

KREIRANJE I ANALIZA POVRŠINA SA PREPREKAMA ZA AERODROMPODGORICA KORIŠĆENJEM SOFVERSКИH RJEŠENJA ARCGIS I QGIS

CREATION AND ANALYSIS OBSTACLE LIMITATION SURFACES FOR PODGORICA AIRPORT USING SOFTWARE SOLUTIONS ARCGIS AND QGIS

Andrea Buntić, Mirko Borisov, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – RAČUNARSTVO I INFORMATIKA

Kratak sadržaj – U okviru ovog rada sproveden je postupak automatskog iscertavanja ravni ograničenja prepreka za aerodrom Podgorica koji ima za cilj prikupljanje i mapiranje svih objekata (kuća, zgrada, vegetacije, stubova, antena) koji se nalaze u domenu ravni. Dimenzije ovih ravni su urađene u skladu sa pravilnikom ICAO Annex 15. Nakon iscertavanja površina i njihove vizualizacije kroz programski paket ArcScene i QGIS.

Ključne reči: Ravni ograničenja prepreka, ICAO Annex 15, ArcGis, ArcPY, QGIS, QGIS2ThreeJS, Google Earth Pro, shapefile, kmz file

Abstract – In this study, it was necessary to carry out the procedure for the automatic creation of obstacle limitation surfaces for Podgorica Airport, collecting and mapping all objects (houses, buildings, vegetation, poles, antennas) located within the domain of these surfaces. The dimensions of these surfaces were established in accordance to the ICAO Annex 15. Visualization is done through the software packages ArcScene and QGIS.

Keywords: Obstacle limitation surface, ICAO Annex 15, ArcGis, ArcPY, QGIS, QGIS2ThreeJS, Google Earth Pro, shapefile, kmz file

1. UVOD

Aerodromi u avijaciji su oduvijek bili od velike važnosti, da bi se obezbijedila sigurnost letaćkih operacija i smanjio mogući rizik od potencijalnih nesreća i katastrofalnih događaja. Ideja je podrazumijevala kreiranje baze elektronskih podataka o terenu i preprekama i kreiranje 3D površine za analizu prepreka na aerodromu. Podaci o preprekama podrazumijevaju sve objekte koje se nalaze u blizini aerodroma i podatke o tim objektima (koordinate, visina, naziv objekta). Integracijom i upravljenjem podataka u ovakvom sistemu, koji je prije svega razumljiv i jednostavan za upotrebu, smanjuje se rizik od mogućih nesreća usled smanjene vidljivosti ili loših vremenskih uslova, jer pilot u svakom trenutku ima informaciju o poziciji objekta i njegovoj visini u koliko nije u mogućnosti da istu najjasnije uoči.

NAPOMENA:

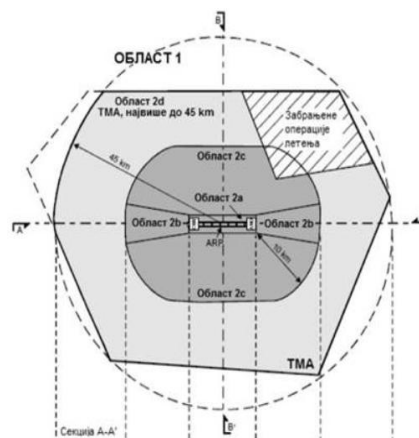
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Mirko Borisov, red. prof.

2. ICAO ANNEX 15

ICAO Annex 15 [2] definiše četiri obuhvata oblasti u kojima se primenjuju različiti numerički zahtjevi za teren i prepreke:

ZONA 1 pokriva čitavu državnu teritoriju, gdje je potrebno vršiti snimanje vještačkih prepreka viših od 100m iznad tla (zgrade, antene, stubovi i sl) za teritoriju Crne Gore.

