

Utjecaj zatvaranja zračnog prostora Ukrajine na učinkovitost leta

Mičetić, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:474179>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**UTJECAJ ZATVARANJA ZRAČNOG PROSTORA UKRAJINE
NA UČINKOVITOST LETA**

**THE IMPACT OF THE CLOSURE OF UKRAINIAN
AIRSPACE ON FLIGHT EFFICIENCY**

Mentor: dr. sc. Bruno Antulov-Fantulin

Student: Luka Mičetić

Zagreb, srpanj 2023.

Zagreb, 31. ožujka 2023.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7179

Pristupnik: **Luka Mičetić (0135259542)**
Studij: **Aeronautika**
Smjer: **Kontrola leta**

Zadatak: **Utjecaj zatvaranja zračnog prostora Ukrajine na učinkovitost leta**

Opis zadatka:

U radu je potrebno navesti značajke zračnoga prometa prije i za vrijeme rata u Ukrajini, analizirati utjecaj na učinkovitost leta i kroz raspravu objasniti rezultate analize.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

dr. sc. Bruno Antulov-Fantulin

Sažetak

Cilj ovog rada je prikazati utjecaj zatvaranja zračnog prostora Ukrajine na učinkovitost leta. Rat u Ukrajini koji je započeo u veljači 2022. godine i posljedično zatvaranje zračnog prostora Ukrajine utjecali su na učinkovitost leta na razini cijele Europe. Najveći porast neučinkovitosti leta zabilježen je na rutama koje su prije rata prolazile zračnim prostorom Ukrajine. Posljedično je u nekim zemljama došlo do pada zračnog prometa, a u drugima do njegova povećanja. Zatvaranje zračnog prostora Rusije, kao odgovor na uvedene sankcije mnogobrojnih zemalja, dodatno je povećalo neučinkovitost leta preusmjeravanjem važnih prometnih tokova koji povezuju Europu i Aziju. Analiza utjecaja zatvaranja zračnog prostora Ukrajine na učinkovitost leta rađena je pomoću programskog alata NEST.

Ključne riječi: zatvaranje zračnog prostora, neučinkovitost leta, NEST

Summary

The aim of this paper is to show the impact of the closure of the Ukrainian airspace on flight efficiency. The war in Ukraine that started in February 2022 and the consequent closure of Ukrainian airspace have affected flight efficiency across Europe. The greatest increase in flight inefficiency was recorded on routes that passed through the Ukrainian airspace before the war. As a result, in some countries there was a decrease in air traffic, and in others it has increased. The closure of Russian airspace, in response to the sanctions imposed by numerous countries, further increased flight inefficiency by diverting important traffic flows connecting Europe and Asia. The analysis of the impact of the closure of Ukrainian airspace on flight efficiency was done using the NEST program tool.

Key words: closure of airspace, flight inefficiency, NEST

SADRŽAJ

1.	Uvod	1
2.	Rat u Ukrajini	2
2.1	Počeci Ukrajinske krize	2
2.2	Aneksija Krima	3
2.3	Invazija na Ukrajinu	3
2.4	Zračni prostori opasni za civilno zrakoplovstvo	4
2.5	Let kroz opasne zračne prostore	5
2.6	Sankcije na zrakoplovni sektor	6
3.	NEST program	8
3.1	Duljina rute	9
3.2	Horizontalna učinkovitost leta	13
3.3	Ostvarena udaljenost.....	14
3.3.1	Ostvarena udaljenost i doprinos mreži.....	16
3.3.2	Rastavljanje neučinkovitosti na lokalnu komponentu i komponentu međupovezanosti 16	
3.3.3	Neovisnost lokalne izvedbe u odnosu na izvedbu izvan lokalnog područja	17
3.3.4	Dobivanje indikatora neučinkovitosti leta	17
4.	Promet prije rata u Ukrajini	19
4.1	Značajke prometa tijekom 2021. godine	19
4.2	Horizontalna učinkovitost leta tijekom 2021. godine u području EUROCONTROL-a.....	23
4.3	Analiza učinkovitosti letova prije rata u Ukrajini pomoću programa NEST	25
4.3.1	Letovi Moskva – Istanbul prije rata.....	26
4.3.2	Letovi Minsk – Istanbul prije rata	28
4.3.3	Letovi Varšava – Kišinjev prije rata	29
4.3.4	Letovi Riga - Larnaka prije rata	30
4.3.5	Letovi Varšava – Tbilisi prije rata	31
4.3.6	Letovi Minsk – Dubai prije rata.....	33
4.3.7	Letovi Riga – Kišinjev prije rata	35
4.3.8	Letovi Varšava - Istanbul prije rata.....	36
4.3.9	Letovi Helsinki – Tokio prije rata	37
4.3.10	Letovi Düsseldorf – Seoul prije rata.....	38
5.	Promet za vrijeme rata u Ukrajini	39
5.1	Značajke prometa tijekom 2022. godine	40

5.2	Učinkovitost leta tijekom 2022. godine u području EUROCONTROL-a.....	43
5.3	Analiza učinkovitosti letova za vrijeme rata u Ukrajini pomoću programa NEST	46
5.3.1	Letovi Moskva – Istanbul za vrijeme rata	47
5.3.2	Letovi Minsk – Istanbul za vrijeme rata	49
5.3.3	Letovi Varšava – Kišinjev za vrijeme rata	50
5.3.4	Letovi Riga – Larnaka za vrijeme rata	51
5.3.5	Letovi Varšava – Tbilisi za vrijeme rata	52
5.3.6	Letovi Minsk – Dubai za vrijeme rata.....	53
5.3.7	Letovi Riga – Kišinjev za vrijeme rata.....	54
5.3.8	Letovi Varšava – Istanbul za vrijeme rata.....	55
5.3.9	Letovi Helsinki – Tokio za vrijeme rata.....	56
5.3.10	Letovi Düsseldorf – Seoul za vrijeme rata	57
6.	Analiza rezultata	58
6.1	Moskva – Istanbul let THY6085 i AFL 2137.....	59
6.2	Minsk – Istanbul let BRU785	61
6.3	Varšava – Kišinjev let LOT513	62
6.4	Riga – Larnaka let BTI658.....	63
6.5	Varšava – Tbilisi let LOT7EP	64
6.6	Minsk – Dubai let FDB1716	65
6.7	Riga – Kišinjev T7DYN	66
6.8	Varšava – Istanbul let LOT 135.....	67
6.9	Helsinki – Tokio let FIN74	68
6.10	Düsseldorf – Seoul let AAR541.....	69
6.11	Grafički prikaz analize rezultata	70
7.	Zaključak.....	71
	Bibliografija.....	72
	Popis slika	74
	Popis Tablica	76

1. Uvod

Zračni promet jedna je od najvažnijih prometnih grana koja potiče razvoj i generira značajan ekonomski rast u svijetu. Potražnja za zračnim prometom kontinuirano raste već dugi niz godina. Taj neprekidni rast je u zadnjih nekoliko godina usporen je dvjema velikim krizama. Godine 2020. dogodila se pandemija SARS-CoV-2 koja je dovela do velikog pada zračnog prometa u diljem cijele planete. Druga kriza koja također snažno utječe na zračni promet je rat između Rusije i Ukrajine koji traje još i za vrijeme pisanja ovog završnog rada. Zbog rata je došlo do zatvaranja zračnog prostora Ukrajine. Veliki broj zemalja, kao odgovor na rusku agresiju, zabranio je korištenje svog zračnog prostora ruskim zrakoplovima na što je Rusija odgovorila istom mjerom i zabranila im ulazak u svoj zračni prostor.

Cilj ovog završnog rada je na temelju analize podataka prikazati utjecaj zatvaranja zračnog prostora Ukrajine na učinkovitost leta. Za analizu podataka koristi se program NEST. Rad je podijeljen u 7 cjelina:

1. Uvod
2. Rat u Ukrajini
3. NEST program
4. Promet prije rata u Ukrajini
5. Promet za vrijeme rata u Ukrajini
6. Analiza rezultata
7. Zaključak

U drugom je poglavlju objašnjen je početak ukrajinske krize koji je rezultirao izbijanjem rata između Rusije i Ukrajine, uz opis opasnih i zatvorenih zračnih prostora.

Treće poglavlje opisana je metodologija programa NEST te je detaljno objašnjen pojam horizontalne učinkovitosti leta.

Četvrto poglavlje daje pregled zračnog prometa na području EUROCONTROL-a prije rata u Ukrajini. Prikazan je porast zračnog prometa u usporedbi sa prethodnim godinama te neučinkovitost leta kroz države članice.

U petom poglavlju opisane su značajke zračnog prometa na području EUROCONTROL-a za vrijeme rata u Ukrajini. Prikazana je usporedba zračnog prometa sa prethodnim godinama te neučinkovitost leta kroz države članice.

U šestom poglavlju obavljena je analiza rezultata učinkovitosti letova obrađenih u četvrtom i petom poglavlju.

U sedmom poglavlju nalazi se zaključak ovog završnog rada.

2. Rat u Ukrajini

Počeci Ukrajinske krize sežu u 2013. godinu, a prvi sukobi između Rusije i Ukrajine započeli su godinu kasnije ulaskom prikrivenih ruskih trupa u ukrajinsku autonomnu republiku Krim. Sukob se proširio u travnju 2014. kada su Rusi i lokalne posredničke snage zauzele teritorije u ukrajinskoj regiji Donbas [1].

Dana 24. veljače 2022. godine, Rusija je pokrenula masovni napad na Ukrajinu i anektirala Donjecku, Hersonsku, Lugansku i Zaporošku oblast započevši rusko-ukrajinski rat koji je do danas rezultirao sa stotinama tisuća mrtvih i ozlijeđenih [1].

2.1 Počeci Ukrajinske krize

Krajem studenog 2013. godine Viktor Yanukovych, tadašnji predsjednik Ukrajine pokazao je spremnost da potpiše ugovor o pristupanju Ukrajine Europskoj uniji. Rusija se s time nije slagala, a nakon posjeta Moskvi Yanukovych je odlučio kako neće potpisati sporazum sa Europskom unijom [1].

Odbijanje ugovora o pristupanju Ukrajine Europskoj uniji pokrenulo je proeuropske prosvjede u Kijevu poznate kao Euromaidan. Nemiri su trajali više mjeseci dok su snage specijalne policije neuspješno pokušale suzbiti prosvjede. U prosvjedima je 20. veljače 2014. godine ubijeno najmanje 80 protestanata [1].

Sljedećeg dana skupina ministara vanjskih poslova EU stigla je u Kijev kako bi posredovali u dogovoru između Yanukovycha i vođa parlamentarnih oporbenih stranaka. Stranke su se složile formirati vladu "nacionalnog jedinstva", provesti ustavne reforme koje bi smanjile ovlasti predsjednika i održati nove predsjedničke izbore [1].

Yanukovych je narednog dana pobjegao u Rusiju čime je vlast u Ukrajini došla u ruke raznih proeuropskih oporbenih stranaka [2]. Parlament je smijenio Viktora Yanukovycha sa dužnosti predsjednika i time pokrenuo snažne proruske demonstracije i separatističke pokrete na istoku i jugu Ukrajine. Nova privremena vlada uspostavljena do održavanja novih izbora međunarodno je priznata, no Rusija ju je smatrala nelegitimnom i prijetnjom ruskom stanovništvu na području Ukrajine [3].

2.2 Aneksija Krima

Nakon uspostavljanja privremene vlade u Ukrajini, predsjednik Rusije Vladimir Putin poslao je vojsku na granicu između dvije zemlje [2].

Dana 27. veljače 2014. godine, vojnici bez oznaka pripadnosti zauzeli su zgrade parlamenta i vlade u Simferopolju na Krimu, a dan kasnije preuzeli su i kontrolu nad dvije krimske zračne luke. Kremlj je demantirao umiješanost Rusije u događaje na Krimu. Kasnije je potvrđeno kako su pripadnici samoproglashene krimske milicije uz podršku vojnika i mornara ruske crnomorske flote zauzeli preostale vladine zgrade i vojne objekte. Jedinice Ukrajinske vojske prisiljene su na predaju [1].

Rusija je 16. ožujka 2014. godine provela kontroverzni referendum na kojemu je sa 95% glasova izglasan izlazak Krima iz Ukrajine i njegovo pridruživanje Ruskoj Federaciji. Krim za Rusiju ima veliko značenje kao vojna baza ruske crnomorske flote. Dolazi do jačanja proruskih demonstracija na istoku Ukrajine koje prerastaju u otvoreni sukob između Ukrajinskih snaga i proruskih separatista potpomognutih od strane Rusije. Dana 11. svibnja separatisti su održali referendum i formirane su Donjecka Narodna Republika (DNR) i Luganska Narodna Republika (LNR) [1].

Ruski predsjednik Putin je opravdao vojne upade na teritorij Ukrajine kao potrebu zaštite prava ruskih građana i govornika ruskog jezika. Mnogi od njih nisu podržavali novu prozapadno orijentiranu vladu zemlje [4]. Zakon koji je dovršio proces pripajanja Krima Rusiji potpisan je 21. ožujka 2014. godine [2]. Od tada Rusija nedvojbeno kontrolira teritorij Krima, iako međunarodna zajednica nikad nije priznala aneksiju [5].

2.3 Invazija na Ukrajinu

Rusko-ukrajinski rat započeo je 24. veljače 2022. godine kada su ruske oružane snage ušle na teritorij Ukrajine i započela invaziju [1].

Naznake napada vidjele su se već krajem 2021. godine kada je Rusija započela masovno gomilanje vojnih snaga i vojne opreme duž granice s Ukrajinom. Veliki broj ruskih vojnih snaga poslan je i u Bjelorusiju pod izlikom održavanja vojnih vježbi. Prateće jačanje ruske crnomorske flote također je pravdano kao prethodno zakazana vojna vježba [1].

Zapadni vojni analitičari procijenili su prisutnost oko 190.000 ruskih vojnika uz granicu Ukrajine, te veliku vjerojatnost napada. Ruski predsjednik Putin i članovi ruske vlade kategorički su opovrgavali optužbe o planiranom napadu na Ukrajinu [6].

Dana 21. veljače 2022., Putin je priznao neovisnost samoproglashenih narodnih republika Donjecka i Luganska. Sljedećeg dana potpisan je federalni zakon o ratifikaciji Ugovora o prijateljstvu, suradnji i uzajamnoj pomoći između Ruske Federacije i Narodne Republike

Donjeck [7]. Nakon što su Narodne republike Donbasa zatražile pomoć od Rusije, Putin je 24. veljače 2022. najavio pokretanje "specijalne vojne operacije". Ova operacija je predstavljena kao podrška narodnim republikama Donjecka i Luganska u zaštiti svojih ljudi od poniženja i genocida koje provodi kijevski režim. Glavni cilj ove operacije je demilitarizacija i denacifikacija Ukrajine, kao i izvođenje pred sud svih koji su počinili zločine nad civilima i građanima Ruske Federacije [8].

Odmah nakon najave "specijalne vojne operacije", ruske snage su započele zračne udare na ukrajinske gradove. Istovremeno, kopnena invazija je pokrenuta sa sjevernog fronta iz Bjelorusije prema glavnom gradu Kijevu, sjeveroistočnog fronta prema Harkivu, južnog fronta s Krimskog poluotoka i jugoistočnog fronta iz Donbasa [3].

Ukrajinski predsjednik Volodymyr Zelensky proglasio je ratno stanje u zemlji i naredio opću mobilizaciju vojno sposobnog stanovništva [1]. Rat u Ukrajini i dalje traje nesmanjenom žestinom, a do danas ruske snage nisu uspjele zauzeti Kijev i svrgnuti demokratsku Ukrajinску vlast.

2.4 Zračni prostori opasni za civilno zrakoplovstvo

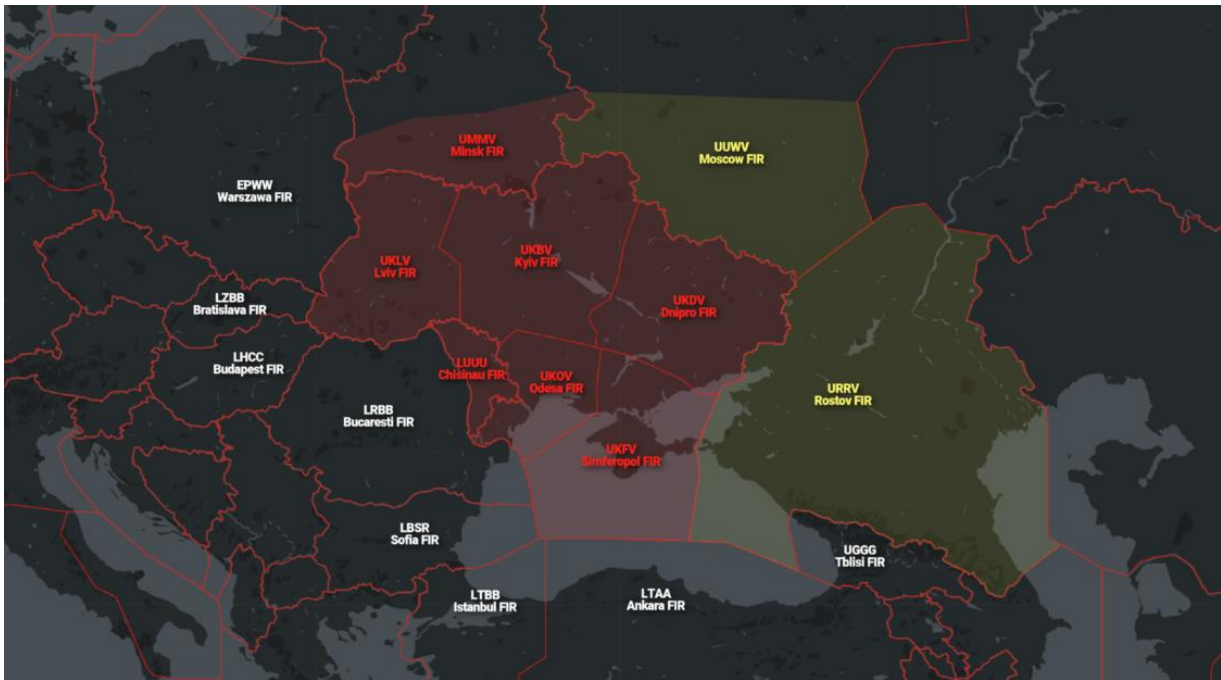
Ukrajinski zračni prostor nije bio siguran za zračni promet još od početka Ukrajinske krize.

Najveća opasnost za civilno zrakoplovstvo u Ukrajini je mogućnost nenamjernog gađanja civilnih zrakoplova od strane vojnih snaga. Pogrešna identifikacija ili zabuna može dovesti do ugrožavanja sigurnosti zrakoplova koji lete iznad područja u kojima se vodi aktivan sukob. To se je dogodilo u slučaju leta Malaysia Airlinesa MH17 koji je bio redovni putnički let iz Amsterdama za Kuala Lumpur. Oboren je 17. srpnja 2014., dok je letio nad istočnom Ukrajinom. Poginulo je svih 283 putnika i 15 članova posade. Nesreća se dogodila iznad teritorija pod kontrolom ruskih separatističkih snaga. Zbog mogućnosti kibernetičkih napada i drugih nepredvidivih okolnosti postoji rizik od nedostupnosti ukrajinske kontrole zračnog prometa za civilne zrakoplove [9].

