

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Zvonimir Rezo

ANALIZA FRAGMENTIRANOSTI EUROPSKOG ZRAČNOG PROSTORA U  
OVISNOSTI O PROSTORNOJ DISPERZIJI JEDINIČNIH NAKNADA  
PRUŽATELJA USLUGA U ZRAČNOJ PLOVIDBI

Zagreb, 2018.

Ovaj rad izrađen je na Zavodu za zračni promet Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom doc. dr. sc. Ružice Škurla Babić i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade za akademsku godinu 2017./2018.

## **POPIS KRATICA**

ANSP (Air Navigation Service Provider) - Pružatelj usluga u zračnoj plovidbi

ATM (Air Traffic Management) - Upravljanje zračnim prometom

AU (Airspace User) - Korisnik zračnog prostora

CRCO (Central Route Charging Office) - Centralni ured za naplatu rutnih naknada

Eurocontrol (European Organisation for the Safety of Air Navigation) - Europska organizacija za sigurnost zračne plovidbe

FAB (Functional Airspace Block) - Funkcionalni blok zračnog prostora

FIR (Flight Information Region) - Područje letnih informacija

FP (Flight Plan) - Plan leta

GISA (Global Indicator of Spatial Autocorrelation) - Globalni indikator prostorne autokorelacije

HCV (High Critical Value) - Visoka kritična vrijednost

HH (High-High) - Visoko-Visoki indikator

HL (High-Low) - Visoko-Niski indikator

LCV (Low Critical Value) - Niska kritična vrijednost

LH (Low-High) - Nisko-Visoki indikator

LISA (Local Indicator of Spatial Autocorrelation) - Lokalni indikator prostorne autokorelacije

LL (Low-Low) - Nisko-Niski indikator

MAUR (Monthly Adjusted Unit Rates) - Mjesečno prilagođene jedinične naknade

MHCV (Medium High Critical Value) - Srednje visoka kritična vrijednost

MLCV (Medium Low Critical Value) - Srednje niska kritična vrijednost

MTOW (Maximum Take-Off Weight) - Najveća dopuštena masa zrakoplova u polijetanju

NIL (Nothing) - Prazno/Ništa

NM (Nautical Mile) - Nautička milja

SES (Single European Sky) - Jedinstveno europsko nebo

STATFOR (Statistics and Forecast Service) - Ured za statistiku i predviđanja

UIR (Upper Information Region) - Područje letnih informacija u gornjem zračnom prostoru

UR (Unite Rate) - Jedinična naknada

VHCV (Very High Critical Value) - Izrazito visoka kritična vrijednost

VLCV (Very Low Critical Value) - Izrazito niska kritična vrijednost

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
1.1. Struktura rada .....	2
1.2. Svrha, ciljevi i hipoteza istraživanja .....	3
1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja .....	5
<b>2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA</b> .....	7
2.1. Opis područja istraživanja.....	7
2.2. Program AirStat .....	11
2.2.1. Tehnička izrada i praktični dio rada programa.....	13
2.2.2. Opis skupa podataka i karakteristika uzoraka .....	16
2.2.3. Analitičko istraživanje skupa podataka .....	21
2.2.3.1. Analiza žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora .....	23
2.2.3.2. Analiza prostornog klasteriranja naplatnih zona europskog zračnog prostora.....	24
2.2.3.3. Analiza prostorno atipičnih vrijednosti naplatnih zona europskog zračnog prostora..	26
<b>3. REZULTATI</b> .....	27
3.1. Rezultati analize žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora.....	27
3.2. Rezultati analize prostornog klasteriranja naplatnih zona europskog zračnog prostora .....	32
3.3. Rezultati analize prostorno atipičnih vrijednosti naplatnih zona europskog zračnog prostora.	37
<b>4. RASPRAVA</b> .....	41
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	45
Zahvale.....	48
Popis literature .....	49
Sažetak .....	53
Popis slika .....	55
Popis grafikona .....	56
Popis tablica.....	57

## 1. UVOD

U pedesetim godinama prošlog stoljeća, države na području Europe dugo su oklijevale nametati rutne naknade zračnim prijevoznicima koji su često bili financijski subvencionirani od strane države. Porastom potražnje za uslugama zračnog prometa, razina prometa i složenost sustava ubrzano su rasli, a države su se počele suočavati sa značajno povećanim troškovima pružatelja usluga u zračnoj plovidbi (*engl. Air Navigation Service Providers - ANSPs*). Pored navedenog, vlasti su sve više bile svjesne činjenice da tadašnji sustav upravljanja zračnim prometom ne odgovara prognoziranom razvoju zračnog prometa i da će se širenjem tržišta civilnog zrakoplovstva omogućiti besplatno pružanje usluga zračne plovidbe zračnim prijevoznicima drugih zemalja koji su često bili u privatnom vlasništvu.

Na području Europe, sedamdesetih se godina prošlog stoljeća počinje primjenjivati metodologija naplate rutnih naknada u skladu sa zajednički definiranom i usuglašenom politikom država. Osnovni dio sustava naplate rutnih naknada čine jedinične naknade pružatelja usluga u zračnoj plovidbi. Jedinična naknada svake države definira se kao kvocijent predviđenih troškova pružatelja usluga u zračnoj plovidbi i predviđenog prometa u nerednoj godini i u određenoj naplatnoj zoni. Različite vrijednosti jediničnih naknada europskih pružatelja usluga u zračnoj plovidbi rezultirale su i različitim troškovima letenja po različitim rutama na području europskog zračnog prostora. Stoga je od izrazite važnosti pratiti razvoj tokova zračnog prometa kao i vrijednosti jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi.

Radom je provedena analiza fragmentiranosti europskog zračnog prostora u ovisnosti o prostornoj disperziji jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi. Analiza se temelji na istraživanju prostorne autokorelacije naplatnih zona europskog zračnog prostora. Osnovu istraživanja predstavlja matematički model iz kojeg je kasnije kreiran program „AirStat“ koji se dugoročno može primjenjivati za vrednovanje učinaka zračnog prometa na području Europe, a u sklopu djelatnosti strateškog planiranja zračnog prometa zračnih prijevoznika, pružatelja usluga u zračnoj plovidbi, agencija civilnog zrakoplovstva, akademskih i istraživačkih ustanova te ostalih zainteresiranih dionika.

## 1.1. Struktura rada

Rad pod naslovom *Analiza fragmentiranosti europskog zračnog prostora u ovisnosti o prostornoj disperziji jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi* sastoji se od sljedećih pet poglavlja:

1. Uvod
2. Metodologija istraživanja
3. Rezultati
4. Rasprava
5. Zaključak.

Nakon uvodnog dijela rada, opisa svrhe i ciljeva istraživanja te pregleda dosadašnjih istraživanja, slijedi drugo poglavlje u kojemu je opisana metodologija provođenja istraživanja. Ono započinje opisom područja istraživanja nakon čega slijedi opis novokreiranog programa AirStat, njegove tehničke izrade te praktičnog dijela rada programa. Potom slijedi opis skupa podataka i karakteristika uzoraka na temelju kojih je provedeno istraživanje. Razradom i opisom korištenih analitičkih metoda integriranih u okviru programa AirStat, završen je opis metodologije istraživanja.

U trećem poglavlju prikazani su rezultati istraživanja fragmentiranosti europskog zračnog prostora u ovisnosti o prostornoj disperziji jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi za ožujak 2018. godine. Dobiveni rezultati istraživanja produkt su primjene programa AirStat te uključuju provedbu triju analiza: analize žarišnih područja naplatnih zona, analize prostornog klasteriranja naplatnih zona i analize prostorno atipičnih vrijednosti naplatnih zona europskog zračnog prostora.

Rezultati provedenog istraživanja se interpretiraju u četvrtom poglavlju te stavljaju u širi kontekst ranijih znanstvenih i stručnih radova.

U zaključnom poglavlju su sintetizirani najvažniji rezultati istraživanja, ukazano je na mogućnosti primjene AirStat programa te su dane smjernice daljnjih istraživanja.

## 1.2. Svrha, ciljevi i hipoteza istraživanja

Planiranje i razvoj zračnog prometa na području Europe ovisi o mnogo elemenata među koje spada i naplata usluga rutne zračne plovidbe kojom se financiraju pružatelji usluga u zračnoj plovidbi. Rutne naknade imaju izravan utjecaj na ekonomičnost poslovanja zračnih prijevoznika. Sustav upravljanja zračnim prometom predstavlja kompleksni sustav u kojem je potrebno prije bilo kakvog donošenja odluka ili prihvaćanja promjena u okviru sustava, primjenom različitih simulacijskih modela, provesti prognoziranja i ispitivanja funkcionalnosti sustava.

Dosadašnja primjena strategijskog planiranja operacija zračnog prometa rezultirala je stvaranjem neuravnoteženog razvoja zračnog prometa na području Europe. Navedeno je kao izravnu posljedicu imalo kreiranje različitih vrijednosti jediničnih naknada (*engl. Unite Rate - UR*) primjenjivih na različitim područjima europskog zračnog prostora. Europska komisija, različiti predstavnici zračnih prijevoznika kao i mnogi autori različitih stručnih i znanstvenih radova prepoznaju fragmentiranost europskog zračnog prostora kao uzrok neučinkovitosti europskog sustava upravljanja zračnim prometom.

Zbog kontinuiranog porasta potražnje za uslugama zračnog prometa, prometno planiranje zračnog prometa više se ne može temeljiti na zadovoljavanju prometne potražnje samo u bliskoj budućnosti. Rast zračnog prometa mora se kontrolirati i ciljano kanalizirati modeliranjem različitih opcija s ciljem upravljanja budućom potražnjom. Eurocontrol (*engl. European Organisation for the Safety of Air Navigation*) u studiji *Challenges of Air Transport 2030: Survey of expert' views* iz 2008. godine, smatra da bi u budućnosti potražnja za uslugama zračnog prometa mogla biti izrazito prostorno promjenjiva što čini istraživanja fragmentiranosti europskog zračnog prostora vrlo važnima [1].

Također, neuravnotežen je razvoj rezultirao i eskalacijom negativne dimenzije zračnog prometa (što se ponajbolje očituje u zagušenjima zračnih prostora i ruta te kašnjenjima letova) što pridonosi izravnoj ekološkoj škodljivosti zračnog prometa. Uz već spomenute negativne dimenzije zračnog prometa, želja zrakoplovnih operatora da lete na ekonomičnim i često dužim rutama kroz jeftinije naplatne zone dodatno pridonosi negativnom utjecaju zračnog prometa na okoliš.

Izbor teme temeljen je na aktualnosti i važnosti promjena koje se javljaju u okviru sustava upravljanja zračnom plovidbom na regionalnoj i europskoj razini, a koje se odražavaju i na

konceptije nacionalnih programa razvoja i upravljanja zračnim prometom i prostorom. Svrha rada jest razviti metodologiju i prikazati mogućnosti primjene programa AirStat za analizu fragmentiranosti europskog zračnog prostora s obzirom na vrijednosti jediničnih rutnih naknada, te navedeno prikazati na konkretnom primjeru (ožujak 2018. godine).

S naprednim razvojem računala, stvoreni su ili ponovno uvedeni mnogi prostorno-tehnički algoritmi s ciljem statističkih mjerenja različitih vrsta prostorne disperzije. Primjenom računala olakšana je identifikacija i rješavanje prostornih problema uključujući probleme sakupljanja, spremanja, vizualizacije i analize prostornih podataka. Program AirStat, izrađen za potrebe ovog istraživanja, temelji se na matematičkom modelu koji istražuje prostornu autokorelaciju naplatnih zona europskog zračnog prostora i uključuje podatke o 42 europska pružatelja usluga u zračnoj plovidbi. Prostornom autokorelacijom mjeri se i homogenost naplatnih zona europskog zračnog prostora, stupanj po kojemu je neki prostorni fenomen u korelaciji sam sa sobom u prostoru te razina ovisnosti vrijednosti jediničnih naknada susjednih naplatnih zona.

Provedbom istraživanja testira se hipoteza da je europski zračni prostor fragmentiran u ovisnosti o prostornoj disperziji jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi te da je razinu fragmentiranosti moguće identificirati primjenom metode istraživanja prostorne autokorelacije za koju je razvijen program AirStat. Nadalje, provedbom kvantitativnog istraživanja za cilj ima odgovoriti na sljedeća istraživačka pitanja:

- kakve karakteristike vrijednosti jediničnih naknada obuhvaćaju određena područja europskog zračnog prostora,
- gdje su javljaju klasteri i koliki je intenzitet grupiranja,
- razlikuju li se prostorno vrijednosti jediničnih naknada i koje vrijednosti su najčešće,
- gdje se javljaju prostorno atipične vrijednosti i koliki je njihov obuhvat,
- gdje se nalaze žarišta izrazito visokih ili niskih vrijednosti jediničnih naknada,
- postoji li prostorna autokorelacija i kolika je jačina povezanosti pružatelja usluga u zračnoj plovidbi u ovisnosti o prostornoj disperziji vrijednosti jediničnih naknada,
- jesu li odnosi konzistentni na cijelom području istraživanja, tj. postoji li jednoobrazan prostorni uzorak.



### 1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja

U 2017. godini na području europskog zračnog prostora ostvareno je 10,6 milijuna letova s prosječnim vremenom polijetanja svake 3 sekunde [2] što odgovara zaključcima Miheteca i suautora u [3] prema kojima se uz trenutnu zadaću sigurnog razdvajanja zrakoplova, pred budući sustav upravljanja zračnim prometom (*engl. Air Traffic Management - ATM*) postavlja imperativ osiguranja dodatnog kapaciteta zračnog prostora, kako bi se pariralo prognoziranom povećanju prometne potražnje. Predviđeni rast zračnog prometa u narednih dvadeset godina zahtijeva implementaciju inovativnih metoda, rješenja i procedura kojima bi se trenutna učinkovitost sustava upravljanja zračnim prometom poboljšala.

Europski sustav upravljanja zračnim prometom izrazito je fragmentiran s obzirom na broj pružatelja usluga u zračnoj plovidbi, unatoč brojnim ranijim inicijativama Europske komisije i uvođenja različitih regulatornih paketa kojima se nastojala umanjiti fragmentiranost i pospješiti učinkovitost i homogenost sustava. Prema Strategiji zrakoplovstva za Europu [4], troškovi rascjepkanog europskog zračnog prostora procjenjuju se na najmanje pet milijardi eura godišnje te imaju negativni utjecaj na kompetitivnost zračnih prijevoznika.

Različiti autori definiraju različite uzroke, posljedice i smjernice razvoja europskog zračnog prometa s ciljem nadvladavanja trenutne fragmentiranosti europskog zračnog prostora. Steiner i suautori [5] zaključuju da problem fragmentiranosti treba biti riješen sveobuhvatnim programima dinamičke harmonizacije koji mogu pridonijeti efektivnom povećanju kapaciteta zračnog prostora i efikasnosti zračnog prometa. Eurocontrol smatra da je fragmentaciju teško prevladati zbog postojanja različitih interesnih skupina na području Europe. Očekuje da će europski zračni prostor biti fragmentiran sve dok Europa ne bude imala integrirani europski obrambeni sustav, a da će i dalje države preko vlastitih pružatelja usluga u zračnoj plovidbi nadzirati i upravljati zračnim prostorima s ciljem zaštite vlastitog državnog suvereniteta [1].

Mnoge razvojne inicijative predviđaju smanjenje fragmentarnosti europskog sustava upravljanja zračnim prometom kroz sinkronizaciju i integraciju planova i aktivnosti kroz dvije faze - od istraživanja i tehničke implementacije do operativne provedbe programa. K tome, strateški razvojni programi europskog zračnog prostora za cilj imaju rješavanje problema fragmentiranosti regionalizacijom ATM sustava [6].

Jedan od takvih primjera jest i inicijativa „Jedinstveno europsko nebo“ (*engl. Single European Sky - SES*) kojom se nastoji povećati učinkovitost upravljanja zračnim prometom i uslugama u zračnoj plovidbi restrukturiranjem i smanjenjem rascjepkanosti europskog zračnog prostora na temelju protoka prometa, a ne na temelju nacionalnih granica. U okviru zakonodavnog paketa „Jedinstvenog europskog neba“ definiran je koncept Funkcionalnih blokova zračnog prostora (*engl. Functional Airspace Block - FAB*) koji predstavljaju glavni alat za smanjenje rascjepkanosti zračnog prostora. Mihetec i suautori u radu iz 2017. ističu da iako je planiranje inicijative „Jedinstveno europsko nebo“ temeljeno na zajedničkoj implementaciji projekata na razini Funkcionalnih blokova zračnih prostora i zračnim tokovima neovisnim o državnim granicama, stvarna provedba je i dalje fragmentirana i temeljena na nacionalnim razinama [7]. K tome, nacionalni regulatori uglavnom ne mogu odgovarajuće parirati razvojne potrebe ATM sustava [3,5,6]. Uzimajući u obzir da je unutar zadnjih dvadeset godina, kao najuočljivija slabost ATM sustava prepoznat problem donošenja odluka na nacionalnim razinama [3], može se zaključiti da taj problem i dalje postoji što za posljedicu ima izrazito fragmentiran europski zračni prostor i veliki broj „decision makera“.

