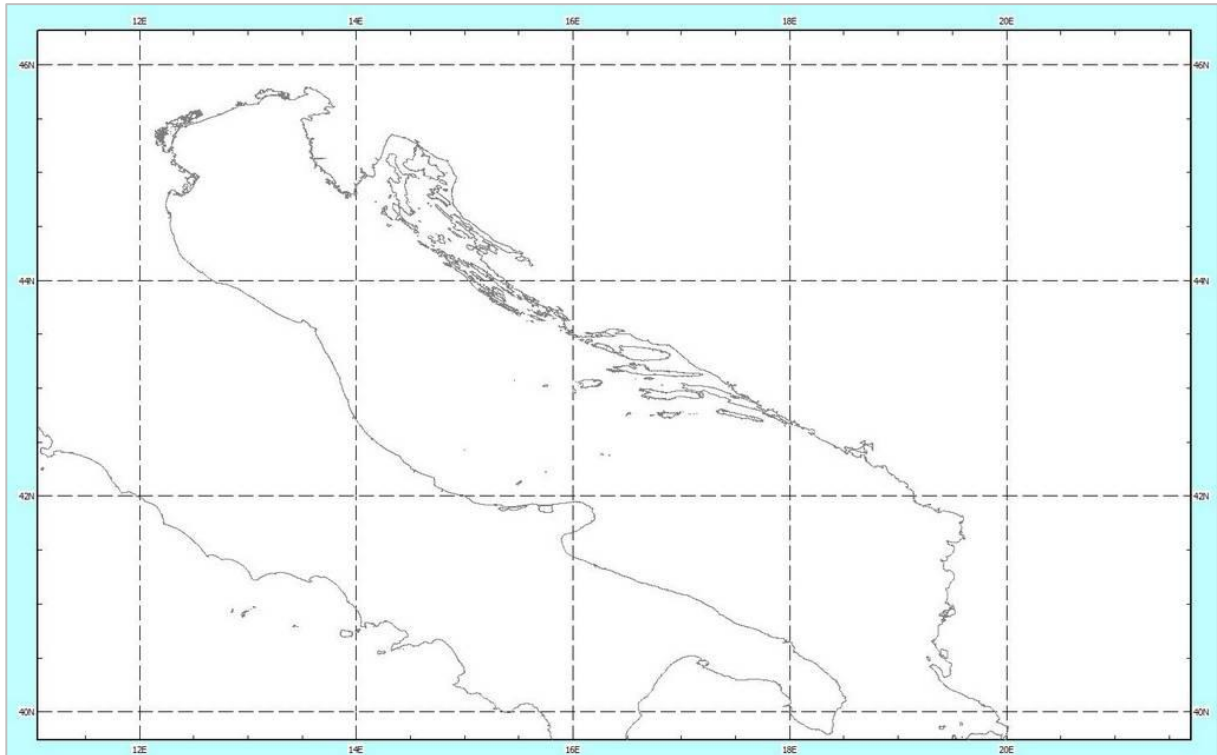
(crvena zelena, plava, žuta, narančasta, bijela, svijetlo siva, siva i tamnosiva), a atribut *technique*: *solid* i *dashed* (puna i iscrtkana crta).

Iduća ugniježdena oznaka je **<MapPart>** kojoj je pridružen atribut *name*. S tim atributom se određuje ime segmenata linija koje se unose unutar iduće oznake naziva **<Segment>** kojoj je pridružen atribut *type*. Taj atribut može imati vrijednosti *line*, *arc*, *circle* ili *rectangle* (crta, luk, kružnica i četverokut) i ovisno o odabranom tipu atributa biti će potrebno unijeti određen niz koordinata u idućoj ugniježdenoj oznaci **<coordinate>** s kojom se unosi pojedina koordinata. Ako je za atribut *type* odabrana vrijednost *line* u oznaci **<coordinate>** se može unijeti neograničen broj koordinata preko kojih će se iscrtati jedna neprekinuta linija. U slučaju prikazanom na slici 30. radi se o zatvorenoj liniji ili otoku zato jer su prva i posljednja koordinata jednake. Ako je za atribut *type* odabrana vrijednost *arc* onda je za koordinate potrebno unijeti tri točke koje redom određuju početak luka, središte luka i završnu točku luka. Ako je atribut *type* poprimio vrijednost *circle* onda je za koordinate potrebno unijeti dvije koordinate koje određuju središte i radijus kružnice. Atribut *type* može imati još i vrijednost *rectangle* i u tom slučaju je potrebno unijeti četiri koordinate kojima se određuje četverokut. Isti rezultat se može postići i s odabirom atributa *line*, ali u slučaju odabira vrijednosti atributa *rectangle* četverokut će biti ispunjen bojom koja je zadana atributom *material*.

Podaci i koordinate koji su vezani za određene FIR-ove pout točaka ili granica sektora i zona mogu se pronaći u eAIP izdanjima na internetskim stranicama pružatelja usluga u zračnoj plovidbi. Koordinate obalne linije se mogu dobiti korištenjem softvera *GEODAS Coastline Extractor* koji se može besplatno preuzeti na stranicama NOAA-e (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) [32].

Najprije je potrebno preuzeti paket podataka u kojem se nalaze koordinate obalne linije u raznim rezolucijama, a zatim u aplikaciji odabrati područje interesa. Treba obratiti pažnju na to da obalna linija, u slučaju visoke rezolucije, može rezultirati ogromnim brojem koordinata, npr. 150.000 linija koordinata što može usporiti rad simulatora ovisno o tome koji se hardver koristi. Kvalitetna obalna linija Jadranskog mora može se dobiti s otprilike 20.000 linija koordinata. Korištenjem istog softvera mogu se dobiti i obrisi jezera, rijeka, granica država itd. Primjer obalne linije Jadranskog mora može se vidjeti na slici 28.

Ako je potrebno granice se mogu nacrtati i u aplikacijama poput *Google Earth* te se zatim izvesti kao *.kmz* datoteke. Te datoteke se mogu otvoriti u bilo kojem uređivaču teksta i iz njih se mogu dobiti koordinate. U većini slučajeva će koordinate biti prikazane kao decimalni



Slika 28. GEODAS Coastline Extractor

stupnjevi, a u nekim slučajevima će ih trebati pretvoriti u format sa stupnjevima, minutama i sekundama. U publikacijama poput AIP-a koordinate su prikazane sa šest znamenki za geografsku širinu i sedam znamenki za geografsku dužinu. Transformacija se može jednostavno odraditi korištenjem *Microsoft Excela* i uređivača teksta poput *Notepada++*.

5.5. Unos navigacijskih točaka

Unutar simulatora 9A-SIM navigacijske točke se unose u datoteci *points.xml* korištenjem sintakse prikazane na slici 29.

```

1  <?xml version="1.0"?>
2
3  =<Airport name="LDSP">
4
5      <item name="A3" coord="43 40 49.0N;015 55 02.0E" type="VFR"/>
6      <item name="03" coord="43 26 31.0N;016 41 49.0E" type="VFR|CTR_ENTRY"/>
7      <item name="OKLAX" coord="43 52 03.0N;016 03 34.0E" type="WPT"/>
8      <item name="ROTAR" coord="45 15 46.0N;012 59 44.0E" type="WPT|FIR_BOUNDARY"/>
9      <item name="TORPO" coord="43 33 51.0N;014 25 29.0E" type="WPT|FIR_BOUNDARY|SID|STAR"/>
10     <item name="DBK" coord="42 33 13.82N;018 16 38.76E" type="BEACON"/>
11     <item name="EDDB" coord="52 22 48.0N;013 31 21.0E" type="AIRPORT"/>
12     <item name="LDSP_FAF23" coord="43 25 11.4N;016 15 36.1E" type="PROCEDURE"/>
13     <item name="LDSP05BASE" coord="43 31 55.2036N;016 17 07.8102E" type="PROCEDURE|STC"/>
14
15 </Airport>

```

Slika 29. Primjeri sintakse za unos točaka

Sve točke na gore navedenoj slici vezane su za određeni aerodrom, u gornjem slučaju LDSP, a to se postiže korištenjem oznake <Airport name =“LDSP“>. Sve točke se unose unutar oznake <item> te uz pomoć atributa *name*, *coord* i *type*. Atributom *name* se određuje ime točke i to ime mora biti jedinstveno. Preko atributa *coord* se za određenu točku unosi geografska koordinata, a atributom *type* se određuje vrsta točke. Vrste točaka mogu biti: *VFR*, *WPT*, *CTR_ENTRY*, *FIR_BOUNDARY*, *SID*, *STAR*, *BEACON*, *AIRPORT*, *PROCEDURE* i *STC*, njihova značenja se mogu vidjeti u tablici 8.

Tablica 8. Vrste točaka

VFR	točke koje koriste zrakoplovi koji lete prema pravilima vizualnog letenja
WPT	točke koje koriste zrakoplovi koji lete prema pravilima instrumentalnog letenja
CTR_ENTRY	točke tipa VFR preko kojih VFR zrakoplovi ulaze u kontroliranu zonu
FIR_BOUNDARY	točke tipa WPT koje se ujedno nalaze i na granici FIR-a
SID	točka koja se koristi kao dio standardnog instrumentalnog odlaska
STAR	točka koja se koristi kao dio standardnog instrumentalnog dolaska
BEACON	bilo koje navigacijsko sredstvo
AIRPORT	točke kojima se predstavljaju drugi aerodromi
PROCEDURE	točke koje su dio neke procedure poput vizualnog prilaza ili ILS prilaza
STC	točke kojim se označavaju početci dijelova aerodromskog prometnog kruga, npr. prva točka osnovnog kraka itd.

Točke mogu istovremeno imati više atributa *type* pa je u tom slučaju attribute potrebno razdvojiti uspravnom crtom | (ispisuje se tako da se pritisne tipka alt i upiše broj 124 na numeričkom dijelu tipkovnice) npr. **VFR|CTR_ENTRY**.

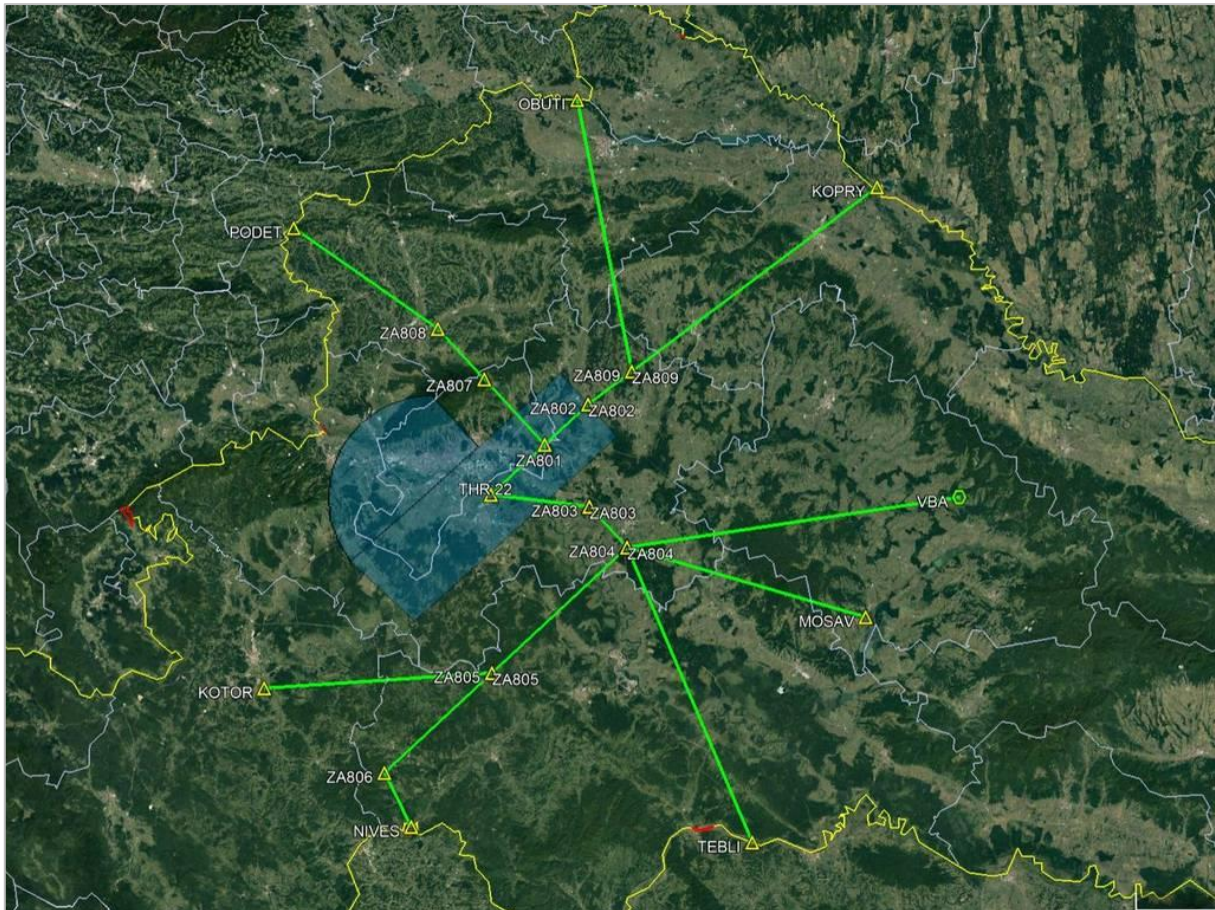
5.6. Izrada odlaznih i dolaznih instrumentalnih procedura

Sve odlazne i dolazne instrumentalne procedure se definiraju unutar datoteke *procedures.xml*. Prije početka unošenja procedura u datoteku potrebno je definirati sve točke koje će se koristiti u procedurama te sve točke na granicama FIR-a. Simulator 9A-SIM automatski odabire odlaznu proceduru (SID) te nakon nje izlaznu točku na granici FIR-a na osnovu odredišta danog u planu leta. Unos procedura standardnih instrumentalnih odlazaka i dolazaka prati identičnu sintaksu. Primjer se može vidjeti na slici 30. gdje je dan primjer za SID proceduru OBUT11U.

```
1
2 = <procedure name="OBUT11U" type="sid" fix="OBUTI" default="true">
3 = <segment name="ZA802" showInList="true">
4   <description value="Direct ZA802" />
5   <trigger_condition>position/h-sl-ft gt 50</trigger_condition>
6   <finish_condition>position/h-sl-ft gt 500</finish_condition>
7   <set name="autopilot/heading-acquire" value="-1" />
8   <set name="guidance/target_wp_latitude_rad" property="ZA802_lat_rad" />
9   <set name="guidance/target_wp_longitude_rad" property="ZA802_lon_rad" />
10  <set_finished name="gui/remove_point" value="1" />
11 </segment>
12 = <segment name="ZA809" sequence="1" showInList="true">
13   <description value="Direct ZA809" />
14   <finish_condition>guidance/passed-point eq 1.0</finish_condition>
15   <set name="autopilot/heading-acquire" value="-1" />
16   <set name="guidance/target_wp_latitude_rad" property="ZA809_lat_rad" />
17   <set name="guidance/target_wp_longitude_rad" property="ZA809_lon_rad" />
18   <set_finished name="gui/remove_point" value="1" />
19 </segment>
20 = <segment name="OBUTI" sequence="1" showInList="true">
21   <description value="Direct OBUTI" />
22   <finish_condition>guidance/passed-point eq 1.0</finish_condition>
23   <set name="autopilot/heading-acquire" value="-1" />
24   <set name="guidance/target_wp_latitude_rad" property="OBUTI_lat_rad" />
25   <set name="guidance/target_wp_longitude_rad" property="OBUTI_lon_rad" />
26   <set_finished name="gui/remove_point" value="1" />
27 </segment>
28 = <segment name="FINISH" sequence="1">
29   <description value="Finished OBUT11U" />
30   <finish_condition>sid/finished eq 1</finish_condition>
31   <set name="sid/finished" value="1.0" />
32 </segment>
33 </procedure>
34
35
```

Slika 30. Primjer odlazne procedure OBUT11U

Zbog lakše vizualizacije i u svrhu kasnijeg uređivanja podataka može se koristiti aplikacija kao što je *Google Earth Pro*. Primjer svih RNAV odlaznih procedura za stazu 04 se može vidjeti na slici 31.