ZONA 2 podrazumijeva oblast u blizini aerodroma i dijeli se na sledeće podzone: Zona 2a površina pravougaonog oblika oko poletno-sletne staze. Površina za prikupljanje podataka o preprekama za Zonu 2a ima visinu od 3m iznad najbliže nadmorske visine poletno-sletne staze. Zona 2b oblast koja se proteže od kraja Zone 2a u pravcu polijetanja, u dužini od 10km sa širenjem po 15% sa obje strane. Prepreke, čija je visina manja od 3m iznad tla ne moraju se prikupljati. Zona 2c prostor koji se proteže od kraja zona 2a i 2b do 10km od granice Zone 2a. Prepreke, čija visina iznosi manje od 15m iznad tla ne moraju da se prikupljaju Zona 2d obuhvata područje izvan zona 2a, 2b i 2c do 45km od referentne tačke aerodroma ili do postojeće TMA, u zavisnosti šta je bliže. U skladu sa ICAO Doc 9881/ Eurocontrol Priručnik za podatke o terenu i preprekama Zona 2 je završna kontrolisana oblast objavljena kao takva u Zborniku vazduhoplovnih informacija [1] (AIP) ograničena na maksimalno 45km od referentne tačke aerodroma. Površina za prikupljanje podataka o preprekama Zone 2d obuhvata prepreke visine 100m od tla.



Slika 1. Grafički prikaz zona aerodroma [2]

2.1 Skup podataka za Zonu 1

Ovaj standard [3] potražuje da se prikupe podaci o terenu u elektronskom formatu za cijelu teritoriju države. Podaci područja 1 se uglavnom koriste za sigurnosne mreže. U vazdušnoj navigaciji je potebno uspostaviti sigurnosni sistem koji će pružiti dodatnu zaštitu od sudara aviona ili sudara sa terenom ili preprekama. Shodno tome sigurnosne mreže su od velikog značaja i čine dio sistema koji kontroliše vazdušni saobraćaj.

2.2 Skup podataka za Zonu 2

Aerodromi koji se koriste za međunarodno civilno vazduhoplovstvo treba da obezbijede podatke za:

- Oblast 2a (obuhvata pistu i pravougaonog je oblika);
- Područje poletanja (2b);
- Područje ograničeno bočnim opsegom površina ograničenja aerodromskih prepreka.

3. PODACI O PRIKUPLJENIM PREPREKAMA

EUROCAE ED-98C [5] definiše pravila o prikupljanju podataka na terenu kao i karakteristike koji će da opisuju svaku predmetnu prepreku. Geometrijska svojstva svakog eniteta koja treba da budu dostavljena kroz formu izvještaja su koordinate prepreke, visina, nadomorska visina, geometrijski tip prepreke i slično. Svi neophodni atributi su prikazani u narednoj tabeli:

Tabela 1. Atributi prikupljenih podataka

English	Srpski
Obstacle	Tip prepreke
Area of coverage	Zona u kojoj se prepreka nalazi
Data originator identifier	Izvor podataka
Data source identifier	Identifikacioni broj prepreke
Acquisition method	Način prikupljanja podataka
Horizontal reference system	Horizontalni referentni sistem
Horizontal resolution	Horizontalna rezolucija
Horizontal position	Horizontalna pozicija
Elevation	Elevacija
Vertical reference system	Vertikalni referentni sistem
Vertical resolution	Vertikalna rezolucija
Date and time	Datum i vrijeme prikupljanja podataka
Unit of measurement used	Jedinice mjere

4. STUDIJA SLUČAJA

4.1 Kreiranje ravni ograničenja prepreka

Kreiranje ravni ograničenja prepreka izvršeno je kroz ArcPy skriptu u okviru programskog jezika Python 2.7 koji je sadržan u softverskom rješenju ArcScene. Ravni ograničenja prepreka se kreiraju prema zadatim dimenzijama u daljem nastavku ćemo ih nazivati zone. Zone su konstruisane po pravilima i specifikacijama koji su objašnjeni u prethodnim poglavljima pod brojem 2. i 3. Vrijednosti kao što su poprečni pomak, nagib i dužina nagiba, odnose se na standarde koje postavlja Međunarodna organizacija za civilno vazduhoplovstvo (ICAO) za zaštitu ravni prepreka. Aerodrom Podgorica prema načinu prilaska poletno-sletnih staza spada u kategoriju sa preciznim prilazom kategorije I.