Još i prije ruske vojne invazije postojala su dva opasna područja u Ukrajini. Sukob između separatističkih republika i ukrajinske vojske na istoku zemlje utjecao je na sigurnost u zračnom prostoru UKDV/Dnipro FIR. Također, zračni prostor iznad Krima UKFV/URFV/Simeferopol FIR istovremeno je pod kontrolom ruske i ukrajinske kontrole zračnog prometa [9].

Ukrajina je zbog ruske vojne invazije 24. veljače 2022. uvela zabranu korištenja zračnog prostora unutar UIR KYIV, FIR LVIV, FIR KYIV, FIR DNIPRO, FIR ODESA, FIR SIMEFEROPOL za sav zračni promet, osim za državne zrakoplove Ukrajine i one koji imaju dozvolu glavnog stožera oružanih snaga Ukrajine. Usluga zračne plovidbe nije dostupna u tim područjima. Rusija, Bjelorusija i Moldavija su također zatvorile velike dijelove vlastitog zračnog prostora koji su blizu granice ukrajinskog FIR-a [9].

Bjelogorusija je zatvorila južnu polovicu svog zračnog prostora uz granicu uzduž FIR granice sa Ukrajinom, dok je Rusija zatvorila većinu zračnih puteva kroz URRV/Rostov FIR-a i u južnom dijelu UUVV/Moscow FIR-a.[10] Na samom početku rata, Moldavija je zatvorila svoj zračni prostor LUU/Chisinau FIR za civilno zrakoplovstvo, no kasnije je otvorila dio zračnog prostora duž zapadne granice sa LRBB/Bucharesti FIR-om kako bi omogućila letove do međunarodne zračne luke Kišinjev [10]. Slika 1 prikazuje zatvorene zračne prostore koji su osjenčani crvenom te zračne prostore u kojima je reduciran broj zračnih puteva, osjenčane žutom bojom.



Slika 1. Karta zatvorenih i opasnih zračnih prostora za civilno zrakoplovstvo [11].

2.5 Let kroz opasne zračne prostore

I prije ruske invazije na Ukrajinu, nekoliko zemalja i zrakoplovnih organizacija pozvalo je zrakoplovne prijevoznike da izbjegavaju bjelogoruski zračni prostor. To je uslijedilo nakon politički motiviranog presretanja i prisilnog slijetanja međunarodnog leta za Litvu u Minsk, koje se dogodio 23. svibnja 2021. godine. U tom incidentu, posada zrakoplova bila je dovedena u zabludu da postoji sigurnosna prijetnja u obliku eksplozivne naprave. Taj događaj izazvao je zabrinutost i potaknuo mjere opreza u vezi korištenja bjelogorskog zračnog prostora [9].

Nakon početka rata u Ukrajini, nekoliko zemalja poput Sjedinjenih Američkih Država (SAD), Ujedinjenog Kraljevstva (UK), Kanade, Francuske i Njemačke izdale su potpunu zabranu letova za Ukrajinu zbog sigurnosnih rizika povezanih s vojnim aktivnostima [9]. Osim toga, neke zemlje su zabranile ulazak u zračni prostor Moldavije FIR Chisinau (LUUU) i zračni prostor unutar 200 NM od granice zračnog prostora Ukrajine.

Francuskim zrakoplovnim prijevoznicima zabranjen je ulazak u UKLV/Lviv FIR, UKBV/Kyiv FIR, UKDV/Dnipropetrovsk FIR, UKFV/Simferopol FIR, UKOV/Odesa FIR, UMMV/Minsk FIR i LUUU/Chisinau FIR. Zabranjen je ulazak u zračni prostor unutar 200 NM od granice zračnog prostora Ukrajine u UUWV/Moscow FIR i URRV/Rostov FIR, a iznimna opreznost iziskuje se pri obavljanju letova pri udaljenosti većoj od 200 NM u UUWV/Moscow FIR i URRV/Rostov FIR [9].

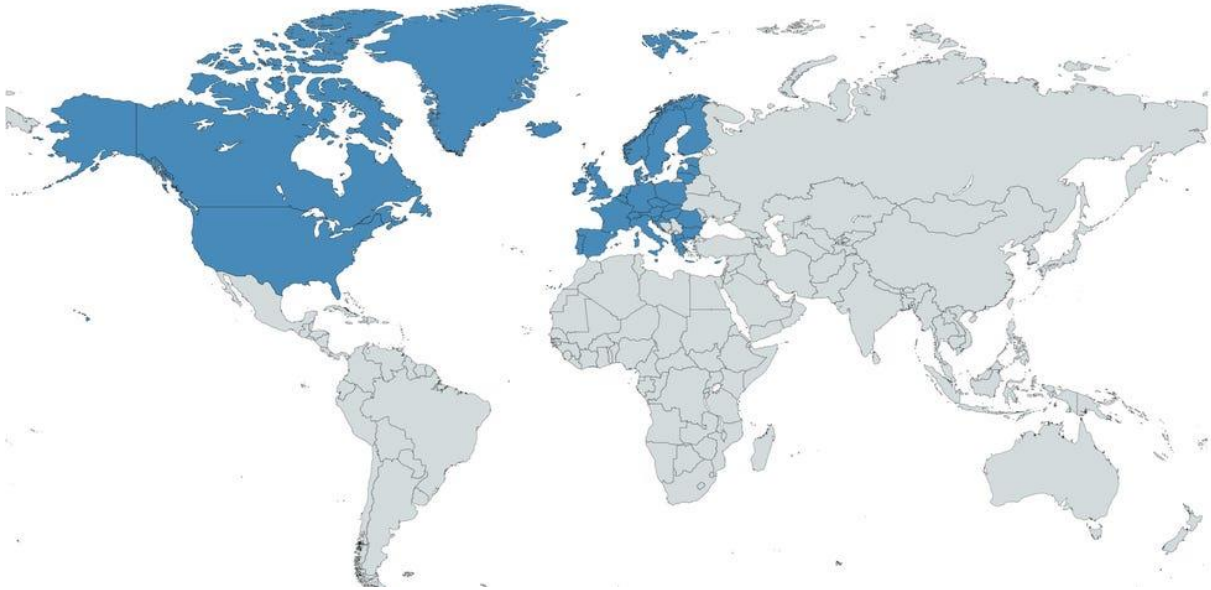
Kanadskim zračnim prijevoznicima zabranjen je ulazak u UKDV/Dnipropetrovsk FIR, UKLV/Lviv FIR, UKBV/Kyiv FIR, UKFV/Simferopol FIR, UKOV/Odesa FIR, URRV/Rostov FIR te let unutar 200 NM od granica FIR UKDV i FIR UKBV u UUWV/Moscow FIR [9].

2.6 Sankcije na zrakoplovni sektor

Ruski napad na Ukrajinu naišao je na široku međunarodnu osudu. Mnogi čelnici diljem svijeta osudili su agresiju i izrazili podršku Ukrajini. Mnoge zemlje uvele su sankcije prema Rusiji kako bi izvršile pritisak, potaknule mirno rješavanje sukoba i prestanak vojnih aktivnosti [1].

Europska Unija uvela je značajne ekonomske sankcije usmjerene na financijski, trgovinski, energetske, transportni, tehnološki i obrambeni sektor kako bi smanjila sposobnost Ruske Federacije da nastavi agresiju [12].

U sklopu sankcija usmjerenih na transportni sektor nalaze se i sankcije koje pogađaju ruski zrakoplovni sektor. Države članice Europske Unije i Ujedinjeno Kraljevstvo uskratili su dopuštenje za slijetanje, polijetanje i prelet svojih teritorija svim zrakoplovima koji su pod kontrolom ruskih zračnih prijevoznika. Ova mjera odnosi se na zrakoplove registrirane u Rusiji, kao i na zrakoplove koji nisu registrirani u Rusiji, ali su u vlasništvu, najmu ili na drugi način pod kontrolom ruskih pravnih ili fizičkih osoba [13]. Zemlje koje su zabranile ulazak ruskih zrakoplova u vlastiti zračni prostor prikazane su plavom bojom na slici 2.



Slika 2. Karta zemalja koje su zabranile ulazak ruskim zrakoplovima u vlastiti zračni prosto [14].

Kao protumjera na sankcije i ograničenja koja su nametnuta ruskom zrakoplovnom sektoru, Ruska Federacija je odgovorila uzajamnim ograničenjima. Zatvorili su svoj zračni prostor za zrakoplovne prijevoznike iz 36 zemalja, uključujući svih 27 članica Europske unije [15]. Ova situacija rezultirala je daljnjim ograničenjima i poteškoćama u zračnom prometu između Rusije i drugih zemalja.

Zabrana letova značajno je naštetila zračnim prijevoznicima koji lete iznad Ruske Federacije. Ova ograničenja prisiljavaju zračne prijevoznike na pronalaženje obilaznih ruta. Uz primoranost izbjegavanja zračnog prostora Ruske Federacije, komercijalni zračni prijevoznici također izbjegavaju zračni prostor oko Ukrajine, Moldavije i Bjelorusije što rezultira daljnjim produljenjem trajanja leta i povećanjem troškova. Ograničenja zračnog prostora i pronalaženje alternativnih ruta predstavljaju veliki izazov za industriju zračnog prijevoza i zahtijevaju prilagodbe u planiranju i operacijama leta.

Europska unija, SAD, Kanada i Velika Britanija uvele su ograničenja prema Rusiji i na izvoz robe i tehnologije koja se koristi u zrakoplovnoj i svemirskoj industriji, mlaznog goriva i aditiva. Ona uključuju zabranu usluga osiguranja, održavanja i tehničke podrške za ruske zračne prijevoznike. Time je ruskim zračnim prijevoznicima onemogućena kupovina zrakoplova, rezervnih dijelova i opreme potrebne za održavanje njihove flote, koja je uglavnom proizvedena u Europskoj uniji, SAD-u ili Kanadi [13].

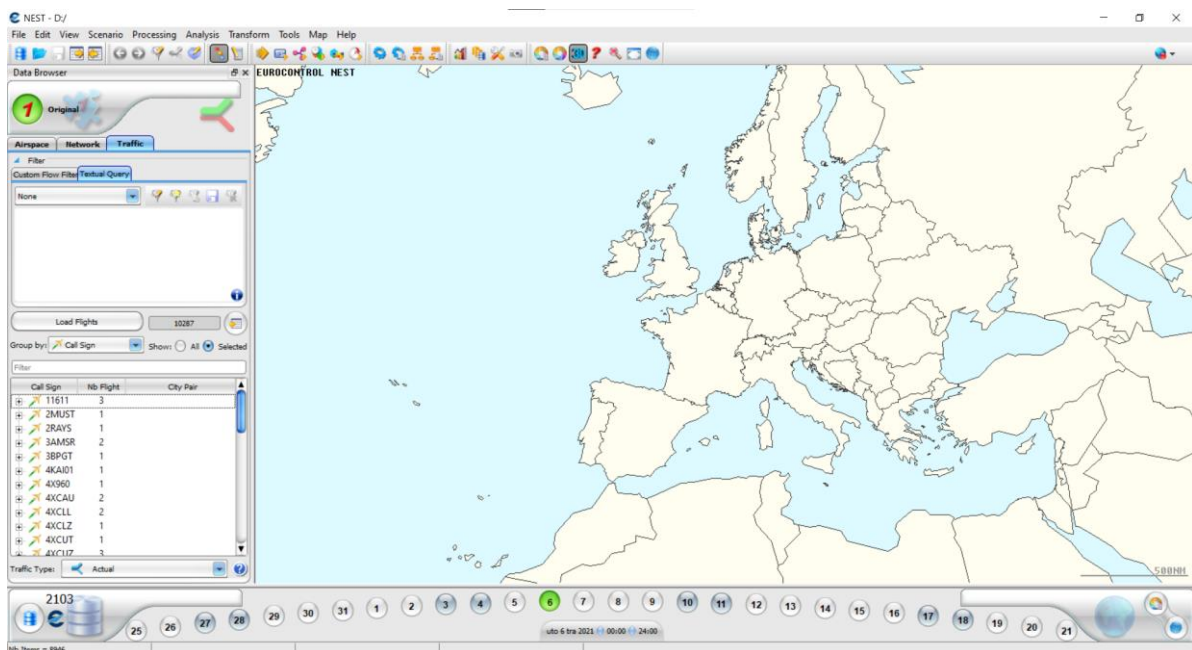
3. NEST program

NEST (Network Strategic Tool) je simulacijski alat te samostalna aplikacija nastala spajanjem SAAM (System for traffic Assignment and Analysis at a Macroscopic level) i NEVAC (Network Evaluation and Visualisation of ACCs Capacity) sustava [16].

NEST pruža mogućnost analize i obrade velike količine podataka za duži vremenski period (od više godina), a isto tako omogućuje i detaljnu analizu i promatranje vrlo kratkih vremenskih perioda (npr. jednogminutnih) podataka [16].

Temelji se na modeliranju scenarija, a koriste ga nacionalni pružatelji usluga u zračnoj plovidbi (Air navigation service provider – ANSP) i EUROCONTROL Network Manager za [17]:

- optimiziranje dostupnih resursa i poboljšanje performansi na razini mreže
- dizajniranje i razvijane struktura zračnog prostora
- planiranje kapaciteta i provođenje post operativne analize
- organiziranje prometnih tokova u ATFCM strateškoj fazi
- pripreme scenarija za brze simulacije i simulacije u stvarnom vremenu
- za istraživanja na lokalnoj i mrežnoj razini



Slika 3. sučelje NEST programa [18].

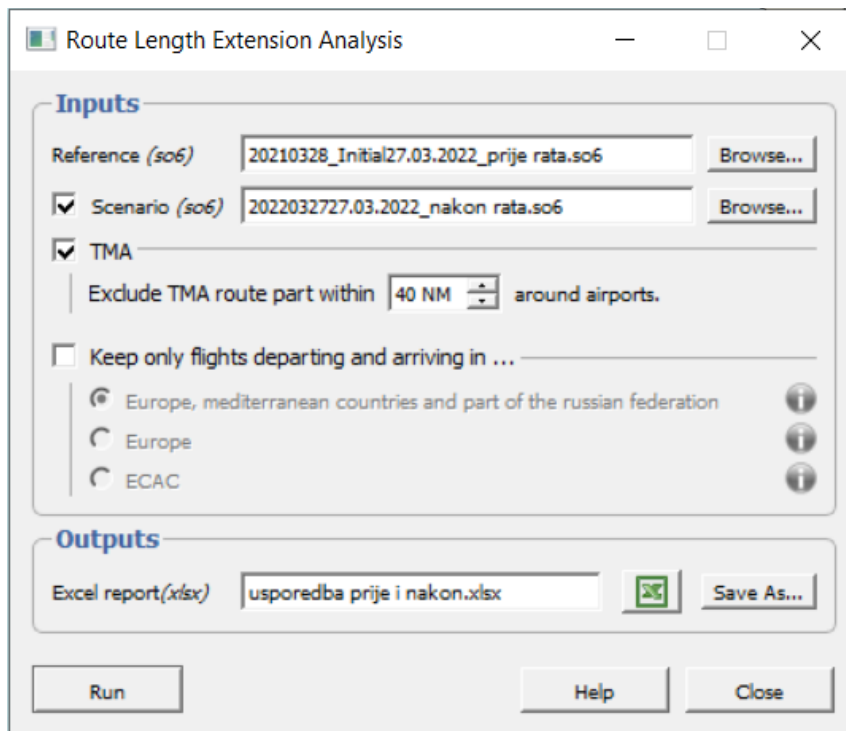
Prikaz glavnog sučelja NEST programa prikazan je na slici 3. NEST program može se koristiti lokalno na razini ACC-a (Area Control Center), zračnih luka i na globalnoj razini za strateško planiranje.

3.1 Duljina rute

Route length (hrv. Duljina rute) pruža detaljnu analizu ruta zrakoplova sa ciljem određivanja učinkovitosti mreže. Prilikom provođenja izračuna, Route length se koristi sfernim modelom Zemlje [16].

Izračun učinkovitosti rute provodi pomoću funkcije Route Length Extension Analysis čije sučelje je prikazano na slici 4. Za potrebu analize učitava se minimalno jedna prometna datoteka kao referenca u .so6 formatu. Kako bi se provela usporedba između dvije prometne datoteke potrebno je učitati scenarij za usporedbu sa referentnom prometnom datotekom.

Dodatnim opcijama unutar sučelja moguće je iz analize isključiti dio leta unutar terminalnog područja (Terminal area – TMA) odabirom radijusa područja koje će neće biti uključeno. Dostupna je i opcija filtriranja letova na temelju područja polaska i odredišta leta zrakoplova u tri predefinirane varijante: Europa, mediteranske zemlje i dio ruske federacije; Europa; ECAC područje.



Slika 4. Sučelje Route Length Extension Analysis [18].

Kao rezultat Route Length Extension Analysis koja je korištena za analizu u ovom radu, dobiva se jedna izlazna datoteka u .xlsx formatu. Prvi list izlazne datoteke sadrži izvješće o analizi duljine i ekstenzije za sav ulazni promet kako je prikazano na slici 5.

Distance Ranges (NM)	Number of flights	Route Distance (NM)	Direct Distance (NM)	Extension (%)
[0 - 150 [	2291	185234,212	181999,8467	1,78%
[150 - 300 [	2060	451841,2059	440072,4896	2,67%
[300 - 500 [	2005	788615,8135	769875,3175	2,43%
[500 - 800 [	2207	1428227,656	1392471,232	2,57%
[800 - 1200 [	1764	1710172,259	1661530,879	2,93%
[1200 - more [	2973	9100970,025	8752372,306	3,98%
Total	13300	13665061,17	13198322,07	3,54%

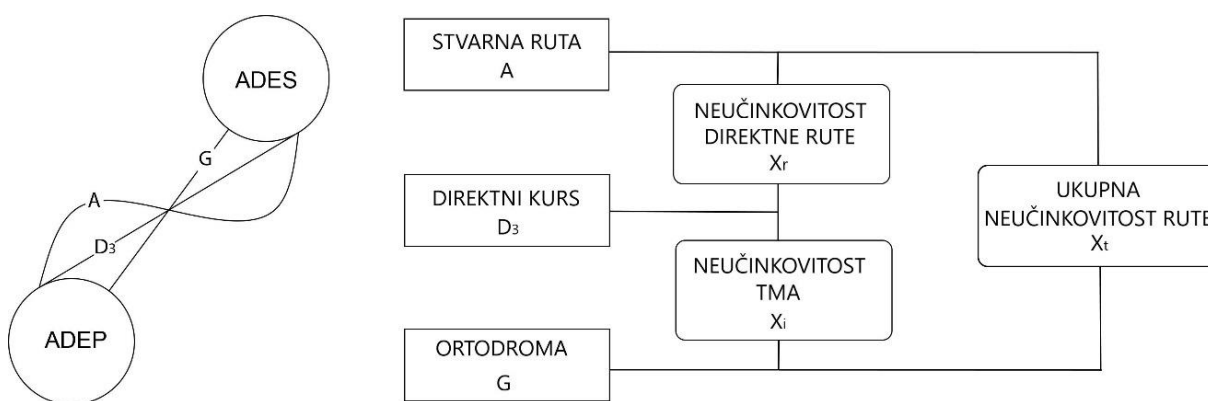
Slika 5. Primjer izvješća o analizi duljine i ekstenzije rute [18], [19].