Slika 31. RNAV odlazne procedure za stazu 04

Na isti način se izrađuju dolazne procedure. Zrakoplovu u dolasku se automatski dodjeljuje ulazna točka na granici FIR-a te zatim dolazna procedura na osnovu polaznog aerodroma danog u planu leta.

5.7. Izrada zemaljskih ruta

Zemaljske rute u simulatoru 9A-SIM su definirane u datoteci *ground_routes.xml*. Za izradu ruta potrebno je koristiti *Google Earth Pro* ili neku sličnu aplikaciju u kojoj se mogu izraditi zemaljske rute iz kojih se kasnije mogu izvući geografske koordinate svih točaka koje čine rutu. Kako bi se rute što efikasnije izradile, potrebno je definirati sve moguće segmente svih ruta te definirati sve važne točke na stazi, stazama za vožnju i platformi. Potrebno je obratiti pažnju na to da se ne dupliciraju segmenti ruta. Primjer jednog takvog segmenta se može vidjeti

```

1 <GroundRoute start="W14" end="CON_1">
2 45.73293129796109N 16.05921284234058E; 45.73283398636385N 16.05934347841624E;
3 45.73274292354854N 16.05937900352567E; 45.73266860795426N 16.05933963515453E;
4 45.73262223804202N 16.05928329211536E;
5 </GroundRoute>

```

Slika 32. Primjer sintakse jednog segmenta zemaljske rute

na slikama 32. i 33. Na slici 32. je prikazana sintaksa jednog takvog segmenta koji je zatim žutom bojom označen na slici 33. Segment je dio odlazne rute i započinje na parkirnoj poziciji W14 te završava na točki CON_1.



Slika 33. Grafički prikaz segmenata odlaznih ruta.

Na sličan način se definiraju i svi ostali segmenti. Na slici 33. su definirani svi potrebni segmenti za parkirne pozicije W14, W12, W11, W10, W9, W8, W7 i W6. Ukupno je nacrtano osam pozicija jer se u vježbama u idućem poglavlju ne pojavljuje više od osam zrakoplova. Segment označen crvenom bojom je zajednički spojni segment za sve navedene parkirne pozicije preko kojeg se dalje ostvaruje veza s ostalim putanjama prema stazama za vožnju koje su označene svijetlo zelenom bojom.



Slika 34. Grafički prikaz segmenata dolaznih ruta

Dolazne zemaljske rute se izrađuju kao i odlazne rute. Primjer se može vidjeti na slici 34. gdje su nacrtane dolazne rute za navedene parkirne pozicije. Rute označene crvenom bojom su početni segmenti koji započinju na stazama za vožnju i dalje se spajaju na plave ili narančaste segmente prema parkirnim pozicijama, ovisno o smjeru dolaska na parkirnu poziciju.

5.8. Izrada vježbi

Sve vježbe u simulatoru 9A-SIM se nalaze u direktoriju *exercise* i uređuju se na isti način kao i ostale XML datoteke. Vježba može imati bilo koji naziv i automatski će biti dodana na popis vježbi prilikom pokretanja pilotske pozicije. Svaka datoteka vježbe se sastoji od zaglavlja, meteoroloških podataka, planova leta odlaznih IFR i VFR zrakoplova, planova leta

```
1  <?xml version="1.0"?>
2
3  <Exercise>
4      <Name>LDZA_04</Name>
5      <Date>2021-07-28</Date>
6      <TimeOfDay>12:30:00</TimeOfDay>
7      <Airport>LDZA</Airport>
8      <RwyInUse>04</RwyInUse>
9      <DepartureInfo>No</DepartureInfo>
10
11
12  <Weather>
13      <Runway>
14          <WindDirection>060</WindDirection>
15          <WindSpeed>8</WindSpeed>
16          <DirectionVariance>10</DirectionVariance>
17          <SpeedVariance>5</SpeedVariance>
18      </Runway>
19      <Runway>
20          <WindDirection>040</WindDirection>
21          <WindSpeed>6</WindSpeed>
22          <DirectionVariance>10</DirectionVariance>
23          <SpeedVariance>4</SpeedVariance>
24      </Runway>
25      <TransitionLevel>110</TransitionLevel>
26      <Visibility>10000</Visibility>
27      <Clouds>CAVOK</Clouds>
28      <QNH>1014</QNH>
29      <Temperature>19</Temperature>
30      <Humidity>45</Humidity>
31      <Trend>NOSIG</Trend>
32  </Weather>
33
```

Slika 35. Zaglavlje i meteorološki podaci datoteke vježbe

dolaznih IFR i VFR letova te liste zemaljskih vozila. Primjer zaglavlja i meteoroloških podataka je prikazan na slici 35.

U zaglavlju se nalaze oznake koje redom određuju: ime vježbe, datum, sat, aerodrom, i stazu u uporabi. Oznaka **<DepartureInfo>** određuje hoće li zrakoplov tražiti meteorološke podatke kod prvog javljanja ili će ti podaci biti dani preko ATIS-a.

Meteorološki podaci koji se određuju u idućem dijelu datoteke su: vjetar na oba praga staze, prijelazna razina, vidljivost, naoblaka, tlak zraka, temperatura, vlažnost zraka i kratkoročna prognoza.

Sljedeći korak je unošenje planova leta. Planovi započinju i završavaju oznakom **<FlightPlan>**. Unutar te oznake se dalje nalaze oznake: pozivni znak, zrakoplovna kompanija, aerodrom odlaska, aerodrom dolaska, tip zrakoplova, pravila letenja, tražena visina u stopama, vrijeme kada će zrakoplov prvi put javiti, slot (CTOT) te broj parkirne pozicije.

VFR zrakoplovi imaju gotovo identičan plan leta, a razlikuje se od IFR plana u dvije linije. VFR letovi nemaju slot i za njih je potrebnu unijeti odlaznu rutu. U slučaju IFR letova ruta se dodjeljuje automatski ovisno o odredištu zrakoplova. Primjer odlaznog IFR i VFR plana se može vidjeti na slici 36.

```
1 <FlightPlan>
2   <CS>CTN411</CS>
3   <Airline>SWR</Airline>
4   <ADEP>LDZA</ADEP>
5   <ADES>EDDF</ADES>
6   <ATYP>A319</ATYP>
7   <FR>IFR</FR>
8   <RequestedAltitudeFeetMSL>34000</RequestedAltitudeFeetMSL>
9   <StartTimeMinutes>2</StartTimeMinutes>
10  <CTOT>1244</CTOT>
11  <SpawnParkingPosition>PP10</SpawnParkingPosition>
12 </FlightPlan>
13
14
15 <FlightPlan>
16   <CS>9ADAS</CS>
17   <Airline>EIMCF</Airline>
18   <ADEP>LDZA</ADEP>
19   <ADES>LDSP</ADES>
20   <ATYP>C172</ATYP>
21   <FR>VFR</FR>
22   <RequestedAltitudeFeetMSL>7500</RequestedAltitudeFeetMSL>
23   <StartTimeMinutes>10</StartTimeMinutes>
24   <SpawnParkingPosition>PP17</SpawnParkingPosition>
25   <Route>W1 SLUNJ B3 L3</Route>
26 </FlightPlan>
27
```

Slika 36. Primjer odlaznih planova leta

Na sličan način se unose i dolazni planovi koji su nešto kraći. Unutar oznake **<FlightPlan>** se za IFR letove upisuju: pozivni znak, zrakoplovna kompanija, aerodrom odlaska, aerodrom dolaska, tip zrakoplova, pravila letenja i vrijeme dolaska. Ruta se dodjeljuje automatski na osnovu odlaznog aerodroma.

Za VFR zrakoplove je potrebno još unijeti traženu rutu i visinu leta. Primjer dolaznih IFR i VFR planova može se vidjeti na slici 37.

```
1 =<FlightPlan>
2   <CS>TDR818</CS>
3   <Airline>TDR</Airline>
4   <ADEP>LQSA</ADEP>
5   <ADES>LDZA</ADES>
6   <ATYP>L410</ATYP>
7   <FR>IFR</FR>
8   <COPNTime>8</COPNTime>
9 </FlightPlan>
10
11 =<FlightPlan>
12   <CS>9ADMB</CS>
13   <Airline>9ADMB</Airline>
14   <ADEP>LOWI</ADEP>
15   <ADES>LDZA</ADES>
16   <ATYP>C172</ATYP>
17   <FR>VFR</FR>
18   <RequestedAltitudeFeetMSL>2500</RequestedAltitudeFeetMSL>
19   <COPNTime>8</COPNTime>
20   <Route>N2 P3 L2</Route>
21 </FlightPlan>
22
23
```

Slika 37. Primjer dolaznih planova leta

Lista vozila se nalazi na samom kraju svake datoteke vježbe. Unutar oznake **<DrivePlans>** se mogu nalaziti oznake **<DrivePlan>** unutar kojih se dalje definiraju oznake za: pozivni znak vozila, fiziku vozila (automobil, kamion i sl.), izgled vozila (FIREFIGHTER, DISPATCHER itd.) i parkirnu poziciju na kojoj će se vozilo nalaziti na početku vježbe. Parkirne pozicije zrakoplova i vozila nisu iste, ali se označavaju s istom oznakom **<SpawnParkingPosition>**, međutim atributi imaju drugačiji format: VP01, VP02, itd. Vozilima se neće automatski dodjeljivati ruta i nju mora u potpunosti odrediti pilot na osnovu zahtjeva u scenariju vježbe. Primjer liste vozila dan je na slici 38.

```

1  =<DrivePlans>
2
3  =  <DrivePlan>
4      <CS>Fire1</CS>
5      <PHYSIC>CAR</PHYSIC>
6      <MODEL>FIREFIGHTER1</MODEL>
7      <SpawnParkingPosition>VP01</SpawnParkingPosition>
8  </DrivePlan>
9
10 =  <DrivePlan>
11     <CS>DISPATCHER</CS>
12     <PHYSIC>CAR</PHYSIC>
13     <MODEL>DISPATCHER1</MODEL>
14     <SpawnParkingPosition>VP05</SpawnParkingPosition>
15 </DrivePlan>
16
17 </DrivePlans>

```

Slika 38. Lista zemaljskih vozila

Osim izrade vježbi, moguće je uređivati i ostale XML datoteke unutar simulatora 9A-SIM. Osnovni principi koji su dani u prethodnim poglavljima su dovoljni za samostalni rad na njima.

5.9. Izrada vježbi koje se koriste u nastavi

U sklopu ovog diplomskog rada su prerađene sve vježbe koje se koriste u sklopu nastave kolegija Aerodromski simulator za korištenje unutar simulatora 9A-SIM. Vježbe su replicirane u najvećoj mogućoj mjeri, a sva odstupanja su jasno označena komentarima unutar XML datoteka. Odstupanja su se uglavnom odnosila na zamjene tipova zrakoplova onda kada neki od modela zrakoplova nije bio podržan. Na primjer PA18 (*Piper PA-18 Super Cub*) je zamijenjen sa zrakoplovom DR40 (*Robin DR400*) ili A310 (*Airbus A310*) je zamijenjen sa zrakoplovom A332 (*Airbus A330-200*). Pri zamjeni se vodilo računa da modeli budu slični po performansama. Većina zrakoplovnih kompanija koje se spominju u originalnim vježbama su podržane unutar simulatora 9A-SIM, a odstupanja su minimalna te su također označena u komentarima.

Moguće su manje razlike u vremenima dolaska pojedinih zrakoplova zbog različite programerske logike. Unutar simulatora BEST se zrakoplovi u dolasku pojavljuju u određenom vremenu iznad određenih točaka, dok se u simulatoru 9A-SIM putanja zrakoplova automatski određuje na osnovu vremena dolaska.