Aerodrom Podgorica ima poletno-sletnu stazu sa preciznim prilazom kategorije I (CAT I) prema ICAO standardima, što znači da koristi sistem za precizno sletanje, najčešće ILS (Instrument Landing System).

Klasifikacija poletno-sletnih staza prema načinu prilaza za Aerodrom Podgorica uključuje:

Parametri za Precizni Prilaz Kategorije I

1. **Horizontalna površina:** Radijus iznosi oko 4000 m od referentne tačke aerodroma. Visina je definisana na osnovu referentne visine piste.

2. **Konusna površina:** Početna visina se određuje na osnovu gornje granice horizontalne površine. Nagib iznosi 5% (1:20), a radijus određujemo tako što se proširuje do visine od 100 m iznad gornje granice horizontalne površine.

3. **Površina izlaznog prelaza:** Nagib iznosi 2% (1:50), dužina: 15000m dok je širina 180 m na početku, širi se progresivno [6].

```
import arcpy
import numpy as np
from math import atan2, cos, sin, radians

# Postavi radni prostor i koordinatni sistem
arcpy.env.workspace = "C:/Users/Korisnik/Desktop/Zadatak"
arcpy.env.overwriteOutput = True
sr = arcpy.SpatialReference(31276) # EPSG 31276: MGI / Balkans zone 6

# Pragovi piste (Threshold)
threshold_A = np.array([6603456.570, 4690103.340, 37.070]) # Prag A piste
threshold_B = np.array([6603608.034, 4692598.747, 37.070]) # Prag B piste

# Definišemo segmente prilazne površine
segments = [
    {'length': 3000, 'slope': 0.02, 'width_start': 300, 'width_end': 800}, # Segment 1
    {'length': 3600, 'slope': 0.025, 'width_start': 800, 'width_end': 1500}, # Segment 2
    {'length': 8400, 'slope': 0, 'width_start': 1500, 'width_end': 4900}, # Segment 3
]

# Izračunaj ugao linije između praga A i praga B
delta_x = threshold_B[0] - threshold_A[0]
delta_y = threshold_B[1] - threshold_A[1]
angle_AB = atan2(delta_y, delta_x) # Ugao u radianima za pravac A->B

# Korekcija za standardnu orijentaciju (rotiramo za 90 stepeni)
correction_angle = radians(90) # Rotiramo za 90 stepeni

# Funkcija za rotaciju tačke
def rotate_point(point, origin, angle):
    ox, oy = origin
    px, py = point

    qx = ox + cos(angle) * (px - ox) - sin(angle) * (py - oy)
    qy = oy + sin(angle) * (px - ox) + cos(angle) * (py - oy)
    return qx, qy

# Kreiraj prazan Feature Class za prilazne površine (3D)
output_fc_A = "approach_surface_A.shp"
output_fc_B = "approach_surface_B.shp"
arcpy.CreateFeatureclass_management(arcpy.env.workspace, output_fc_A, "POLYGON",
    spatial_reference=sr, has_z="ENABLED")
arcpy.CreateFeatureclass_management(arcpy.env.workspace, output_fc_B, "POLYGON",
    spatial_reference=sr, has_z="ENABLED")

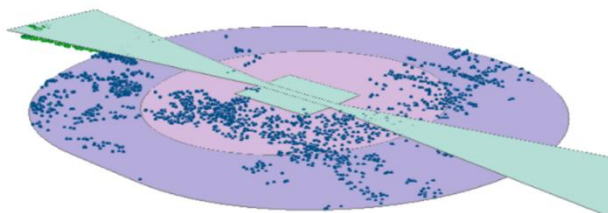
# Dodaj polje za visinu u oba Feature Class-a
arcpy.AddField_management(output_fc_A, "Height", "DOUBLE")
arcpy.AddField_management(output_fc_B, "Height", "DOUBLE")

# Funkcija za kreiranje 3D poligona za jedan segment
```