Drugi list sadrži izvješće o detaljnoj usporedbi parova gradova ukoliko je odabrana i druga ulazna prometna datoteka čiji je jedan dio prikazan na slici 6.

ADEP	ADES	G	N	S	Min	F	A	Ds	D3	Xt	%	N*Xt	Xi	%	N*Xi
BKPR	LOWW	301,69	2,00	436,63	436,62	436,63	436,63	393,14	393,16	134,94	4472,71%	269,87	91,47	3031,78%	182,93
CYHZ	EDDK	2676,04	1,00	2774,18	2792,53	2774,18	2792,53	2686,60	2686,60	116,49	435,32%	116,49	10,56	39,47%	10,56
CYUL	EDDF	3079,19	1,00	3241,50	3110,22	3241,50	3110,22	3096,35	3082,22	31,03	100,76%	31,03	3,03	9,83%	3,03
CYUL	GMMN	2982,31	1,00	3011,30	3029,96	3011,30	3029,96	2998,67	2998,67	47,65	159,77%	47,65	16,36	54,86%	16,36
CYVR	EDDF	4270,41	1,00	4328,23	4361,51	4328,23	4361,51	4272,60	4273,64	91,10	213,33%	91,10	3,23	7,56%	3,23
DAAK	EDDB	969,85	1,00	1027,00	993,95	1027,00	993,95	980,35	972,28	24,10	248,44%	24,10	2,42	24,96%	2,42
DFFD	GMMN	1223,78	1,00	1279,87	1289,28	1279,87	1289,28	1224,48	1241,91	65,50	535,21%	65,50	18,13	148,14%	18,13

Slika 6. Primjer detaljne analize usporedbe dvije prometne datoteke [18], [20], [21].

Route Length Extension Analysis prilikom izračuna neučinkovitosti rute koristi se Route Network Development Sub-Group (RNDSG) metodologijom pobliže prikazanoj na slici 7 i slici 8. Metodologija promatra en-route dio leta zrakoplova tako da prilikom izračuna duljine rute oduzima dio rute koji prolazi kroz TMA (Terminal area). Parametri prikazani na lijevoj strani slike 7 (A, D₃, G) između polazišta i destinacije omogućuju izračun neučinkovitosti direktne rute (X_r), neučinkovitosti TMA (X_i) te ukupne neučinkovitosti rute (X_t), a koji su pobliže opisani u tablici 1.

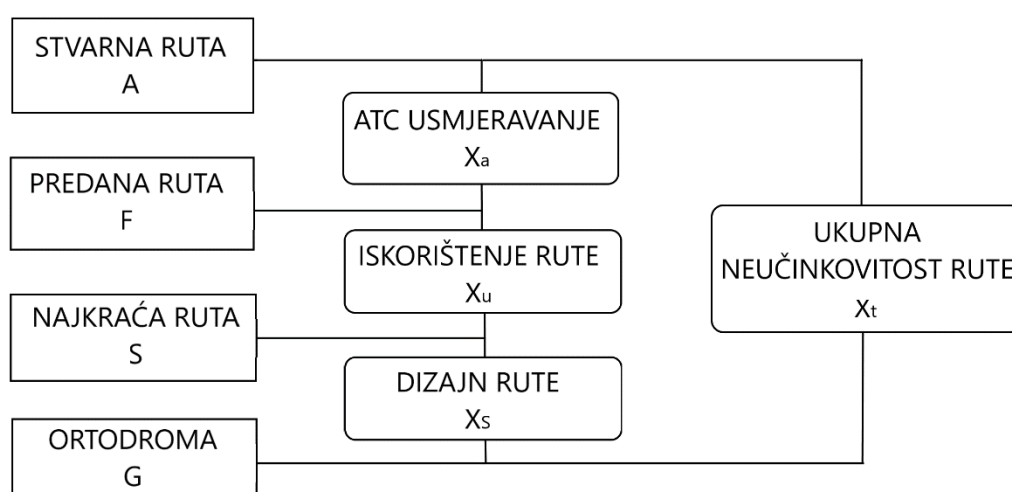


Slika 7. Prva metoda izračuna neučinkovitosti rute [16].

Tablica 1. Parametri korišteni pri izračunu ukupne neučinkovitosti rute prvom metodom [16].

A	Stvarna ruta leta zrakoplova
D_3	Direktni kurs između ulazne i izlazne točke TMA
G	Ortodromska udaljenost između početnog i završnog TMA
X_r	Neučinkovitost direktne rute, relativna razlika između A i D_3
X_i	Neučinkovitost TMA, relativna razlika između G i D_3
X_t	Ukupna neučinkovitost rute, relativna razlika između A i G

Druga metoda RNSDG metodologije prilikom izračuna neučinkovitosti rute pronalazi i razloge produljenja rute. Parametri prikazani na slici 8 detaljnije su prikazani u tablici 2.



Slika 8. Druga metoda izračuna ukupne neučinkovitosti rute [16].

Tablica 2. Parametri korišteni pri izračunu ukupne neučinkovitosti rute drugom metodom [16].

A	Stvarna ruta leta zrakoplova
F	Ruta u posljednjem predanom planu leta
S	Najkraća dostupna ruta
G	Ortodromska udaljenost između početnog i završnog TMA
X_a	Neučinkovitost ATC usmjeravanja, razlika između A i F
X_u	Neučinkovitost iskorištenja rute, razlika između F i S
X_s	Neučinkovitost dizajna rute, razlika između S i G
X_t	Ukupna neučinkovitost rute, relativna razlika između A i G

Kombinacija ove dvije metode daje sljedeću matricu neučinkovitosti i metodu izračuna koja je prikazana u tablici 3.

Tablica 3. Metoda izračuna ukupne neučinkovitosti rute [16].

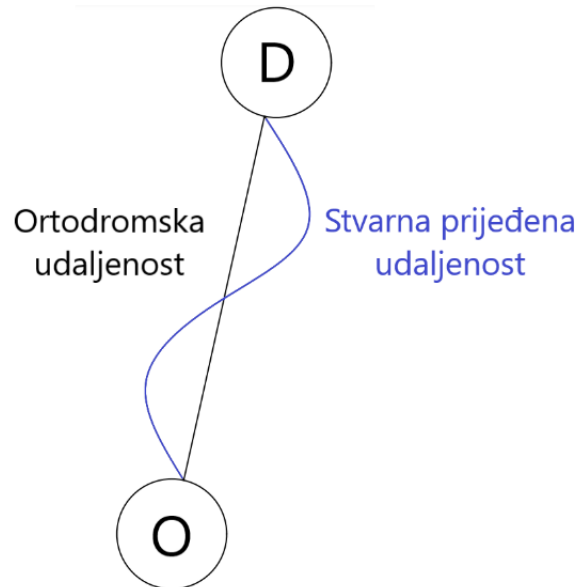
	Ukupno	ATC usmjeravanje	Iskorištenje rute	Dizajn rute
Ukupna neučinkovitost rute	$X_t = A - G$	$X_a = A - F$	$X_u = F - S$	$X_s = S - G$
En-route neučinkovitost	$X_r = A - D_3$	$X_{ra} = X_a - X_{ia}$	$X_{rf} = X_u - X_{iu}$	$X_{rs} = X_s - X_{is} = S - D_s$
TMA sučelje	$X_i = D_3 - G$	$X_{ia} = D_3 - D_1$	$X_{iu} = D_1 - D_s$	$X_{is} = D_s - G$

Da bi izračun ukupne neučinkovitosti rute bio moguć potrebno je uvesti i dvije dodatne veličine:

- D_1 - Direktni kurs između ulazne i izlazne točke TMA
- D_s - Direktni kurs između ulazne i izlazne točke TMA (prema najkraćoj dostupnoj ruti)

3.2 Horizontalna učinkovitost leta

Horizontalna učinkovitost leta (HFE – Horizontal Flight Efficiency) definirana je kao usporedba između stvarne prijeđene udaljenosti i ortodromske udaljenosti (najkraća moguća udaljenost) između polazišne i odredišne točke kako je prikazano na slici 9.



Slika 9. HFE prikazana kao usporedba stvarne prijeđene udaljenosti tokom leta i ortodromske udaljenosti [22].

Za detaljniju definiciju horizontalne učinkovitosti potrebno je uzeti u obzir različite situacije opisane u nastavku ovog rada. Izračun učinkovitosti moguće je provesti za cijelu ili samo za određeni dio putanje leta [22].

Zahtjev jedinstvenog europskog neba (SES – Single European Sky) nalaže potrebu za mjerenjem lokalne izvedbe učinkovitosti leta na razini funkcionalnih blokova zračnog prostora (Functional Airspace Block – FAB) uz zadržavanje pregleda učinkovitosti na razini cjelokupne mreže [22].

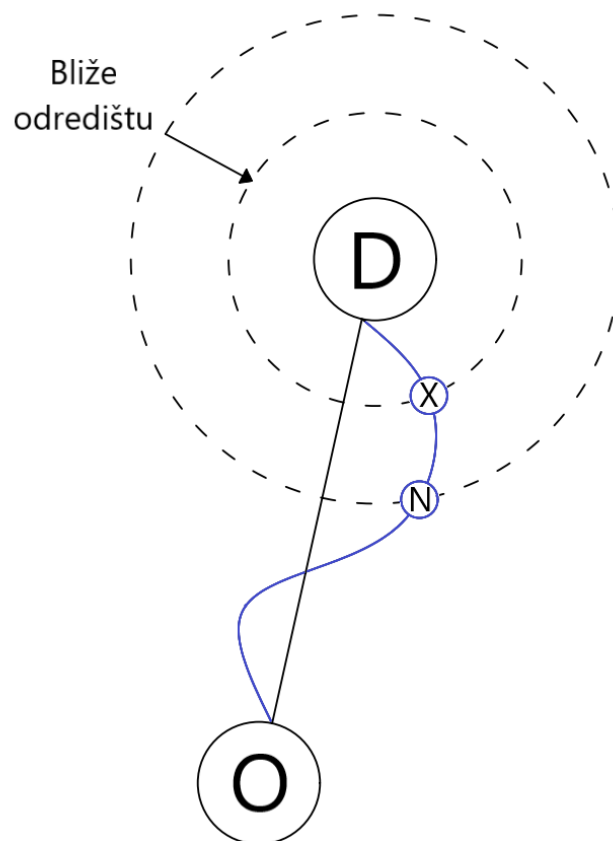
	FAB 1	Izvan SES-a	FAB 2	Svi FAB-ovi	
Let A					<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 100px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: none; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black; width: 50%;"></div> <div style="font-size: 0.8em; margin: 0 5px;">Lokalno područje</div> <div style="border: none; border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; width: 50%;"></div> </div>
Let B	X	X			
Let C	X				
Let D					
Svi letovi				EU vrijednost	

Slika 10. Zahtjev lokalne izvedbe na razini EU [22].

Zahtjevi za mjerenje lokalne izvedbe učinkovitosti na razini Europske Unije (European Union – EU) prikazan je na slici 10. Mjerenjem su obuhvaćeni svi letovi koji barem jednim dijelom rute prolaze kroz područje SES-a. Ukoliko je let prolazio kroz područje SES-a, a time i kroz određene FAB-ove, ti FAB-ovi označeni su zelenom bojom. FAB-ovi kroz koje let nije prolazio označeni su simbolom X. Tijekom mjerenja učinkovitosti leta u području SES-a, u obzir se ne uzima dio putanje leta izvan SES područja koje je označeno sivom bojom. Neučinkovitost leta kroz pojedini FAB upisuje se u zelene ćelije. Ukupna neučinkovitost leta dobiva se zbrajanjem vrijednosti neučinkovitosti leta kroz sve FAB-ove (uzduž retka) dajući vrijednost u svijetloplavoj ćeliji u zadnjem stupcu. Ukupna neučinkovitost FAB-a dobiva se zbrajanjem vrijednosti neučinkovitosti svih letova kroz promatrani FAB dajući vrijednost u svijetloplavoj ćeliji u zadnjem retku. Zbroj neučinkovitosti svih letova i zbroj neučinkovitosti svih FAB-ova trebao bi biti jednak [22].

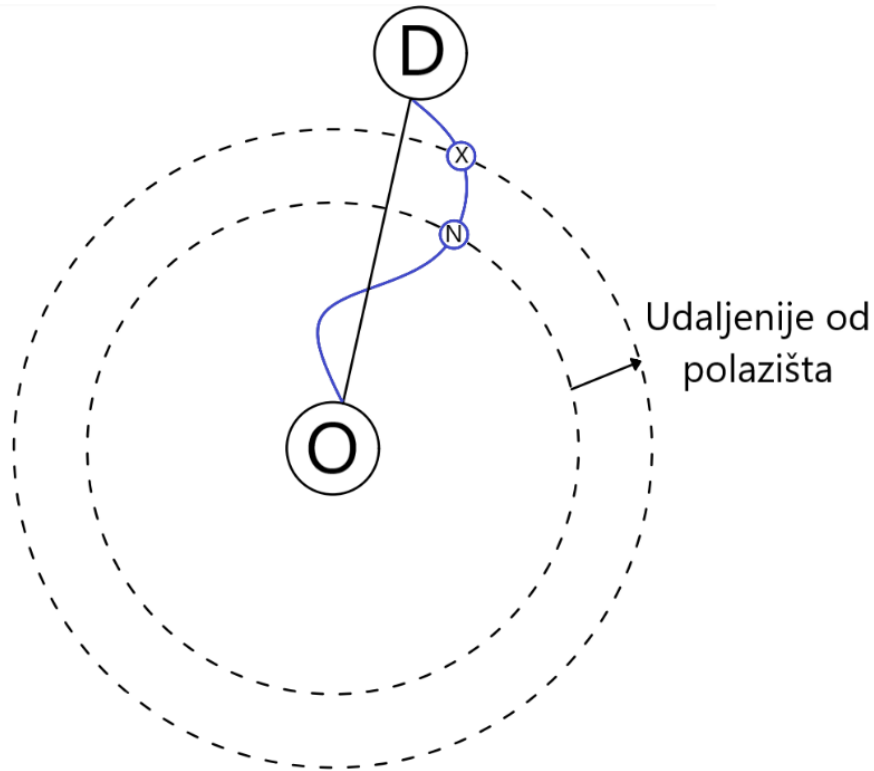
3.3 Ostvarena udaljenost

Ostvarena udaljenost je vrijednost koja se dobiva kao prosjek dvije veličine. Prva veličina razmatra koliko je zrakoplov bliže odredištu u izlaznoj točki iz područja u odnosu na ulaznu točku kako je prikazano na slici 11. Ta vrijednost izračunava se kao razlika između ortodromske udaljenosti od ulazne točke N do odredišta D i ortodromske udaljenosti od izlazne točke X do odredišta D [22].



Slika 11. Udaljenost od odredišta prilikom ulaska i izlaska iz područja [22].

Druga veličina razmatra koliko je zrakoplov udaljeniji od polazišta u točki izlaska iz područja u odnosu na ulaznu točku kako je prikazano na slici 12. Vrijednost se izračunava kao razlika između ortodromske udaljenosti od polazišta O do izlazne točke X i ortodromske udaljenosti od polazišta O do ulazne točke N [22].



Slika 12. Udaljenost od polazišta prilikom ulaska i izlaska iz područja [22].

Formula (1) za izračunavanje ostvarene udaljenosti duž putanje između dvije odabrane točke glasi [22]:

$$\frac{1}{2}(ND - XD + OX - ON) \quad (1)$$

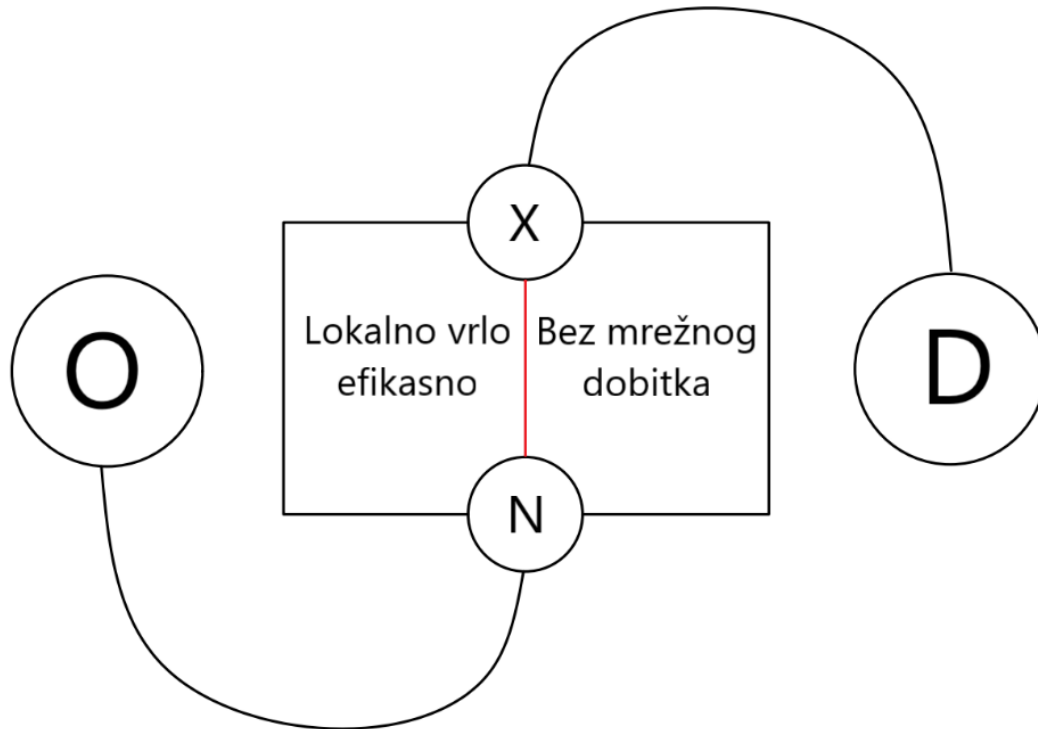
gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- N – ulazna točka
- X – izlazna točka
- O – polazišna točka
- D – odredišna točka

Ukoliko se uzduž putanje leta nalazi više ulaznih/izlaznih točaka iz različitih područja može se potvrditi kako je zbroj svih ostvarenih udaljenosti jednak ortodromskoj udaljenosti između polazišta i odredišta [22].

3.3.1 Ostvarena udaljenost i doprinos mreži

Usporedba prijeđene udaljenosti s ortodromskom udaljenošću između ulazne i izlazne točke lokalnog područja izostavila bi pogled na učinkovitost cijele putanje leta [22].