Prema Grebenšek i Magisteru [8], troškovi europskog ATM sustava u usporedbi s drugim sličnim sustavima na svijetu veći su za oko 2-3 milijarde eura godišnje, dok Europska komisija procjenjuje da godišnji promet europskih pružatelja usluga u zračnoj plovidbi iznosi oko sedam milijardi eura te da 6% prosječne cijene zrakoplovne karte otpada na usluge zračne plovidbe [9].

Strategijsko prometno planiranje se temelji na kompleksu utjecajnih čimbenika te podrazumijeva sustavno izučavanje šire problematike - od geoprometne analize i dinamike prometnih tokova do elemenata prometne politike. Takav opsežan pristup primijenjen je u okviru ovog istraživanja koje predstavlja nastavak prethodno elaboriranih istraživanja te podlogu za buduća ciljana istraživanja. Pri tome, rad se temelji na metodologiji istraživanja prostorne autokorelacije koja se javlja kada su slučajne vrijednosti susjednih varijabli sličnije od vrijednosti udaljenijih varijabli [10, 11] što odgovara Toblerovoj definiciji „prvog zakona geografije“. Tako je primjenom znanja i metoda iz zračnog prometa, geostatistike i ekonometrije provedena analiza fragmentiranosti europskog zračnog prostora u ovisnosti o prostornoj disperziji jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi.

## 2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Opis područja istraživanja

Budući da pružanje usluga u zračnoj plovidbi zahtjeva određena financijska sredstva i resurse, Eurocontrol je uspostavio sustav naplate troškova pružatelja usluga u zračnoj plovidbi. Naplata troškova koje ostvaruju pružatelji usluga u zračnoj plovidbi naplaćuje se korisnicima zračnog prostora (*engl. Airspace Users - AU*) kroz dva režima naplate: naplate rutnih usluga i naplate terminalnih usluga. Upravljanje sustavom povrata troškova pružateljima usluga u zračnoj plovidbi u ime država članica u operativnom smislu izvršava Eurocontrolovo tijelo Centralni ured za naplatu rutnih naknada (*engl. Central Route Charging Office - CRCO*) sa sjedištem u Briselu.

Interes zrakoplovnih operatora je ostvariti prijevoz sa što manjim operativnim troškovima. Zračni prijevoznici pri operativnom planiranju prijevoza između destinacija uzimaju u obzir više različitih elemenata prije odabira optimalno ekonomične rute leta zrakoplova. Često se događa da nauštrb jedne skupine operativnih troškova, npr. troškova veće potrošnje goriva, zrakoplovi lete duljim, ali ekonomičnijim rutama leta kroz jeftinije naplatne zone. Takve poslovne politike produkt su izrazite fragmentiranosti europskog zračnog prostora kao i velikog broja dionika europskog sustava upravljanja zračnim prometom. Istraživanjem vrijednosti jediničnih naknada primjenjivih u okviru režima naplate rutnih usluga od strane 42 CRCO dionika, te uzimajući u obzir geoprostorni položaj pružatelja usluga u zračnoj plovidbi jasno su otkrivena područja homogenosti europskog zračnog prostora. Na temelju informacija s mrežnih stranica pružatelja usluga u zračnoj plovidbi napravljena je tablica 1. koja definira države članice CRCO-a s pripadajućim pružateljima usluga u zračnoj plovidbi te područjima letnih informacija (*engl. Flight Information Region - FIR*) i područjima letnih informacija u gornjem zračnom prostoru (*engl. Upper Information Region - UIR*).

**Tablica 1.** CRCO dionici s pripadajućim pružateljima usluga u zračnoj plovidbi i područjima letnih informacija

Država	ANSP	Područje letnih informacija (FIR)
Republika Portugal	NAV Portugal	Santa Maria FIR, Lisbon FIR
Kraljevina Španjolska	ENAIRE	Canarias FIR, Madrid FIR, Barcelona FIR
Republika Francuska	DSNA	Brest FIR, Paris FIR, Bordeaux FIR, Marseille FIR, Reims FIR
Ujedinjeno Kraljevstvo	NATS	London FIR, Scottish FIR
Republika Irska	IAA	Shannon FIR
Republika Italija	ENAV	Milano FIR, Roma FIR, Brindisi FIR
Republika Malta	MATS	Malta FIR
Helenska Republika	HCAA	Athinai FIR
Republika Turska	DHMI	Istanbul FIR, Ankara FIR
Republika Cipar	DCAC Cyprus	Nicosia FIR
Republika Armenija	ARMATS	Yerevan FIR
Gruzija	Sakaeronavigatsia	Tbilisi FIR
Republika Bugarska	BULATSA	Sofia FIR
Republika Makedonija	M-NAV	Skopje FIR
Republika Albanija	Albcontrol	Tirana FIR
Republika Srbija, Crna Gora	SMATSA	Beograd FIR
Bosna i Hercegovina	BHANSА	Sarajevo FIR
Republika Hrvatska	Croatia Control	Zagreb FIR
Republika Slovenija	Slovenia Control	Ljubljana FIR
Mađarska	HungaroControl	Budapest FIR
Rumunjska	ROMATSA	Bucuresti FIR
Republika Moldavija	MoldATSA	Chisinau FIR
Slovačka Republika	LPS	Bratislava FIR
Republika Austrija	Austro Control	Wien FIR
Švicarska konfederacija	Skyguide	Switzerland FIR
Češka Republika	ANS CR	Praha FIR
Republika Poljska	PANSA	Warszawa FIR
Savezna Republika Njemačka	DFS	Bremen FIR, Langen FIR, Munchen FIR
Kraljevina Belgija, Luksemburg	Belgocontrol	Brussels FIR
Kraljevina Nizozemska	LVNL	Amsterdam FIR
Kraljevina Danska	NAVIAIR	Kobenhavn FIR
Republika Litva	Oro Navigacija	Vilnius FIR
Republika Latvija	LGS	Riga FIR
Kraljevina Švedska	LFV	Sweden FIR
Kraljevina Norveška	AVINOR	Norway FIR
Republika Finska	ANS Finland	Finland FIR
Republika Estonija	EANS	Tallin FIR
Republika Bjelorusija	Belaeronavigatsia	Minsk UIR
Arapska Republika Egipat	NANSC	Cairo FIR
Kraljevina Maroko	ONDA	Casablanca FIR

Izvor: Mrežne stranice europskih pružatelja usluga u zračnoj plovidbi

Uredba (EZ) br. 1794/2006 [12] uvodi koncept „*naplatna zona*“, koji označava dio zračnog prostora u kome su uspostavljeni jedinstvena baza troškova i jedinstvena jedinična naknada. Naplatne zone mogu, ali ne moraju, pratiti državne granice. Prostorni prikaz CRCO dionika s granicama naplatnih zona prikazan je slikom 1. Kada zrakoplov uđe u naplatnu zonu koja je pod okriljem CRCO-a, naplaćuje se jedinstvena naknada za rutnu zračnu plovidbu  $R$  koja je jednaka zbroju naknada  $r_i$  za pojedinačne naplatne zone  $i$  kroz koje je zrakoplov letio:

$$R = \sum_{i=1}^n r_i \quad . \quad (1)$$

Naknada za svaku pojedinačnu naplatnu zonu  $r_i$  računa se kao proizvod jedinične naknade  $t_i$  i broja jedinica usluge  $N$  koji odgovara danom letu u danoj naplatnoj zoni:

$$r_i = t_i \cdot N \quad . \quad (2)$$

Broj jedinica usluge  $N$  računa se kao proizvod faktora duljine leta  $d_i$  i faktora mase (*engl. Weight Factor*)  $p$  za promatrani let:

$$N = d_i \cdot p \quad . \quad (3)$$

Faktor duljine leta  $d_i$  dobije se dijeljenjem sa 100 ortodromske udaljenosti (km) između:

- aerodroma polijetanja (ako je unutar zone) ili točke ulaska u naplatnu zonu,
- aerodroma prvog slijetanja (ako je unutar zone) ili točke izlaska iz naplatne zone.

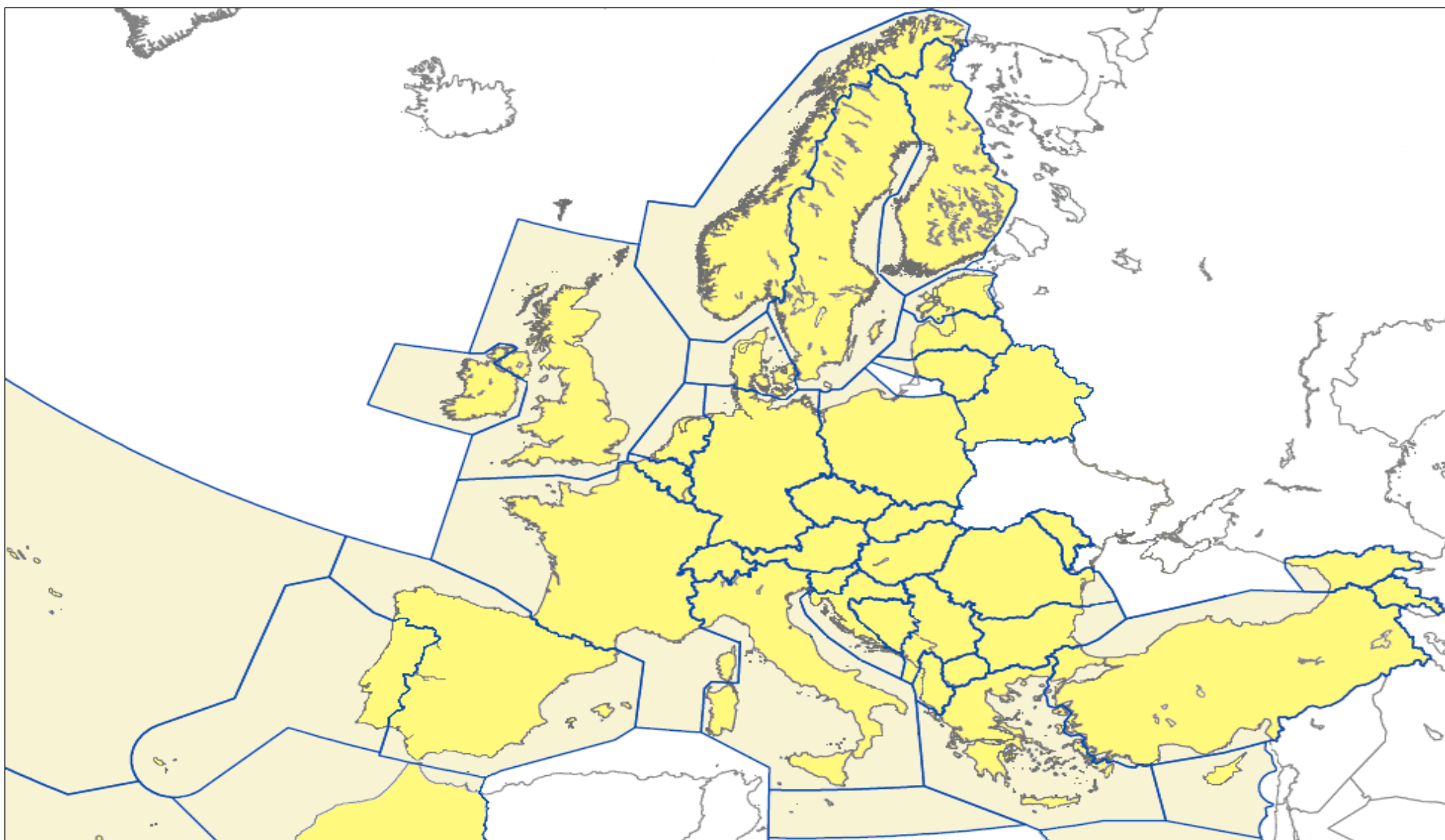
Točke ulaska i izlaska iz zone su one točke koje se sijeku između promatrane naplatne zone i zračnog puta kojim se zrakoplov kreće, a koja je opisana u planu leta (*engl. Flight Plan - FP*). Prilikom računanja oduzima se vrijednost od 20 nautičkih milja (*engl. Nautical Mile - NM*) za svako polijetanje i slijetanje unutar teritorija država članica [13].

Faktor mase  $p$  ovisi o maksimalnoj težini zrakoplova pri uzlijetanju<sup>1</sup> izraženoj u tonama:

$$p = \sqrt{\frac{MTOW}{50}} \quad . \quad (4)$$

---

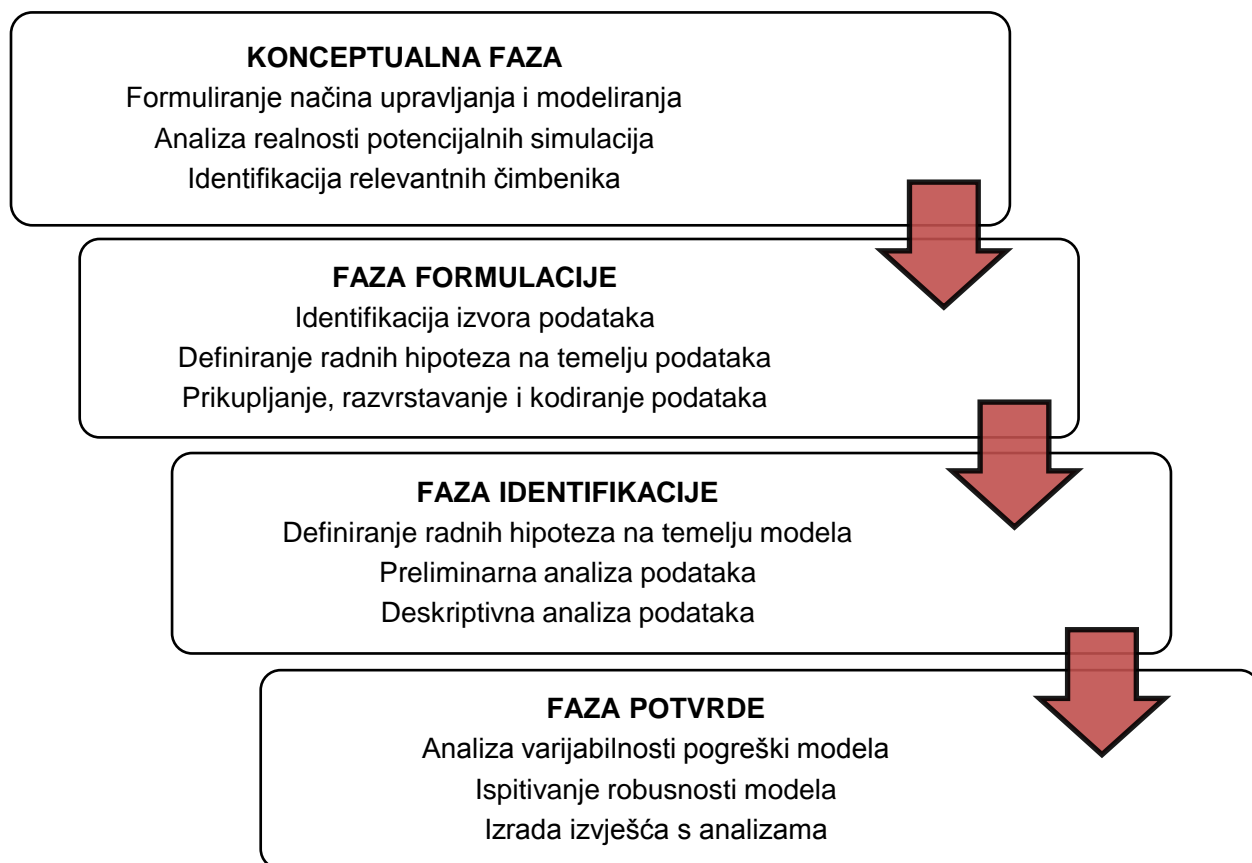
<sup>1</sup> Maksimalna masa uzlijetanja (*eng. Maximum Take-Off Mass - MTOM*) označava najveću dopuštenu masu zrakoplova pri uzlijetanju, dok se često koristi i termin maksimalna težina uzlijetanja (*engl. Maximum Take-Off Weight - MTOW*) - iako se i dalje pod tim terminom podrazumijeva masa, a ne težina.



**Slika 1.** Prostorni prikaz CRCO dionika s granicama naplatnih zona

## 2.2. Program AirStat

Program AirStat predstavlja alat za modeliranje i simuliranje učinaka zračnog prometa nad europskim zračnim prostorom. Program se temelji na matematičkom modelu i kvantitativnom istraživanju detaljnije opisanim u poglavlju 3.2.3. Primijenjeni matematički model predstavlja osnovni koncept programa koji osvjetljava i pojednostavljuje proces proučavanja interakcija i učinaka između različitih varijabli skupa podataka. Navedeni model u okviru programa ne istražuje uzroke određenih pojava već istraživanjem prostorne autokorelacije analizira njihov prostorni utjecaj, tj. istražuje posljedice onog što se dogodilo te kako se to odražava na cjelokupni promatrani sustav. Primijenjeni model grafički je opisan slikom 2. Četiri razvojne faze sa svojim podsustavima prikazuju slijed procesa modeliranja i izrade programa za istraživanje fragmentiranosti europskog zračnog prostora.