U svim vježbama se koristi staza 04, datum je 21. lipnja 2024, a početak svih vježbi je u 12 sati. Ispod je prikazan XML kod za vježbu 1A s četiri IFR odlaska i tri IFR dolaska. Vozila se ne koriste. Sve ostale vježbe su predane mentoru kao prilog radu.

```
1      <?xml version="1.0"?>
2
3      <Exercise>
4          <Name>EX1A</Name>
5          <Date>2024-06-21</Date>
6          <TimeOfDay>12:00:00</TimeOfDay>
7          <Airport>LDZA</Airport>
8          <RwyInUse>04</RwyInUse>
9          <DepartureInfo>Yes</DepartureInfo>
10
11     <!--***** WEATHER *****-->
12
13     <Weather>
14
15         <Runway>
16             <WindDirection>050</WindDirection>
17             <WindSpeed>8</WindSpeed>
18             <DirectionVariance>10</DirectionVariance>
19             <SpeedVariance>5</SpeedVariance>
20         </Runway>
21
22         <Runway>
23             <WindDirection>040</WindDirection>
24             <WindSpeed>6</WindSpeed>
25             <DirectionVariance>10</DirectionVariance>
26             <SpeedVariance>4</SpeedVariance>
27         </Runway>
28
29         <TransitionLevel>120</TransitionLevel>
30         <Visibility>10000</Visibility>
31         <Clouds>CAVOK</Clouds>
32         <QNH>998</QNH>
33         <Temperature>19</Temperature>
34         <Humidity>45</Humidity>
35         <Trend>NOSIG</Trend>
36
37     </Weather>
38
39     <!--***** AIRCRAFT *****-->
40
41     <FlightPlans>
```

```
42
43 <!--***** DEPARTURES IFR then VFR *****-->
44
45 <FlightPlan>
46 <CS>AFR151D</CS>
47 <Airline>AFR</Airline>
48 <ADEP>LDZA</ADEP>
49 <ADES>LSZH</ADES>
50 <ATYP>A332</ATYP> <!--ATYP A332 umjesto A310 -->
51 <FR>IFR</FR>
52 <RequestedAltitudeFeetMSL>12000</RequestedAltitudeFeetMSL>
53 <StartTimeMinutes>3</StartTimeMinutes>
54 <CTOT></CTOT>
55 <SpawnParkingPosition>PP08</SpawnParkingPosition>
56 </FlightPlan>
57
58 <FlightPlan>
59 <CS>CTN632</CS>
60 <Airline>CTN</Airline>
61 <ADEP>LDZA</ADEP>
62 <ADES>LDPL</ADES>
63 <ATYP>DH8D</ATYP>
64 <FR>IFR</FR>
65 <RequestedAltitudeFeetMSL>15000</RequestedAltitudeFeetMSL>
66 <StartTimeMinutes>5</StartTimeMinutes>
67 <CTOT></CTOT>
68 <SpawnParkingPosition>PP04</SpawnParkingPosition>
69 </FlightPlan>
70
71 <FlightPlan>
72 <CS>DLH3EP</CS>
73 <Airline>DLH</Airline>
74 <ADEP>LDZA</ADEP>
75 <ADES>EDDM</ADES>
76 <ATYP>A319</ATYP>
77 <FR>IFR</FR>
78 <RequestedAltitudeFeetMSL>12000</RequestedAltitudeFeetMSL>
79 <StartTimeMinutes>9</StartTimeMinutes>
80 <CTOT></CTOT>
81 <SpawnParkingPosition>PP02</SpawnParkingPosition>
82 </FlightPlan>
83
84 <FlightPlan>
85 <CS>AUA678T</CS>
86 <Airline>AUA</Airline>
87 <ADEP>LDZA</ADEP>
88 <ADES>LOWW</ADES>
```

```

89         <ATYP>DH8D</ATYP> <!--ATYP DH8D umjesto F70 -->
90         <FR>IFR</FR>
91         <RequestedAltitudeFeetMSL>13000</RequestedAltitudeFeetMSL>
92         <StartTimeMinutes>12</StartTimeMinutes>
93         <CTOT></CTOT>
94         <SpawnParkingPosition>PP02</SpawnParkingPosition>
95     </FlightPlan>
96
97     <!--***** ARRIVALS IFR then VFR *****-->
98
99     <FlightPlan>
100         <CS>CTN71H</CS>
101         <Airline>CTN</Airline>
102         <ADEP>LFPG</ADEP>
103         <ADES>LDZA</ADES>
104         <ATYP>A319</ATYP>
105         <FR>IFR</FR>
106         <COPNTime>6</COPNTime>
107     </FlightPlan>
108
109     <FlightPlan>
110         <CS>QTR210</CS>
111         <Airline>ETD</Airline> <!--Etihad livery-->
112         <ADEP>LHBP</ADEP>
113         <ADES>LDZA</ADES>
114         <ATYP>A321</ATYP>
115         <FR>IFR</FR>
116         <COPNTime>13</COPNTime>
117     </FlightPlan>
118
119     <FlightPlan>
120         <CS>JSY110</CS>
121         <Airline>ZZZZ</Airline>
122         <ADEP>LDRI</ADEP>
123         <ADES>LDZA</ADES>
124         <ATYP>C750</ATYP> <!--ATYP C750 umjesto C550-->
125         <FR>IFR</FR>
126         <COPNTime>22</COPNTime>
127     </FlightPlan>
128
129 </FlightPlans>
130
131 <!--***** VEHICLES *****-->
132
133 <DrivePlans></DrivePlans>
134
135 </Exercise>

```

5.10. 3D model zračne luke Zagreb

U završnom radu „Nadogradnja simulatora 3DAD za aerodromsku kontrolu zračnog prometa“ [30] autor ovog teksta je izradio model zračne luke Zagreb. Određeni dijelovi tog modela su korišteni u izradi nove verzije. Zadržane su sve površine za kretanje zrakoplova kao i model tornja. Izrađena je nova verzija terena koji obuhvaća prostor od 60x60 km u nižoj rezoluciji i 7x7 km u višoj rezoluciji.. Također su izrađene određene aerodromske zgrade što se može vidjeti na slici 39.



Slika 39. 3D model zračne luke Zagreb

Model terena je izrađen u *Blenderu* uz pomoć dodatka *Blosm for Blender* [33]. Navedeni softver omogućuje relativno jednostavnu izradu terena te brzo izrađivanje zgrada na osnovu podataka iz OSM (*OpenStreetMap*) karata. Teren dobiven ovim postupkom je iznimno velike rezolucije što može usporiti rad simulatora zbog velike razine detalja. Inicijalno, model terena se sastojao od preko milijun trokuta što je korištenjem nekih alata u *Blenderu* svedeno na svega 20.000 trokuta ili 2% od početnog broja.

Zgrade u OSM kartama su najčešće prikazane samo tlocrtno. Da bi se te zgrade prikazale kao trodimenzionalni objekti, *Blosm for Blender* koristi zadane parametre za dodjelu visine i oblika zgrada stvarajući tako relativno realistične 3D modele. Također, postoji



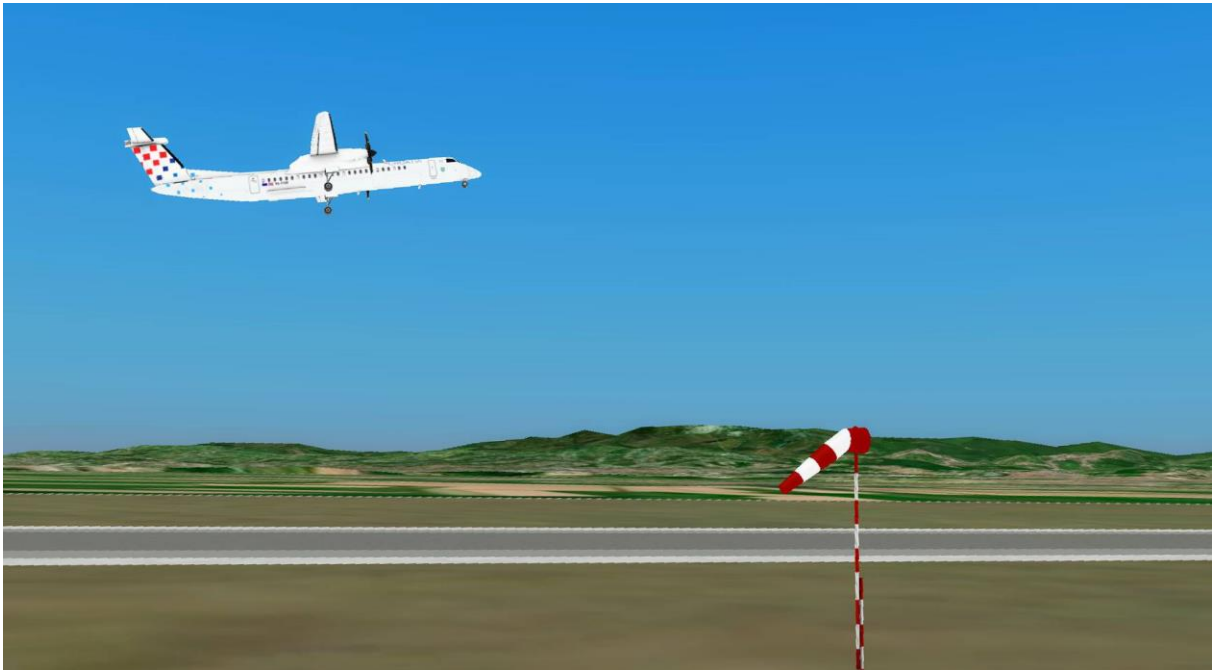
Slika 40. Zgrade izrađene uz pomoć dodatka *Blosm for Blender*

moćnost bojanja zgrada koristeći teksture koje se na osnovu zadanih parametara biraju iz baze. Zgrade se mogu vidjeti na slici 40. gdje su obojane bijelom teksturom kako bi bile vidljivije. Zgrade se kasnije mogu doraditi unutar nekog projekta ili u sklopu nastave. Nakon izrade, modele je potrebno izvesti u format koji simulator podržava. U slučaju simulatora 9A-SIM se radi o formatu *.mesh*, a za izvoz u navedeni format se koristi dodatak za *Blender* naziva *blender2ogre*.



Slika 41. Zrakoplov *Airbus A320* Croatije Airlines neposredno nakon polijetanja u simulatoru 9A-SIM

Slika 41. prikazuje zrakoplov Airbus A320 Croatije Airlines neposredno nakon polijetanja sa staze 04 u zračnoj luci Zagreb (LDZA) u simulatoru 9A-SIM. U pozadini se jasno vide dvije vrste terena u višoj i nižoj rezoluciji, a u daljini se pruža pogled na grad Zagreb i vrh Sljeme na Medvednici.



Slika 42. Zrakoplov *De Havilland Canada Dash 8* Croatije Airlines za vrijeme niskog prilaznja u simulatoru 9A-SIM

Sličan prikaz iz simulatora se može vidjeti na slici 42. na kojoj je zrakoplov *De Havilland Canada Dash 8* Croatije Airlines, ali u ovom slučaju za vrijeme izvođenja niskog prilaza za stazu 04 i uključivanja u aerodromski prometni krug.

Svi izrađeni 3D modeli kao i sve ostale datoteke korištene u ovom radu biti će predani mentoru kao prilog diplomskom radu te će biti arhivirani za moguće korištenje.

6. Mogućnost primjene simulatora

Toranjski simulator omogućava vjerne prikaze aerodromskih operacija, uključujući realne prikaze zrakoplova, vozila, okoliša, terena, kao i raznih vremenskih uvjeta. Na taj način se vježbenici nalaze u realističnom radnom okruženju u kojem mogu vježbati standardne prakse i postupke. To uključuje davanje instrukcija i odobrenja zrakoplovima, koordinaciju s drugim sektorima i službama te rukovanje s uređajima. Ponavljanje ovih postupaka pomaže novim kontrolorima da usvoje potrebne vještine i rutine što olakšava prijelaz na stvarno radno mjesto. Međutim, možda i najvažniji aspekt je priprema za nepredviđene i izvanredne situacije pošto se najviše nesreća se događa na toranjskoj frekvenciji, pogledati sliku 1.

Na stvarnu nesreću zrakoplova se zapravo nitko ne može u potpunosti pripremiti jer je svaka situacija drugačija, a reakcije ljudi u stvarnim okolnostima je teško predvidjeti. Ipak, moguće je, obraćajući pažnju na detalje, adekvatno se pripremiti kako bi u trenucima kada to bude potrebno kontrolori mogli reagirati na najbolji mogući način. Stoga je bitno da izgled i raspored simulatora bude što sličniji uvjetima na stvarnom radnom mjestu.

3D grafika i prikaz na monitorima najviše pridonose osjetu realnosti, stoga je potrebno prilikom dizajniranja modela aerodroma i terena kvalitetno izraditi modele koji će korisnike podsjećati na stvarno radno okruženje. Također, realnosti pridonosi i interaktivnost npr. funkcionalni paneli s kvalitetnim tipkama i prekidačima, paneli osjetljivi na dodir, pisac papirnatih stripova, komunikacijski sustav, ATIS i radarski sustav. Ti uređaji bi trebali reagirati na radnje kontrolora letenja što je moguće sličnije stvarnim uređajima.

Svi ovi elementi mogu se na razne načine koristiti u nastavi jer osim što je simulator alat za školovanje kontrolora zračnog prometa on također može biti i sredstvo preko kojeg se uči izrada raznih komponenti simulatora. Bilo da se radi o mehaničkim ili računalnim komponentama, simulator se uvijek može unaprijediti, a kako bi to bilo moguće ključno je poznavati rad svih komponenti simulatora.

Mehaničke komponente i konzola koji su prikazani u ovom diplomskom radu su viđenje autora, a do tog rješenja je vodilo iskustvo i cilj da simulator bude što isplativiji i funkcionalniji. To ne znači da je to ujedno i najbolje rješenje i daljnja unaprijeđena su svakako moguća. Kako bi se sustav simulatora mogao u budućnosti unaprijediti obavezno je poznavanje nekakvog softvera za 3D dizajn. Studentima Fakulteta prometnih znanosti su preko studentske licence dostupni mnogi proizvodi kompanije *Autodesk* [34] poput *Fusion 360*, *AutoCAD* itd. To su profesionalni softveri s golemim mogućnostima i njihovo poznavanje će studentima sigurno

pomoći u kasnijoj profesionalnoj karijeri. Softver koji je korišten za izradu 3D modela unutar simulatora 9A-SIM je *Blender* [35] koji je besplatan. *Blender* podržava velika zajednica korisnika koja je kreirala niz dodataka (*Add-on*) koji uvelike poboljšavaju funkcionalnost softvera.

Neki uređaji simulatora se mogu izraditi korištenjem lako dostupnih kontrolera kao što su *Arduino* [36] ili *STM32F103C8* [37]. Za izradu uređaja baziranih na njima nije potrebno poznavati programiranje već se mogu koristiti gotova i besplatna softverska rješenja poput *MMjoy* [38] ili *FreeJoy* [39] putem kojih se kontroleri programiraju iz grafičkog sučelja. Oba softverska rješenja su prvotno bila namijenjena za izradu HID (*Human Interface Devices*) USB uređaja za igranje poput upravljačkih palica ili volana za razne simulacije leta i vožnje automobila. Međutim moguće ih je koristiti za izradu bilo kojeg HID uređaja poput upravljačkog panela za kontrolu osvjetljenja uzletno-sletne staze. Može se koristiti bilo koja vrsta prekidača, enkodera, potenciometra, magnetnog senzora položaja ili led osvjetljena

Kako je prikazano u 5. poglavlju vježbe i mape u simulatoru 9A-SIM se uređuju u uređivaču teksta poput softvera *Notepad++* i spremaju se u tekstualne XML datoteke. Izrada vježbi unutar tekstualnog sučelja može ponekad, posebno početnicima, biti neintuitivna. Lako je napraviti grešku u sintaksi koju je kasnije teško pronaći i ispraviti. Kako bi se olakšala izrada vježbi može se izraditi aplikacija preko koje će se u grafičkom sučelju izrađivati vježbe. Slično se može napraviti i kod uređenja ostalih XML datoteka opisanih u 5. poglavlju. Na Fakultetu prometnih znanosti studenti za vrijeme prijediplomskog studija imaju dva kolegija koja se bave programiranjem u računanom jeziku *C#* (*C-Sharp*) što je dobra osnova za izradu ovakvih aplikacija.