Slika 13. Slučaj savršene lokalne efikasnosti bez mrežnog doprinosa [22].

Kako je prikazano na slici 13, crvena putanja između ulazne točke N i izlazne točke X savršeno je učinkovita s lokalne točke gledišta dok na razini mreže nije došlo do poboljšanja jer se zrakoplov nije približio odredištu niti se je udaljio od polazišta [22].

Ortodromska udaljenost koja se uzima kao referentna je ona između polazišta i odredišta leta. Zbroj ortodromskih udaljenosti prilikom ulaska i izlaska iz različitim prijeđenih područja uvijek je veći od ortodromske udaljenosti između polazišta i odredišta. Korištenjem lokalnih ortodromskih udaljenosti uvijek bi se podcijenila neučinkovitost cijelog leta [22].

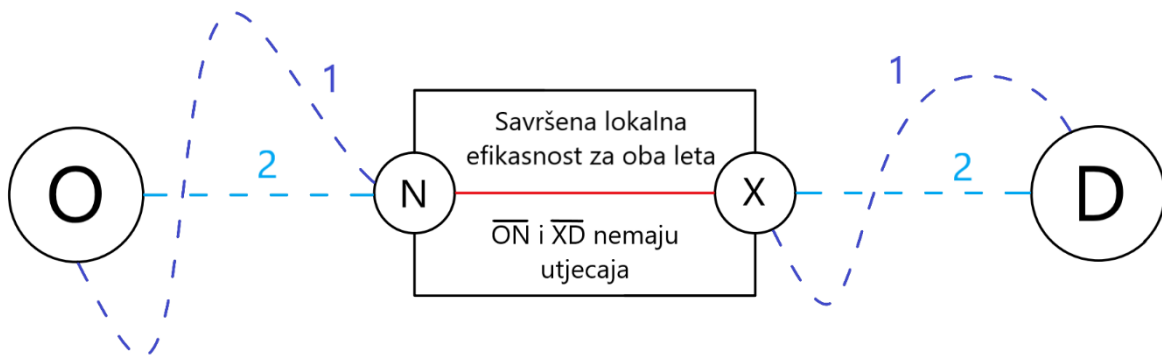
3.3.2 Rastavljanje neučinkovitosti na lokalnu komponentu i komponentu međupovezanosti

Neučinkovitost leta moguće je rastaviti na lokalnu komponentu (ekstenzija) i doprinos mreži (komponenta međupovezanosti) [22].

U ilustraciji prikazanoj na slici 13 ekstenzija iznosi nula (crvena linija odgovara direktnoj putanji između ulazne i izlazne točke), a ukupna neučinkovitost jednaka je komponenti međupovezanosti. Točna vrijednost komponente međupovezanosti ovisi o položaju ulazne i izlazne točke područja u odnosu na polazišnu i odredišnu točku. Kada su ulazna točka N i izlazna

točka X jednako udaljene od polazišta i odredišta ($\overline{OX} = \overline{XD}$ i $\overline{ON} = \overline{ND}$), ostvarena udaljenost bila bi jednaka nuli, a vrijednost komponente međupovezanosti bila bi jednaka direktnoj udaljenosti između ulazne i izlazne točke. Na razini mreže nije došlo do poboljšanja pa se udaljenost prijeđena između te dvije točke smatra dodatnom prijeđenom udaljenošću. [22].

3.3.3 Neovisnost lokalne izvedbe u odnosu na izvedbu izvan lokalnog područja



Slika 14. Neovisnost lokalne izvedbe u odnosu na izvedbu izvan lokalnog područja [22].

Vrijednost ostvarene udaljenosti unutar lokalnog područja ovisi samo o položaju ulazne i izlazne točke u odnosu na polazište i odredište putanje. To znači da je vrijednost lokalne neučinkovitosti neovisna je ostatku putanje [22].

Slika 14 prikazuje dva leta koji prolaze kroz FAB. Let 1 ima direktnu putanju unutar FAB-a i neučinkovitu putanju izvan FAB-a. Let 2 ima direktnu putanju cijelim putem od polazišta do odredišta [22].

Uočava se kako je vrijednost ostvarene udaljenosti unutar FAB-a jednaka je za oba leta. Ekstenzija i komponenta međupovezanosti iznose nula zbog položaja ulaznih i izlaznih točaka u odnosu na točke polazišta i odredišta [22].

Vrijednosti lokalne učinkovitosti FAB-a izračunava se kao prosjek neučinkovitosti cijelih putanja svih letova koji prolaze promatranim FAB-om. Iako su putanje 1 i 2 identične unutar FAB-a, njihov doprinos neučinkovitosti je različit zbog neučinkovitosti putanje 1 izvan FAB-a. Neučinkovitost FAB-a na Slika 14 iznosila bi veća od nule [22].

3.3.4 Dobivanje indikatora neučinkovitosti leta

Nakon što su određeni polazište i odredište leta moguće je izračunati neučinkovitost između bilo koje dvije točke. Postoje tri specifična slučaja mjerenja neučinkovitosti leta [22]:

1. Mjerenje en-route neučinkovitosti leta isključuje područje 40 nautičkih milja oko zračne luke polaska i odredišne zračne luke.
2. Mjerenje lokalnih neučinkovitosti omogućeno je i kada putanja izlazi i ponovno ulazi u lokalno područje.
3. Mjerenje neučinkovitosti kada putanja leta nije potpuna. Temelji se na korelaciji javljanja pozicije.

Let je moguće razložiti na različite dijelove od kojih neki neće biti uzeti u obzir pri izračunu neučinkovitosti. Horizontalna učinkovitost leta uspoređuje duljinu putanje s ortodromskom udaljenošću. Indikator se izražava po formuli (2) kao omjer duljine putanja i ostvarenih udaljenosti [22]:

$$HFE_j = \frac{\sum L_{fjp} - \sum H_{fjp}}{\sum H_{fjp}} \% = \left(\frac{\sum L_{fjp}}{\sum H_{fjp}} - 1 \right) \% \quad (2)$$

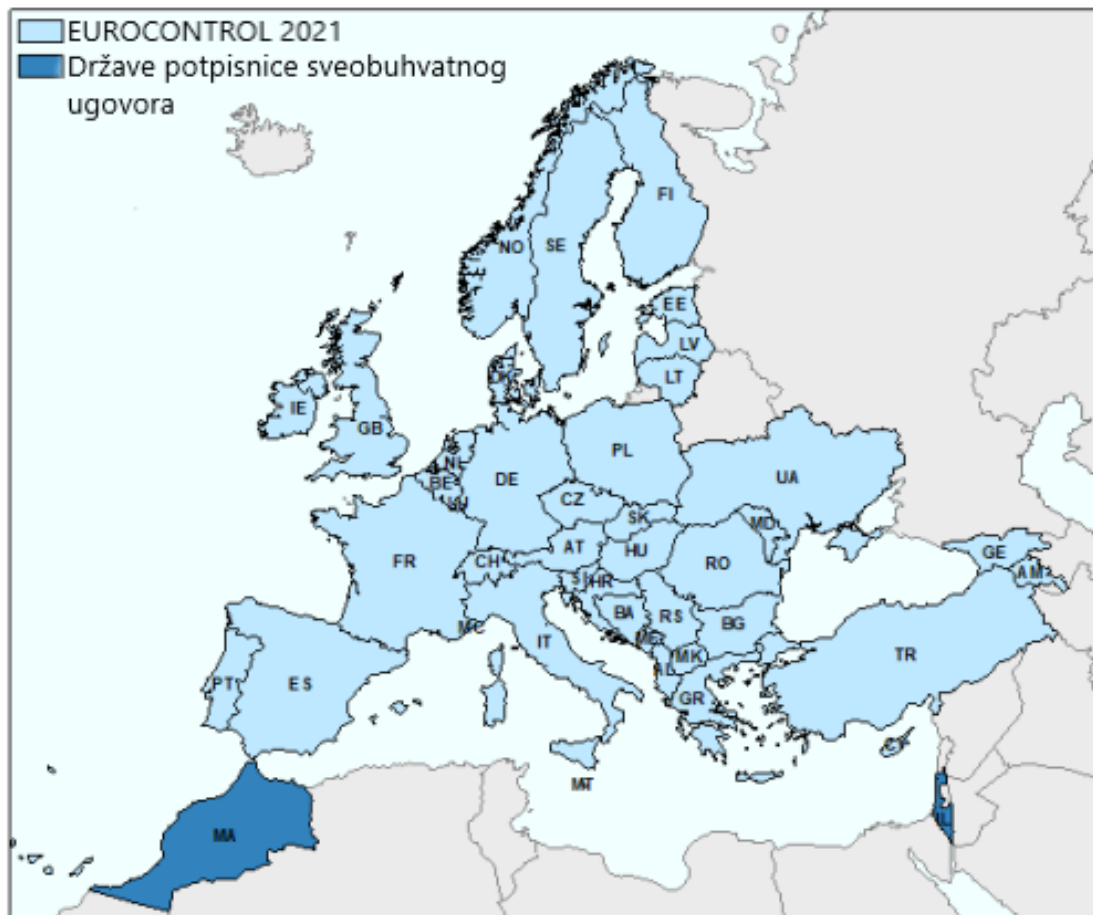
gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- L – udaljenost putanje
- H – ostvarena udaljenost
- f – broj leta
- j – promatrani zračni prostor
- p – en-route dio putanje leta

Ne postoji razlika u metodologiji koja se koristi za izračun vrijednosti indikatora KEP (Key performance Environment indicator based on last filed flight Plan), KES (Key performance Environment indicator based on shortest constrained route available for flight planning) ili KEA (Key performance Environment indicator based on Actual trajectory). KEP je horizontalna učinkovitost leta izračunata korištenjem zadnjeg podnesenog plana leta za opisivanje putanje, KEA koristi putanje generirane putem radarskih podataka, a KES se temelji na najkraćoj ograničenoj ruti dostupnoj za planiranje leta.

4. Promet prije rata u Ukrajini

Zračni promet je tijekom 2020. godine na svjetskoj razini doživio strmoglavi pad zbog pandemije SARS-CoV-2. Oporavak zračnog prometa započeo je u 2021. godini i povećavao se povećanjem razine procijepljenosti i smanjenja ograničenja putovanja među državama. Značajne promjene u zračnom prometu ponovno su se dogodile 2022. godine zbog izbijanja rata u Ukrajini. Pregled prometa u ovom radu fokusirati će se na područje EUROCONTROL-a prikazanog na slici 15 [23].



Slika 15. Područje EUROCONTROL-a sa 41 državom članicom i dvije države potpisnice sveobuhvatnog ugovora [23].

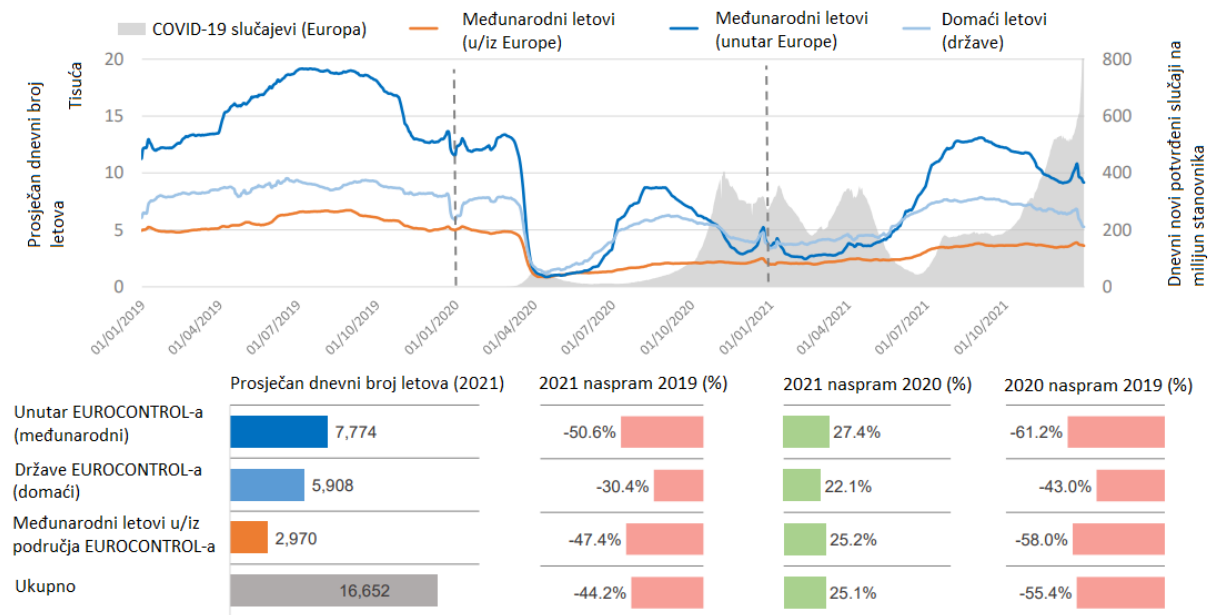
4.1 Značajke prometa tijekom 2021. godine

Nakon strmoglavog pada zračnog prometa u 2020. godini pojavilo se pitanje kako će se promet dalje razvijati kroz godine koje slijede. Naposljetku, zračni promet je tijekom 2021. godine započeo svoj oporavak, a u zračnom prostoru EUROCONTROL-a ostvareno je 6,2 milijuna IFR letova. Iako se ta brojka možda čini velikom, za usporedbu, u rekordnoj 2019. godini ostvareno je 11,1 milijuna letova

Detaljan prikaz kretanja broja letova kroz 2021. godinu i usporedba sa vrijednostima ostvarenima tijekom 2019. i 2020. godine ilustrirani su na slici 16. Vidljivo je kako se broj letova uvelike povećao u drugoj polovici 2021. godine što se može pripisati smanjenju ograničenja putovanja i povećanoj razini procijepljenosti protiv SARS-CoV-2 [23].

Dnevni broj svih letova (domaćih i međunarodnih u/iz područja EUROCONTROL-a) porastao je u odnosu na 2020. godinu, no ipak nisu dostignute razine iz rekordne 2019. godine. Ukupni ostvareni zračni promet premašio je 2020. godinu za 25,1%, ali je zaostatak za 2019. godinom i dalje ostao velik i iznosio 44,2% [23].

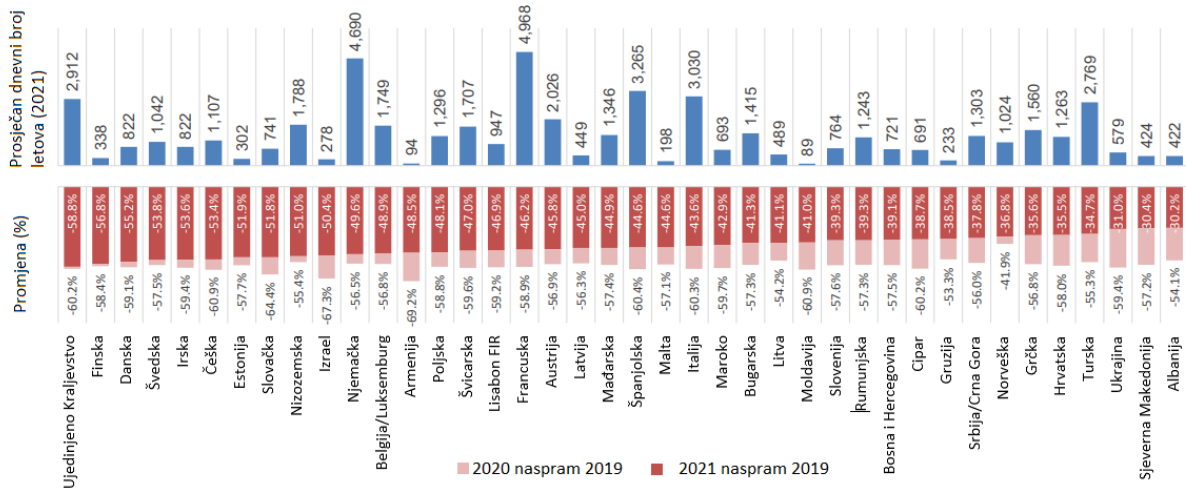
Najmanje pogođeni segment zrakoplovstva bili su domaći letovi unutar država članica EUROCONTROL-a, a oporavili su se do razine koja zaostaje 30,4% u odnosu na 2019. godinu. Najteže pogođeni bili su međunarodni letovi u/iz područja EUROCONTROL-a koji su pojavom COVID-a gotovo u potpunosti obustavljeni. U 2020. godini zabilježili su pad od čak 58%. Blagi oporavak tijekom 2021. doveo ih je na razinu 47,4% nižu od one ostvarene 2019. godine [23].



Slika 16. Ostvareni zračni promet 2021. godine na području EUROCONTROL-a [23].

Iako su sve države članice EUROCONTROL-a ostvarile rast zračnog prometa, intenzitet oporavka imao je nejednaku raspodjelu kako je prikazano na slici 17. Države koje su ostvarile najveći dnevni promet tijekom 2021. godine su Francuska, Njemačka, Španjolska, Italija i Ujedinjeno Kraljevstvo. Te države imaju izrazito razvijeno domaće zrakoplovstvo. Najveći pad prometa u odnosu na 2019. godinu zabilježile su države sjeverne Europe poput Finske, Danske, Švedske i Ujedinjenog Kraljevstva [23].

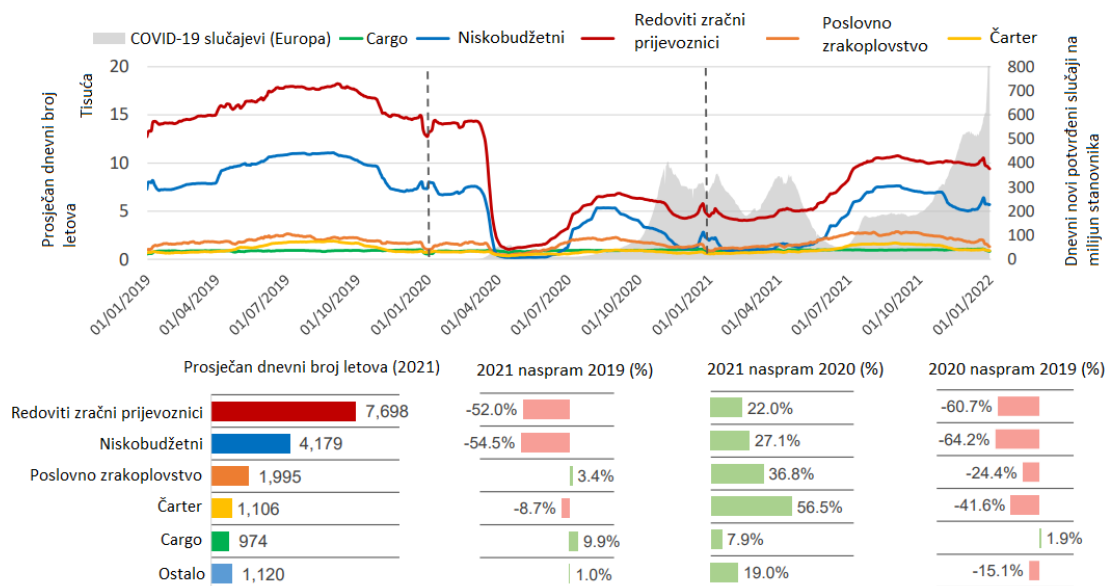
Unatoč porastu broja letova u svim državama, ostvareni se promet nije značajno približio razinama iz 2019. godine. Države koje su zabilježile najmanje smanjenje prometa su Albanija, Sjeverna Makedonija, Ukrajina, Turska i Hrvatska, a kreće se u rasponu od 30-35% u usporedbi sa 2019. godinom [23].