**Slika 2.** Pregled slijeda procesa modeliranja i izrade programa AirStat

Prema Chou u [14], pri istraživanju prostorne autokorelacije istraživač je odgovoran za odgovarajuću statističku analizu referentnih podataka te je važno da shvaća i mjeri parametre koji opisuju promatrana područja. Uzimajući u obzir navedeno, primjenom programa AirStat osigurana je adekvatna tehnička podrška koju karakterizira niz postupaka prikupljanja, obrade i interpretiranja prikupljenih podataka koji ograničavaju izvore pogrešaka.

U okviru posljednje faze procesa modeliranja i izrade simulacija primjenom programa AirStat automatski se kreira izvješće na temelju ulaznih podataka. Pored uvodnog dijela, izvješća se još sastoje od tri poglavlja gdje svako poglavlje označava jednu od analiza homogenosti europskog zračnog prostora. Svaka od provedenih analiza služi kao zasebni filter ulaznih podataka te se tako kreiraju tri različite analize: analiza žarišnih područja europskog zračnog prostora, analiza klasteriranja i grupiranja europskog zračnog prostora i analiza prostorno netipičnih vrijednosti europskog zračnog prostora. Podaci prikazani u okviru kreiranih izvješća proizlaze izravno iz skupa podataka koji su povezani s određenim naplatnim zonama. Slika 3 prikazuje funkcionalne faze izrade izvješća. Primjena takve prakse rezultira učinkovitim prikazom prostornih podataka vezanih uz područje i svrhu istraživanja.



**Slika 3.** Funkcionalne faze izrade izvješća



Primjenom statističke metodologije u okviru programa AirStat omogućena je obrada velikog broja prikupljenih podataka na način koji je primjeren svrsi istraživanja. Pri tome AirStat zadovoljava općenito prihvatljive mjerne karakteristike te karakteristike znanstvene metodologije:

- validnost - program je dizajniran tako da zaista mjeri ono što želimo mjeriti,
- pouzdanost - sposobnost da se primjenom programa pri ponovljenom mjerenju iste pojave u idućim istraživanjima dobiju jednaki ili slični rezultati,
- osjetljivost - izražena kao razina točnosti i preciznosti dobivenih vrijednosti pri ispisu rezultata istraživanja,
- objektivnost - rezultati dobiveni primjenom programa ne ovise o onome tko provodi istraživanje, tj. o onome tko mjeri, već samo o prikupljenim podacima koji se obrađuju (eliminira se subjektivna percepcija istraživača).

### **2.2.1. Tehnička izrada i praktični dio rada programa**

Program AirStat izrađen je u C# programskom jeziku odnosno primjenom alata Microsoft Visual Studio. Korišteni programski jezik C# proizvod je tvrtke Microsoft unutar .NET inicijative i nastao je kao odgovor na nedostatke koje su imali drugi programski jezici kao što su: C, C++, Visual Basic, itd. Programski jezik C# je jednostavan, moderan, objektno-orijentirani programski jezik opće namjene. Microsoft Visual Studio jest integrirano razvojno okruženje (IDE) koga razvija Microsoft te se koristi za razvoj računalnih programa za Windows okruženje, web-stranica, aplikacija i usluga. Visual Studio podržava različite programske jezike pod uvjetom da usluga za taj jezik postoji. Ugrađeni jezici su C, C++ i C++/CLI (preko Visual C++), VB.NET-a (preko Visual Basic .NET), C# (preko Visual C#) i F# (počevši od programa Visual Studio 2010).

Izvorni kod je napisan u klasama prateći pravila objektno-orijentiranog programiranja. Svaka klasa u programu je deklarirana unutar datoteke i sufiksom `.cs`. Nakon tablice 2. koja prikazuje korištene klase slijedi opis klasa.

**Tablica 2.** Korištene klase programa

Redni broj	Naziv klase
1.	Program.cs
2.	AirStat.cs
3.	Country.cs
4.	NeighborhoodMatrix.cs
5.	Neighbors.cs
6.	Calculation.cs
7.	Report.cs

Klasa Program.cs kreira se prilikom kreiranja Windows Form aplikacije i ona sadrži glavnu (*engl. main*) metodu za pokretanje programa odnosno forme. U pravilu se sadržaj ove klase ne mijenja stoga ima isti izgled od početka kreiranja.

Kreiranjem glavne forme stvara se zasebna klasa koja upravlja formom, a koja je prikazana slikom 4. U AirStat.cs klasi generiraju se metode za sve akcije od strane korisnika povezane s formom. Dakle, korisnik prilikom unosa vrijednosti za svaku državu (ili učitavanjem TXT datoteke s vrijednostima jediničnih naknada preuzetih sa službene stranice Eurocontrola pritiskom na gumb „Open file ...“) može pokrenuti proces izračuna koji se obavlja unutar druge klase. Prije pokretanja izračuna korisnik treba odabrati mjesec i godinu koji za koje se radi izvješće/analiza. U okviru ove klase se također provjerava je li korisnik upisao točne unose, odnosno provjerava se jesu li decimalni brojevi napisani sa zarezom (jer C# ne obrađuje decimalne brojeve s točkom). Ukoliko je unos ispravan, obrađuju se podaci te se korisniku programa vraća povratna informacija o uspješnosti ispisa.



**Slika 4.** Početna forma programa AirStat

Pritiskom na gumb *Calculate* pokreće se unos svih država i njihovih unesenih vrijednosti jediničnih naknada u listu koja se nalazi u klasi *Country.cs*. Osim unosa, u ovoj klasi nalaze se metode *getFullName()* za dohvaćanje imena i *getValue()* za dohvaćanje vrijednosti država, te metoda *clearList()* za brisanje sadržaja liste ukoliko korisnik ponovno zatraži izvještaj s novim vrijednostima.

Kako bi programu bilo poznato koje su naplatne zone susjedne, potrebno je kreirati matricu susjedstva koja se kreira u klasi *NeighborhoodMatrix.cs*. Podatke program učitava iz datoteke *matrica-susjedstva.txt* i zatim kreira matricu. One naplatne zone koje su susjedne u matrici imaju vrijednost 1, a u suprotnom imaju vrijednost 0.

U klasi Neighbors.cs praktički se događa isto, no ona se pokreće unutar klase NeighborhoodMatrix.cs te služi za unos svih naplatnih zona i njenih susjeda u listu. Na taj način je pomoću metode getNeighbors() moguće dohvatiti sve susjedne naplatne zone.

Klasa Calculation.cs ima najbitniju ulogu jer se u njoj provodi obrada podataka potrebna za prikaz svih rezultata u izvješću. Sve spomenute formule u radu nalaze se u ovoj klasi. Nakon obrade podataka, program sprema rezultate u liste i varijable. Jedna metoda služi za izračun jedne varijable ili elementa liste zbog preglednosti i jednostavnosti. Za pokretanje ove klase potrebno je pokrenuti njegov konstruktor Calculation() u kojem se onda izvršavaju sve matematičke operacije.

Nakon što je obrada podataka uspješno obavljena slijedi kreiranje izvješća u klasi Report.cs. Izvješće kreira TXT datoteku u direktoriju gdje se program nalazi te mu se pridružuje ime koje sadrži mjesec i godinu koje je korisnik odabrao u formi. Izvještaj tablično prikazuje sve analize koje su provedene primjenom programa AirStat.

### **2.2.2. Opis skupa podataka i karakteristika uzoraka**

Zadnjih godina s ciljem zadovoljavanja i usklađivanja operativnih, strateških i razvojnih planova organizacija, postoji povećana potreba za kvalitetnim studijama koje se temelje na statističkoj obradi podataka. Takva izvješća najčešće uključuju predviđanja prometa te prometnih učinaka od strane različitih dionika zračnog prometa te tako olakšavaju proces donošenja odluka u okviru različitih organizacija. Unos i opcija dohvaćanja podataka za obradu u okviru programa AirStat postavljeni su na optimalno sučelje čovjeka i stroja, osiguravajući pri tome najvišu kvalitetu, provjerenost i točnost podataka. Standardizirana metoda unosa podataka, zajedno s mogućnošću provjere i ispravljanja netočnih podataka omogućuje vremenske uštede pri manipulaciji podacima te brzu obradu podataka.

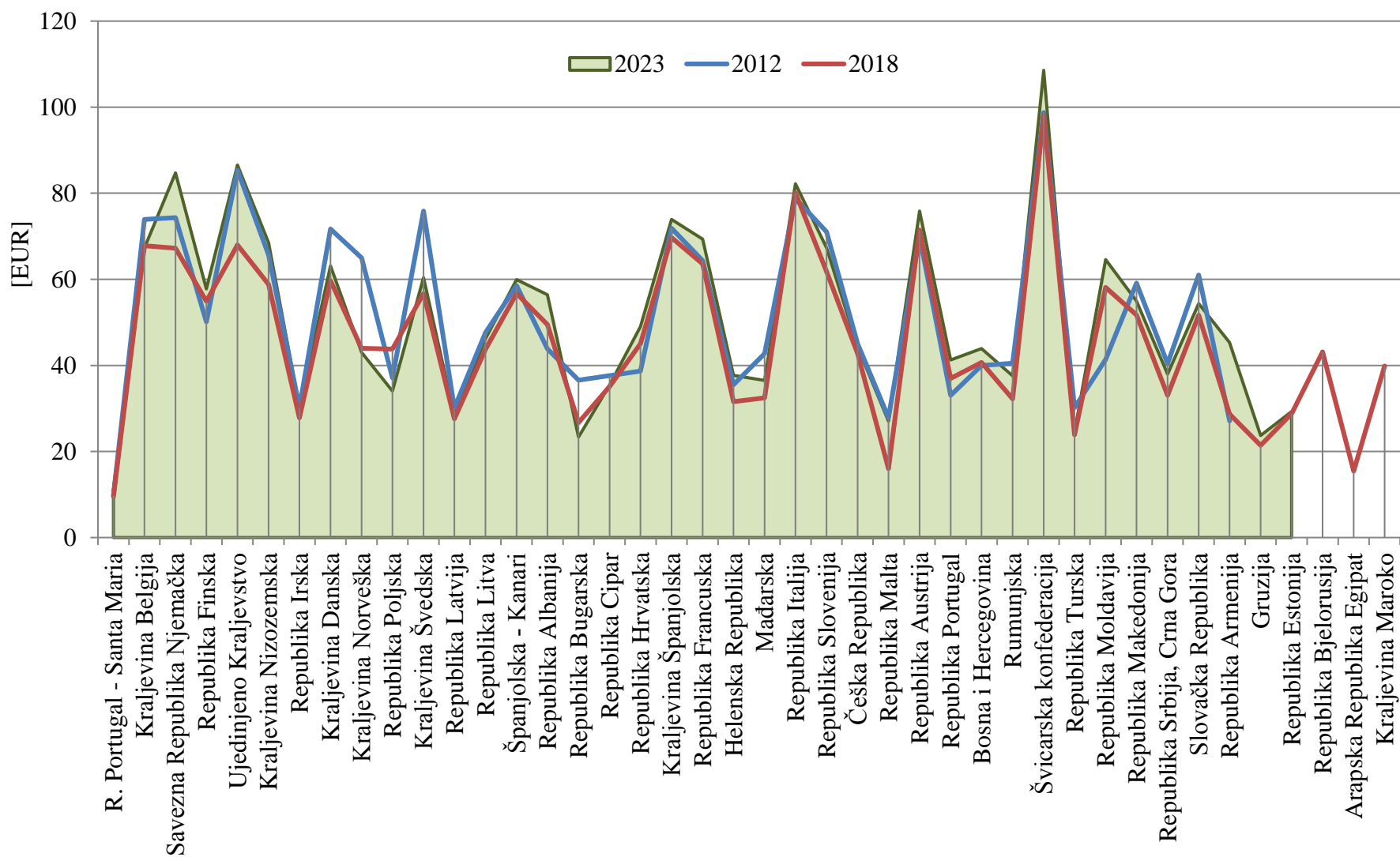
Jedna od glavnih vrijednosti programa AirStat jest mogućnost obrade podataka uzimajući pri tome u obzir cjelokupnu (tzv. *veću sliku*) europskog sustava upravljanja zračnim prometom. K tome u prilog ide i činjenica da svi europski pružatelji usluga u zračnoj plovidbi upotrebljavaju standardizirana pravila i postupke uvedene od različitih globalnih ili regionalnih organizacija (npr. ICAO-a ili Eurocontrola) pri prikupljanju i publiciranju vlastitih podataka.

Završetkom obrade podataka, AirStat stvara TXT izvješće s pregledom cjelokupnog europskog zračnog prostora. Izvješće s analizama ovisi o skupu podataka i fazi procesa upravljanja zračnim prometom (strateškoj, pred-taktičkoj ili taktičkoj) u kojoj su prikupljeni. Pri tome su podaci vezani uz zračne prostore i/ili pružatelje usluga u zračnoj plovidbi podijeljeni na:

- statičke podatke - poput podataka o složenosti zračnog prostora, jediničnih naknada, performansi pružatelja usluga u zračnoj plovidbi itd. koji ne zahtijevaju dnevne ili satne izmjene podataka,
- dinamičke podatke - poput podataka o dostupnim kapacitetima kontrole zračnog prometa/zračnog prostora, rekonfiguraciji sektora, primjeni rutnih restrikcija, zagušenjima zračnih prostora itd., koji zahtijevaju dnevne ili satne izmjene podataka.

U okviru ovog istraživanja kao referentni podaci koriste se jedinične naknada publicirane od strane CRCO-a izražene u eurima.

Grafikon 1. prikazuje odnos današnjih vrijednosti jediničnih naknada, najranije dostupnih vrijednosti jediničnih naknada na službenim stranicama Eurocontrola primjenjivih tijekom 2012. godine te prognoziranih vrijednosti za 2023. godinu. Analizom CROC-ovih i izvješća Eurocontrolovog ureda za statistiku i predviđanja (*engl. Statistics and Forecast Service - STATFOR*) [15-20], može se zaključiti da bi 2023. godine vrijednosti jediničnih naknada trebale premašivati današnje vrijednosti - osim u slučaju naplatnih zona Kraljevine Belgije, Kraljevine Norveške, Republike Poljske i Republike Bugarske. U ostalim naplatnim zonama doći će do povećanja jediničnih naknada što ujedno znači da će se paralelno s promjenom vrijednosti jediničnih naknada mijenjati i odnos troškova ANSP-ova i broja usluženih jedinica usluga. Predviđene vrijednosti jediničnih naknada za 2023. godinu ne uključuju prikaze za Arapsku Republiku Egipat, Republiku Bjelorusiju i Kraljevinu Maroko iz razloga što iste nisu članice Eurocontrola te se stoga ne spominju u STATFOR-ovim izvješćima.



**Grafikon 1.** Usporedbe vrijednosti jediničnih naknada u 2012. i 2018. godini s predikcijom vrijednosti za 2023. godinu

*Izvor: Izradio i prilagodio autor na temelju analize izvora [15-20]*

Da bi se ublažili efekti fluktuacija međuvalutnih odnosa na sustav naplate, jedinične naknade u zemljama čija valuta nije euro usklađuju se svakog mjeseca ovisno o odnosu eura i nacionalnih valuta. Od sveukupno promatrane 42 naplatne zone europskog zračnog prostora, vrijednosti jediničnih naknada u ovisnosti eura i nacionalne valute mjesečno varira u 22 naplatne zone, dok u ostalih 20 naplatnih zona jedinične naknade ostaju konstantne tijekom cijele godine. Izmijenjene vrijednosti jediničnih naknada Eurocontrol publicira kroz mjesečna izvješća (*engl. Monthly Adjusted Unite Rates - MAUR*).

U okviru mjesečnih izvješća nalaze se oznake države, razdoblje i područje primjenjivosti, odnos eura i nacionalnih valuta te iznosi jediničnih naknada 39 naplatnih zona. U okviru rada, tri naplatne zone su pridružene navedenoj publikaciji iako nisu dio originalnog izvješća. Te tri naplatne zone odnose se na pridružene članice u čije ime CRCO od 1. siječnja 2014. naplaćuje usluge rutne zračne plovidbe: Maroko, Egipat i Bjelorusiju. Tablica 3. prikazuje Eurocontrolovo mjesečno izvješće s vrijednostima jediničnih naknada primjenjivo za ožujak 2018. godine. Prikazane vrijednosti jediničnih naknada korištene su kao referentni podaci istraživanja.