Kako bi se osigurala što veća sličnost simuliranog prometa sa stvarnim prometom može se koristiti i aplikacija *NEST* (*Network strategic tool*) [40]. Aplikacija omogućava preuzimanje stvarnog prometa za određeni datum, tipove zrakoplova i pozivne znakove.

Može se vidjeti da simulator zahtjeva integraciju znanja iz kontrole zračnog prometa, mehanike, 3D dizajna, elektronike i programiranja. Postojanje nekoliko izbornih kolegija na diplomskom studiju aeronautike koji bi obuhvatili praktične aspekte, odnosno izradu različitih komponenti simulatora bi bilo vrlo korisno za budući razvoj 3D toranjskih simulatora.

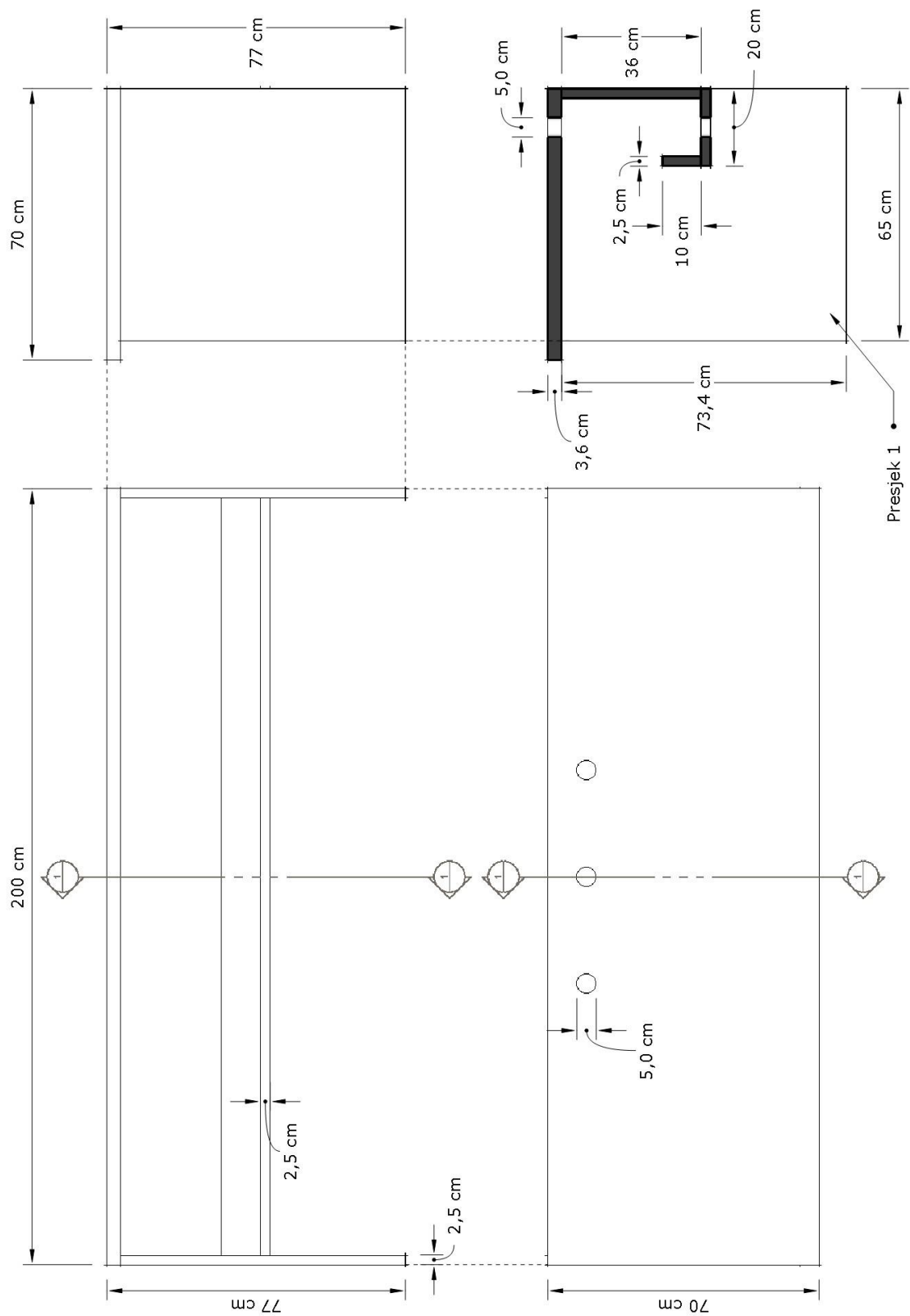
7. Zaključak

Ovaj diplomski rad je zamišljen kao svojevrsan nastavak završnog rada „Nadogradnja simulatora 3DAD za aerodromsku kontrolu zračnog prometa“ u kojem je opisan razvoj grafičkih elemenata simulatora. Cilj ovog rada bio je opisati izradu svih potrebnih fizičkih elemenata kao što su namještaj, konzola i hardver te ponuditi neke od mogućnosti prikazivanja slike. Također, opisane su osnove programskog jezika XML koji se koristi za spremanje niza podataka koje je potrebno proizvesti prilikom stvaranja softvera simulatora.

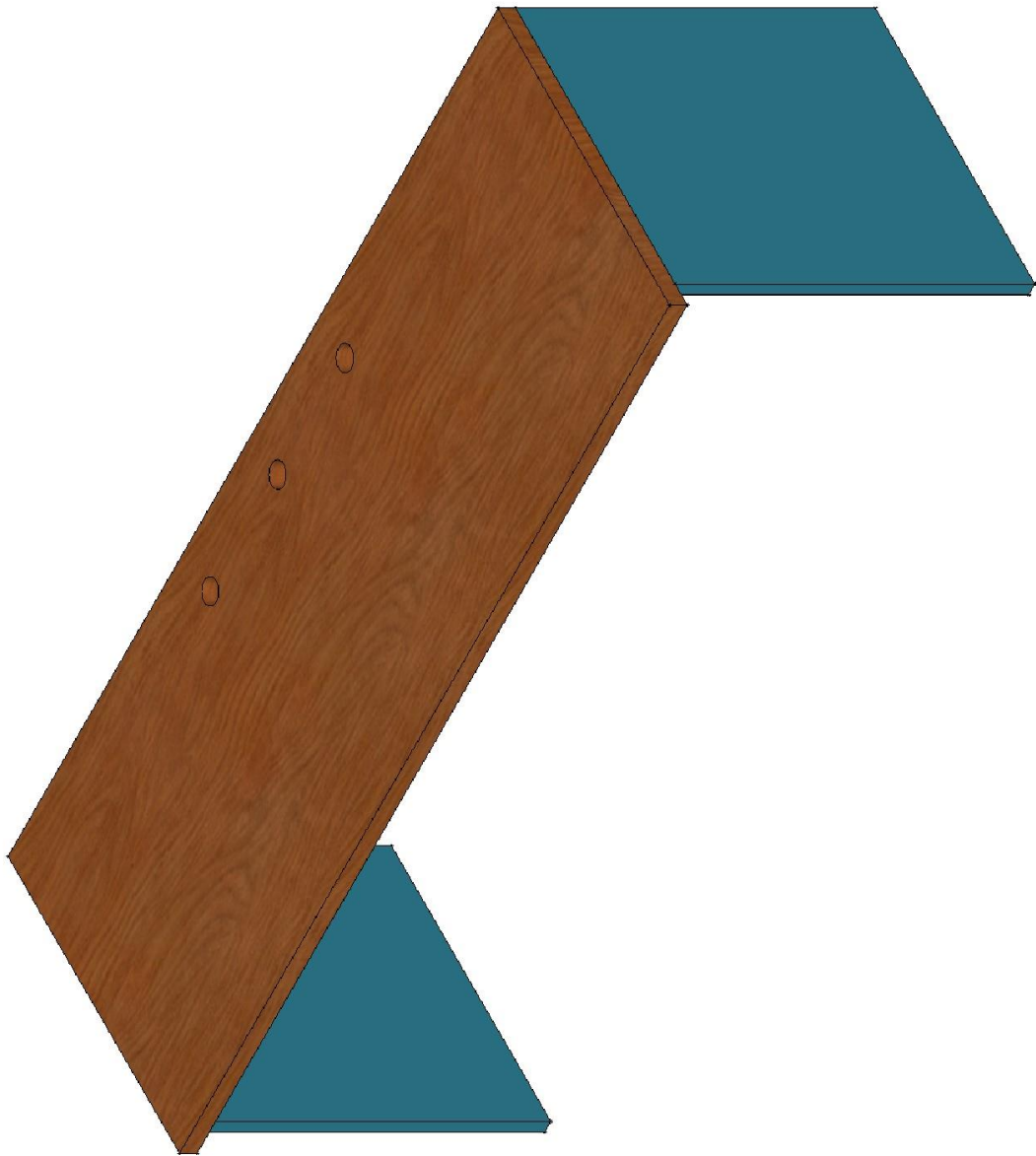
Predložene su i mogućnosti korištenja simulatora u nastavi s idejom da i sam simulator bude predmet nastave kako bi se zainteresirali studenti koji bi ga mogli nastaviti razvijati u budućnosti. Nadalje, predstavljen je jedan od mogućih koncepata simulatora što nikako ne znači da je to ujedno i najbolji mogući koncept. Međutim, namjera je bila prikazati kako se može izraditi financijski povoljan ali ipak kvalitetan simulator koji bi bio dostupan školskim institucijama s relativno skromnim financijskim mogućnostima.

Izrada 3D toranjskog simulatora je kompleksan proces koji zahtjeva interdisciplinarnu suradnju stručnjaka iz raznih područja. Rad na njemu će sigurno doprinijeti stjecanju novih znanja i vještina svih koji su uključeni u taj proces, a posljedično i razvoju novih rješenja koja će unaprijediti buduća školovanja novih generacija kontrolora zračnog prometa.