Slika 17. Kretanje razina prometa u 2021. godini po državama članicama u usporedbi sa 2019. godinom [23].

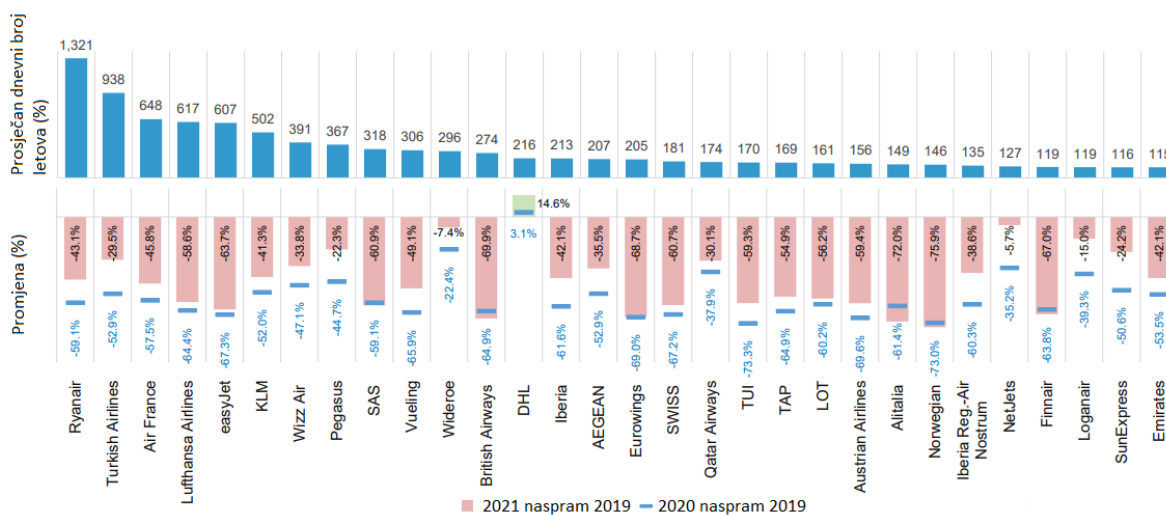
Tržište zračnog prometa podijeljeno je na tradicionalno linijsko, niskobudžetno, poslovno, charter, teretno te ostalo zrakoplovstvo. Svi tržišni segmenti izuzev teretnog zrakoplovstva zabilježili su pad tijekom 2020. godine. Najveći pad zabilježili su tradicionalni linijski i niskotarifni prijevoznici koji čine većinu ostvarenog prometa. Jedini tržišni segment koji je unatoč COVID-u ostvario porast 2020. godine je teretno zrakoplovstvo koje je daljnjim kontinuiranim rastom kroz 2021. uspješno ostvarilo promet veći nego 2019. godine [23].

Kao što je već rečeno, tijekom 2021. godine započeo je oporavak zračnog prometa. Svi segmenti tržišta zabilježili su rast koji se je uvelike razlikovao od segmenta do segmenta. Unatoč porastu prometa, tradicionalni linijski i niskotarifni prijevoznici zaključili su godinu sa manje od polovice letova ostvarenih 2019. godine. Uz teretno zrakoplovstvo, još je samo ostalo i poslovno zrakoplovstvo ostvarilo veći promet u usporedbi sa 2019. godinom. Detaljno kretanje različitih segmenata tržišta zračnog prometa u periodu od 2019. do 2022. godine detaljno je prikazano na slici 18 [23].



Slika 18. Segmenti tržišta zračnog prometa u periodu od 2019. do 2022. godine [23].

Niti jedan zračni prijevoznik koji se nalazi među najboljih 30 na temelju broja dnevnih letova nije uspio premašiti broj letova ostvaren 2019. godine osim teretnog zračnog prijevoznika DHL (koji je ostvario 14,6% više letova). Unatoč padu ostvarenog broja letova od 43,1% u odnosu na 2019. godinu, niskobudžetni avioprijevoznik Ryanair zadržao je prvo mjesto kao vodeći zračni prijevoznik 2021. godine. Ryanair je ostvario 1321 let na dnevnoj bazi što je 383 leta dnevno više od Turkish Airlines koji se nalazi kao drugi na popisu 30 najboljih zračnih prijevoznika prikazanih na slici 19 [23].



Slika 19. Top 30 zračnih prijevoznika koji su ostvarili najveći broj letova [23].

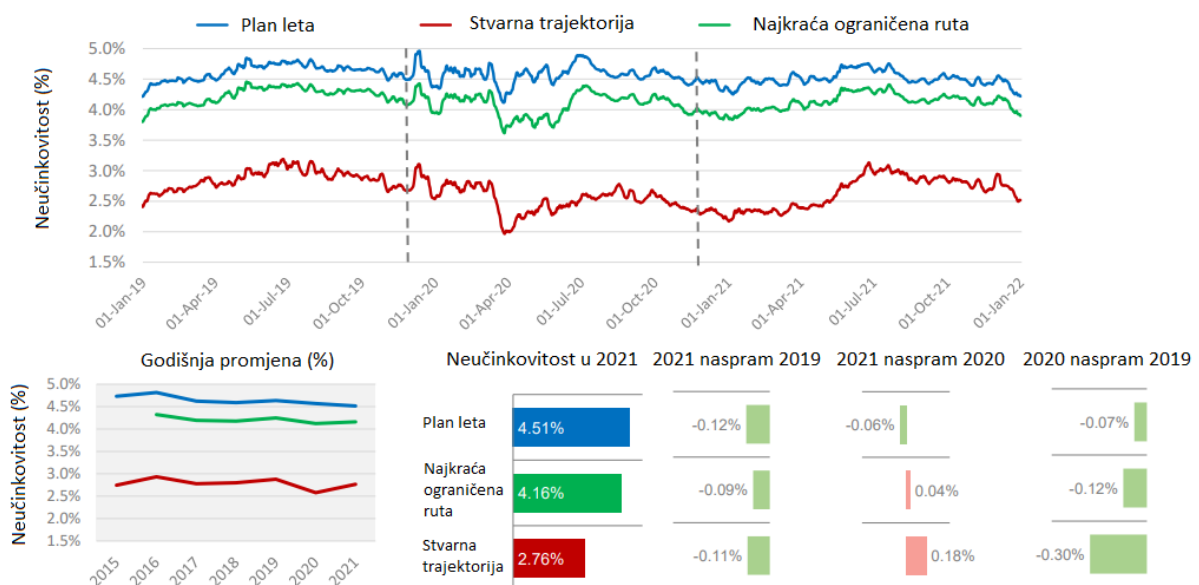
4.2 Horizontalna učinkovitost leta tijekom 2021. godine u području EUROCONTROL-a

Horizontalna učinkovitost leta mjeri se kao dodatna prijeđena udaljenost u odnosu na ortodromsku udaljenost između zračnih luka koje predstavljaju polazišnu i odredišnu točku. Horizontalna učinkovitost leta nije mjera optimalnosti leta jer ne uzima u obzir troškove korištenja zračnog prostora i potrebu za promjenom rute zbog raznih vremenskih neprilika. Važno je napomenuti kako nije moguće ostvariti savršenu učinkovitost leta jer zrakoplov neće moći u potpunosti slijediti ortodromu [23].

Prosječna dodatna prijeđena udaljenost (u odnosu na ortodromsku udaljenost) po letu za 2021. godinu iznosila je 28 kilometara što je 5,6% manje nego 2019. godine, ali 8% više nego 2020. godine. Kretanje vrijednosti horizontalne en-route neučinkovitosti na području EUROCONTROL-a od 2019. godine do 2022. godine ilustrirana je na slici 20. Vidljivo je kako je horizontalna učinkovitost leta dobivena iz podnesenih planova leta i najkraćih ograničenih ruta (shortest constrained route – SCR) značajno manja u usporedbi sa onom stvarnih putanja.

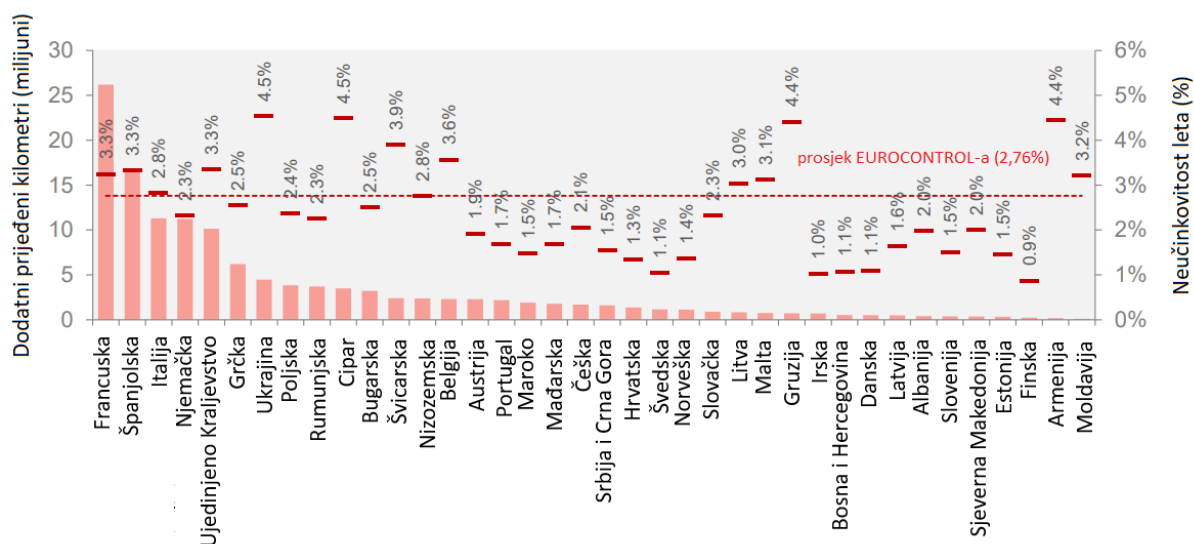
Krajem prvog tromjesečja 2020. godine došlo je do naglog smanjenja horizontalne neučinkovitosti leta. Dolaskom ljetnih mjeseci započeo je rast koji je osobito uočljiv tijekom 2021. godine. Neučinkovitost stvarnih putanja porasla je za 0,18%, a najkraćih ograničenih ruta za 0,04%. Samo učinkovitost dobivena iz podnesenih planova leta porasla je 0,06% [23].

Horizontalna učinkovitost leta u 2021. godini iznosila je 2,76% za stvarne rute, 4,16% za najkraće ograničene rute te 4,51% za rute iz podnesenih planova leta. Iako je jedino učinkovitost ruta iz podnesenih planova leta pozitivna u odnosu na 2020., sve tri rute ostale su učinkovitije u usporedbi sa 2019. godinom. Stvarne putanje leta učinkovitije su 0,11%, najkraće ograničene rute 0,09%, a rute iz podnesenih planova leta 0,12% [23].



Slika 20. Horizontalna en-route neučinkovitost u periodu od 2019. do 2022. godine [23].

Slika 21 prikazuje dodatnu prijeđenu udaljenost stvarnih putanja leta po državama tijekom 2021. godine. Dvije države sa najvećim brojem dodatnih prijeđenih kilometara su Francuska i Španjolska. Iako su one zaslužne za više od 40 milijuna kilometara dodatne prijeđene udaljenosti, niti jedna od njih ne nalazi se na vrhu najveće horizontalne neučinkovitosti zbog velikog broja letova među kojima je ta udaljenost podijeljena. Najveću horizontalnu neučinkovitost imaju zemlje poput Armenije, Gruzije, Cipra i Ukrajine sa neučinkovitošću između 4,4 i 4,5% što je visoko iznad prosjeka od 2,76% na čitavom području EUROCONTROL-a [23].



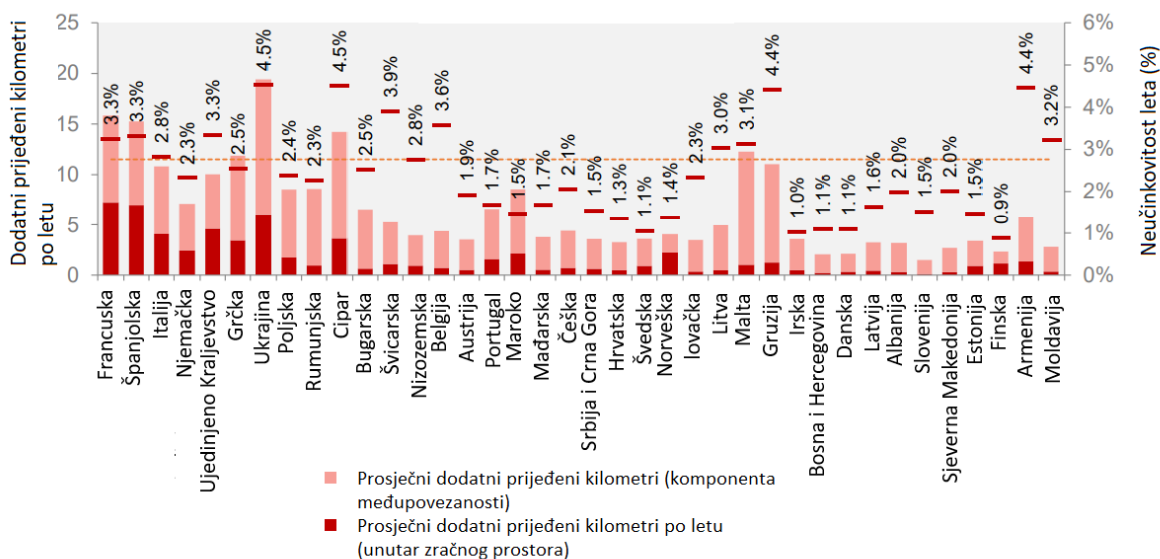
Slika 21. Dodatna prijeđena udaljenost stvarne trajektorije i učinkovitost leta po državama u 2021. godini [23].

Unatoč postojanju koordinacije na Europskoj razini, države su odgovorne za vlastito planiranje zračnim prostorom što negativno utječe na učinkovitost leta koja se mora mjeriti na osnovi cijele putanje.

Kako je objašnjeno u poglavlju 3.3.2 ovog rada, horizontalna neučinkovitost leta može se rastaviti na lokalnu komponentu i komponentu međupovezanosti.

Ukoliko bi se horizontalna učinkovitost u području EUROCONTROL-a promatrala na nacionalnoj razini, samo lokalna komponenta neučinkovitosti bila bi uzeta u obzir. Zbog velike podijeljenosti Europskog zračnog prostora čak 53% primijećene horizontalne neučinkovitosti, koja bi inače pripala komponenti međupovezanosti koja raste sa povećanjem broja zračnih prostora, ostalo bi zanemareno.

Na slici 22 prikazana je dodatna prijeđena udaljenost po letu zrakoplova za određene države članice EUROCONTROL-a. Dodatna prijeđena udaljenost rastavljena je na lokalnu i komponentu međupovezanosti. Vidljivo je kako neke od velikih zemalja poput Francuske, Španjolske i Ukrajine imaju visoke razine neučinkovitosti na lokalnoj razini što znači veliku dodatnu prijeđenu udaljenost između ulazne i izlazne točke u njihovom zračnom prostoru. Neučinkovitost na lokalnoj razini uvelike se može poboljšati uvođenjem koncepta zračnog prostora slobodnih ruta (FRA – Free route airspace) ukoliko isti nije već implementiran [23].



Slika 22. Horizontalna en-route efikasnost stvarne trajektorije rastavljena na komponente po državama članicama EUROCONTROL-a [23].

Većina ostalih prikazanih država ima izraženiju komponentu međupovezanosti koja je do 80% veća u odnosu na lokalnu komponentu. To upućuje na visoku učinkovitost leta unutar tih država, a daljnje povećanje ukupne učinkovitosti moguće je samo kroz koordinaciju sa susjednim državama [23].

4.3 Analiza učinkovitosti letova prije rata u Ukrajini pomoću programa NEST

U ovom poglavlju biti će analizirana horizontalna učinkovitost letova između određenih parova gradova čija je ruta u 2022. i 2023. godini promijenjena pod utjecajem zatvaranja zračnog prostora Ukrajine. Kao jedna od posljedica zatvaranja zračnog prostora Ukrajine, za neke zračne prijevoznike zatvoreni su i zračni prostori Rusije i Bjelorusije pa će se u analizi pronaći i letovi koji su prethodno letjeli kroz ruski zračni prostor.

Analiza horizontalne učinkovitosti leta provoditi će se u programu NEST pomoću funkcije Route Length Extension Analysis čiji je način rada te postupak korištenja detaljno opisan u poglavlju 3 ovog rada. Prilikom analize ruta biti će uključena opcija koja isključuje dio rute koji se nalazi 40NM unutar zračne luke polaska te zračne luke dolaska.

Za potrebu analize utjecaja zatvaranja zračnog prostora Ukrajine na učinkovitost leta, odabrano je sljedećih 10 parova gradova: Moskva – Istanbul (UUEE – LTFM), Minsk – Istanbul (UMMS – LTFM), Varšava – Kišinjev (EPWA – LUKK), Riga – Larnaka (EVRA – LCLK), Varšava – Tbilisi (EPWA – UGTB), Minsk – Dubai (UMMS – OMDDB), Riga – Kišinjev (EVRA – LUKK), Varšava – Istanbul (EPWA – LTFM), Helsinki – Tokio (EFHK – RJAA), Düsseldorf – Seoul (EDDF – RKSI).

Parovi gradova odabrani su na osnovu svojeg geografskog položaja kako bi se u daljnjoj analizi u poglavlju 6 obradili letovi koji su prije zatvaranja zračnog prostora Ukrajine i Rusije

prolazili većim ili manjim dijelom rute njihovim zračnim prostorom, a nakon njihovih zatvaranja primorani su ih izbjegavati. Tako su obuhvaćeni letovi na koje je zatvaranje zračnog prostora Ukrajine i Rusije djelovalo različitim intenzitetom u pogledu učinkovitosti leta.

Datumi prikazanih i analiziranih letova u poglavljima 4 i 5 ciljano su odabrani kako bi se iz ostvarenih letova na odabrani datum izdvojila i analizirala putanja leta zrakoplova istog *CALLSIGN-a* prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine i Rusije. Datumi su odabrani tako da uz traženi let zrakoplova određenog *CALLSIGN-a* sadrže što više ostvarenih letova između odabranog para gradova.