**Tablica 3. Jedinične naknada primjenjive u ožujku 2018.**

Oznaka:	Razdoblje primjenjivosti:	UR:	EUR/Valuta:	Primjenjivo na:
AZ	2018/03/01	2018/03/31	9.52	Portugal S.M.
EB	2018/03/01	2018/03/31	67.79	Belg.-Luxembourg
ED	2018/03/01	2018/03/31	67.20	Germany
EE	2018/03/01	2018/03/31	28.79	Estonia
EF	2018/03/01	2018/03/31	54.92	Finland
EG	2018/03/01	2018/03/31	67.96	0.883960 GBP United Kingdom
EH	2018/03/01	2018/03/31	58.83	Netherlands
EI	2018/03/01	2018/03/31	27.82	Ireland
EK	2018/03/01	2018/03/31	59.69	7.44486 DKK Denmark
EN	2018/03/01	2018/03/31	43.99	9.66921 NOK Norway
EP	2018/03/01	2018/03/31	43.77	4.16437 PLN Poland
ES	2018/03/01	2018/03/31	56.74	9.93689 SEK Sweden
EV	2018/03/01	2018/03/31	27.60	Latvia
EY	2018/03/01	2018/03/31	43.72	Lithuania
GC	2018/03/01	2018/03/31	56.74	Spain Canarias
LA	2018/03/01	2018/03/31	49.49	132.196 ALL Albania
LB	2018/03/01	2018/03/31	26.72	1.95548 BGN Bulgaria
LC	2018/03/01	2018/03/31	35.08	Cyprus
LD	2018/03/01	2018/03/31	45.05	7.43846 HRK Croatia
LE	2018/03/01	2018/03/31	69.67	Spain Continent.
LF	2018/03/01	2018/03/31	63.61	France
LG	2018/03/01	2018/03/31	31.60	Greece
LH	2018/03/01	2018/03/31	32.45	311.440 HUF Hungary
LI	2018/03/01	2018/03/31	80.11	Italy
LJ	2018/03/01	2018/03/31	61.84	Slovenia
LK	2018/03/01	2018/03/31	42.74	25.3134 CZK Czech Republic
LM	2018/03/01	2018/03/31	16.02	Malta
LO	2018/03/01	2018/03/31	71.48	Austria
LP	2018/03/01	2018/03/31	36.97	Portugal Lisboa
LQ	2018/03/01	2018/03/31	40.68	1.95171 BAM Bosnia Herzeg.
LR	2018/03/01	2018/03/31	32.21	4.65374 RON Romania
LS	2018/03/01	2018/03/31	98.11	1.15325 CHF Switzerland
LT	2018/03/01	2018/03/31	23.86	4.67171 TRY Turkey
LU	2018/03/01	2018/03/31	58.14	20.4980 MDL Moldova
LW	2018/03/01	2018/03/31	51.74	61.2725 MKD FYROM
LY	2018/03/01	2018/03/31	33.02	118.198 RSD Serb.-Mont.-KFOR
LZ	2018/03/01	2018/03/31	51.66	Slovak Republic
UD	2018/03/01	2018/03/31	28.72	592.735 AMD Armenia
UG	2018/03/01	2018/03/31	21.41	3.01686 GEL Georgia
*UM	2018/01/01	2018/12/31	43.13	2409.54 BYR Belarus
*HE	2018/01/01	2018/12/31	15.40	21.7713 EGP Egypt
*GM	2018/01/01	2018/12/31	39.86	11.3205 MAD Morocco

*Izvor: Izradio i prilagodio autor na temelju izvora [16, 18, 19, 20]*



### 2.2.3. Analitičko istraživanje skupa podataka

U okviru kvantitativnog istraživanja, korišteni podaci predstavljaju skup podataka prikupljenih u obliku numeričkih vrijednosti publiciranih od strane Eurocontrola. Na temelju prikupljenih podataka provedeno je istraživanje prostorne autokorelacije naplatnih zona europskog zračnog prostora.

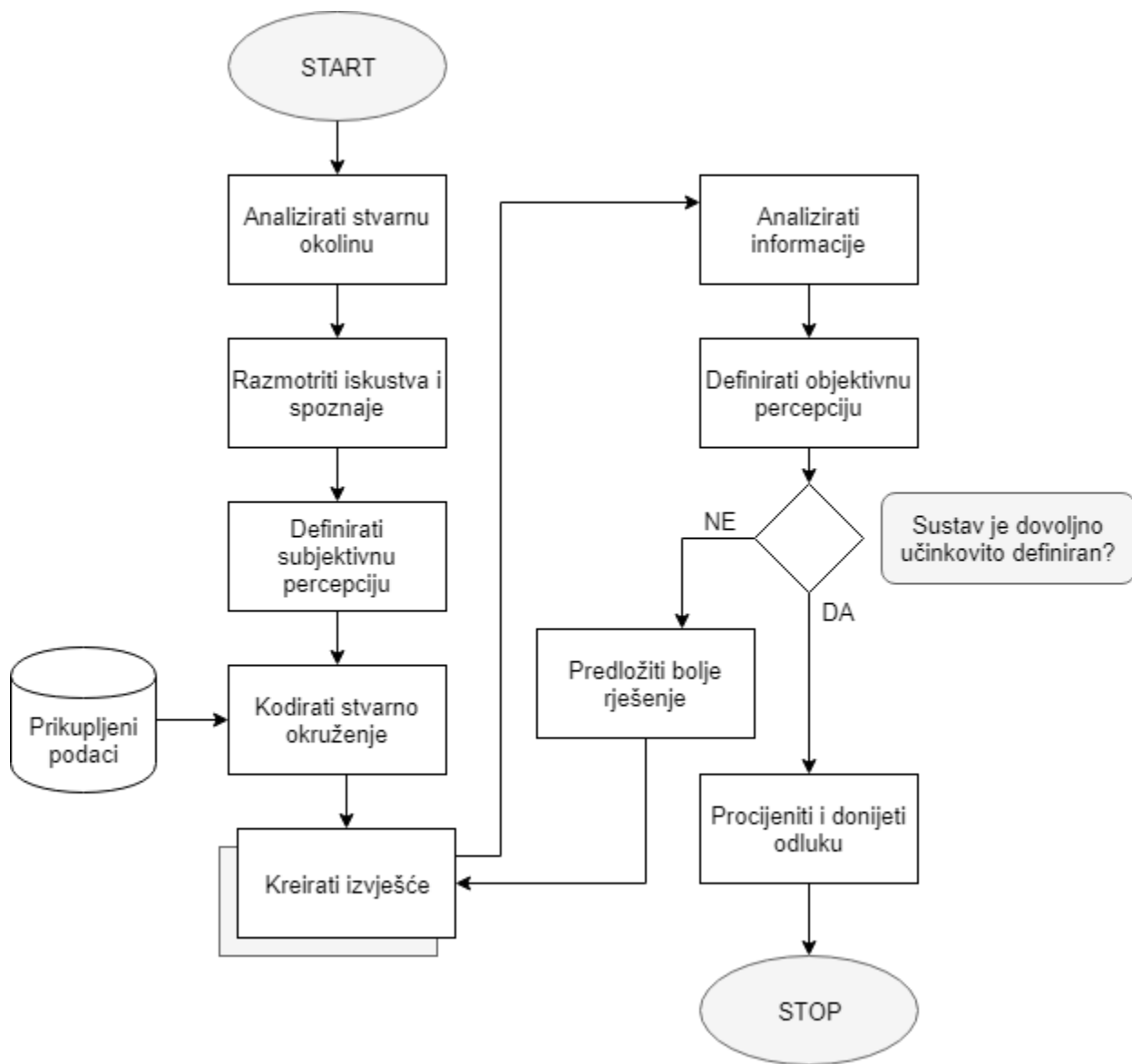
Prostornom autokorelacijom istraživani je odnos vrijednosti jediničnih naknada pojedinih naplatnih zona i geoprostornog položaja pružatelja usluga u zračnoj plovidbi. Tako se prostornom autokorelacijom mjeri i homogenost naplatnih zona unutar europskog zračnog prostora, stupanj po kojemu je neki prostorni fenomen u korelaciji sam sa sobom u prostoru, te razina ovisnosti između vrijednosti jediničnih naknada susjednih naplatnih zona.

Pri provedbi istraživanja i kreiranju programa AirStat ispoštovane su opće smjernice za najbolju praksu pri proučavanju prostorne autokorelacije, a one uključuju:

- studija treba sadržavati barem 30 ulaznih podataka,
- nepostojanje tzv. *otoka* - promatranog područja (naplatne zone) bez susjednih područja,
- svako promatrano područje (naplatna zona) treba imati minimalno jednog susjeda,
- nijedno promatrano područje (naplatna zona) ne bi smjelo imati susjednim sva ostala područja,
- provedbu standardizacije podatka.

U nastavku rada, slika 5. prikazuje slijed provedbe kvantitativnog istraživanja primjenom programa AirStat. Nakon prethodne analize stvarnog okruženja - ANSP-ova koji participiraju u sklopu europskog sustava naplate rutnih naknada, razmotrenih iskustava i ranijih spoznaja vezanih uz tematiku fragmentiranosti europskog zračnog prostora, započet je proces kodiranja promatranog europskog zračnog prostora. Konačni rezultat kodiranja je stvaranje programa AirStat. Potom slijedi upis ili učitavanje prikupljenih ulaznih podataka (jediničnih naknada) u program AirStat te njihova obrada. Rezultati prikazani u okviru izvješća se potom analiziraju prema postavljenim indikatorima te se ranije upisani podaci primjenom statističkih metoda pretvaraju u korisne informacije. Na temelju dobivenih informacija eliminira se subjektivizam te se prikazuje objektivno stanje fragmentiranosti europskog zračnog prostora. Ukoliko se pri upisu

podataka dogodila pogreška, omogućen je ponovni unos ulaznih podataka te se provedba kvantitativnog istraživanja ponavlja i rezultira novim izvješćem.



**Slika 5.** Prikaz procesa provedbe kvantitativnog istraživanja primjenom programa AirStat

### 2.2.3.1. Analiza žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora

Analiza žarišnih područja europskog zračnog prostora identificira područja prostornog grupiranja izrazito visokih (*engl. hot spots*) ili niskih (*engl. cold spots*) vrijednosti. Pri tome AirStat analizira podatke na temelju normalne ili Gaussove razdiobe unesenih podataka. Nakon izračuna aritmetičke sredine kojom se aproksimira očekivanje  $\mu$  te standardne devijacije  $\sigma$  poznati su parametri normalne distribucije te je moguće opisati vjerojatnost pojavljivanja vrijednosti jediničnih naknada funkcijom normalne razdiobe:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad x \in \mathbb{R}. \quad (5)$$

Nadalje, položaj bilo koje vrijednosti jedinične naknade u distribuciji moguće je odrediti pomoću z-vrijednosti. Tada je potrebno funkciju normalne razdiobe standardizirati kako slijedi:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad N(0,1). \quad (6)$$

gdje z-vrijednost označava udaljenost dobivenog rezultata mjerenja od aritmetičke sredine iskazanog kao dio standardne devijacije skupa podataka:

$$z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad . \quad (7)$$

Izračunom z-vrijednosti istražuje se je li određena jedinična naknada jednaka srednjoj vrijednosti, ispod srednje vrijednosti ili iznad srednje vrijednosti promatranog skupa podataka. Izrazito visoke (pozitivne) ili izrazito niske (negativne) z-vrijednosti nalaze se pri krajevima normalne (Gaussove) razdiobe. Također, na temelju dobivene z-vrijednosti moguće je iz integrala vjerojatnosti očitati koliki se postotak podataka u distribuciji nalazi između određenog podatka pretvorenog u z-vrijednost i bližeg kraja krivulje.

### 2.2.3.2. Analiza prostornog klasteriranja naplatnih zona europskog zračnog prostora

Modeliranje primjenom prostorne autokorelacije počelo se razvijati još krajem 1940-ih i tijekom 1950-ih radovima P. A. P. Morana i R. C. Gearya. Prostornu autokorelaciju može se računati globalno (na cijelom promatranom području) i lokalno (na dijelovima područja). Prema radovima [21-23], globalna prostorna autokorelacija koristi se za mjerenje ukupne sklonosti grupiranja u okviru istraživanog područja, dok se lokalna prostorna autokorelacija može koristiti za razjašnjavanje uzoraka i definiranje točne lokacije klastera među većim brojem susjednih lokacija.

Globalna prostorna autokorelacija otkriva i mjeri prostorni uzorak na cijelom području od interesa, pri čemu ne otkriva u kojem se dijelu značajni uzorak pojavljuje. Globalni indikator prostorne autokorelacije (*engl. Global Indicator of Spatial Autocorrelation - GISA*) je analogan Pearsonovom koeficijentu korelacije i u rasponu od -1 do +1, gdje -1 označava snažnu negativnu autokorelaciju, 0 potpuno slučajni raspored vrijednosti po lokacijama, a +1 snažnu prostornu autokorelaciju (klasteriranje sličnih vrijednosti u prostoru).

Analize koje koriste lokalne prostorne autokorelacije smatraju se točnijima od istraživanja koja uzimaju u obzir isključivo globalni indikator prostorne autokorelacije. Primjenom lokalne prostorne autokorelacije identificiraju se varijacije na istraživanome području fokusirajući se na blisko susjedstvo. Određuju se lokalne strukture prostorno sličnih vrijednosti te se omogućuje dekomponiranje globalne statistike (Moranovog I koeficijenta) na lokalne indikatore. Lokalni indikatori prostorne autokorelacije (*engl. Local Indicator of Spatial Autocorrelation - LISA*) imaju dva osnovna cilja [24]:

- mogu se interpretirati kao pronalaženje lokalnih otoka nestacionarnih karakteristika,
- služe za određivanje značajnosti pojedine opservacije u globalnoj strukturi.

Moranov I koeficijent kao metoda mjerenja lokalne prostorne autokorelacije zahtjeva izradu matrice susjedstva koja definira lokalno okruženje oko svake geografske jedinice i prikazuje graniče li naplatne zone  $i$  i  $j$  međusobno:

$$w_{ij}^* = \begin{cases} 1, & i \text{ i } j \text{ imaju zajedničku granicu} \\ & i \neq j \\ 0, & i \text{ i } j \text{ nemaju zajedničku granicu} \end{cases} \quad (8)$$

Tumačenje lokalnog Moranovog I koeficijenta poboljšava se ako se matricu susjedstva  $W_{ij}^*$  tako normira da suma retka bude jednaka jedan. Stoga je potrebno podijeliti svaki element s pripadajućom sumom reda:

$$w_{ij} = \frac{w_{ij}^*}{\sum_{k=1}^n w_{ik}} \quad . \quad (9)$$

Time se dobiva standardizirana vagana matrica  $W_{ij}$ . Potom se mjeri produkt odstupanja od srednje vrijednosti u  $i$ -toj naplatnoj zoni sa srednjom vrijednosti svih odstupanja u susjednim naplatnim zonama:

$$(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad . \quad (10)$$

Fotheringham i suautori radom [25] definiraju formula po kojoj se izračunavaju lokalni Moranovi koeficijenti  $i$ -te naplatne zone:

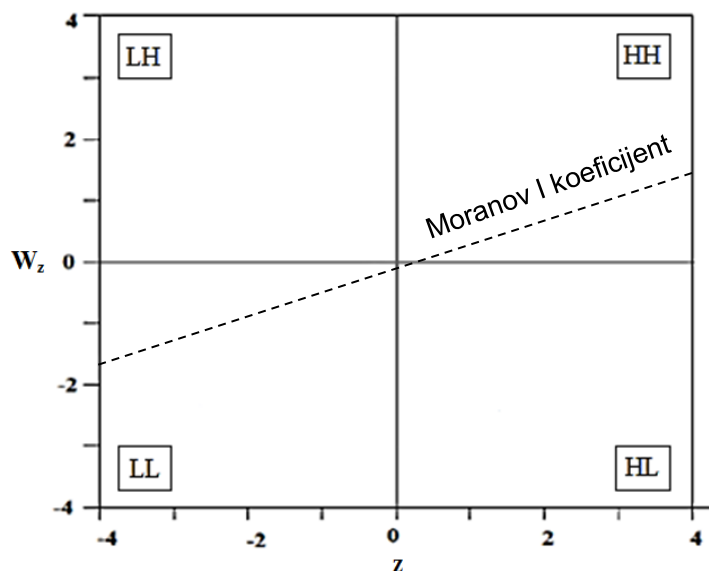
$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2 / n} \quad . \quad (11)$$

Kako se očekivane vrijednosti lokalnih i globalnih Moranovih I koeficijenata poklapaju, moguće je globalni Moranov I koeficijent (globalnu prostornu autokorelaciju) prikazati kao aritmetičku sredina lokalnih pokazatelja:

$$I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \quad . \quad (12)$$

### 2.2.3.3. Analiza prostorno atipičnih vrijednosti naplatnih zona europskog zračnog prostora

Pri istraživanju prostorno atipičnih vrijednosti europskog zračnog prostora primijenjena je znanstvena metoda Moranovog dijagrama rasprostiranja. Anselin [26] opisuje Moranov dijagram rasprostiranja kao koristan vizualni alat pri provođenju istraživanja jer omogućava procjenu sličnosti promatrane vrijednosti sa susjednim vrijednostima. Horizontalna x-os Moranovog dijagrama rasprostiranja se temelji na vrijednostima promatranih prostornih područja (naplatnih zona) te je također poznata kao os odgovora. Vertikalna y-os se temelji na ponderiranom prosjeku promatranih vrijednosti prikazanih horizontalnom x-osi. Horizontalna i vertikalna os dijele dijagram rasprostiranja na četiri kvadranta. Moranov dijagrama rasprostiranja prikazan je grafikonom 2.