Slika 2. Kod u ArcPy skripti za kreiranje ravni

4.2 Učitavanje prikupljenih podataka i njihova analiza

U ArcScene-u potrebno je učitati podatke snimljenih objekata iz excel tabele i pokrenuti kod za automatsku klasifikaciju podataka. Ideja je da se svakoj konstruisanoj površini (slika 3) dodijeli oznaka, odnosno zona koju svaka ta površina reprezentuje. Zatim se u tabeli .shp fajla koji predstavlja snimljene podatke formira prazna kolona "Zona" koju ćemo popuniti na osnovu položaja tačaka u odnosu na ove ravni. Polazeći od pretpostavke da nije definisano kojoj zoni pripadaju snimljeni podaci potrebno je bilo napraviti ArcPy skriptu sa kodom koja bi trebala da napravi presjek poligona po zonama sa tačkama, da bi se nakon izvršenog koda u tabeli podataka za tačke automatski generisala kolona koja predstavlja zone, i svaka tačka na taj način bila klasifikovana u zonu kojoj pripada.



Slika 3. Klasifikacija tačaka po zonama i brisanje viška podataka

Takođe, svaka od ovih zona, ima određena ograničenja [4] kada su u pitanju visine prepreka koje se prikupljaju. Zona_2A podrazumijeva prikupljanje svih objekata čija je visina manja od 3m, Zona 2B se odnosi na sve objekte čija visina je veća 3m, Zona 2C podrazumijeva sve objekte koji su veći od 15m, Zona 2D podrazumijeva objekte koji su veći od 100m. Tako da je i ovaj uslov bilo potrebno implementirati u kodu.

5. VIZUALIZACIJA SNIMLJENIH PODATAKA

5.1 Prikaz podataka koristeći ArcScene

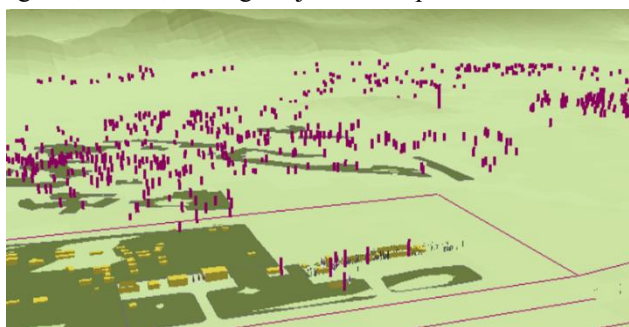
Vizualizacija podataka u ArcScene-u [7] odnosi se na proces prikazivanja i analiziranja prostornih podataka u trodimenzionalnom (3D) okruženju. Ključne karakteristike vizualizacije su:

3D Prikazivanje: Podaci koji se prikazuju u ArcScene-u mogu biti predstavljeni u tri dimenzije, omogućavajući korisnicima da vizualizuju visinu (Z dimenziju) zajedno sa standardnim X i Y koordinatama. Ovo je posebno korisno za prikazivanje terena, zgrada, infrastrukture, vegetacije i drugih elemenata koji imaju značajnu vertikalnu komponentu.

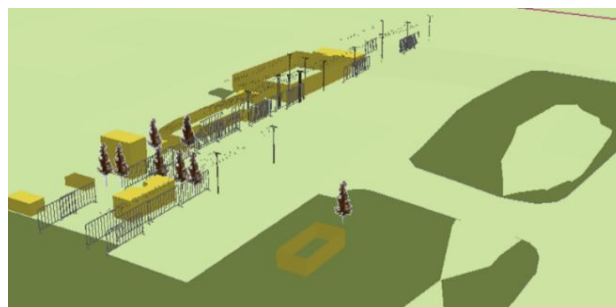
Rad s Digitalnim Modelima Terena (DMT): ArcScene može koristiti digitalne modele terena za stvaranje realističnih 3D prikaza terena. Ovi modeli omogućavaju precizno prikazivanje reljefa i visinskih razlika na mapi.

Ekstrudiranje podataka: ArcScene omogućava ekstrudiranje poligona i linija kako bi se prikazala stvarna visina ili neka druga numerička vrijednost. Na primjer, zgrade mogu biti prikazane u svojoj stvarnoj visini, ili putevi mogu biti prikazani na osnovu nadmorske visine.

Rad sa 3D Simbolima: U ArcScene-u, 3D simboli mogu biti korišćeni za predstavljanje tačaka, linija, i poligona. Ovi simboli mogu predstavljati stvarne objekte kao što su zgrade, drveće, ili druge objekte u 3D prostoru.