4.3.1 Letovi Moskva – Istanbul prije rata

Prvi od prethodno navedenih parova gradova koji će biti analiziran je Moskva – Istanbul. Pregled ostvarenih letova te njihovih ruta između Moskve i Istanbula na dan 23. kolovoza 2021. može se vidjeti na slici 23, a ostvareno je ukupno 12 letova.

Primjećuje se značajna razlika u putanji leta prikazanih zrakoplova. Tri leta letjela su preko zračnog prostora Ukrajine, dok je preostalih 9 letova u potpunosti zaobišlo zračni prostor Ukrajine koristeći ruski zračni prostor neposredno uz granicu sa Ukrajinom. Zrakoplovi koji su letjeli kroz Ukrajinški zračni prostor su zrakoplovi turskih zračnih prijevoznika. Zrakoplovi koji su zaobišli zračni prostor Ukrajine su zrakoplovi ruskih zračnih prijevoznika.



Slika 23. Putanje ostvarenih letova između Moskve i Istanbula 23. kolovoza 2021. [18].

Karakteristike putanja leta zrakoplova prikazane su u tablici 4 i tablici 5 posebno za turske i ruske zračne prijevoznike. Ruski zračni prijevoznici ostvarili su 9 letova i pritom su prešli udaljenost od 10567,34 NM. Udaljenost koju bi prešli da su letjeli najizravnijom rutom iznosila bi 7955,15 NM što daje dodatnu prijeđenu udaljenost od 32,84%.

Tablica 4. Karakteristika putanje leta zrakoplova ruskih zračnih prijevoznika između Moskve i Istanbula 23. kolovoza 2021. [18], [24].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[800 - 1200]	9	10567,34	7955,15	32,84%

Turski zračni prijevoznici ostvarili su 3 leta i pritom su prešli udaljenost od 2667,55 NM. Udaljenost koju bi prešli da su letjeli najizravnijom rutom iznosila bi 2603,46 NM što daje dodatnu prijeđenu udaljenost od 2,46%.

Tablica 5. Karakteristika putanje leta zrakoplova turskih zračnih prijevoznika između Moskve i Istanbula 23. kolovoza 2021. [18], [24].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[800 - 1200]	3	2667,55	2603,46	2,46%

Usporedbom dodatne prijeđene udaljenosti koju su prešli ruski i turski zračni prijevoznici uočava se kako je let turskih zračnih prijevoznika preko zračnog prostora Ukrajine puno učinkovitiji nego zaobilazanje putem ruskog zračnog prostora.

U tablici 6 prikazana je karakteristika putanja leta svih 12 letova zajedno neovisno o zračnom prijevozniku. Ukupna dodatna prijeđena udaljenost između Moskve i Istanbula na dan 23. kolovoza 2021. godine iznosila je 25,35% upravo zbog velike dodatne prijeđene udaljenosti ruskih zračnih prijevoznika. Umjesto najkraće moguće udaljenosti od 10558,61 NM, prevaljeno je 13235,89 NM.

Tablica 6. Ukupna karakteristika putanja leta zrakoplova između Moskve i Istanbula 23. kolovoza 2021. [18], [24].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
Ukupno	12	13234,89	10558,61	25,35%

4.3.2 Letovi Minsk – Istanbul prije rata

Sljedeći par gradova koji će biti analiziran je Minsk – Istanbul. Pregled letova koji su ostvareni 28. svibnja 2021. između Minska i Istanbula prikazan je na slici 24. Vidljivo je kako je svih 7 ostvarenih letova letjelo preko zračnog prostora Ukrajine na prilično ravnoj ruti što ukazuje na visoku učinkovitost leta.



Slika 24. Putanje ostvarenih letova između Minska i Istanbula 28. svibnja 2021. [18].

Karakteristika putanja leta zrakoplova prikazana je u tablici 7. Primjećuje se kako je ukupna duljina ruta iznosila 4817,43 NM što je vrlo blizu vrijednosti direktne udaljenosti od 4775,65 NM. Zbog vrlo male razlike između duljine ruta i direktne udaljenosti, učinkovitost leta vrlo je visoka, a vrijednost dodatne prijeđene udaljenosti iznosi 0,87%.

Tablica 7. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Minska i Istanbula 28. svibnja 2021. [18], [25].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[500 - 800]	7	4817,43	4775,65	0,87%

4.3.3 Letovi Varšava – Kišinjev prije rata

Na relaciji između gradova Varšava i Kišinjev dana 4. veljače 2022. ostvarena su 2 leta od kojih su oba prolazila kroz zračni prostor Ukrajine. Ovaj par gradova nalazi se na najmanjoj međusobnoj udaljenosti od svih analiziranih parova gradova. Stvarne rute leta zrakoplova prikazane su na slici 25.



Slika 25. Putanje ostvarenih letova između Varšave i Kişinjeva 4. veljače 2022. [18].

Karakteristike putanja leta zrakoplova vidljive su iz tablice 8. Duljina prijeđena tijekom 2 ostvarena leta iznosi 731,78 NM, a direktna udaljenost letova između Varšave i Kişinjeva iznosi 724,21 NM. Ukupna dodatna prijeđena udaljenost letova iznosi 1,05%.

Tablica 8. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Kişinjeva 4. veljače 2022. [18], [26].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[300 - 500]	2	731,78	724,21	1,05%

4.3.4 Letovi Riga - Larnaka prije rata

Jedan let ostvaren je 1. kolovoza 2021. između parova gradova Riga – Larnaka. Na slici 26 поближе je prikazana stvarna ruta leta zrakoplova. Uočava se kako je zrakoplov izbjegavao zračni prostor Bjelorusije sukladno tada izdanim uputama Europske Unije zbog prethodnog prizemljivanja zrakoplova iz političkih razloga. Nakon izbjegavanja zračnog prostora Bjelorusije, zrakoplov je na putu do Larnake prošao kroz zračni prostor Ukrajine.



Slika 26. Putanja ostvarenog leta između Rige i Larnake 1. kolovoza 2021. [18].

Izbjegavanje zračnog prostora Bjelorusije dovelo je do određenog povećanja dodatne prijeđene udaljenosti u odnosu na direktnu udaljenost koja iznosi 1318,79 NM. Zrakoplov je tijekom leta prešao udaljenost od 1380,65 NM, a dodatna prijeđena udaljenost iznosi 4,69% kako je prikazano u tablici 9.

Tablica 9. Karakteristika putanje leta zrakoplova između Rige i Larnake 1. kolovoza 2021. [18], [27].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	1	1380,65	1318,79	4,69%

4.3.5 Letovi Varšava – Tbilisi prije rata

Sljedeći u nizu para gradova koji će biti analiziran je Varšava – Tbilisi. Pregled putanja letova koji su ostvareni 8. kolovoza 2021. između Varšave i Tbilisija prikazan je na slici 27. Vidljivo je kako postoje određena odstupanja u putanjama zrakoplova od kojih su dva letjela kroz zračni prostor Moldavije, a ostala 3 kroz zračni prostor Rumunjske. Svih 5 letova jednim dijelom rute prolaze kroz zračni prostor Ukrajine.



Slika 27. Putanje ostvarenih letova između Varšave i Tbilisija 8. kolovoza 2021. [18].

Karakteristike putanja zrakoplova prikazane su u tablici 10. Letovi koji su prolazili zračnim prostorom Moldavije tijekom leta prevalili su manju udaljenost od 1200 NM dok su letovi koji su prolazili zračnim prostorom Rumunjske morali prijeći udaljenost veću od 1200 NM. Prijedena udaljenost letova koji su prolazili kroz Moldaviju iznosi 2384,75 NM. Direktna udaljenost za oba leta iznosila je 2182,66 NM dok je dodatna prijeđena udaljenost iznosila je 9,26%.

Letovi koji su prolazili zračnim prostorom Rumunjske morali su prijeći veću udaljenost tijekom leta, a samim time veća je i neučinkovitost u odnosu na letove koji su prolazili zračnim prostorom Moldavije. Prijedena udaljenost ta tri leta iznosi 3771,56 NM. Direktna udaljenost iznosila je 3278,05 NM, a dodatna prijeđena udaljenost 15,06%.

Tablica 10. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Tbilisija 8. kolovoza 2021. [18], [27].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[800 - 1200]	2	2384,75	2182,66	9,26%
[1200 i više]	3	3771,56	3278,05	15,06%

U tablici 11 može se vidjeti karakteristike putanja svih 5 letova zajedno. Ukupna prijeđena udaljenost iznosi 6156,32 NM, a direktna udaljenost 5460,71 NM. Udaljenost stvarnih ruta 12,74% veća je od direktne udaljenosti.

Tablica 11. Ukupna karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Tbilisija 8. kolovoza 2021. [18], [27].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
Ukupno	5	6156,32	5460,71	12,74%

4.3.6 Letovi Minsk – Dubai prije rata

Na relaciji između gradova Minsk i Dubai, dana 20. kolovoza 2021. godine ostvarena su 4 leta. Dva leta ostvario je bjeloruski zračni prijevoznik, a preostala dva zračni prijevoznik Ujedinjenih Arapskih Emirata. Slika 28 prikazuje stvarne rute leta zrakoplova na kojoj se jasno vide dva prometna toka. Prometni tok koji prolazi kroz zračni prostor Ukrajine koristi zračni prijevoznik Ujedinjenih Arapskih Emirata, a prometni tok koji zaobilazi zračni prostor Ukrajine i prolazi kroz zračni prostor Rusije koristi bjeloruski zračni prijevoznik.



Slika 28. Putanje ostvarenih letova između Minska i Dubajja 20. kolovoza 2021. [18].

Karakteristike putanja leta zrakoplova prikazane su u tablici 12 i tablici 13 posebno za bjeloruskog i zračnog prijevoznika Ujedinjenih Arapskih Emirata. Bjeloruski zračni prijevoznik zaobišao je Ukrajinski zračni prostor te je prešao ukupnu udaljenost od 4328,78 NM. Udaljenost direktnih ruta između gradova iznosila je 4079 NM, a dodatna prijeđena udaljenost je 6,12%.

Tablica 12. Karakteristika putanje leta zrakoplova bjeloruskog zračnog prijevoznika između Minska i Istanbula 20. kolovoza 2021. [18], [24].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	2	4328,78	4079,00	6,12%

Zračni prijevoznik Ujedinjenih Arapskih Emirata imao je rutu koja se razlikuje od one bjeloruskog zračnog prijevoznika. Zračni prijevoznik Ujedinjenih Arapskih Emirata letio je kroz zračni prostor Ukrajine prešavši ukupno 4399,11 NM. Udaljenost koju je mogao preći putem

direktnih ruta iznosila bi 4076,71 NM što znači da je prešao dodatnu udaljenost od 7,91%. Usporedbom se može primijetiti kako je ruta bjeloruskog zračnog prijevoznika bila učinkovitija zbog manje dodatne prijeđene udaljenosti.

Tablica 13. Karakteristika putanje leta zrakoplova zračnog prijevoznika Ujedinjenih Arapskih Emirata između Minska i Istanbula 20. kolovoza 2021. [18], [24].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	2	4399,10	4076,71	7,91%

Ukupna analiza ruta bez obzira na prijevoznika pokazuje kako je ukupna prijeđena udaljenost bila 8727,88 NM. Letovi su mogli biti realizirani sa direktnom udaljenošću od 8155,72 NM, a ukupna dodatna prijeđena udaljenost iznosila je 7,02% kako je prikazano u tablici 14.

Tablica 14. Ukupna karakteristika putanja leta zrakoplova između Minska i Istanbula 20. kolovoza 2021. [18], [24].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	4	8727,88	8155,71	7,02%

4.3.7 Letovi Riga – Kišinjev prije rata

Dana 31. siječnja 2021. ostvaren je samo jedan let između parova gradova Riga i Kišinjev. Zrakoplov je na prilično izravnoj ruti letio kroz zračni prostor Bjelorusije i Ukrajine kako je prikazano na slici 29.



Slika 29. Putanja ostvarenog leta između Rige i Kişinjeva 31. siječnja 2021. [18].

Karakteristika stvarne putanje leta prikazana je u tablici 15. Duljina stvarne putanje leta iznosila je 558,89 NM dok bi direktna udaljenost iznosila 549,46 NM. Dodatna prijeđena udaljenost iznosi 1,72%.

Tablica 15. Karakteristika putanje leta zrakoplova između Rige i Kişinjeva 31. siječnja 2021. [18], [28].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[500 - 800]	1	558,89	549,46	1,72%

4.3.8 Letovi Varšava - Istanbul prije rata

Posljednji par gradova na kojeg će zatvaranje zračnog prostora Ukrajine izravno utjecati, a koji će biti analiziran je Varšava – Istanbul. Pregled putanja leta svih 6 letova ostvarenih 1. veljače 2022 prikazan je na slici 30. Može se vidjeti kako svih 6 letova na jednom dijelu rute prolazi zračnim prostorom Ukrajine.



Slika 30. Putanje ostvarenih letova između Varšave i Istanbula 1. veljače 2022. [18].

Unatoč maloj lateralnoj devijaciji među putanjama leta, svih 6 zrakoplova letjelo je rutama koje su po udaljenosti veoma blizu direktnoj udaljenosti među gradovima kao što je vidljivo iz tablice 16. Ukupna duljina ruta zrakoplova iznosi 3959,86 NM, a direktna udaljenost 3905,7 NM. Dodatna prijeđena udaljenost zrakoplova iznosi 1,39%.

Tablica 16. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Istanbula 1. veljače 2022. [18], [26].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[500 - 800]	6	3959,86	3905,70	1,39%

4.3.9 Letovi Helsinki – Tokio prije rata

Iako neki od analiziranih letova nisu prolazili zračnim prostorom Ukrajine to ne znači da njegovo zatvaranje nije utjecalo i na njih. Kao jedna od posljedica zatvaranja zračnog prostora Ukrajine je i zatvaranje zračnog prostora Rusije za europske zračne prijevoznike. Zatvaranje zračnog prostora Rusije uvelike je utjecalo na učinkovitost letova koji povezuju Europu sa Azijom. Jedan od parova gradova koji povezuje Europu i Aziju, a analiziran je u nastavku je Helsinki – Tokio. Slika 31 prikazuje putanju dva leta ostvarena 7. veljače 2021. koji su velikom većinom rute prolazili kroz ruski zračni prostor. Vidljivo je kako se obje putanje gotovo savršeno preklapaju.



Slika 31. Putanje ostvarenih letova između Helsinkija i Tokija 7. veljače 2021. [18].

U tablici 17 prikazana je karakteristika putanja leta zrakoplova. Ukupna duljina obje rute iznosi 8340,96 NM dok je iznos direktne udaljenosti 8289,66 NM. Iako je razlika između stvarne duljine ruta i direktne udaljenosti veća nego u nekim prethodno obrađenim slučajevima, a s obzirom na jako veliku duljinu leta dodatna prijeđena udaljenosti iznosi svega 0,62%.

Tablica 17. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Helsinkija i Tokija 7. veljače 2021. [18], [28].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	2	8340,96	8289,66	0,62%

4.3.10 Letovi Düsseldorf – Seoul prije rata

Drugi par gradova koji povezuje Europu sa Azijom i posljednji par gradova koji je analiziran u ovom poglavlju je Düsseldorf – Seoul. Pregled stvarnih putanja svih 14 letova ostvarenih 2. veljače 2022 prikazan je na slici 32. Iz pregleda putanja letova primjećuje se kako su putanje pretežito paralelne, ali i prilično lateralno razmaknute.



Slika 32. Putanje ostvarenih letova između Düsseldorfa i Seoula 2. veljače 2022. [18].

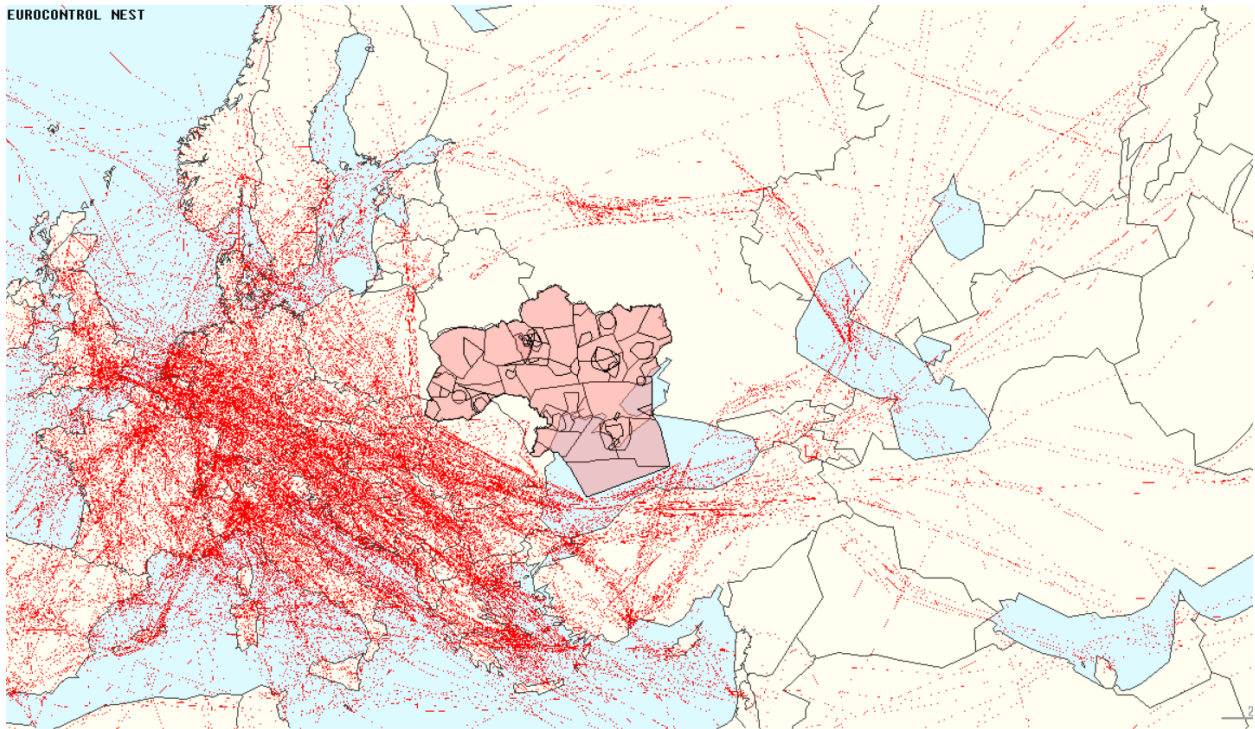
Budući da se kod ovog para gradova pojavljuje velika količina letova, ukupna prijeđena udaljenost letova iznosi 65602,36 NM kako je prikazano u tablici 18 uz ostale podatke o putanjama leta. Prijеđena udaljenost po direktnim rutama iznosila bi 63728,65 NM, a dodatna prijeđena udaljenosti iznosi 2,94%.

Tablica 18. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Düsseldorfa i Seoula 2. veljače 2022. [18], [26].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	14	65602,36	63728,65	2,94%

5. Promet za vrijeme rata u Ukrajini

Dana 24. veljače 2022. godine oružane snage Rusije ušle su na teritorij Ukrajine. Ubrzo nakon ulaska ruskih oružanih snaga, Ukrajina je zatvorila svoj zračni prostor za sav promet. Zračni prostor Ukrajine i rute zrakoplova nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine prikazani su na slici 33.