**Grafikon 2.** Moranov dijagram rasprostiranja

Prema Anselinu i suautorima u [27], svaki kvadrant dijagrama rasprostiranja predstavlja različitu vrstu prostorne autokorelacije. Područja visokih susjednih vrijednosti (*engl. High-High - HH*) i područja niskih susjednih vrijednosti (*engl. Low-Low - LL*) ukazuju na pozitivnu prostornu autokorelaciju - pozitivnu prostornu povezanost vrijednosti koje su veće ili niže od prosjeka uzoraka. Područja visokih vrijednosti sa susjedstvom niskih vrijednosti (*engl. High-Low - HL*) i područja niskih vrijednosti sa susjedstvom visokih vrijednosti (*engl. Low-High - LH*) ukazuju na negativnu prostornu autokorelaciju - ove promatrane vrijednosti imaju malo sličnosti sa susjednim te predstavljaju prostorno atipične vrijednosti europskog zračnog prostora.

### 3. REZULTATI

U nastavku rada analizom žarišnih područja, analizom prostornog klasteriranja i analizom prostorno atipičnih vrijednosti naplatnih zona europskog zračnog prostora prikazani su rezultati trenutnog stanja fragmentiranosti europskog zračnog prostora. U okviru istraživanja poseban naglasak je stavljan na vizualizaciju rezultata istraživanja. Primjenom desktop aplikacije NEST (*engl. Network Strategic Tool*) osiguran je najbolji način prostorne vizualizacije numeričkih rezultata istraživanja dobivenih primjenom programa AirStat. NEST predstavlja kombinaciju bivših Eurocontrolovih alata SAAM-a (*engl. System for traffic Assignment and Analysis at a Macroscopic level*) i NEVAC-a (*engl. Network Estimation & Visualisation of ACC Capacity*) te ga u okviru vlastitih djelatnosti koriste različiti dionici europskog sustava upravljanja zračnim prometom. Na temelju dobivenih rezultata proizašlih primjenom programa Airstat, omogućen je prikaz geoprostornih uzročno-posljedičnih veza što omogućuje lakšu potvrdu početne hipoteze.

#### 3.1. Rezultati analize žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora

U sklopu analize žarišnih područja europskog zračnog prostora na temelju z-vrijednosti i normalne (Gaussove) razdiobe definirano je sedam indikatora. Dobivene z-vrijednosti jediničnih naknada klasificiraju su prema sljedećim indikatorima:

1. izrazito visoka kritična vrijednost područja (*engl. Very High Critical Value - VHCV*),
2. visoko kritična vrijednost područje (*engl. High Critical Value - HCV*),
3. srednje visoka kritična vrijednost područja (*engl. Medium High Critical Value - MHCV*),
4. promatrano područje ne klasificira se kao žarišno područje (*engl. Nothing - NIL*),
5. srednje niska kritična vrijednost područja (*engl. Medium Low Critical Value - MLCV*),
6. niska kritična vrijednost područja (*engl. Low Critical Value - LCV*),
7. izrazito niska kritična vrijednost područja (*engl. Very Low Critical Value - VLCV*),

pri čemu za svaki od navedenih indikatora vrijedi uvjet:

- VHCV:  $z\text{-vrijednost} \geq \mu + 3\sigma$ ,
- HCV:  $\mu + 2\sigma \leq z\text{-vrijednost} < \mu + 3\sigma$ ,
- MHCV:  $\mu + \sigma \leq z\text{-vrijednost} < \mu + 2\sigma$ ,
- NIL:  $\mu - \sigma \leq z\text{-vrijednost} < \mu + \sigma$ ,
- MLCV:  $\mu - \sigma \leq z\text{-vrijednost} < \mu - 2\sigma$ ,
- LCV:  $\mu - 2\sigma \leq z\text{-vrijednost} < \mu - 3\sigma$ ,
- VLCV:  $z\text{-vrijednost} \leq \mu - 3\sigma$ .

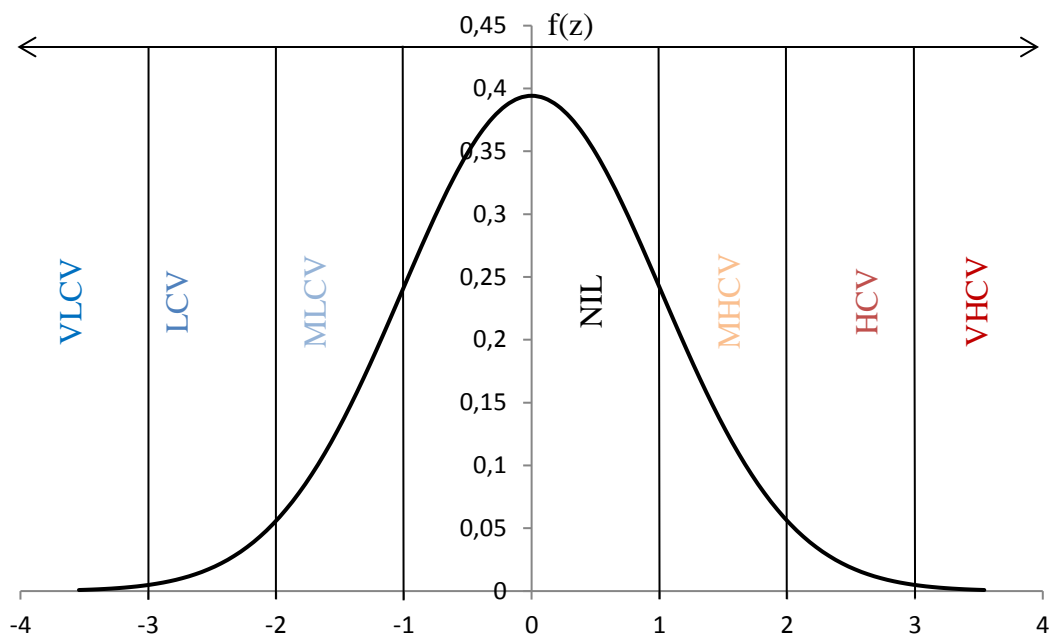
Za razliku od sljedeće dvije analize, analiza žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora ne uzima u obzir prostorni položaj pružatelja usluga u zračnoj plovidbi već je fokus na analizi vrijednosti jediničnih naknada. Stoga treba biti oprezan pri interpretiranju rezultata provedene analize. Glavni razlog tome je što analiza žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora ne uzima u obzir vrijednosti susjednih jediničnih naknada. Pri tome se analizom promatra svaka varijabla zasebno te se dobivene rezultate uspoređuje s aritmetičkom sredinom promatranog skupa podataka, a ne sa susjednim vrijednostima naplatnih zona kao u ostale dvije analize.

Izračunom standardne devijacije i aritmetičke sredine  $z$ -vrijednosti te uzimajući u obzir uvjete za određivanje granica indikatora dobivene su sljedeće vrijednosti područja primjenjivosti sedam indikatora:

- VHCV:  $z\text{-vrijednost} \geq 3$ ,
- HCV:  $2 \leq z\text{-vrijednost} < 3$ ,
- MHCV:  $1 \leq z\text{-vrijednost} < 2$ ,
- NIL:  $-1 \leq z\text{-vrijednost} < 1$ ,
- MLCV:  $-1 \leq z\text{-vrijednost} < -2$ ,
- LCV:  $-2 \leq z\text{-vrijednost} < -3$ ,
- VLCV:  $z\text{-vrijednost} \leq -3$ .

Grafikon 3. prikazuje standardiziranu normalnu razdiobu promatranih vrijednosti jediničnih naknada s granicama sedam indikatora.



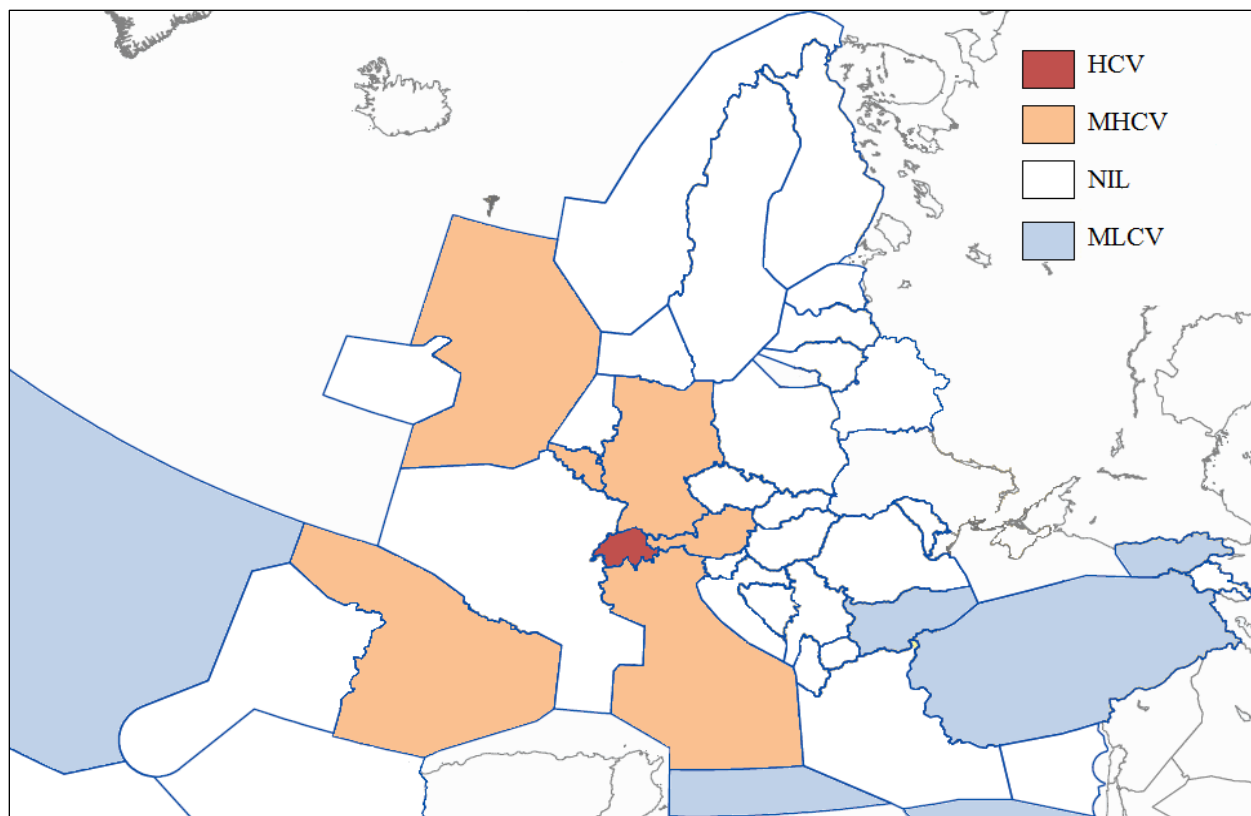


**Grafikon 3.** Prikaz standardizirane normalne razdiobe jediničnih naknada

U nastavku rada tablicom 4. prikazani su rezultati analize žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora dobiveni primjenom programa AirStat. Na temelju dobivenih rezultata kreirana je slika 6. s ciljem prostorne vizualizacije rezultata.

**Tablica 4. Rezultati analize žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora**

Airspace/ANSP	UR	f (x)	z-score	f (z)	Type
Portugal-S.M.	9,52	0,003371	- 1,917466	0,063464	MLCV
Belg.-Luxemb.	67,79	0,010590	1,177956	0,199343	MHCV
Germany	67,2	0,010982	1,146614	0,206738	MHCV
Estonia	28,79	0,014214	- 0,893804	0,267568	NIL
Finland	54,92	0,018756	0,494275	0,353069	NIL
United Kingdom	67,96	0,010477	1,186987	0,197225	MHCV
Netherlands	58,83	0,016565	0,701983	0,311820	NIL
Ireland	27,82	0,013556	- 0,945332	0,255185	NIL
Denmark	59,69	0,016025	0,747668	0,301664	NIL
Norway	43,99	0,021114	- 0,086349	0,397458	NIL
Poland	43,77	0,021091	- 0,098035	0,397030	NIL
Sweden	56,74	0,017797	0,590958	0,335024	NIL
Latvia	27,6	0,013406	- 0,957019	0,252364	NIL
Lithuania	43,72	0,021085	- 0,100692	0,396925	NIL
Spain-Canarias	56,74	0,017797	0,590958	0,335024	NIL
Albania	49,49	0,020748	0,205823	0,390581	NIL
Bulgaria	26,72	0,012806	- 1,003766	0,241059	MLCV
Cyprus	35,08	0,018120	- 0,559666	0,341110	NIL
Croatia	45,05	0,021183	- 0,030039	0,398762	NIL
Spain-Continent	69,67	0,009367	1,277826	0,176337	MHCV
France	63,61	0,013420	0,955906	0,252633	NIL
Greece	31,6	0,016063	- 0,744531	0,302371	NIL
Hungary	32,45	0,016595	- 0,699377	0,312390	NIL
Italy	80,11	0,003954	1,832420	0,074436	MHCV
Slovenia	61,84	0,014618	0,861880	0,275173	NIL
Czech Republic	42,74	0,020947	- 0,152751	0,394315	NIL
Malta	16,02	0,006158	- 1,572172	0,115926	MLCV
Austria	71,48	0,008246	1,373977	0,155230	MHCV
Portugal-Lisboa	36,97	0,019071	- 0,459265	0,359011	NIL
Bosnia Herz.	40,68	0,020477	- 0,262183	0,385464	NIL
Romania	32,21	0,016446	- 0,712126	0,309592	NIL
Switzerland	98,11	0,000434	2,788617	0,008171	HCV
Turkey	23,86	0,010868	- 1,155696	0,204589	MLCV
Moldova	58,14	0,016985	0,665328	0,319733	NIL
FYROM	51,74	0,020100	0,325347	0,378377	NIL
Serb-Mont.-KFOR	33,02	0,016942	- 0,669098	0,318930	NIL
Slovakia	51,66	0,020128	0,321098	0,378897	NIL
Armenia	28,72	0,014167	- 0,897522	0,266678	NIL
Georgia	21,41	0,009272	- 1,285845	0,174534	MLCV
Belarus	43,13	0,021009	- 0,132034	0,395480	NIL
Egypt	15,4	0,005844	- 1,605108	0,110017	MLCV
Morocco	39,86	0,020225	- 0,305743	0,380725	NIL
-----					
Arithmetic mean value: 45,615476					
Standard deviation value: 18,824574					
f(x)max value: 0,021193					
f(z)max value: 0,398942					



**Slika 6.** Prostorni prikaz rezultata analize žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora

Na temelju dobivenih rezultata, može se zaključiti da ne postoje područja izrazito visoke ili niske kritične vrijednosti jediničnih naknada, ali i da se vrijednost jedinične naknade primjenjive nad švicarskim zračnim prostorom najviše razlikuje od ostalih jediničnih naknada. Jedinična vrijednost primjenjiva nad švicarskim zračnim prostorom čini 2,37% ukupno promatranog zračnog prostora te se klasificira indikatorom HCV. Područja sa srednje visokim kritičnim vrijednostima jediničnih naknada (indikator MHCV) čine 14,29% ukupnog europskog zračnog prostora i uključuju naplatne zone Španjolske, Italije, Austrije, Njemačke, Belgije i Luksemburga te Velike Britanije. Istom vrijednošću od 14,29% ukupno promatranog zračnog prostora klasificirana su indikatorom MLCV područja srednje niskih kritičnih vrijednosti jediničnih naknada. Pod MLCV indikator svrstavaju se jedinične naknade primjenjive u naplatnim zonama: Portugal-Santa Maria, Malta, Egipat, Turska, Bugarska i Gruzija. Ostatak europskog zračnog prostora (69,05%) označava zračni prostor koji se ne klasificira kao žarišno područje (NIL indikator).

### 3.2. Rezultati analize prostornog klasteriranja naplatnih zona europskog zračnog prostora

Slika 7. prikazuje 42 naplatne zone europskog zračnog prostora s njihovim granicama. Na temelju granica naplatnih zona kreiran je graf susjedstva koji je također prikazan slikom 7.