Slika 4. Snimljeni 3D podaci



Slika 5. Stilsko uređivanje 3D podataka

5.2 Prikaz podataka koristeći QGIS2ThreeJS

QGIS2ThreeJS je plugin za QGIS [8] koji omogućava vizualizaciju geoprostornih podataka u 3D formatu. Koristi ThreeJS biblioteku kako bi kreirao interaktivne 3D scene koje se mogu pregledati u web pretraživaču. Ovo je posebno korisno za prezentaciju terena, zgrada i drugih trodimenzionalnih objekata u realističnijem prikazu. Konfiguracija 3D scene u QGIS2ThreeJS podrazumijeva da izaberemo DEM sloj za prikaz terena (DEM LAYER), zatim potrebno je dodati vektorske slojeve koje treba prikazati u 3D prostoru (VECTOR LAYERS - tačke, linije, poligoni) i potrebno je postaviti Z-Scale, odnosno vertikalno uvećanje za naglašavanje topografije. Moguće je podesiti različite boje, teksture i prozirnost kako bi prikaz bio što vizuelno realniji.

Glavne funkcije i mogućnosti QGIS2ThreeJS:

1. 3D prikaz terena (DEM):
 - o Može se učitati digitalni elevacioni model (DEM) za kreiranje trodimenzionalnog prikaza terena.
 - o Plugin omogućava dodavanje visinskih podataka kako bi teren izgledao realistično.



Slika 6. Vizualizacija QGIS2ThreeJS

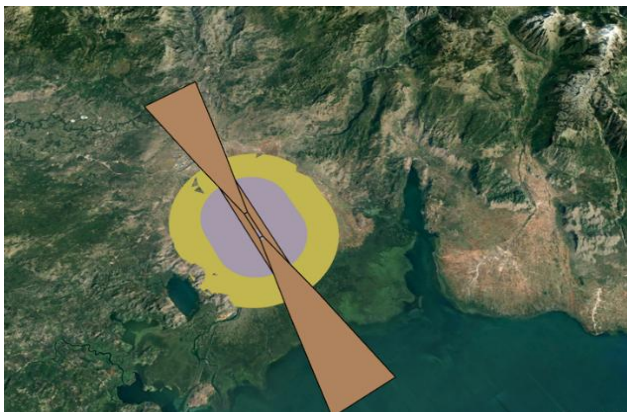
2. Vizualizacija vektorskih slojeva:
 - o Vektorski slojevi, kao što su poligoni, linije i tačke, mogu biti prikazani u 3D prostoru.
 - o Moguće je kontrolisati visinu (ekstruziju) vektorskih objekata na osnovu atributa ili definisane vrijednosti, što je posebno korisno za prikaz zgrada, infrastrukturnih objekata ili druge infrastrukture.
3. Pristup i učitavanje OpeenStreet Mapa

o Moguće je učitati online mapu, radi realističnijeg prikaza terena. U ovom radu je korišten HCMGIS plugin za QGIS koji omogućava jednostavan pristup online mapama i servisima, kao što su Esri, Google Maps, Bing Maps, OpenStreetMap i mnogi drugi..

5.3 Prikaz podataka koristeći Google Earth Pro

Google Earth Pro pruža besplatan pristup satelitskim snimcima i 3D modelima širom svijeta, što omogućava jednostavnu vizualizaciju geoprostornih podataka.

S obzirom da ArcScene ima mogućnost konverzije .shp fajlova u .kmz format, pa se samim tim ostvaruje mogućnost prikazivanja kreiranih modela površi i kroz još jedno softversko rješenje, Google Earth Pro. Upotrebom alata u ArcScene-u pod nazivom "Layer to KML", omogućena je konverzija zona ograničenja prepreka koje smo modelovali kroz ArcPy skriptu, u .kmz format.