Slika 33. Zračni prostor Ukrajine i rute zrakoplova nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].

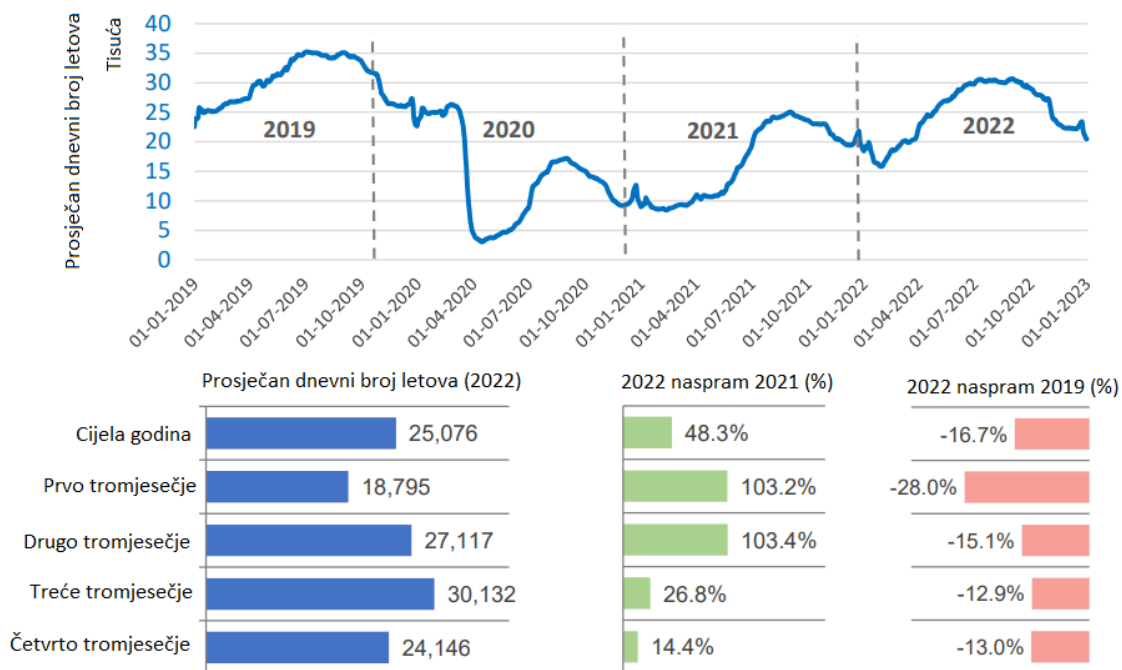
Europska Unija i neke od zapadnih zemalja osudile su rusku invaziju na Ukrajinu te uvele zabranu korištenja vlastitog zračnog prostora za ruske zrakoplove. Ruski avioprijevoznici izgubili su mogućnost korištenja Europskog zračnog prostora, a Rusija je odgovorila istom mjerom zatvorivši svoj zračni prostor za europske zračne prijevoznike. Zračni putevi koji su prethodno povezivali Europu sa Azijom ostali su odsječeni te su preusmjereni sjeverno ili istočno kako bi zaobišli novo zatvorene zračne prostore. Iako većina europskog zračnog prometa nije izravno pogođena, susjedne države Ukrajine i Rusije iskusile su najveće promjene u količini i protoku prometa. Novi prometni tokovi između Europe i Azije uvelike su povećali neučinkovitost leta zbog velike dodatne prijeđene udaljenosti.

5.1 Značajke prometa tijekom 2022. godine

Iako je Ruska invazija na Ukrajinu usporila očekivani rast zračnog prometa u Europi, zračni promet se je tijekom 2022. nastavio približavati razini iz 2019. godine. Razina prometa iz 2019. godine još uvijek nije dostignuta, ostvarenih 9,2 milijuna letova na području EUROCONTROL-a u odnosu na nju zaostaje tek 16,7% [29].

Prikaz kretanja broja letova kroz 2022. godinu i usporedba sa vrijednostima ostvarenima tijekom 2019. i 2021. godine grafički su prikazani na slici 34.

Zračni promet tijekom prve polovice 2022. godine porastao je više nego dvostruko u odnosu na isti period iz 2021. godine. Istovremeno, upravo najveći zaostatak za razinama iz 2019. godine također se pojavljuje pri usporedbi broja letova ostvarenih u prvoj polovici 2022. godine. Porast broja letova tijekom druge polovice godine bio je mnogo blaži, a najveći broj letova ostvaren je u ljetnim mjesecima. Ukupni porast prometa u odnosu na 2021.godinu iznosio je 48,3% [29].

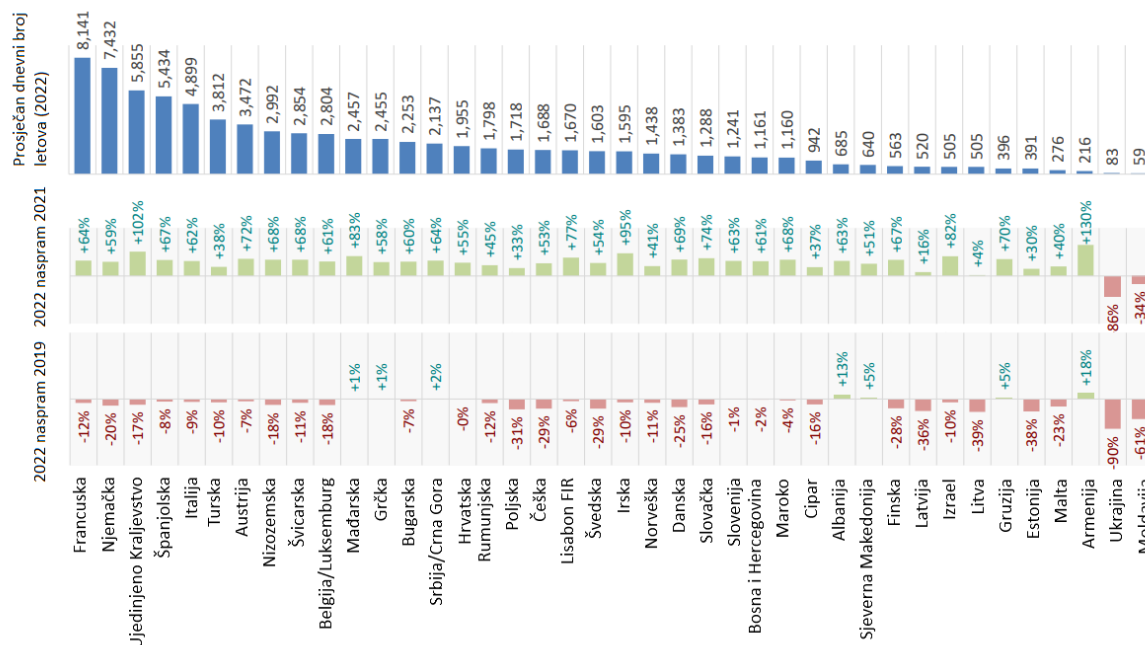


Slika 34. Ostvareni zračni promet 2022. godine na području EUROCONTROL-a [29].

Rast zračnog prometa u 2022. godini nije bio jednolik u svim državama članicama EUROCONTROL-a. Uz još uvijek prisutne posljedice COVID-a od kojih su se države oporavljale različitim brzinama, rat u Ukrajini uzrokovao je promjenu prometnih tokova te je uvelike utjecao na susjedne države Rusije i Ukrajine [29].

Na slici 35 vidljiva je raspodjela rasta zračnog prometa među državama, a neke od njih su ostvarile promet veći nego 2019. godine. Promjene prometnih tokova koji zaobilaze zračne prostore Rusije i Ukrajine nisu jednako djelovale na sve države. Iako zatvaranje zračnog prostora nije imalo značajnog efekta na većinu prometa, države poput Armenije i Gruzije

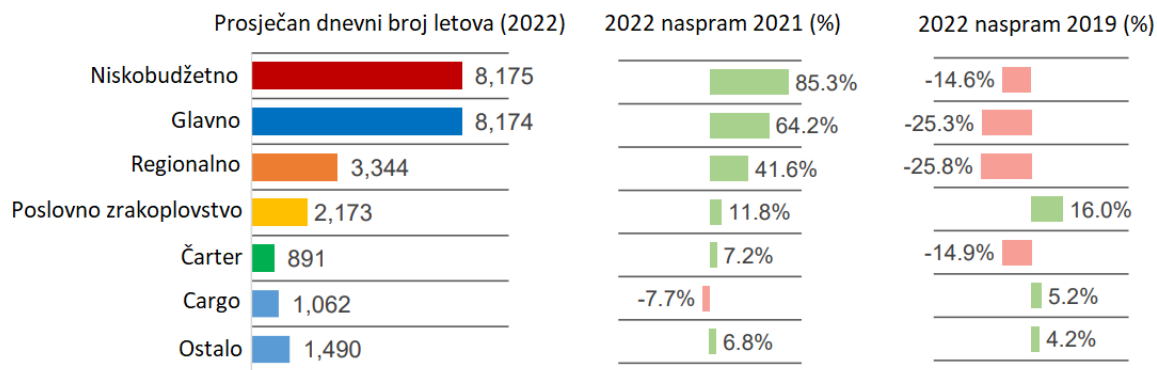
zabilježile su veliki porast prometa i ostvarile rast od 130% odnosno 70% u odnosu na 2021. premašivši time razinu prometa ostvarenu 2019. godine. Za razliku od Armenije i Gruzije kroz koje je broj preleta narastao nakon zabrana korištenja zračnih prostora, države poput Ukrajine i Moldavije ostvarile su negativan promet u odnosu na 2021. godinu. Nordijske zemlje, također pogođene zabranama korištenja zračnih prostora izgubile su veliki dio prometa [29].



Slika 35. Rast prometa raspodijeljen po državama [29].

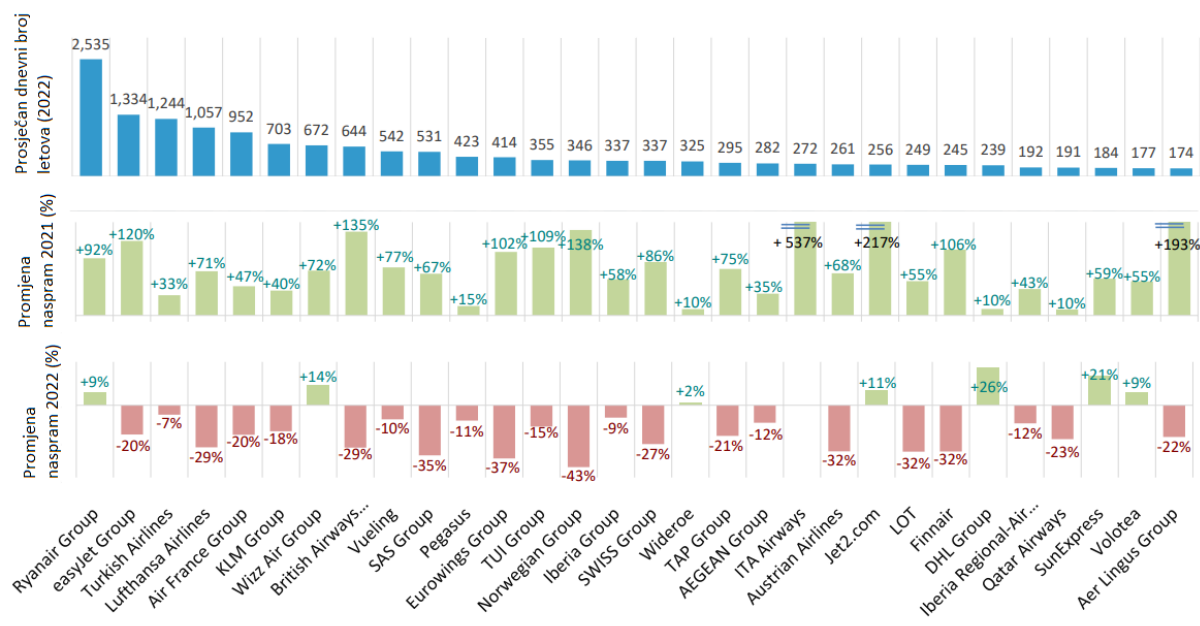
Slika 36 prikazuje detaljne vrijednosti segmenata zračnog prometa tijekom 2022. godine, a zatim i usporedbu vrijednosti sa 2021. te 2019. godinom. Uočava se kako su svi segmenti zračnog prometa ostvarili rast u odnosu na prethodnu 2021. godinu, osim teretnog prometa koji je zabilježio pad. Usprkos padu, teretno zrakoplovstvo je i dalje ostalo na razini većoj nego 2019. godine. Uz teretno zrakoplovstvo, još su samo ostalo i poslovno zrakoplovstvo uspjeli premašiti razinu prometa ostvarenu 2019. godine [29].

Segmenti tržišta poput niskobudžetnog i glavnog zrakoplovstva koji čine glavni dio prometa zabilježili su rast od 85,3% odnosno 64,2% u odnosu na 2021. godinu. Razine iz 2019. godine i dalje nisu dostignute, no niskobudžetno zrakoplovstvo zaostaje najmanje sa zaostatkom od 14,6% [29].



Slika 36. Segmenti tržišta zračnog prometa u 2022. godini [29].

Niskobudžetni avioprijevoznici najbrže su se oporavili tijekom 2022. godine, a neki od njih su ostvarili promet veći nego 2019. godine. Niskobudžetni avioprijevoznik Ryanair ponovno je zadržao prvo mjesto na top 30 zrakoplovnih prijevoznika u 2022. godini kao što se može vidjeti na slici 37. U prosjeku, Ryanair je ostvario 2535 letova dnevno i odgovoran je za čak 10% svih letova u području EUROCONTROL-a. Samo nekolicina zrakoplovnih prijevoznika uspjela je premašiti svoje brojke ostvarene 2019. godine. Neki od njih su niskobudžetni avioprijevoznici poput Ryanair-a i Wizzair-a, a najveći porast u odnosu na 2019. godinu ostvario je cargoprijevoznik DHL sa povećanjem prometa od 26% [29].



Slika 37. Top 30 zračnih prijevoznika po broju dnevnih letova u 2022. godini [29].

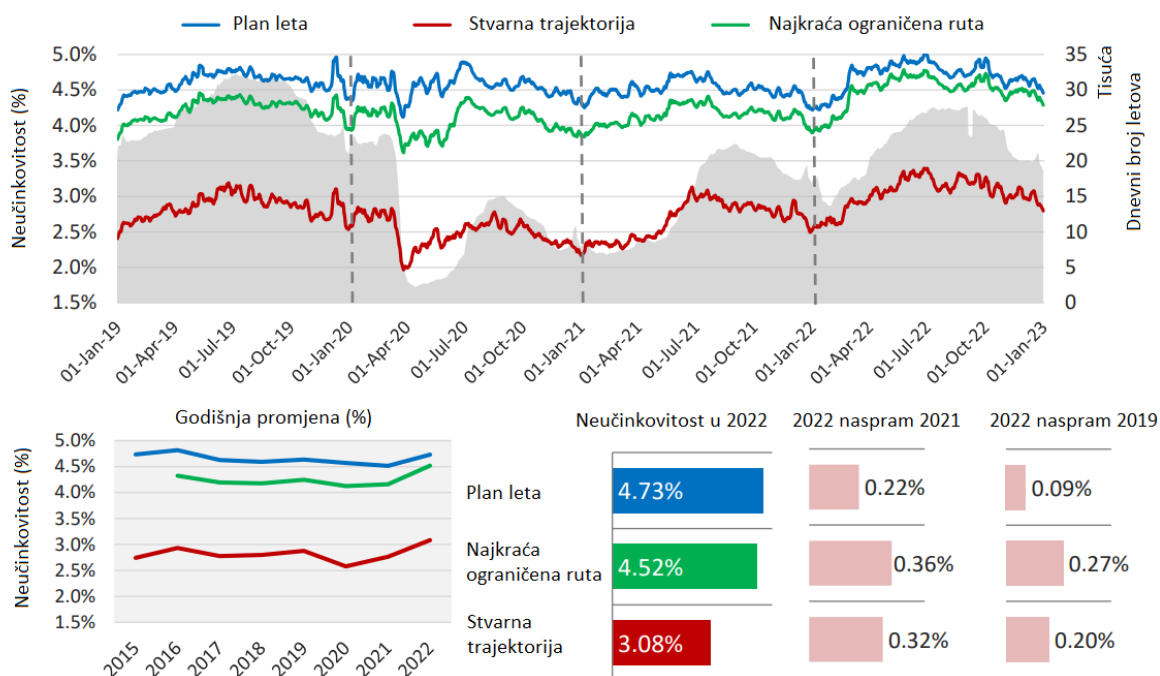
5.2 Učinkovitost leta tijekom 2022. godine u području EUROCONTROL-a

Zatvaranje zračnog prostora Ukrajine nije uvelike utjecalo na učinkovitost leta europskog zračnog prometa ukoliko se on promatra kao cjelina. Detaljnijim promatranjem učinkovitosti leta među državama primjećuje se kako je zatvaranje zračnog prostora značajno utjecalo na učinkovitost leta kroz države koje graniče sa Rusijom i Ukrajinom te dovelo do velikog porasta njihove neučinkovitosti.

Kao što je objašnjeno u poglavlju 3.2, učinkovitost leta mjeri se kao dodatna prijeđena udaljenost u odnosu na ortodromsku udaljenost. Prosječna dodatna prijeđena udaljenost po letu u 2022. godini iznosila je 32,9 kilometara [29].

Na slici 38 grafički je prikazana horizontalna en-route neučinkovitost leta na području EUROCONTROL-a u razdoblju od 2019. do 2023. godine. Vidljivo je kako je horizontalna neučinkovitost leta tijekom 2022. porasla u odnosu na prijašnje godine. Kao i prethodnih godina postoji velika razlika u učinkovitosti stvarnih ruta, najkraćih ograničenih ruta te ruta iz podnesenih planova leta [29].