**Slika 7.** Prikaz grafa susjedstva područja istraživanja

Na temelju kreiranog grafa susjedstva moguće je napraviti matricu susjedstva  $W_{ij}^*$ . Audretsch i suautori radom *Knowledge Spillovers and the Geography of Innovation* [28] zaključuju da empirijske studije pokazuju da „*spillover*“ efekt opada s prostornom udaljenosti. Time se i obrazlaže česta primjena binarne matrice susjedstva promatranih područja koje izravno graniče. Matricu susjedstva ispunjava se na način da ukoliko naplatna zona  $i$  graniči s naplatnom zonom  $j$ , za elemente  $w_{12}$  i  $w_{21}$  unosi se jedinica. U skladu s tim na isti način su povezane i preostale naplatne zone, dok se na glavnu dijagonali stavljaju nule:

$$W_{ij}^* = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \cdots & w_{ij} \\ 1 & 0 & \cdots & w_{ij} \\ \vdots & \vdots & \ddots & w_{ij} \\ w_{ij} & w_{ij} & w_{ij} & 0 \end{bmatrix} . \quad (13)$$

U obzir se dalje uzimaju samo naplatne zone koje su okviru matrice susjedstva obilježene s jedinicama. Potom se svaki element reda matrice susjedstva mora podijeliti sa sumom istog reda te se tako dobije standardizirana vagana matrica:

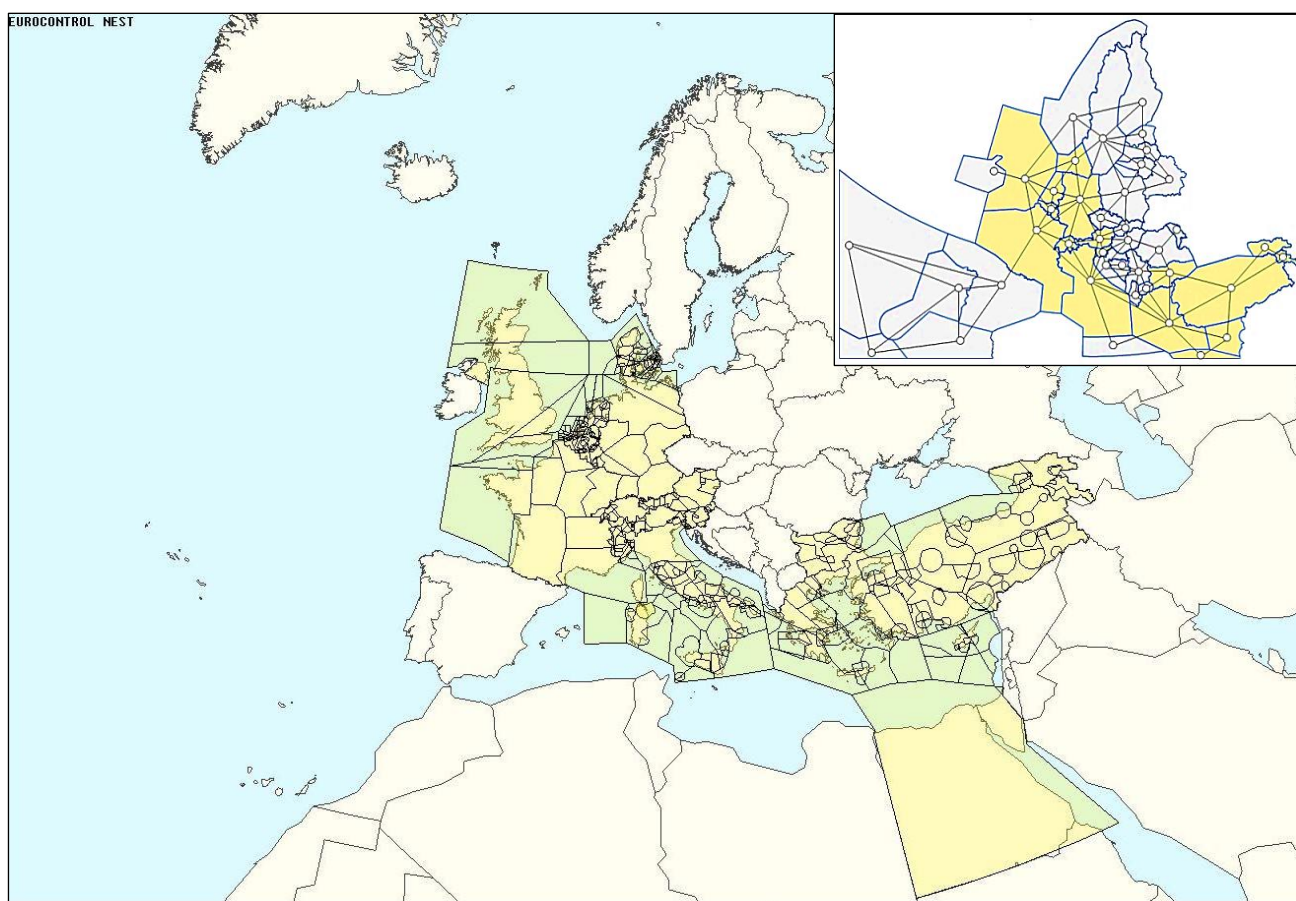
$$W_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 1/4 & \cdots & w_{ij} \\ 1/6 & 0 & \cdots & w_{ij} \\ \vdots & \vdots & \ddots & w_{ij} \\ w_{ij} & w_{ij} & w_{ij} & 0 \end{bmatrix} . \quad (14)$$

Nakon provedene standardizacije podataka, moguće je primijeniti formulu za izračun lokalnih Moranovih koeficijenata te provesti analitičku obradu podataka. U nastavku rada, tablica 5. prikazuje rezultate istraživanja klasteriranja i grupiranja naplatnih zona europskog zračnog prostora dobivene primjenom programa AirStat. Prvi stupac prikazuje nomenklaturu naplatnih zona, drugi broj susjednih naplatnih zona (n.FIRs), treći vrijednosti jediničnih naknada (UR), dok četvrti stupac prikazuje lokalne indikatore prostorne autokorelacije (LISA I(i)). Potom su prikazane zajedničke vrijednosti globalnog indikatora prostorne autokorelacije (GISA I(i)) i očekivane vrijednost E(i).

**Tablica 5.** Rezultati analize prostornog klasteriranja i grupiranja naplatnih zona europskog zračnog prostora

Airspace/ANSP	n.FIRs	UR	LISA I (i)	GISA I (i)	E (i)
Portugal-S.M.	3	9,57	-0,899783	0,320836	-0,0243902
Belg.-Luxemb.	4	67,79	1,175598	0,320836	-0,0243902
Germany	9	67,2	1,030324	0,320836	-0,0243902
Estonia	3	28,79	-0,038145	0,320836	-0,0243902
Finland	3	54,92	-0,064168	0,320836	-0,0243902
United Kingdom	6	67,96	0,504949	0,320836	-0,0243902
Netherlands	4	58,83	0,747540	0,320836	-0,0243902
Ireland	1	27,83	-1,121784	0,320836	-0,0243902
Denmark	5	59,69	0,529408	0,320836	-0,0243902
Norway	4	43,99	-0,065259	0,320836	-0,0243902
Poland	6	43,77	-0,027360	0,320836	-0,0243902
Sweden	8	56,74	0,018622	0,320836	-0,0243902
Latvia	4	27,6	0,128255	0,320836	-0,0243902
Lithuania	4	43,72	0,015029	0,320836	-0,0243902
Spain-Canarias	4	56,74	-0,254770	0,320836	-0,0243902
Albania	4	49,49	0,038271	0,320836	-0,0243902
Bulgaria	5	26,72	0,593727	0,320836	-0,0243902
Cyprus	3	35,08	0,654244	0,320836	-0,0243902
Croatia	5	45,05	-0,006406	0,320836	-0,0243902
Spain-Continent	4	69,67	-0,550926	0,320836	-0,0243902
France	6	63,61	1,499454	0,320836	-0,0243902
Greece	8	31,6	0,328964	0,320836	-0,0243902
Hungary	6	32,45	-0,133542	0,320836	-0,0243902
Italy	9	80,11	0,645499	0,320836	-0,0243902
Slovenia	4	61,84	0,533745	0,320836	-0,0243902
Czech Republic	4	42,74	-0,104842	0,320836	-0,0243902
Malta	2	16,02	-0,855324	0,320836	-0,0243902
Austria	7	71,48	1,197176	0,320836	-0,0243902
Portugal-Lisboa	4	36,97	0,040441	0,320836	-0,0243902
Bosnia Herz.	2	40,68	0,091722	0,320836	-0,0243902
Romania	4	32,21	0,304052	0,320836	-0,0243902
Switzerland	4	98,11	3,701807	0,320836	-0,0243902
Turkey	5	23,86	1,038554	0,320836	-0,0243902
Moldova	1	58,14	-0,473921	0,320836	-0,0243902
FYROM	4	51,74	-0,179913	0,320836	-0,0243902
Serb-Mont.-KFOR	8	33,02	0,028825	0,320836	-0,0243902
Slovakia	4	51,66	0,033998	0,320836	-0,0243902
Armenia	2	28,72	1,096121	0,320836	-0,0243902
Georgia	2	21,41	1,320587	0,320836	-0,0243902
Belarus	3	43,13	0,050919	0,320836	-0,0243902
Egypt	2	15,4	1,047139	0,320836	-0,0243902
Morocco	3	39,86	-0,143701	0,320836	-0,0243902

Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da je riječ o pozitivnoj autokorelaciji i da naplatne zone s natprosječnim vrijednostima jediničnih naknada područno graniče s regijama u kojima su iznosi jediničnih naknada ispod prosjeka. Za razliku od negativne prostorne autokorelacije koja označava uzorak gdje su geografske jedinice sličnih vrijednosti razasute po mapi (području istraživanja), kod pozitivne prostorne autokorelacije geografsko obličje sličnih vrijednosti teži grupiranju na mapi. Lokalni Moranovi koeficijenti pokazuju da jedinične naknada švicarske, belgijske, njemačke, austrijske, turske, francuske, gruzijske, armenijske i egipatske naplatne zone daju najveći doprinos pozitivnoj vrijednosti Moranovog koeficijenta. Pri tome navedene naplatne zone u usporedbi sa susjednim naplatnim zonama ne pokazuju otklon u istom smjeru. Slika 8 prikazuje model s naplatnim zonama i sektorima europskog zračnog prostora koji se prostorno klasteriraju i gdje lokalni Moranovi koeficijenti premašuju globalni Moranov koeficijent i očekivane vrijednosti.



**Slika 8.** Prikaz prostornog klasteriranja i grupiranja naplatnih zona europskog zračnog prostora

Anselin [29] klasteriranje definira kao uzorak koji je dio jedne veće cjeline - promatranog područja, dok za klaster navodi da označava specifično mjesto. Na osnovi Moranovih koeficijenata ne može se raspoznati o kojoj je vrsti klastera riječ. O tom problemu su Getis i Ord [30] dali izvještaj u svojim Getis-Ord statistikama. Daljnje istraživanje fragmentiranosti europskog zračnog prostora u ovisnosti o prostornoj disperziji jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi bavi se analizom atipičnih vrijednosti naplatnih zona s ciljem utvrđivanja vrste klastera naplatnih zona europskog zračnog prostora.



### 3.3. Rezultati analize prostorno atipičnih vrijednosti naplatnih zona europskog zračnog prostora

Analizom prostorno atipičnih vrijednosti europskog zračnog prostora istraživano je da li se vrijednosti jediničnih naknada svake naplatne zone razlikuju od vrijednosti njenih susjednih naplatnih zona. Sukladno ranije prikazanom Moranovom dijagramu rasprostiranja (grafikon 2.), u svrhu istraživanja fragmentiranosti europskog zračnog prostora u ovisnosti o prostornoj disperziji jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi, definirana su četiri prostorna indikatora:

1. područje visokih susjednih vrijednosti (*engl. High-High - HH*),
2. područje visokih vrijednosti sa susjedstvom niskih vrijednosti (*engl. High-Low - HL*),
3. područje niskih vrijednosti sa susjedstvom visokih vrijednosti (*engl. Low-High - LH*),
4. područje niskih susjednih vrijednosti (*engl. Low-Low - LL*).

Pri obradi jediničnih naknada, iste su standardizirane i prikazane  $z$ -vrijednostima te klasificirane prema jednom od četiri ranije definirana prostorna indikatora. Svaki prostorni indikator opisan je i okarakteriziran njemu pripadajućim kriterijem:

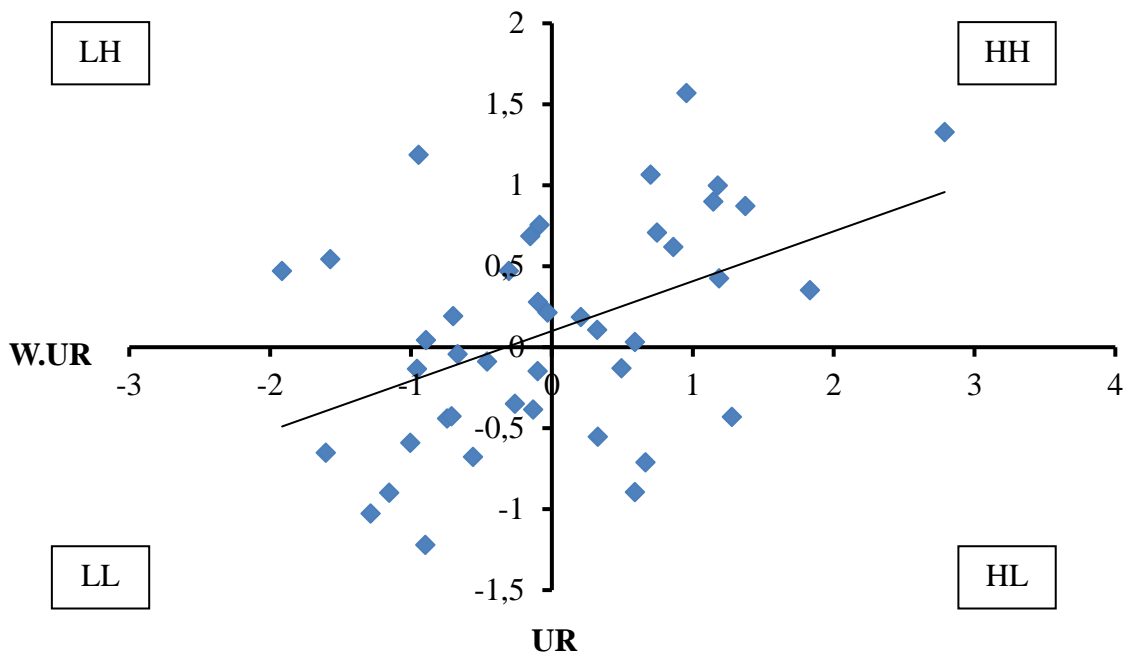
- HH indikator označava vrijednost koja je veća od ostalih vrijednosti i susjedstvo većih vrijednosti od ostalih susjedstva te je pri tome zadovoljen kriteriji;  $(z > 0) \ \&\& \ (Wz > 0)$ ,
- HL indikator označava vrijednost koja je veća od ostalih vrijednosti i susjedstvo nižih vrijednosti od ostalih susjedstva te je pri tome zadovoljen kriteriji;  $(z > 0) \ \&\& \ (Wz < 0)$ ,
- LH indikator označava vrijednost koja je niža od ostalih vrijednosti i susjedstvo većih vrijednosti od ostalih susjedstva te je pri tome zadovoljen kriteriji;  $(z < 0) \ \&\& \ (Wz > 0)$ ,
- LL indikator označava vrijednost koja je niža od ostalih vrijednosti i susjedstvo nižih vrijednosti od ostalih susjedstva te je pri tome zadovoljen kriteriji;  $(z < 0) \ \&\& \ (Wz < 0)$ .

Tablica 6. prikazuje numeričke rezultate provedenog istraživanja prostorno atipičnih vrijednosti naplatnih zona europskog zračnog prostora. Prikupljeni i prikazani rezultati produkt su primjene programa AirStat.