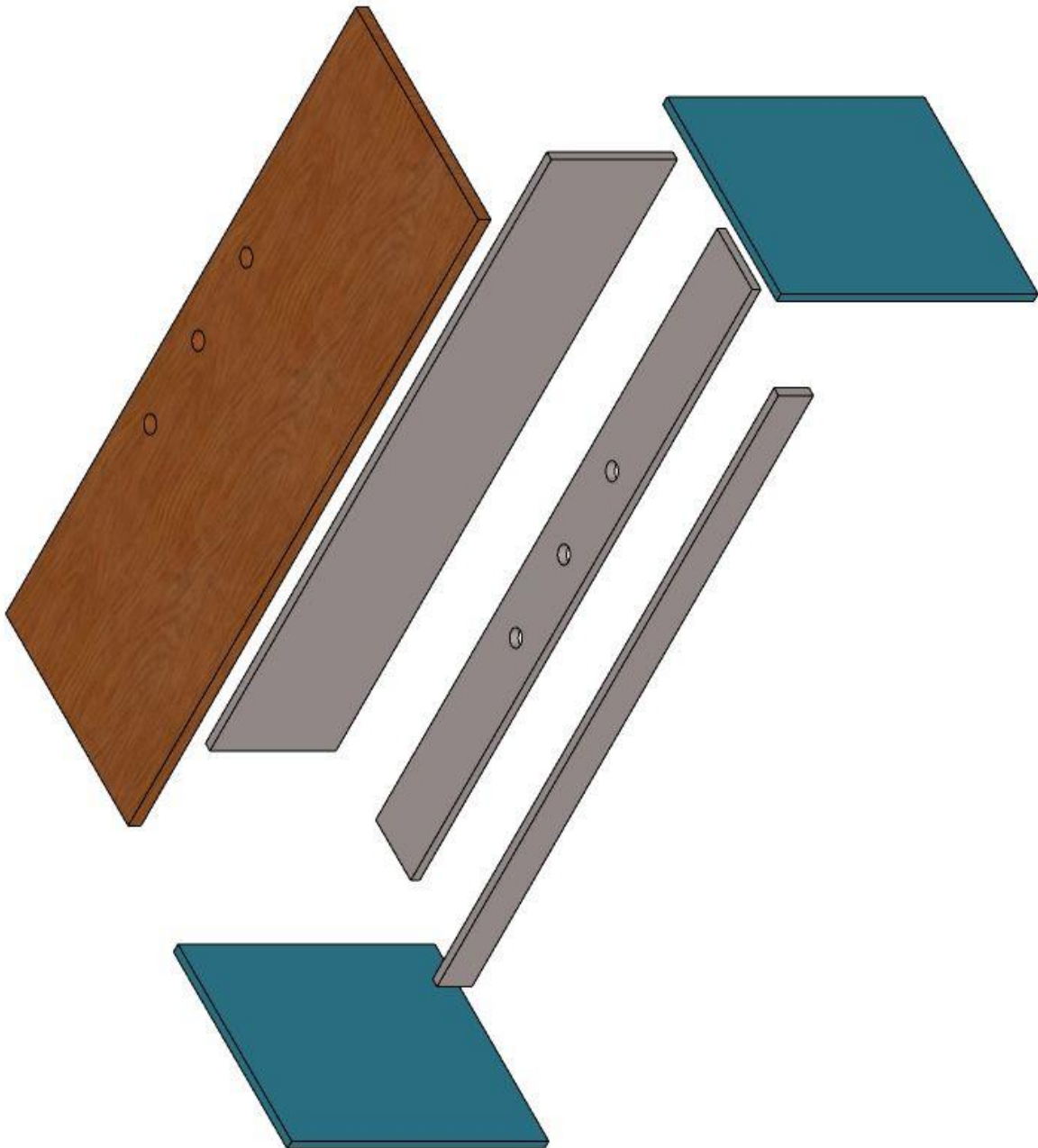
PRILOZI



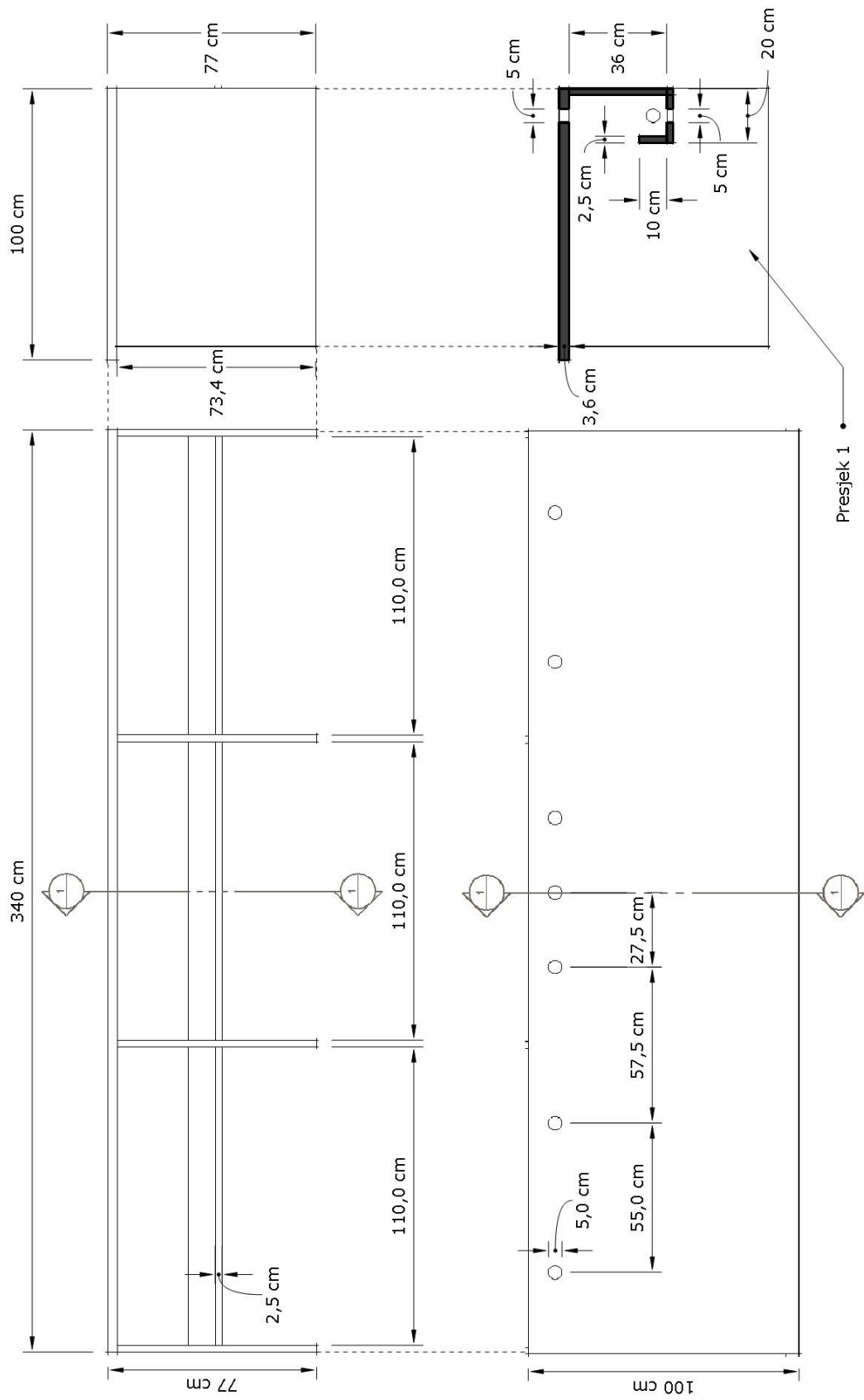
Prilog 1. Nacrt stola na poziciji pseudo-pilota



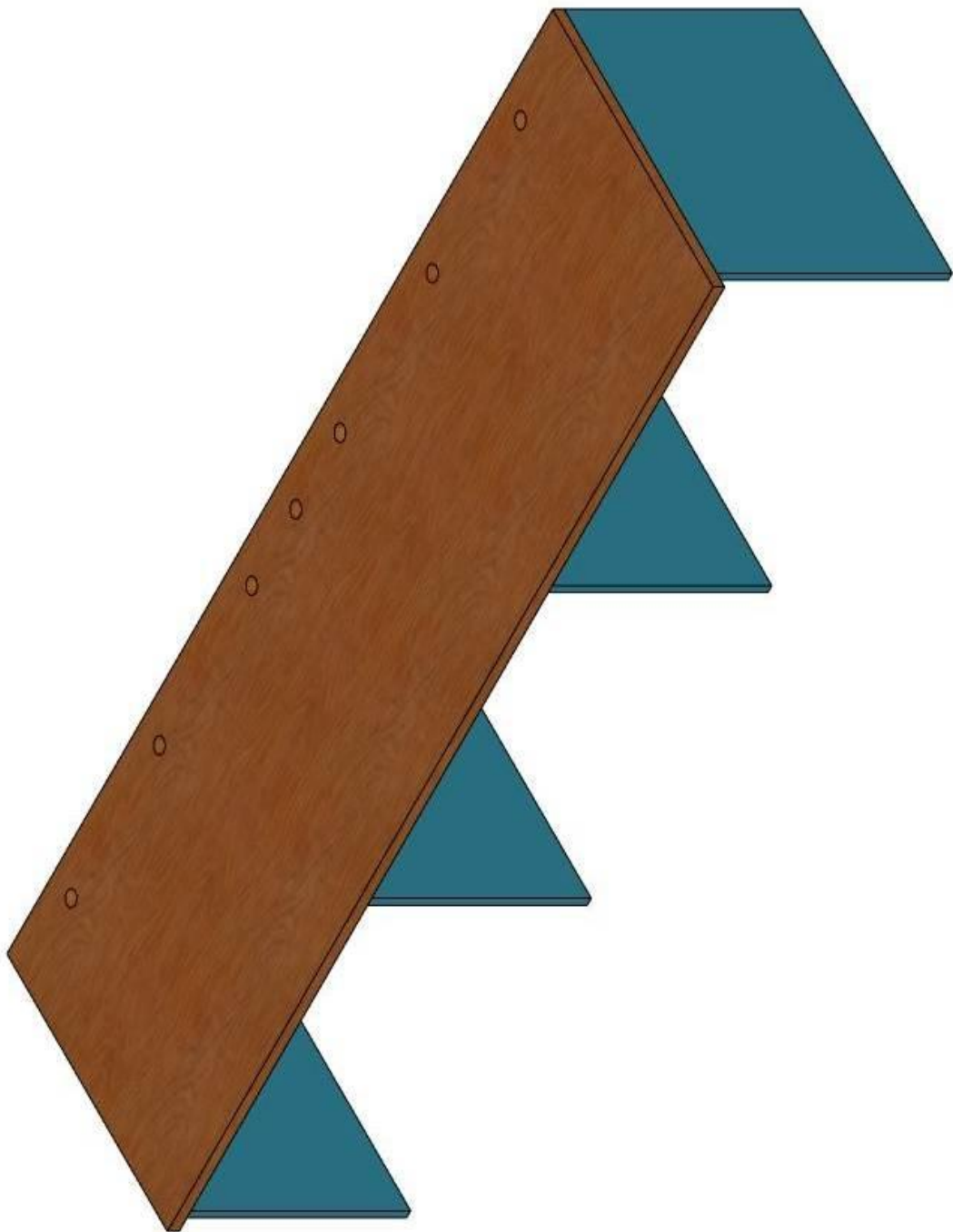
Prilog 2. Izometrijski pogled stola na poziciji pseudo-pilota



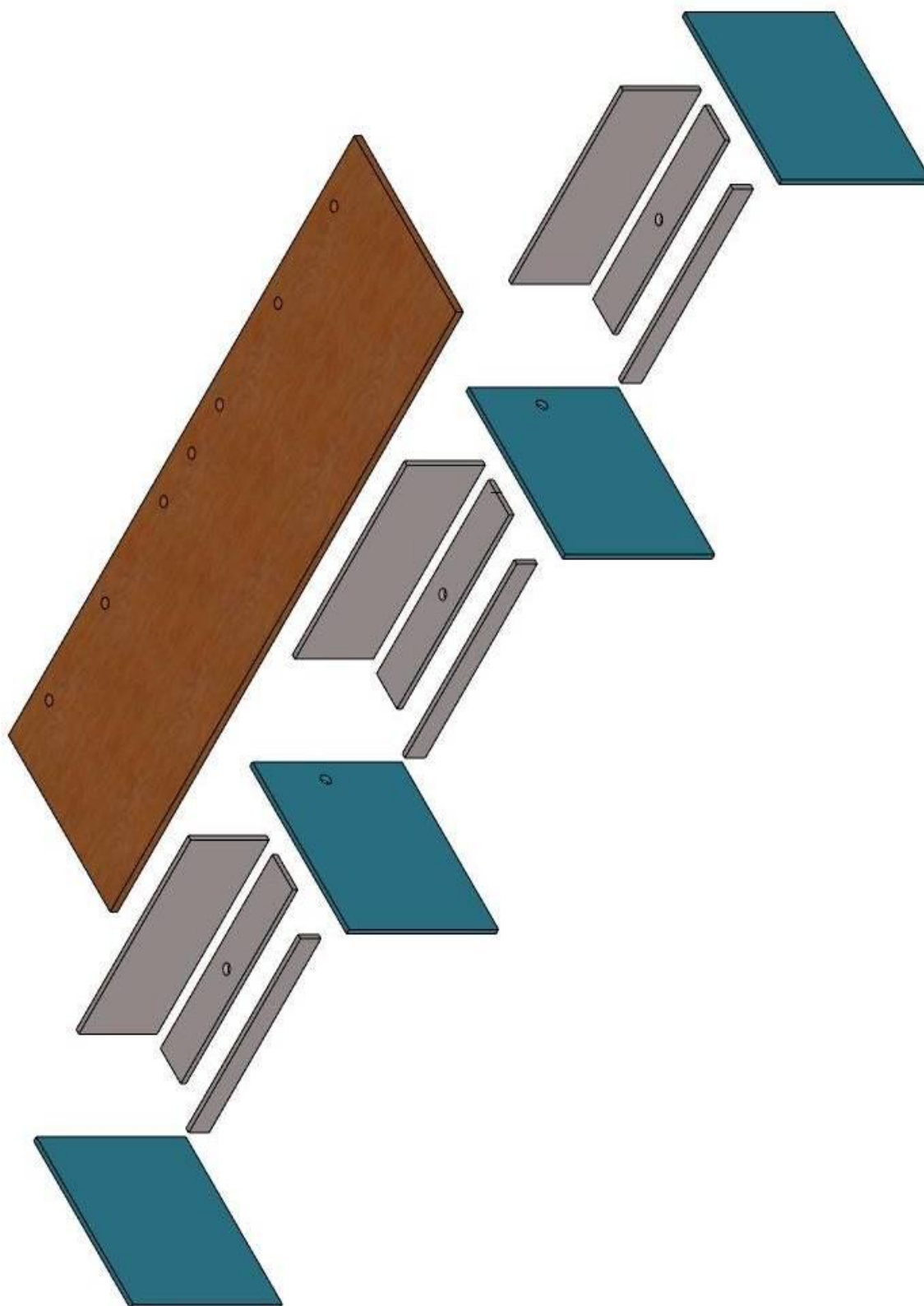
Prilog 3. Shema sastavljanja stola na poziciji pseudo-pilota



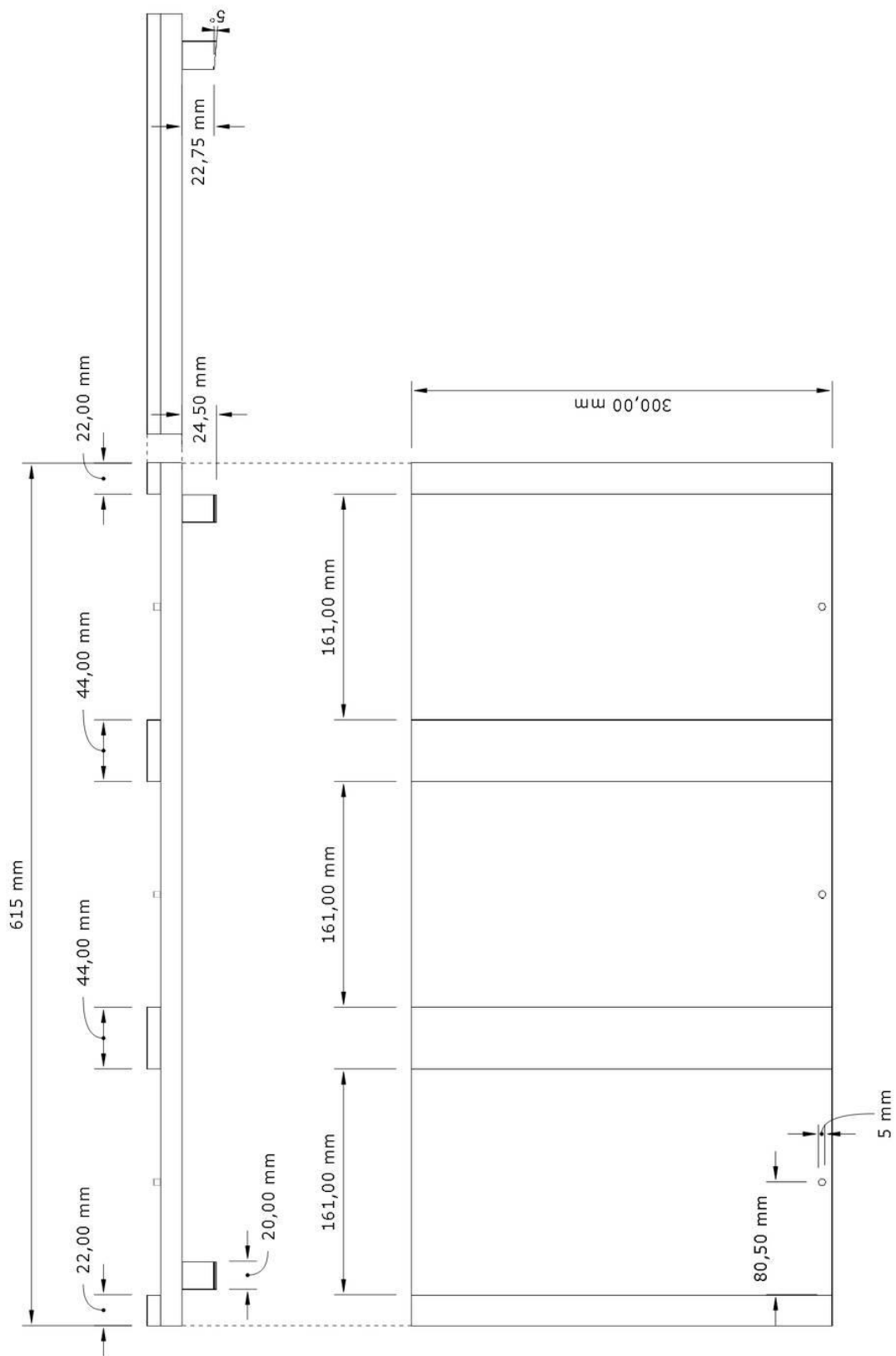
Prilog 4. Nacrt stola na poziciji kontrolora zračnog prometa