Slika 7. Vizualizacija Google Earth Pro

6. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada je bilo potrebno sprovesti postupak iscertavanja ravni ograničenja prepreka za aerodrom Podgorica koji ima za cilj prikupljanje i mapiranje svih objekata (kuća, zgrada, vegetacije, stubova, antena) koji se nalaze u domenu ravni. Početni korak podrazumijevao je generisanje koda kroz ArcPy biblioteku, koja će automatski da iscertava površinu oko piste, uzletnu i poletnu stazu (u radu označene kao 2A i 2B ravni), horizontalnu i konusnu površinu. Dimenzije ovih ravni su urađene u skladu sa pravilnikom ICAO Annex 14 i 15, prema klasifikaciji za aerodrom Podgorica koji spada u kategoriju I, preciznog prilaza. Nakon iscertavanja površina i njihove vizualizacije kroz programski paket ArcScene i QGIS, bilo ih je potrebno preklapati sa OpenStreet mapom, da bi se napravio plan mapiranja, odnosno snimanja objekata za teritoriju Podgorice. Podaci o objektima su prikupljeni na terenu, metodom skeniranja pomoću bespilotne letjelice - drona i pomoću uređaja totalne stanice i GNSS uređaja. Nakon akvizicije i obrade podataka, podaci su importovani u ArcScene i QGIS kao .shp file. Vizualizaciju snimljenih objekata je moguće realizovati kroz programe ArcScene i QGIS2ThreeJS plugin za QGIS koji omogućava vizualizaciju geoprostornih podataka u 3D formatu. Ovi programi omogućavaju da se 2D geometrijski oblik (kao što je poligon koji predstavlja osnovu zgrade) "izvlači" u treću dimenziju (visinu) kako bi postao 3D objekat ne bi li se ostvario što realističniji prikaz snimljenih podataka.

ArcScene, nudi robustnije mogućnosti za analizu i vizualizaciju unutar Esri ekosistema, ali uz viši trošak i ozbiljnije učenje i usavršavanje dok je QGIS2ThreeJS realan izbor za korisnike koji traže besplatan, fleksibilan i jednostavan alat za 3D vizualizaciju koji se lako dijeli preko interneta. Odabir između ova dva alata zavisi od specifičnih potreba projekta, budžeta i tehničkih zahtjeva. Takođe, eksport .shp fajlova u .kmz format omogućava nam i vizualizaciju kroz Google Earth Pro i na taj način podaci postaju dostupni na uvid mnogo većem broju korisnika koji ne moraju da budu uslovljeni da koriste ArcGis softvere, već da mogu pomoću drugih softvera imati uvid u kreirane modele površina i prikupljene podatke na terenu. Google Earth Pro je primarno softver koji služi za vizualizaciju podataka ali ne nudi napredne alate za analizu i modelovanje, što znači da sve složenije procese koje uključuju prostorne analize i modelovanje podataka treba odraditi kroz specijalizovane softvere, kao što su ArcGis ili QGIS alati, kao što je i prikazano u ovom radu.

7. LITERATURA

- [1] EUROCAE/RTCA, "ED-98C/DO-276C - User requirements for terrain and obstacle data", *Edition 3*, 2015.
- [2] Aeronautical Information Services, "ICAO Annex 15", *Sixteenth Edition, DRAFT 1*, 22/10/2015.
- [3] International Civil Aviation Organization, "ICAO Annex 14 - Aerodromes, Volume Aerodrome Design and Operations.", *Eighth Edition*, 2018.
- [4] EUROCONTROL Guidelines, "Eurocontrol Terrain and Obstacle Data Manual", 04/05/2021
- [5] Aeronautical Information Management, "ICAO DOC 10066 PANS - AIM", 2018.
- [6] ArcGIS Desktop Help - ArcScene 10.8.
<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/what-is-arcscene.html> (pristupljeno u avgustu 2024.)
- [7] QGIS User Guide 3.28
https://docs.qgis.org/3.28/en/docs/user_manual/ (pristupljeno u avgustu 2024.)
- [8] Google Earth Help Center
<https://support.google.com/earth/> (pristupljeno u avgustu 2024.)

Kratka biografija



Andrea Buntić rođena je 1997. godine u Baru, Crna Gora. Završava gimnaziju opšti smjer 2016. god. Iste godine upisuje Fakultet Tehničkih nauka, smjer geodezija i geomatika. Diplomirala je 2020. godine i iste godine upisala master studije na istom smjeru.