**Tablica 6. Rezultati analize prostorno atipičnih vrijednosti naplatnih zona europskog zračnog prostora**

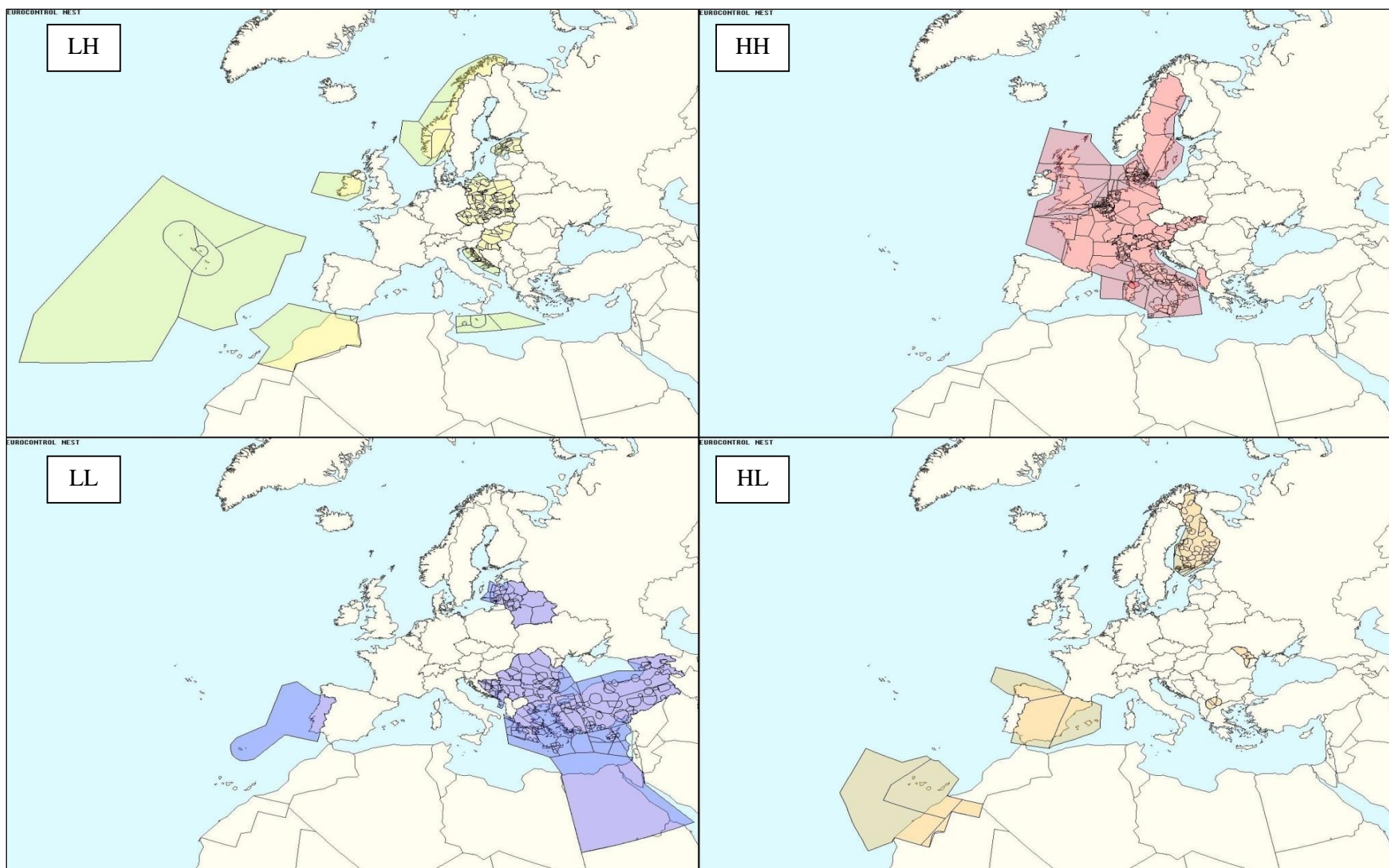
Airspace/ANSP	UR	z-score	Wz (i)	Indicator
Portugal-S.M.	9,57	- 1,915141	0,469826	LH
Belg.-Luxemb.	67,79	1,178037	0,997929	HH
Germany	67,2	1,146691	0,898519	HH
Estonia	28,79	- 0,893999	0,042668	LH
Finland	54,92	0,494265	- 0,129825	HL
United Kingdom	67,96	1,187069	0,425375	HH
Netherlands	58,83	0,702000	1,064872	HH
Ireland	27,83	- 0,945003	1,187069	LH
Denmark	59,69	0,747691	0,708057	HH
Norway	43,99	- 0,086436	0,754996	LH
Poland	43,77	- 0,098124	0,278827	LH
Sweden	56,74	0,590960	0,031511	HH
Latvia	27,6	- 0,957222	- 0,133987	LL
Lithuania	43,72	- 0,100781	- 0,149128	LL
Spain-Canarias	56,74	0,590960	- 0,431111	HL
Albania	49,49	0,205774	0,185984	HH
Bulgaria	26,72	- 1,003976	- 0,591375	LL
Cyprus	35,08	- 0,559817	- 1,168676	LL
Croatia	45,05	- 0,030119	0,212681	LH
Spain-Continent	69,67	1,277920	- 0,431111	HL
France	63,61	0,955957	1,568536	HH
Greece	31,6	- 0,744706	- 0,441737	LL
Hungary	32,45	- 0,699546	0,190898	LH
Italy	80,11	1,832588	0,352233	HH
Slovenia	61,84	0,861919	0,619252	HH
Czech Republic	42,74	- 0,152847	0,685929	LH
Malta	16,02	- 1,572458	0,543941	LH
Austria	71,48	1,374084	0,871254	HH
Portugal-Lisboa	36,97	- 0,459402	- 0,088030	LL
Bosnia Herz.	40,68	- 0,262293	- 0,349691	LL
Romania	32,21	- 0,712297	- 0,426861	LL
Switzerland	98,11	2,788912	1,327330	HH
Turkey	23,86	- 1,155925	- 0,898462	LL
Moldova	58,14	0,665341	- 0,712297	HL
FYROM	51,74	0,325315	- 0,553043	HL
Serb-Mont.-KFOR	33,02	- 0,669263	- 0,043069	LL
Slovakia	51,66	0,321064	0,105891	HH
Armenia	28,72	- 0,897718	- 1,221009	LL
Georgia	21,41	- 1,286092	- 1,026822	LL
Belarus	43,13	- 0,132127	- 0,385376	LL
Egypt	15,4	- 1,605398	- 0,652261	LL
Morocco	39,86	- 0,305859	0,469826	LH

Na temelju dobivenih rezultata kreiran je Moranov dijagram rasprostiranja koji je prikazan grafikonom 4. Nagib regresijskog pravca koji prolazi kroz Moranov dijagram rasprostiranja predstavlja vrijednost Moranovog I koeficijenta.



**Grafikon 4.** Moranov dijagram rasprostiranja jediničnih naknada

Na temelju provedene analize prostorno atipičnih vrijednosti europskog zračnog prostora može se zaključiti da je trinaest naplatnih zona (30,95%) svrstano prema indikatoru HH te su označeni kao područja visokih susjednih vrijednosti, dok četrnaest naplatnih zona europskog zračnog prostora spada pod područje niskih susjednih vrijednosti (33,33%). Prema indikatoru HL koji karakterizira područja visokih vrijednosti sa susjedstvom niskih vrijednosti spada pet naplatnih zona (11,91%). Ostatak naplatnih zona svrstan je prema indikatoru LH te zajedno čine 23,81% ukupno promatranog europskog zračnog prostora. U nastavku rada, slika 9. prikazuje dobivene rezultate analize prostorno atipičnih vrijednosti europskog zračnog prostora.



**Slika 9.** Prostorni prikaz prostorno atipičnih vrijednosti naplatnih zona europskog zračnog prostora

## 4. RASPRAVA

Zadnjih godina mnoge studije provedene su od strane različitih organizacija te odgovaraju na pitanja koja se tiču povezanosti, utjecaja i interesa (među)regionalnog gospodarstva i zračnog prometa. Pri tome su uglavnom pri obradi podataka korištene različite statističke metode kao i matematički modeli. Izrada različitih matematičkih modela tijekom posljednja dva desetljeća postala je sve popularnija u primijenjenoj ekonometriji, a sukladno sve većoj popularnosti razvijala su se i razmišljanja o najboljem načinu uključivanja prostorne heterogenosti u ekonometrijske modele [31]. U okviru ovoga rada na temelju kreiranog matematičkog modela provedeno je istraživanje prostorne autokorelacije naplatnih zona europskog zračnog prostora.

Schabenberger i Gotway [32] definiraju autokorelaciju kao korelaciju varijable sa samom sobom, dok prostornu autokorelaciju opisuju kao korelaciju varijable sa samom sobom na različitim prostornim lokacijama. Istraživanje prostorne autokorelacije izrazito je važno jer se primjenom statističkih metoda, istraživanje oslanja na zapažanja koja su neovisna jedno o drugome što zorno oslikava trenutno stanje europskog zračnog prostora i varijabilnosti vrijednosti jediničnih naknada.

Anselin [26] opisuje analizu prostornih podataka kao statističku studiju određenog fenomena koji se očituje u prostoru, dok Goodchild [33] navodi da "prvi zakon geografije", kojeg je definirao Tobler (1970.): „*Sve je u određenom odnosu, ali su bliži objekti povezaniji od udaljenijih*” opisuje prostornu autokorelaciju na najprecizniji način.

Prethodnih godina mogla se primijetiti velika varijabilnost u visini jediničnih naknada u različitim naplatnim zonama europskog zračnog prostora [34]. Luppo i suautori [35] smatraju da postoji veliki broj mogućnosti daljnjeg razvoja zračnog prometa na području Europe no da zbog nehomogenosti potražnje za uslugama zračnog prometa, razvoj neće biti jednolik na svim područjima Europe. Kao posljedica varijabilnosti jediničnih naknada i nehomogenosti prometne potražnje te fragmentiranosti europskog zračnog prostora, za istu uslugu na različitim područjima europskog zračnog prostora zračni prijevoznici plaćaju različite financijske iznose.

Castelli i suautori [36] zaključuju da se jedinične naknade također mogu primjenjivati kao sredstvo sprječavanja daljnjeg zagušivanja (prekapacitiranosti) zračnog prostora (naplatnih zona). Usporedbom rezultat rada *Study of the Impact of Innovative Route Charge Schemes Considering ATC and Airlines New Perspectives* [37] gdje se zaključuje da povećanje troškova ANSP-ova za 10% (što za posljedicu ima i povećanje vrijednosti jedinične naknade u idućoj godini), rezultira smanjenjem volumena zračnog prometa za 12%, s rezultatima rada [38], može se zaključiti da određeno povećanje jediničnih naknada i posljedično smanjenje volumena zračnog prometa unutar jedne naplatne zone ne utječe izrazito na razinu profitabilnosti pružatelja usluga u zračnoj plovidbi. No, isti zaključak se ne može navesti i za razinu profitabilnosti zračnih prijevoznika na temelju čijeg prometovanja se uglavnom i financira poslovanje ANSP-ova. U zrakoplovstvu profitne margine zračnih prijevoznika mogu biti često vrlo niske, pa čak i male promjene u troškovima mogu imati veliki utjecaj na profit zračnih prijevoznika. Sukladno STATFOR-ovim predikcijama [17], buduće više vrijednosti jediničnih naknada će imati direktan utjecaj prvenstveno na niskotarifne prijevoznike koji su već maksimalno optimizirali ostale komponente operativnih troškova te se može očekivati povećanje njihovog prometovanja kroz područja jeftinijih naplatnih zona europskog zračnog prostora.

U okviru istraživanja otkrivena su područja homogenosti europskog zračnog prostora u ovisnosti o geografskom položaju naplatnih zone i vrijednostima jediničnih naknada. Općenito, homogenim zračnim prostorom se smatra ATM prostor s jednakim ATM elementima koji se temelje na jednakim karakteristikama gustoće prometa, kompleksnosti, infrastrukturnim zahtjevima i sličnom. Pri tome se granice homogenog zračnog prostora definiraju na temelju političkih ili ekonomskih uvjeta. Provedbom ovog rada istraživane su granice homogenosti europskog zračnog prostora na temelju ekonomskih uvjeta.

Sveukupna analiza fragmentiranosti europskog zračnog prostora u ovisnosti o prostornoj disperziji jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi provedena je primjenom triju analiza europskog zračnog prostora. Analiza žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora rezultirala je determiniranjem naplatnih zona s kritičnim vrijednostima jediničnih naknada (HCV, MHCV, MLCV). Pri tome su vrijednosti jediničnih naknada uspoređivane u odnosu na intenzitet odstupanja od aritmetičke sredine svih jediničnih naknada, a ne susjednim vrijednostima. Usporedbom lokalnih i globalnih indikatora prostorne autokorelacije provedena je

analiza prostornog klasteriranja naplatnih zona europskog zračnog prostora. Dokazano je da postoji pozitivna autokorelacija i da obuhvaća 40,48% ukupno promatranog zračnog prostora. Posljednjom analizom provedeno je istraživanje kojim je utvrđeno koje se vrijednosti jediničnih naknada razlikuju od vrijednosti susjednih naplatnih zona.

Usporednom rezultata prve, druge i treće analize može se zaključiti da postoji prostorno klasteriranje na području europskog zračnog prostora, ali da ono nema jednake ili slične vrijednosti kao niti smjer otklona na cijelom promatranom području. To dokazuje i usporedba rezultata analize prostornog klasteriranja naplatnih zona europskog zračnog prostora, kojom je dokazano da postoji pozitivno prostorno klasteriranje, s rezultatima analize prostorno atipičnih vrijednosti naplatnih zona europskog zračnog prostora. Analizom prostorno atipičnih vrijednosti utvrđeno je da se u okviru područja klasteriranja europskog zračnog prostora zapravo javljaju dva izrazito različita klastera (HH 58,82%, LL 41,18%). Komparacijom rezultata prve i treće analize moguće je zaključiti da se u okviru klastera HH najveću kritičnu vrijednost jedinične naknade (HCV) ima Švicarska. Također području grupiranje visokih susjednih vrijednosti (HH) izrazito doprinose i MHCV vrijednosti talijanske, austrijske, njemačke, belgijske jedinične naknade te jedinične naknade Velike Britanije. Područja niskih susjednih vrijednosti (klasteri LL) različitog su karaktera od klastera HH (koji je koncentriran na jednom prostornom uzorku) i javlja se na više različitih područja u okviru europskog zračnog prostora. Pri tome izrazite vrijednosti jediničnih naknada oko kojih su kreirani klasteri LL označavaju naplatne zone: Portugal - Santa Maria, Malta, Egipat, Turska, Bugarska i Gruzija. Prostorno atipične vrijednosti jediničnih naknada ne pripadaju pod područje prostornog klasteriranja te se uglavnom nalaze na granicama klasteriranog područja. Prostorno atipične vrijednosti jediničnih naknada uglavnom su okarakterizirane indikatorom NIL u okviru analize žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora. Iznimku predstavljaju Španjolska (MHCV) koja graniči s klasterom LL i Malta (MLCV) koja graniči s klasterom HH.

Prikazom i elaboracijom rezultata istraživanja potvrđuju se početna hipoteza da je europski zračni prostor fragmentiran u ovisnosti o prostornoj disperziji jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi te da je primjenom programa AirStat moguće istražiti razinu fragmentiranosti europskog zračnog prostora. Provedbom triju analiza dokazano je da postoje homogena područja europskog zračnog prostora sa sličnim vrijednostima jediničnih naknada, no na temelju veličina

dobivenih uzoraka homogenosti može se zaključiti da je europski zračni prostor izrazito fragmentiran. Pri tome se 30,95% promatranog zračnog prostora klasificira kao područje visokih susjednih vrijednosti, kao područje niskih susjednih vrijednosti 33,33%, dok ostalih 35,72% predstavljaju područja atipičnih vrijednosti jediničnih naknada te se uglavnom nalaze na područjima razgraničenja područja visokih i niskih susjednih vrijednosti.



## 5. ZAKLJUČAK

Budući da pružanje usluga u zračnoj plovidbi zahtjeva određena financijska sredstva i resurse, Eurocontrol je uspostavio sustav naplate troškova pružatelja usluga u zračnoj plovidbi. Države i njihovi pružatelji usluga u zračnoj plovidbi pristupanjem Eurocontrolovi ili bilateralnim ugovorima definiraju način sudjelovanja u zajednički definiranom sustavu naplate naknada za prelete zrakoplova europskim zračnim prostorom. Upravljanje sustavom povrata troškova pružatelja usluga u zračnoj plovidbi u operativnom smislu izvršava Eurocontrolovo tijelo Centralni ured za naplatu rutnih naknada. Pri tome se za svaku naplatnu zonu godinu dana unaprijed određuje jedinična naknada na temelju koje će se naredne godine obračunavati ukupni troškovi korisnika zračnog prostora za prelete zrakoplova kroz svaku naplatnu zonu.

Jedinične naknade pružatelja usluga u zračnoj plovidbi izrazito variraju diljem Europe. Razlog tome je što su vrijednosti jediničnih naknada produkt dijeljenja prognoziranih troškova oblasnih centara kontrole zračnog prometa s prognoziranim brojem usluženih jedinica usluge za istu narednu godinu i istu naplatnu zonu.

Ovim radom provedena je analiza fragmentiranosti europskog zračnog prostora u ovisnosti o prostornoj disperziji jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi. Pri tome je kreiran matematički model na temelju kojeg je razvijen program AirStat koji je poslužio kao tehnička podrška pri provođenju istraživanja. Program AirStat predstavlja alat za modeliranje i simuliranje učinaka zračnog prometa nad europskim zračnim prostorom te omogućuje prikaz geoprostornih uzročno-posljedičnih veza što olakšava proces donošenja odluka u strateškom planiranju zračnog prometa.