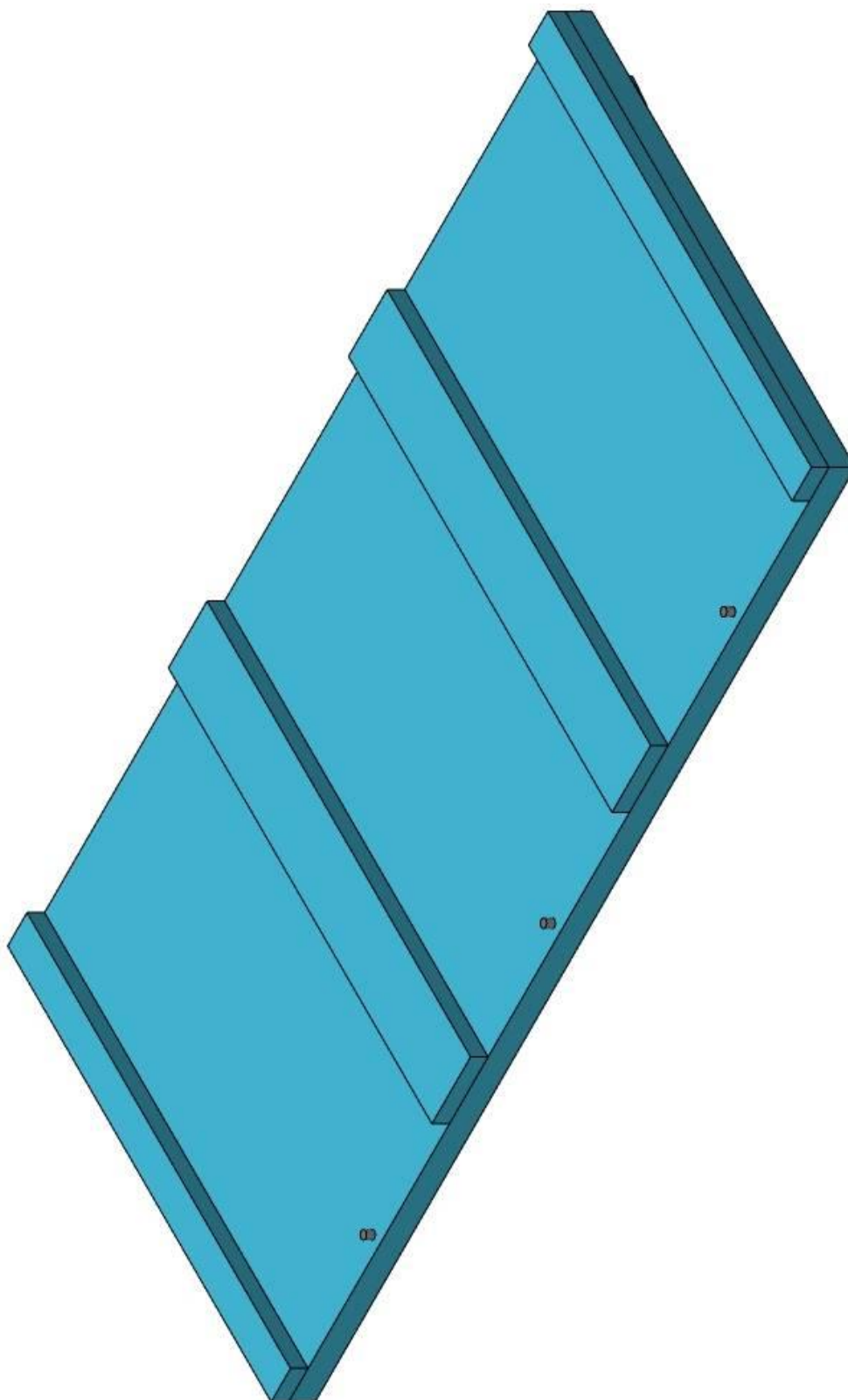
Prilog 5. Izometrijski pogled stola na poziciji kontrolora zračnog prometa



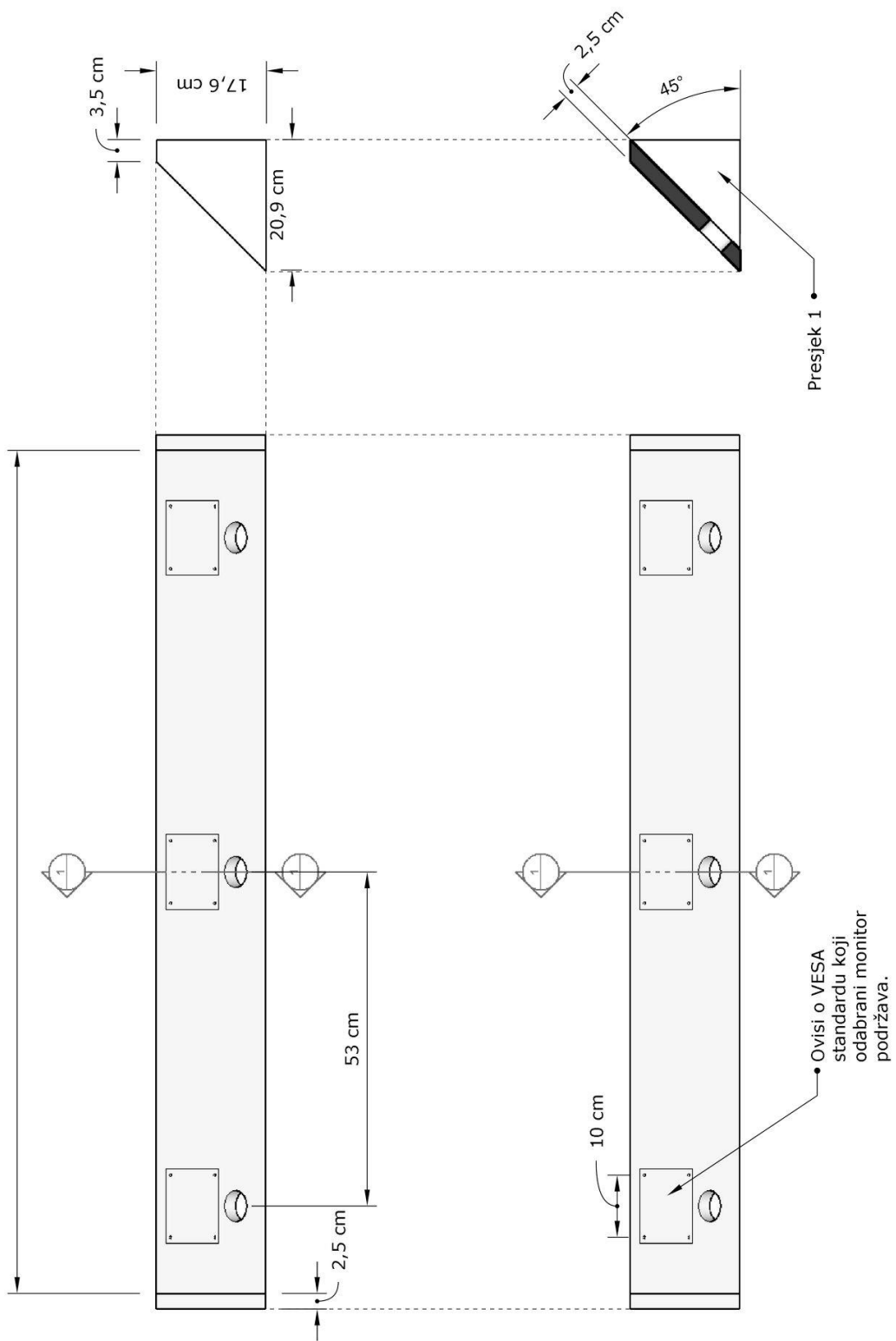
Prilog 6. Shema sastavljanja stola na poziciji kontrolora zračnog prometa



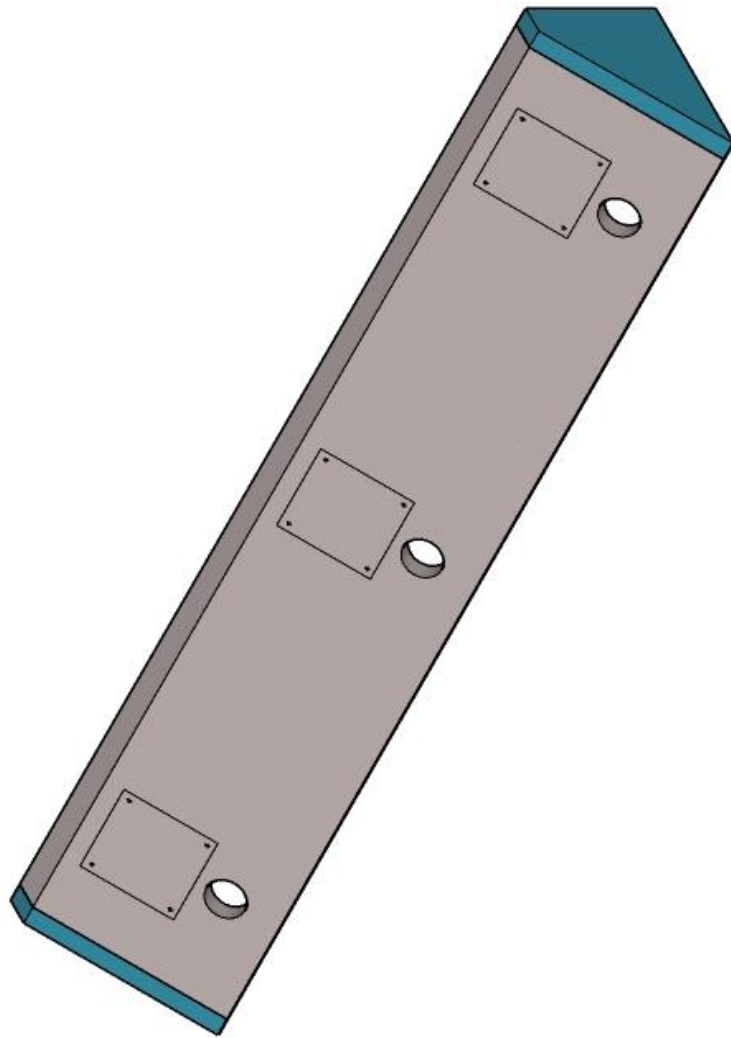
Prilog 7. Nacrt držača stripova



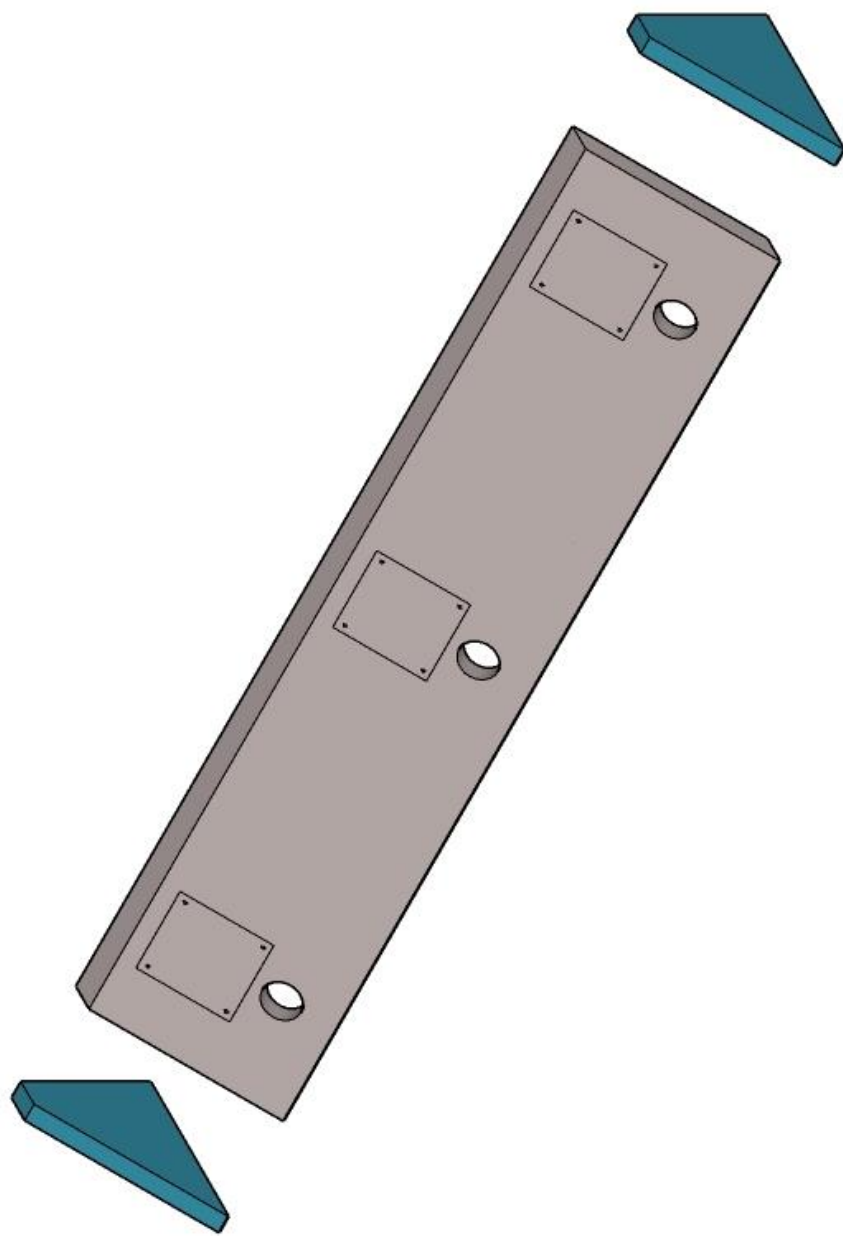
Prilog 8. Izometrijski prikaz držača stripova



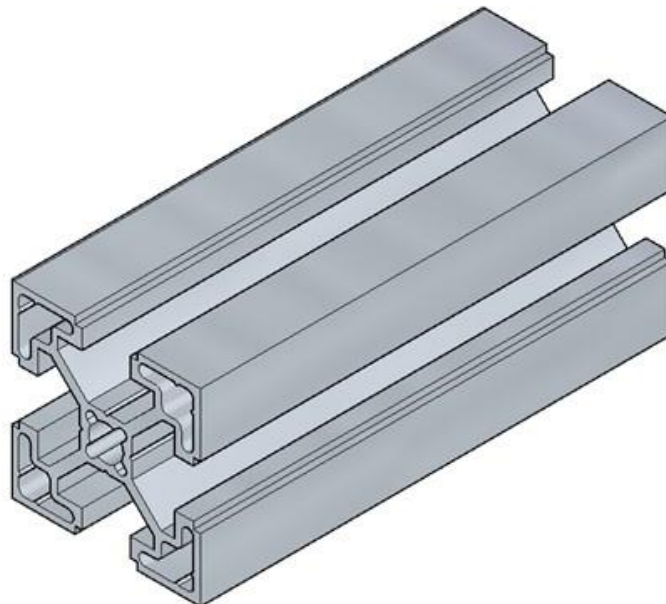
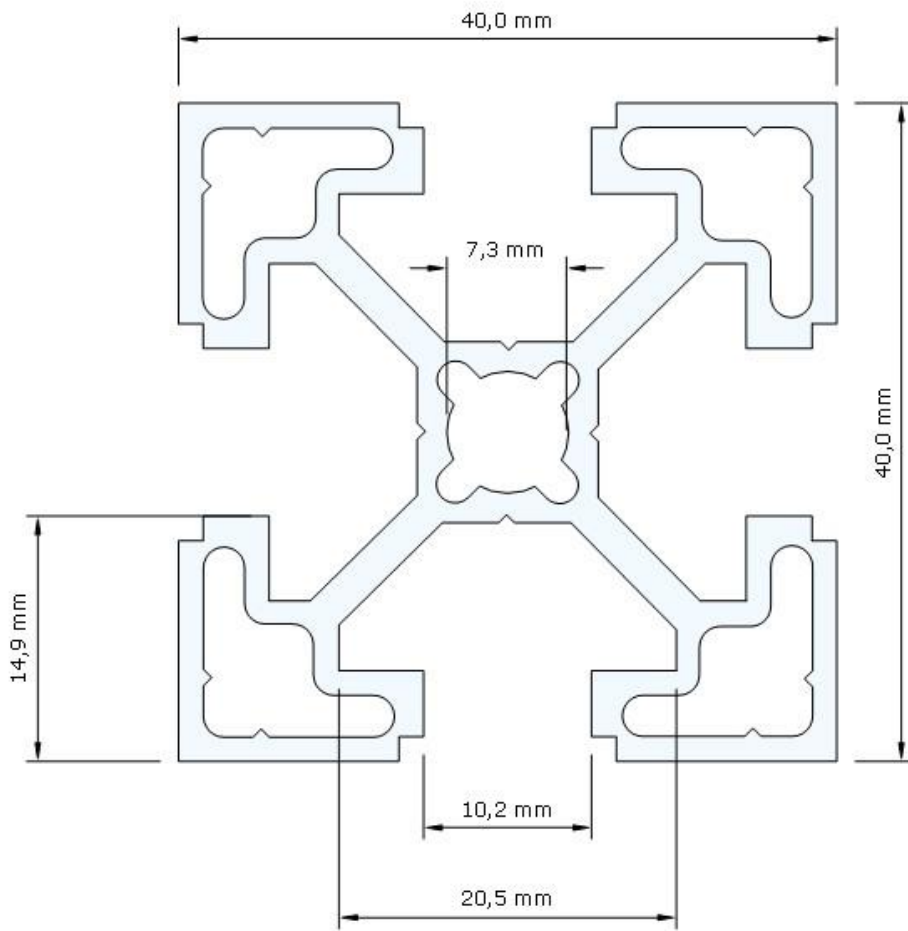
Prilog 9. Nosač monitora na radnoj poziciji



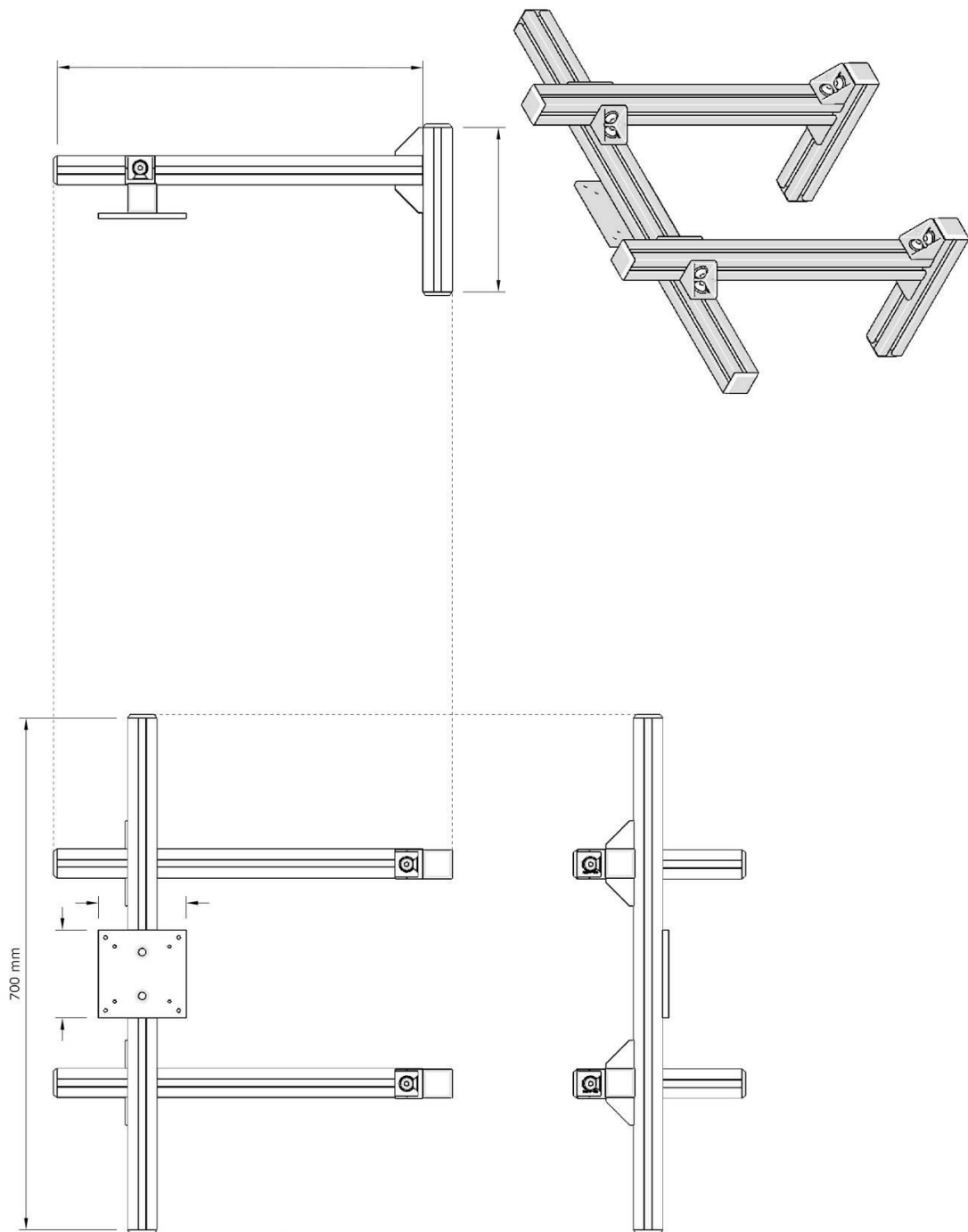
Prilog 10. Izometrijski prikaz nosača monitora na radnoj poziciji



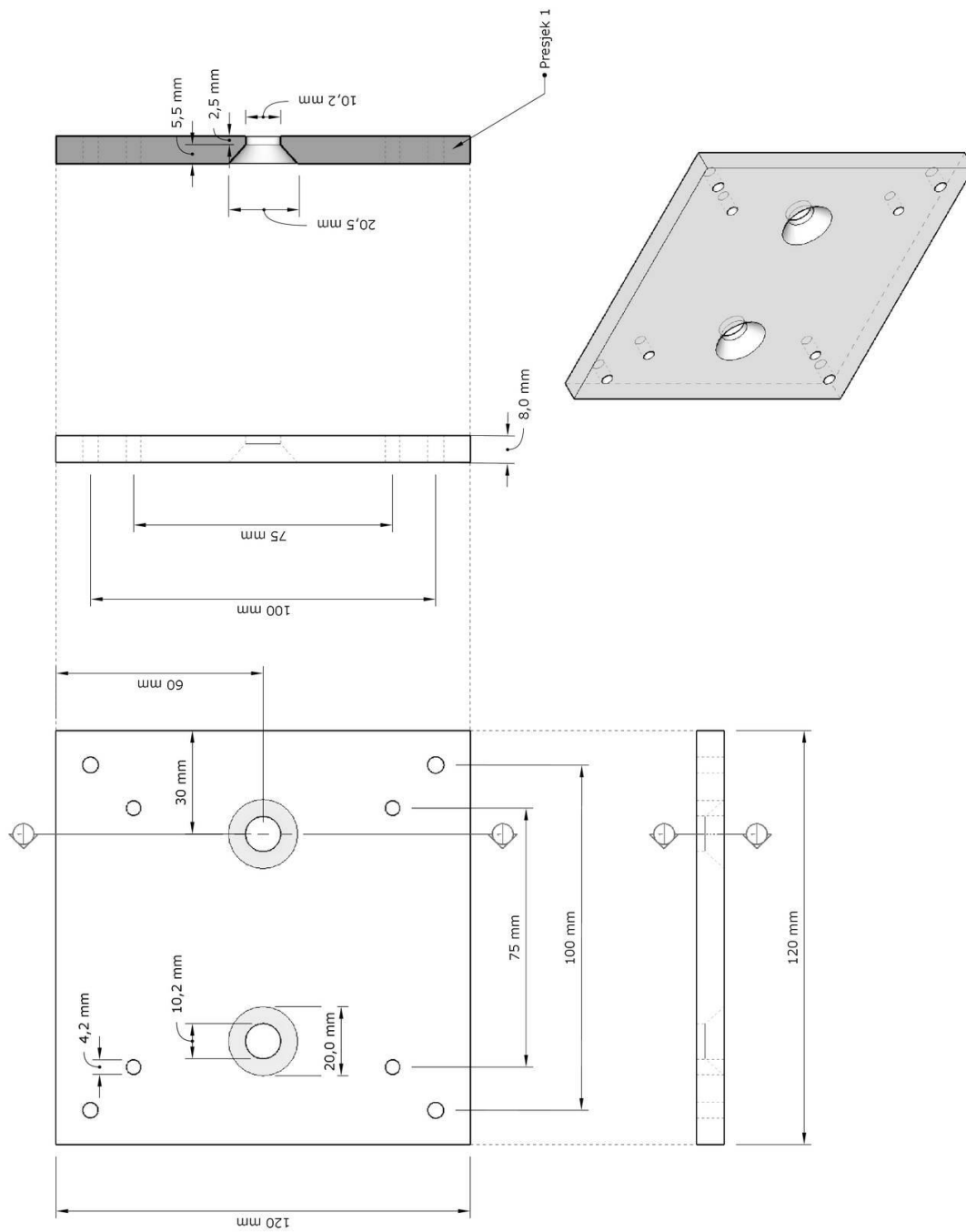
Prilog 11. Shema sastavljanja nosača monitora na radnoj poziciji



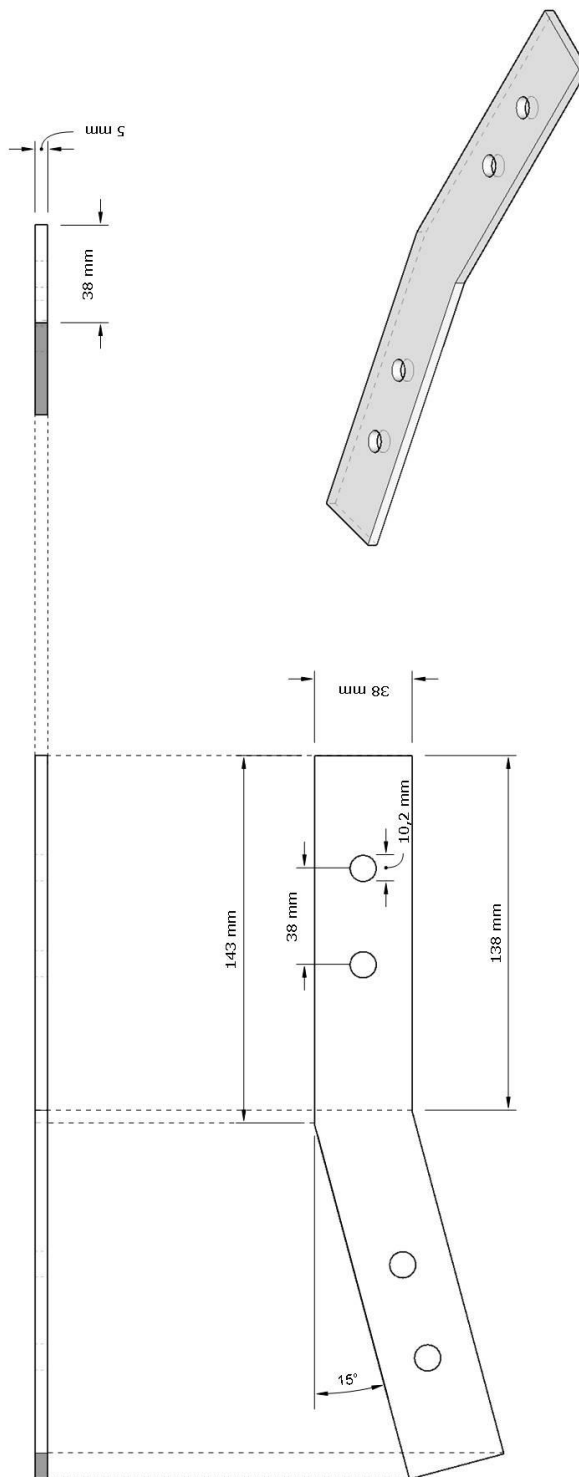
Prilog 12. Nacrt aluminijskog ekstrudiranog profila 4040 U10