Analiza fragmentiranosti europskog zračnog prostora u ovisnosti o prostornoj disperziji jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi za ožujak 2018. godine sastoji se od triju analiza europskog zračnog prostora. Prvi dio istraživanja podrazumijeva provedbu analize žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora gdje je na temelju normalne razdiobe jediničnih naknada omogućena identifikacija žarišnih područja (naplatnih zona) europskog zračnog prostora. U okviru promatranog skupa podataka ne postoje vrijednosti jediničnih naknada koje bi se mogle svrstati prema indikatorima VHCV i VLCV. Područja sa srednje visokim kritičnim vrijednostima jediničnih naknada (MHCV) čine 14,29% ukupnog europskog zračnog

prostora, dok isti udio u promatranom području označavaju i područja srednje niskih kritičnih vrijednosti jediničnih naknada (MLCV). Najveće odstupanje jedinične naknade od aritmetičke sredine svih naknada je identificirano nad švicarskim zračnim prostorom koji čini 2,37% ukupno promatranog zračnog prostora te se klasificira indikatorom HCV. Ostatak promatranog zračnog prostora (69,05%) se ne klasificira kao žarišno područje (NIL).

Analizom prostornog klasteriranja naplatnih zona europskog zračnog prostora dokazano je da postoji pozitivna prostorna autokorelacija promatranih naplatnih zona i klasteriranje određenog dijela europskog zračnog prostora (40,48% ukupno promatranog zračnog prostora). No, na temelju rezultata analize prostornog klasteriranja nije moguće donijeti zaključke o vrsti klastera. Provedbom treće i zadnje analize istraživane su vrste klastera koji su grupirani prema zajedničkim karakteristikama (prostornim indikatorima).

Analiza prostorno atipičnih vrijednosti naplatnih zona europskog zračnog prostora omogućila je raspoznavanje različitih vrsta klastera u okviru europskog zračnog prostora. Pri tome je otkriveno da se od ukupno promatranog europskog zračnog prostora 30,95% karakterizira kao područje visokih susjednih vrijednosti jediničnih naknada, dok se 33,33% karakteriziralo kao područja niskih susjednih vrijednosti. Atipične vrijednosti jediničnih naknada označavaju područja visokih vrijednosti sa susjedstvom niskih ili visokih vrijednosti jediničnih naknada. Područja visokih vrijednosti sa susjedstvom niskih vrijednosti obuhvaćaju 11,91% ukupno promatranog zračnog prostora. Ostatak ukupnog dijela promatranog zračnog prostora (23,81%) čine naplatne zone niskih vrijednosti sa susjedstvom visokih vrijednosti jediničnih naknada.

Provedbom triju analiza dokazano je da postoje homogena područja europskog zračnog prostora sa sličnim vrijednostima jediničnih naknada, no na temelju veličina dobivenih uzoraka homogenosti može se zaključiti da je europski zračni prostor izrazito fragmentiran.

S naglaskom na međunarodnu dimenziju utjecaja proizašlih iz vrijednosti jediničnih naknada, radom je prikazana analiza stanja s preciznim otkrivanjem fragmentiranosti europskog zračnog prostora. U radu je također prikazana i konkurentnost pružatelja usluga u zračnoj plovidbi na europskom tržištu, a u ovisnosti o visini njihovih jediničnih naknada. Uzimajući u obzir da je unutar zadnjih dvadeset godina, kao najuočljivija slabost sustava upravljanja zračnim prometom prepoznat problem donošenja odluka na nacionalnim razinama, ovim istraživanjem je prikazan i

jedan od načina kojim se može osigurati kvalitetna valorizacija prometnih učinaka te lakše i sigurnije donošenje odluka, odgovarajućih mjera i aktivnosti u strateškom planiranju zračnog prometa. Daljnjim razvojem i nadogradnjom, program AirStat bi se mogao primjenjivati u okviru strateškog planiranja zračnog prometa u sklopu djelatnosti zrakoplovnih operatora, pružatelja usluga u zračnoj plovidbi, agencija civilnog zrakoplovstva, akademskih i istraživačkih ustanova i ostalih zainteresiranih dionika.

## ZAHVALE

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Ružici Škurla Babić na iskazanom povjerenju, pomoći i vodstvu tijekom izrade ovog rada. Zahvaljujem se i dr.sc. Cristiani Piccioni sa Sveučilišta u Rimu „La Sapienza“ na susretljivosti i savjetima prilikom izrade matematičkog modela kojim je opisano područje istraživanja. Na korisnim sugestijama i pomoći pri tehničkoj izradi i oblikovanju programa AirStat, zahvaljujem se Andrei Tikvica, univ.bacc.inf..

## POPIS LITERATURE

- [1] Eurocontrol: *Challenges of Air Transport 2030: Survey of experts' views*, 2008. , URL: [https://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/document/eec/other\\_document/2009/003\\_Challenges\\_of\\_air\\_transport\\_2030\\_experts\\_view.pdf](https://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/document/eec/other_document/2009/003_Challenges_of_air_transport_2030_experts_view.pdf) (pristupljeno: 26.2.2018.)
- [2] Eurocontrol: *Network Manager handles record levels of traffic in 2017*, URL: <http://www.eurocontrol.int/press-releases/network-manager-handles-record-levels-traffic-2017> (pristupljeno: 3.3.2018.)
- [3] Mihetec, T., Božičević, A., Steiner, S.: *Sigurnosna domena europskog programa ATM 2000+*, Nezgode i nesreće u prometu i mjere za njihovo sprječavanje: zbornik radova sa znanstvenog skupa (Kaštela, S., Steiner, S.), Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, p. 108-115, 2007.
- [4] Europska komisija: *Strategiji zrakoplovstva za Europu*, Bruxelles, 2015., URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52015DC0598&from=HR> (pristupljeno: 10.2.2018.)
- [5] Steiner, S., Mihetec, T., Božičević, A.: *Prospects of Air Traffic Management in South Eastern Europe*, Promet - Traffic&Transportation, vol. 22, no. 4, p. 293-302, 2010.
- [6] Steiner, S., Galović, B., Radačić, Ž.: *Strategic Framework of Air Traffic Development*, Promet - Traffic&Transportation, vol. 20, no. 3, p. 157-167, 2008.
- [7] Mihetec, T., Vidović, A., Rezo, Z.: *Assesment of Single European Sky implementation in Functional Airspace Block Central Europe*, Promet - Traffic&Transport, vol. 29, no. 6, p. 643-655, 2017.
- [8] Grebenšek, A., Magister T.: *Traffic Variability in Benchmarking of Air Navigation Services Providers Cost-Effectiveness*, International Journal for Traffic and Transport Engineering, vol. 2, no. 3, p. 185 – 201, 2012.
- [9] Europska komisija: *Single European Sky: Commission harmonises air navigation service charges*, Priopćenje za javnost IP/06/1693

- [10] Liebhold, A. M., Sharov, A. A.: *Testing for correlation in the presence of spatial autocorrelation in insect count data*, Population and Community Ecology for Insect Management and Conservation, (Baumgartner, J., Brandmayr, P., Manly, B. F. J.) Rotterdam, p. 11-117, 1998.
- [11] Legendre, P.: *Spatial Autocorrelation: Trouble or New Paradigm?*, Ecology, vol. 74, no. 6, p. 1659-1673, 1993.
- [12] Uredba (EZ) br. 1794/2006 od 6. prosinca 2006. o uspostavi zajedničkog sustava obračuna naknada za usluge u zračnoj plovidbi, URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1794&from=HR> (pristupljeno: 24.3.2018.)
- [13] Eurocontrol: *Customer Guide to Charges*, 2018., URL: <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/customer-guide-to-charges-2018.pdf> (pristupljeno: 24.3.2018.)
- [14] Chou, Y. H.: *Map Resolution and Spatial Autocorrelation*, Geographical Analysis, vol. 23, no. 3, p. 228 - 246, 1991.
- [15] Eurocontrol: *Monthly monthly adjusted unite rate*, ožujak 2012., URL: <http://www.eurocontrol.int/services/monthly-adjusted-unit-rates> (pristupljeno: 20.2.2018.)
- [16] Eurocontrol: *Monthly monthly adjusted rate unit*, ožujak 2018., URL: <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/route-charges/unit-rates-and-tariffs/ur-2018-03.txt> (pristupljeno: 20.2.2018.)
- [17] Eurocontrol: *Seven year flights service units forecast*, 2017., URL: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/official-documents/forecasts/seven-year-flights-service-units-forecast-2017-2023-Feb2017.pdf> (pristupljeno: 15.3.2018.)
- [18] Eurocontrol: *Information circular: Air Navigation charges in the Belarus*, 2018., URL: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/route-charges/information-circulars/um-2018-01.pdf> (pristupljeno: 15.3.2018.)

- [19] Eurocontrol: *Information circular: Air Navigation charges in the Arab Republic of Egypt*, 2018., URL: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/route-charges/information-circulars/he-2018-01.pdf> (pristupljeno: 15.3.2018.)
- [20] Eurocontrol: *Information circular: Route charges in Morocco*, 2018., URL: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/route-charges/information-circulars/gm-2018-01.pdf> (pristupljeno: 15.3.2018.)
- [21] Flahaut, B., Mouchart, M., San Martin, E., Thomas, I.: *The local spatial autocorrelation and the kernel method for identifying black zones. A comparative approach*, Accident; Analysis and Prevention, vol. 35, no. 6, p. 991–1004, 2003.
- [22] Mattsson, B. J., Zipkin, E. F., Gardner, B., Blank, P. J., Sauer, J. R., Royle, J. A.: *Explaining local-scale species distributions: relative contributions of spatial autocorrelation and landscape heterogeneity for an avian assemblage*, PloS One, vol. 8, no. 2, e55097, 2013.
- [23] Viladomat, J., Mazumder, R., McInturff, A., McCauley, D. J., Hastie, T.: *Assessing the significance of global and local correlations under spatial autocorrelation: a nonparametric approach*, Biometrics, vol. 70, no. 2, p. 409–18, 2014.
- [24] Srce: *Programski jezik R u vizualizaciji i analizi prostornih podataka*, Sveučilište u Zagrebu, 2015., URL: [http://www.srce.unizg.hr/files/srce/docs/edu/R/s730\\_polaznik.pdf](http://www.srce.unizg.hr/files/srce/docs/edu/R/s730_polaznik.pdf) (pristupljeno: 25.11.2017.)
- [25] Fotheringham, A. S., Brunson, C., Charlton, M. E.: *Quantitative Geography: Perspectives on Spatial Data Analysis*, Sage, London, 2000.
- [26] Anselin, L.: *The Moran Scatterplot as an ESDA Tool to Assess Local Instability in Spatial Association*, *Spatial Analytical Perspectives on GIS*, Taylor and Francis, London, p. 111-125, 1996.
- [27] Anselin, L., Syabri, I., Kho, Y.: *GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis*, Geographical Analysis, vol. 38, no. 1, p. 5-22, 2006.
- [28] Audretsch, D. B., Feldman, M. P.: *Knowledge Spillovers and the Geography of Innovation*, Handbook of Regional and Urban Economics, Amsterdam, p. 2713-2742, 2004.

- [29] Anselin, L.: *Spatial Analysis with GeoDa Spatial Autocorrelation*, GeoDa Center for Geospatial Analysis and Computation, Arizona State University, SAD, 2008.
- [30] Getis, A., Ord. J. K.: *The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics*, Geographical Analysis, p. 189-206, 1992.
- [31] Lacombe, D. J., McIntyre, S. G.: *Local and global spatial effects in hierarchical models*, Applied Economics Letters, vol. 23, no. 16, p. 1168–1172, 2016.
- [32] Schabenberger, O., Gotway, C. A.: *Statistical Methods for Spatial Data Analysis*, Chapman & Hall/CRC Press, 2005.
- [33] Goodchild, M.: *A Spatial Analytical Perspective on Geographical Information Systems*, International Journal of Geographical Information Systems, p. 327-334, 1987.
- [34] Castelli, L., Ranieri, A.: *Air Navigation Service Charges in Europe*, Proceedings of the 7th USA – EUROPE ATM R&D Seminar, Barcelona, 2007.
- [35] Luppo, A., Hlushko, O., Dolmatova, D.: *Analysis of air traffic in european region*, Proceedings of the National Aviation University, vol. 1, no. 54, p. 37–43, 2013.
- [36] Castelli, L., Labbe', M., Violin, A.: *A Network Pricing Formulation for the revenue maximization of European Air navigation Service Providers*, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, no. 33, p. 214-26, 2013.
- [37] Castelli, L., Pesenti, R., Schiratti, S., Ukovich, W.: *Study of the Impact of Innovative Route Charge Schemes Considering ATC and Airlines New Perspectives*, Final Report of the CARE Innovative Action Project, 2003.
- [38] Andersson, M., Blomdahl, R.: *Adjusting route charges to increase profit*, Linköping University, 2013.



## **Analiza fragmentiranosti europskog zračnog prostora u ovisnosti o prostornoj disperziji jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi**

**Zvonimir Rezo**

### **SAŽETAK**

Zbog varijabilnosti vrijednosti jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi, na različitim područjima europskog zračnog prostora zračni prijevoznici za istu uslugu plaćaju različite financijske iznose. S obzirom na to da je interes zračnih prijevoznika ostvariti prijevoz sa što manjim operativnim troškovima, nerijetko se događa da zrakoplovi, ukoliko postoji alternativa, lete dužim, ali ekonomičnijim rutama leta kroz jeftinije naplatne zone. Primjenom metodologije istraživanja prostorne autokorelacije precizno je definirana razina fragmentiranosti europskog zračnog prostora u ovisnosti o prostornoj disperziji jediničnih naknada pružatelja usluga u zračnoj plovidbi za ožujak 2018. godine. Provedenim istraživanjem utvrđeno je da postoji prostorno klasteriranje naplatnih zona te da se na temelju različitih veličina i područja pojavnosti homogenih područja, može zaključiti da je europski zračni prostor izrazito fragmentiran.

**Ključne riječi:** upravljanje zračnim prometom; europski zračni prostor; strateško planiranje zračnog prometa; fragmentiranost; prostorna autokorelacija

## **The analysis of European airspace fragmentation in correlation with spatial dispersion of Air Navigation Service Providers' unite rates**

**Zvonimir Rezo**

### **SUMMARY**

Due to the Air Navigation Service Providers' unit rates values variability, in different European airspace areas air carriers for the same service pay different financial amounts. Considering that air carriers' interest is to achieve transport with the lowest operating costs, it is often the case that the airplanes, if there is an alternative, fly on longer, but economically more acceptable routes through cheaper charging zones. The European airspace fragmentation level in correlation with spatial dispersion of Air Navigation Service Providers' unite rates for March 2018 has been precisely defined by use of the spatial autocorrelation methodology. The research shows that spatial clustering of the charging zones exists and that, based on different sizes and appearance areas of homogeneous areas, it can be concluded that the European airspace is highly fragmented.

**Key words:** Air Traffic Management; European airspace; strategic air traffic planning; fragmentation; spatial autocorrelation

## POPIS SLIKA

Slika 1. Prostorni prikaz CRCO dionika s granicama naplatnih zona.....	10
Slika 2. Pregled slijeda procesa modeliranja i izrade programa AirStat .....	11
Slika 3. Funkcionalne faze izrade izvješća.....	12
Slika 4. Početna forma programa AirStat.....	15
Slika 5. Prikaz procesa provedbe kvantitativnog istraživanja primjenom programa AirStat .....	22
Slika 6. Prostorni prikaz rezultata analize žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora.....	31
Slika 7. Prikaz grafa susjedstva područja istraživanja .....	32
Slika 8. Prikaz prostornog klasteriranja i grupiranja naplatnih zona europskog zračnog prostora.....	35
Slika 9. Prostorni prikaz prostorno atipičnih vrijednosti naplatnih zona europskog zračnog prostora.....	40

## POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Usporedbe vrijednosti jediničnih naknada u 2012. i 2018. godini s predikcijom vrijednosti za 2023. godinu.....	18
Grafikon 2. Moranov dijagram rasprostiranja.....	26
Grafikon 3. Prikaz standardizirane normalne razdiobe jediničnih naknada .....	29
Grafikon 4. Moranov dijagram rasprostiranja jediničnih naknada.....	39

## POPIS TABLICA

Tablica 1. CRCO dionici s pripadajućim pružateljima usluga u zračnoj plovidbi i područjima letnih informacija .....	8
Tablica 2. Korištene klase programa .....	14
Tablica 3. Jedinične naknada primjenjive u ožujku 2018. ....	20
Tablica 4. Rezultati analize žarišnih područja naplatnih zona europskog zračnog prostora .....	30
Tablica 5. Rezultati analize prostornog klasteriranja i grupiranja naplatnih zona europskog zračnog prostora.....	34
Tablica 6. Rezultati analize prostorno atipičnih vrijednosti naplatnih zona europskog zračnog prostora ..	38