Prilog 13. Nacrt nosača monitora na simulatorskoj poziciji



Prilog 14. Nacrt VESA nosača na simulatorskoj poziciji



Prilog 15. Kutnik za nosače monitora na simulatorskoj poziciji

LITERATURA

- [1] B. Juričić, B. Antulov-Fantulin i T. Rogošić. *Project ATCOSIMA – Air traffic Control Simulations at the Faculty of Transport and Traffic Sciences*. Zagreb: Faculty of Transport and Traffic Sciences; 2020.
- [2] Europska komisija. *UREDBA KOMISIJE (EU) 2015/340*. Europska komisija; 2015.
- [3] M. Pavlinović, B. Juričić i B. Antulov-Fantulin, *Air Traffic Controllers' Practical Part of Basic Training on Computer Based Simulation Device*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2017.
- [4] D. A. S. Fridyatama, S. Suparji i M. S. Sumbawati. Developing Air Traffic Control Simulator for Laboratory. *TEM Journal*. 2023; svez. 12, br. 3: 1462-1474.
- [5] C. Çetek, F. Aybek, E. Çınar i A. Cavcar. New directions for air traffic control simulators: A discussion to guide the selection and renovation of simulators. *The Aeronautical Journal*, 2013; svez. 117, br. 1190: 415-426.
- [6] Airbus. *Accidents by Flight Phase*. Preuzeto s: <https://accidentstats.airbus.com/accidents-by-flight-phase/> [Pristupljeno: 20. 6. 2024.]
- [7] project:syntropy]. *DFS Deutsche Flugsicherung – Tower Simulator*. Preuzeto s: <https://www.project-syntropy.de/en/portfolio-item/dfs-deutsche-flugsicherung-tower-simulator/> [Pristupljeno: 21. 1. 2024.]
- [8] domeprojection.com GmbH. *Innovative Solutions for Professional Projection Systems*. Preuzeto s: <https://www.domeprojection.com/> [Pristupljeno: 21. 1. 2024.]
- [9] Adacel Systems, inc. *MAXSIM: STATE-OF-THE-ART AIR TRAFFIC CONTROL SIMULATION AND TRAINING SYSTEM*. Preuzeto s: <https://www.adacel.com/maxsim-air-traffic-control-simulation-training> [Pristupljeno: 13. 10. 2023.]
- [10] Airways International. *Advanced simulation made easy*. Preuzeto s: <https://airwaysinternational.com/atc-simulation/> [Pristupljeno: 13. 10. 2023.]
- [11] Artisys, s. r. o. *CASS 2D/3D SIMULATOR*. Preuzeto s: <http://www.artisys.aero/cass-2d-3d-simulator.html> [Pristupljeno: 13. 10. 2023.]
- [12] Edda Systems AS. *Standard ATC Simulator*. Preuzeto s: <https://www.eddasystems.no/standard-atc-simulator> [Pristupljeno: 13. 10. 2023.]
- [13] Micro Nav Limited. *BEST Tower*. Preuzeto s: <https://www.micronav.co.uk/best-atc-simulator/best-tower/> [Pristupljeno: 13. 10. 2023.]
- [14] ROSE Simulation GmbH. *Airport Movement Simulator*. Preuzeto s: <http://www.rose-simulation.com/amos/> [Pristupljeno: 13. 10. 2023.]
- [15] Hrvatska kontrola zračne plovidbe. *Predstavljeni novi sustav osposobljavanja kontrolora i toranjski simulator*. Preuzeto s: <https://www.crocontrol.hr/mediji/novosti/predstavljen-novi-sustav-osposobljavanja-kontrolora-i-toranjski-simulator/> [Pristupljeno: 21. 1. 2024.]
- [16] NVIDIA. *Getting Started with NVIDIA Surround*. Preuzeto s: https://nvidia.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/5335 [Pristupljeno: 1. 2. 2024.]
- [17] Advanced Micro Devices. *Configure Multiple Displays to Run in AMD Eyefinity Mode*. Preuzeto s: <https://www.amd.com/en/support/kb/faq/dh3-014> [Pristupljeno: 1. 2. 2024.]

- [18] GamersNexus. »*Cables! DVI Differences, HDMI vs. DisplayPort, SATA II vs. SATA III, & More.* Preuzeto s: <https://gamersnexus.net/guides/1312-cables-dvi-differences-hdmi-vs-displayport> [Pristupljeno: 2. 2. 2024.]
- [19] ATEN. *What is DisplayPort Multi-Stream Transport (MST) and Does Your Desktop KVM Switch Need It?* Preuzeto s: <https://www.aten.com/global/en/resources/feature-articles/displayportmst/> [Pristupljeno: 2. 2. 2024.]
- [20] Statcounter. *Desktop Screen Resolution Stats Worldwide.* Preuzeto s: <https://gs.statcounter.com/screen-resolution-stats/desktop/worldwide> [Pristupljeno: 12. 2. 2024.]
- [21] RTINGS.com. *Our Monitor Input Tests, Resolution and Size.* Preuzeto s: <https://www.rtings.com/monitor/tests/inputs/resolution-size> [Pristupljeno: 2. 2. 2024.]
- [22] ViewSonic. *Monitor Curvature: All the Info You Need About Curved Monitors.* Preuzeto s: <https://www.viewsonic.com/library/entertainment/monitor-curvature-explained/> [Pristupljeno: 6 2 2024]
- [23] Cloudflare. *What is a network switch?* Preuzeto s: <https://www.cloudflare.com/learning/network-layer/what-is-a-network-switch/> [Pristupljeno: 28. 1. 2024.]
- [24] Boca Systems, Inc. *FSP 42/44/46 Flight Strip Printer Technical Manual.* Revision D. 2008.
- [25] SKYbrary. *Voice Communication System (VCS).* Preuzeto s: <https://skybrary.aero/articles/voice-communication-system-vc> [Pristupljeno: 6. 2. 2024.]
- [26] Inrico. *TM-9 4G Mobile Radio Connect to Move, Vehicle Device, Support Dual SIM Card.* Preuzeto s: https://www.inricosolutions.com/Mobile_Radio_BodyCam/inrico_tm-9.html [Pristupljeno: 7. 2. 2024.]
- [27] HAKOM. *CB radijske postaje.* Preuzeto s: <https://www.hakom.hr/hr/cb-radijske-postaje/272> [Pristupljeno: 7. 2. 2024.]
- [28] Motorola. *TALKABOUT T62 Walkie-talkies.* Preuzeto s: https://www.motorolasolutions.com/en_xu/products/consumer-two-way-radios/talkabout-t62-walkie-talkies.html#tabproductinfo [Pristupljeno: 7. 2. 2024.]
- [29] VESA. *VESA standard - What does the VESA standard mean.* Preuzeto s: <https://www.vesa-standard.com/index.html> [Pristupljeno: 13. 2. 2024.]
- [30] Ž. Lipanović. *Nadogradnja simulatora 3DAD za aerodromsku kontrolu zračnog prometa.* Zagreb: Fakultet prometnih znanosti; 2021.
- [31] W3Schools. *XML Tutorial.* Preuzeto s: <https://www.w3schools.com/xml/> [Pristupljeno: 22. 5. 2024.]
- [32] National Oceanic and Atmospheric Administration. *Shoreline / Coastline Resources.* Preuzeto s: <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/> [Pristupljeno: 11. 6. 2024.]
- [33] GitHub, Inc. *Blosm for Blender: OpenStreetMap, Google 3D cities, terrain.* Preuzeto s: <https://github.com/vvoovv/blosm> [Pristupljeno: 21. 8. 2024.]
- [34] Autodesk. *Unlock educational access to Autodesk products.* Preuzeto s: <https://www.autodesk.com/education/gateway?sorting=featured&filters=individual%2Cplatform-pc> [Pristupljeno: 23. 6. 2024.]
- [35] Blender Foundation. *Blender 4.1.* Preuzeto s: <https://www.blender.org/> [Pristupljeno: 23. 6. 2024.]

- [36] SparkFun Electronics, *Arduino Comparison Guide*. Preuzeto s: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/arduino-comparison-guide/atmega32u4-boards> [Pristupljeno: 23. 6. 2024.]
- [37] STMicroelectronics. *Mainstream Performance line, Arm Cortex-M3 MCU with 64 Kbytes of Flash memory, 72 MHz CPU, motor control, USB and CAN*. Preuzeto s: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html> [Pristupljeno: 23. 6. 2024.]
- [38] GitHub, Inc. *MMjoy project English mirror*. Preuzeto s: https://github.com/MMjoy/mmjoy_en [Pristupljeno: 23. 6. 2024.]
- [39] GitHub, Inc. *FreeJoy*. Preuzeto s: <https://github.com/FreeJoy-Team/FreeJoy> [Pristupljeno: 23. 6. 2024.]
- [40] EUROCONTROL. *Network strategic tool*. Preuzeto s: <https://www.eurocontrol.int/model/network-strategic-modelling-tool> [Pristupljeno: 24. 6. 2024.]

POPIS KRATICA

ABES : Abnormal and Emergency Situations	4
AIP: Aeronautical Information Publication	35
AMD: Advanced Micro Devices.....	10, 11
ATIS : Automatic Terminal Information Service	27, 41, 50
<i>ATM : Air Traffic Management</i>	6
C#: C-Sharp.....	51
CB : Citizens Band.....	20, 21, 24
CPDLC :Controller Pilot Data Link Communications	5
CTOT : Calculated Take Off Time	22, 41
DFS : Deutsche Flugsicherung GmbH.....	6
DP : DisplayPort.....	11
DVI-D : Digital Visual Interface-Digital	11
eAIP : Electronic Aeronautical Information Publication	34
FHD : Full HD.....	13
FIR : Flight Information Region	34, 36, 37, 38
FPS : First-Person Shooter	28
GMS : Ground Movement Surveillance.....	27
GPU: Graphics Processing Unit.....	10
GSM : Global System for Mobile Communications.....	19
HDMI : High-Definition Multimedia Interface	11
HID: Human Interface Devices.....	51
HTML : HyperText Markup Language.....	31
IFR: Instrument Flight Rules.....	passim
ILS: Instrument Landing System	36
LAN: Local Area Network.....	16, 19
MST : Multi-Stream Transport	11, 12
NEST: Network Strategic Tool.....	51
NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration.....	34
OSM: OpenStreetMap.....	47
PPI : Pixels Per Inch.....	15
PTT : Push-to-talk.....	19
QHD : Quad HD.....	13

RNAV : Area navigation.....	5, 37
SID: Standard Instrument Departure.....	37
STDI: Synthetic Training Device.....	4
UHD : Ultra HD	13
USB: Universal Serial Bus.....	51
VCS : Voice Communication System.....	18, 20
VESA :Video Electronics Standards Association.....	25, 26
VFR: Visual Flight Rules.....	passim
XML : eXtensible Markup Language	passim

POPIS SLIKA

Slika 1. Raspodjela nesreća po fazama leta 2003. - 2023.	5
Slika 2. Složeni simulatorski sustav	6
Slika 3. Simulatorski sustav	8
Slika 4. Tlocrt prostorije sa simulatorom.....	9
Slika 5. Korekcija zbog okvira monitora	11
Slika 6. Tipovi konektora	11
Slika 7. MST čvorište	12
Slika 8. Slikovni prikaz omjera stranica zaslona monitora	13
Slika 9. Dimenzije zaslona monitora	14
Slika 10. Zakrivljenost monitora	16
Slika 11. Shematski prikaz izgleda računalne mreže	17
Slika 12. Pisač papirnatih stripova BOCA FSP	17
Slika 13. Generički prikaz rasporeda funkcija na VCS-u	18
Slika 14. Mrežni radio „Inrico TM9“ i Motorola T62	19
Slika 15. Pozicija pseudo-pilota.....	21
Slika 16. Presjek stola na poziciji pseudo-pilota	22
Slika 17. Raspored monitora na poziciji pseudo-pilota	23
Slika 18. Izgled radarskih oznaka na monitorima GND i AIR	23
Slika 19. Izgled pozicije kontrolora zračnog prometa	24
Slika 20. Nosač s instaliranim monitorom.....	26
Slika 21. Orijentacija monitora na simulatorskoj poziciji	26
Slika 22. Alat za pravilnu orijentaciju monitora.....	27
Slika 23. Kutnik za nosače monitora na simulatorskoj poziciji.....	27
Slika 24. Raspored monitora na poziciji kontrolora zračnog prometa	28
Slika 25. Primjer XML elemenata	32
Slika 26. Struktura XML stabla	32
Slika 27. Sintaksa za izradu 2D mapa.....	33
Slika 28. GEODAS Coastline Extractor	35
Slika 29. Primjeri sintakse za unos točaka.....	35
Slika 30. Primjer odlazne procedure OBUTI1U.....	37
Slika 31. RNAV odlazne procedure za stazu 04.....	38
Slika 32. Primjer sintakse jednog segmenta zemaljske rute	38

Slika 33. Grafički prikaz segmenata odlaznih ruta	39
Slika 34. Grafički prikaz segmenata dolaznih ruta	39
Slika 35. Zaglavlje i meteorološki podaci datoteke vježbe	40
Slika 36. Primjer odlaznih planova leta	41
Slika 37. Primjer dolaznih planova leta	42
Slika 38. Lista zemaljskih vozila	43
Slika 39. 3D model zračne luke Zagreb.....	47
Slika 40. Zgrade izrađene uz pomoć dodatka <i>Blosm for Blender</i>	48
Slika 41. Zrakoplov <i>Airbus A320</i> Croatije Airlines neposredno nakon polijetanja u simulatoru 9A-SIM.....	48
Slika 42. Zrakoplov <i>De Havilland Canada Dash 8</i> Croatije Airlines za vrijeme niskog prilaženja u simulatoru 9A-SIM.....	49

POPIS TABLICA

Tablica 1. Rezolucije zaslona monitora	13
Tablica 2. Dimenzije zaslona monitora	15
Tablica 3. PPI	16
Tablica 4. Troškovi nabave računalne tehnike	29
Tablica 5. Troškovi nabave elektroničkih uređaja	29
Tablica 6. Troškovi nabave alu-profilnih dijelova	29
Tablica 7. Troškovi nabave namještaja	30
Tablica 8. Vrste točaka	36

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

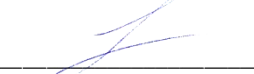
Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ **diplomski rad**
(vrsta rada)

isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom **Konceptualno rješenje 3D toranjskog simulatora**, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 1. 2. 2024.

Student/ica:



(ime i prezime, potpis)