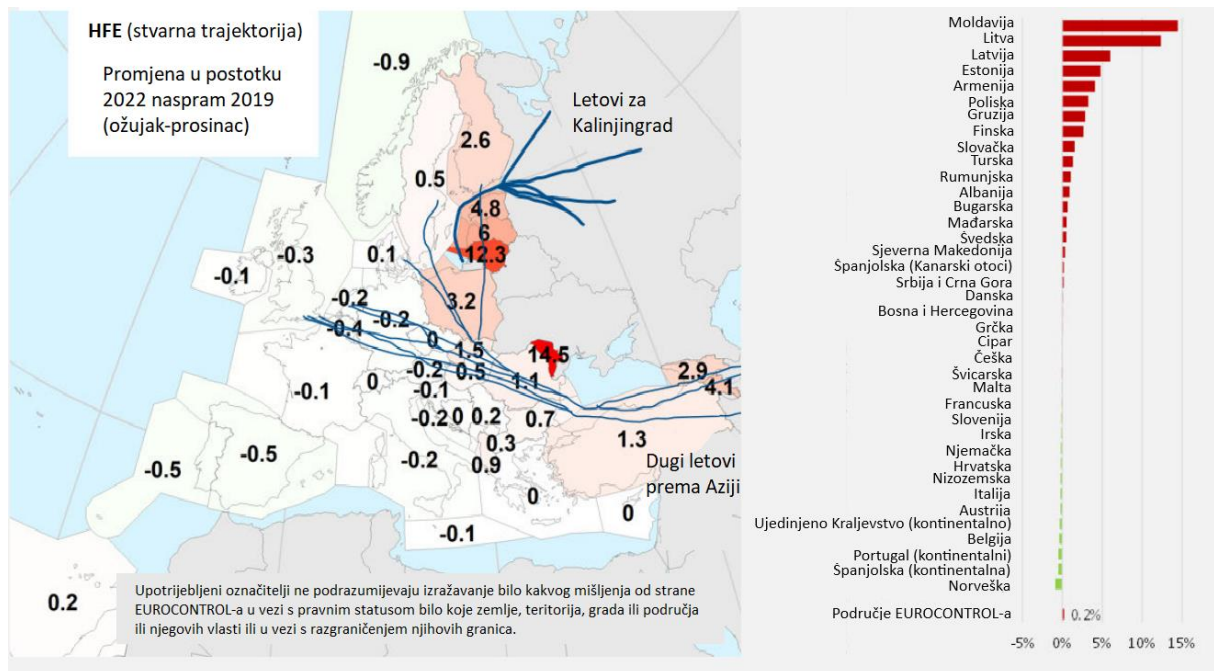
Nama najzanimljivija, horizontalna en-route neučinkovitost leta stvarnih ruta porasla je u odnosu na 2021. godinu za 0,32% te sada iznosi 3,08%. Jedan od uzroka povećane neučinkovitosti je utjecaj rata u Ukrajini tj. zatvaranje zračnih prostora te novi tokovi prometa koji su produljili duljine leta na relacijama Europe i Azije. Glavni zračni putevi koji se protežu u smjeru istok-zapad presječeni su, a novi prometni tokovi duži su i neučinkovitiji. Povećanje neučinkovitosti stvarnih ruta u odnosu na 2019. godinu iznosi 0,2% [29].



Slika 38. Horizontalna en-route učinkovitost leta za područje EUROCONTROL-a [29].

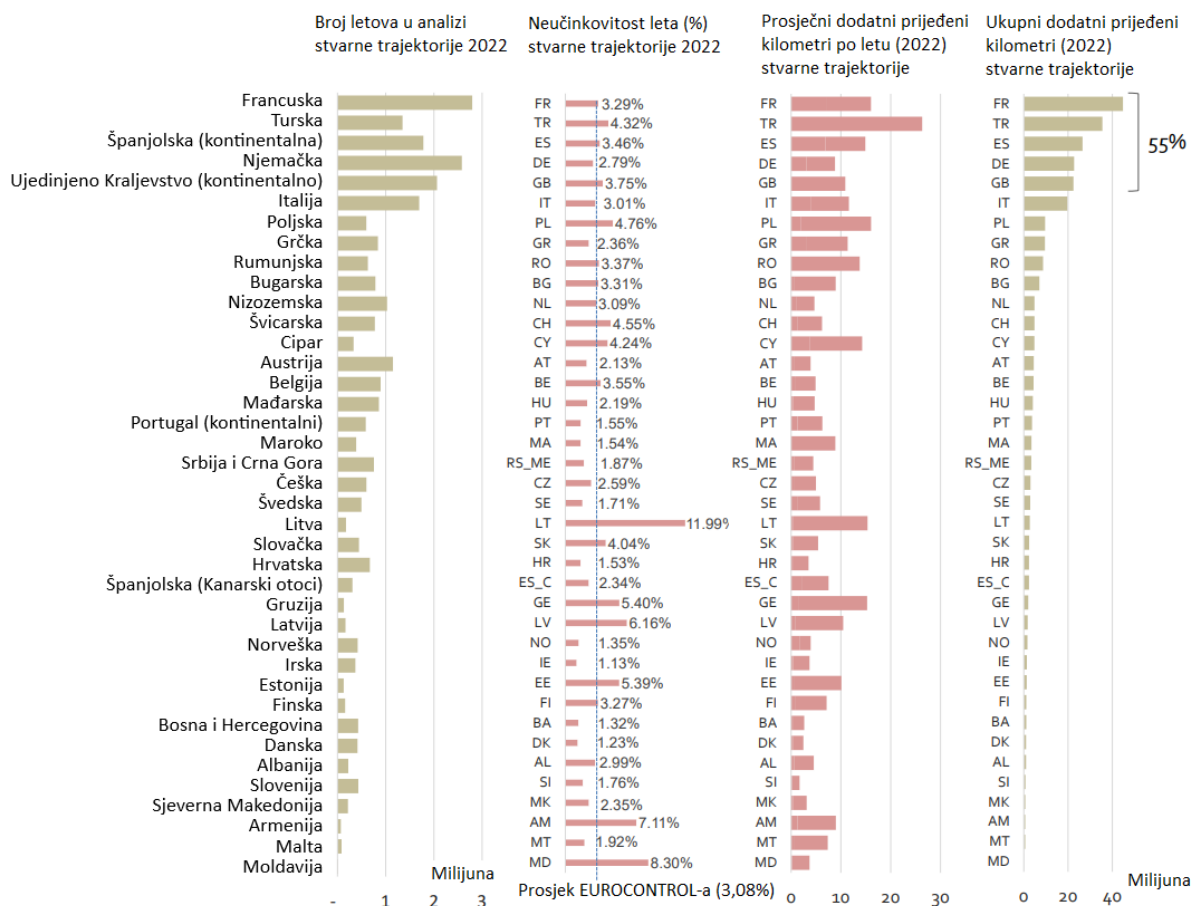
Slika 39 prikazuje promjenu horizontalne učinkovitosti leta od u periodu od ožujka do prosinca tijekom 2022. i 2019. godine. Primjećuje se kako su nove uspostavljene rute koje

izbjegavaju zatvorene zračne prostore značajno duže, a samim time i neučinkovitije. Preusmjerenjem tokova prometa koji povezuju Europu i Aziju došlo je do povećane horizontalne neučinkovitosti u zemljama sada nose promet koji je prethodno prolazio kroz Rusiju i Ukrajinu. Zbog prisutnih zabrana korištenja zračnog prostora, ruski avioprijevoznici primorani su letjeti iznad međunarodnih voda do/iz Kalinjingrada što uvelike utječe na horizontalnu učinkovitost leta baltičkih zemalja. Vidljivo je kako su zemlje poput Moldavije, Litve, Latvije, Armenije, Poljske, Gruzije itd. zabilježile značajan porast horizontalne neučinkovitosti leta [29].



Slika 39. Promjena horizontalne učinkovitosti leta u periodu od ožujka do prosinca 2022. i 2019. godine [29].

Horizontalna en-route učinkovitosti stvarnih putanja država članica EUROCONTROL-a grafički je ilustrirana na slici 40. Za čak 55% dodatne prijeđene udaljenosti na području EUROCONTROL-a odgovorne su Francuska, Turska, Španjolska, Njemačka i Ujedinjeno kraljevstvo. Važno je primijetiti kako te države također imaju veliki broj letova pa sama neučinkovitost stvarnih putanja, iako iznadprosječna, nije toliko izražena. Jedina država među njima koja ima višu neučinkovitost stvarnih putanja je Turska upravo zbog dalekih letova između Europe i Azije koji prolaze Turskim zračnim prostorom. Među državama koje graniče s Rusijom i Ukrajinom posebno se ističe Litva sa neučinkovitošću stvarnih ruta od 11,99% [29].

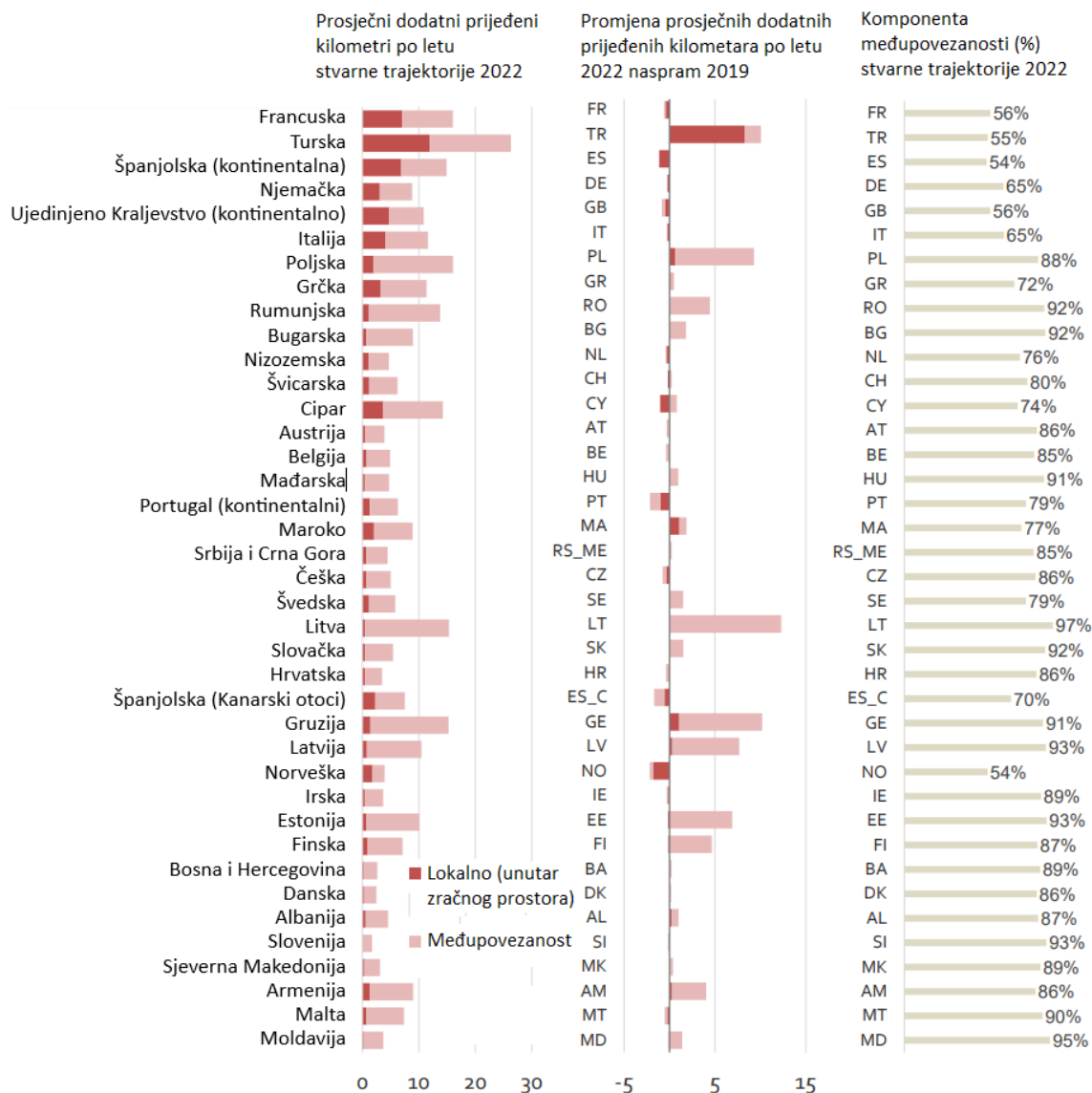


Slika 40. Horizontalna en-route neučinkovitost stvarnih putanja po državama u 2022. godini [29].

Zaobilaznje zatvorenih zračnih prostora koji se nalaze na direktnoj ruti između polazišne i odredišne zračne luke negativno utječe na neučinkovitost povećavajući komponentu međupovezanosti. Iz tog razloga države koje graniče sa Rusijom i Ukrajinom pokazuju visoku razinu komponente međupovezanosti horizontalne neučinkovitosti leta [29].

Na slici 41 prikazana je horizontalna neučinkovitost leta po državama u 2022. godini rastavljena na lokalnu komponentu i komponentu međupovezanosti. U prvom grafu na lijevoj strani prikazana je prosječna dodatna prijeđena udaljenost po stvarnoj ruti za svaku državu. Također, moguće je vidjeti kako gotovo sve države imaju izraženiju komponentu međupovezanosti u odnosu na lokalnu komponentu. Niska lokalna komponenta predstavlja visoku učinkovitost unutar zračnog prostora država [29].

Graf u sredini pokazuje usporedbu dodatne prijeđene udaljenosti po letu, sa dodatnom prijeđenom udaljenosti po letu u 2019. godini. Kako bi se izbjegli zatvoreni zračni prostori, države uz granicu Rusije i Ukrajine preuzele su dio prometa koji je prije letio preko Rusije i Ukrajine. Države kao što su Poljska, Litva, Gruzija, Estonija, Finska ... posebno se ističu visokom razinom komponente međupovezanosti u odnosu na lokalnu te velikim povećanjem dodatne prijeđene udaljenosti u usporedbi sa 2019. godinom. Graf prikazan na desnoj strani prikazuje postotak komponente međupovezanosti [29].



Slika 41. Lokalna i komponenta međupovezanosti horizontalne učinkovitosti leta po državama u 2022. godini [29].

5.3 Analiza učinkovitosti letova za vrijeme rata u Ukrajini pomoću programa NEST

U ovom poglavlju biti će analizirana učinkovitost letova između parova gradova koji su prethodno analizirani u poglavlju 4.3 ovog rada, a čija je ruta leta značajno promijenjena u odnosu na 2021. godinu zbog utjecaja zatvaranja zračnog prostora Ukrajine. Kao jedna od posljedica zatvaranja zračnog prostora Ukrajine, za neke zračne prijevoznike zatvoreni su i zračni prostori Rusije i Bjelorusije pa će se u analizi pronaći i letovi koji su prethodno letjeli kroz ruski zračni prostor, a sada su ga primorani zaobilaziti.

Analiza horizontalne učinkovitosti leta provoditi će se u programu NEST pomoću funkcije Route Length Extension Analysis čiji je način rada te postupak korištenja detaljno opisan u

poglavlju 3 ovog rada. Prilikom analize ruta biti će uključena opcija koja isključuje dio rute koji se nalazi 40NM unutar zračne luke polaska te zračne luke dolaska.

Parovi gradova u nastavku biti će analizirani istim redoslijedom kao i u poglavlju 4.3 ovog rada.

5.3.1 Letovi Moskva – Istanbul za vrijeme rata

Prvi par gradova koji će biti analiziran je Moskva – Istanbul. Turski zračni prijevoznik i ruski zračni prijevoznik lete po različitim rutama pa će se analiza ruta u ovom slučaju napraviti posebno za turskog te posebno za ruskog zračne prijevoznike.

Pregled dvije putanje leta turskog zračnog prijevoznika 14. ožujka. 2022 prikazan je na slici 42. Uočava se kako su zrakoplovi u potpunosti zaobišli zračni prostor Ukrajine preko država srednje Europe, a same putanje leta jako su zakrivljene.



Slika 42. Putanje ostvarenih letova turskog zračnih prijevoznika između Moskve i Istanbula 14. ožujka 2022. [18].

Karakteristika putanja leta turskih zračnih prijevoznika prikazana je u tablici 19. Uočava se kako je duljina ruta iznosila 2781,49 NM što je puno više od udaljenosti direktnih ruta koja iznosi 1873,7 NM. Dodatna prijeđena udaljenost stvarnih ruta iznosi 48,45%.

Tablica 19. Karakteristika putanja leta zrakoplova turskog zračnog prijevoznika između Moskve i Istanbula 14. ožujka 2022. [18], [30].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	2	2781,49	1873,70	48,45%

Putanje leta ruskog zračnog prijevoznika 13. veljače 2023. prikazane su na slici 43. Primjećuje se kako ruski zračni prijevoznici ne lete kroz europski zračni prostor kao turski zračni prijevoznici. Ruski zračni prijevoznici trenutno su pod sankcijama Europske Unije te moraju izbjegavati europski zračni prostor. Stoga se većina putanje leta nalazi u ruskom zračnom prostoru, a sama putanja leta u širokom luku zaobilazi zračni prostor Ukrajine. Naime, zračni prostor Rusije u blizini granice sa Ukrajinom smatra se potencijalno opasnim te se preporuča ne letjeti kroz njega ukoliko nije potrebno.



Slika 43. Putanje ostvarenih letova ruskih zračnih prijevoznika između Moskve i Istanbula 13. veljače 2023. [18].

U tablici 20 prikazana je karakteristika putanja leta ruskog zračnog prijevoznika. Može se vidjeti kako je ostvareno 15 letova ukupne duljine ruta od 26426,36 NM. Udaljenost koja bi bila prijeđena putem direktnih ruta iznosila bi 13441,27 NM. Ukupna dodatna prijeđena udaljenost ruskog zračnog prijevoznika iznosila je 96,61%.

Tablica 20. Karakteristika putanja leta zrakoplova ruskog zračnog prijevoznika između Moskve i Istanbula 13. veljače 2023. [18], [31].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	15	26426,36	13441,27	96,61%

5.3.2 Letovi Minsk – Istanbul za vrijeme rata

Sljedeći par gradova koji će biti analiziran je Minsk – Istanbul, a pregled ostvarenih letova 13. siječnja 2023. prikazan je na slici 44. Kao i kod prethodnog primjera, može se uočiti kako bjeloruski zračni prijevoznici ne koriste europski zračni prostor već zračni prostor Ukrajine zaobilaze u širokom luku putem Rusije. U samom početku leta, zrakoplov koji polijeće iz Minska leti u smjeru sjeveroistoka da bi na kraju leta morao letjeti u smjeru jugozapada. Obje prikazane putanje leta značajno su zakrivljene i vidljivo neučinkovite.



Slika 44. Putanje ostvarenih letova između Minska i Istanbula 13. siječnja 2023. [18].

Karakteristika putanja leta prikazana je u tablici 21. Ukupna prijeđena udaljenost tijekom letova iznosi 4138,8 NM, dok je vrijednost direktnih udaljenosti 1511,58 NM. Usporedbom brojeva možemo zaključiti kako se radi o ekstremnoj neučinkovitosti leta i više nego dvostruko većoj dodatnoj prijeđenoj udaljenosti nego li bi bila ona putem direktnih putanja. Dodatna prijeđena udaljenost iznosi ekstremno visokih 173,81%.

Tablica 21. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Minska i Istanbula 13. siječnja 2023. [18], [32].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	2	4138,80	1511,58	173,81%

5.3.3 Letovi Varšava – Kišinjev za vrijeme rata

Na relaciji između gradova Varšava i Kišinjev, na dan 18. siječnja 2023. ostvarena su 4 leta koji su prikazani na slici 45. Sva četiri leta pratila su gotovo identičnu rutu zaobišavši zračni prostor Ukrajine preko zračnog prostora Slovačke, Mađarske i Bugarske.



Slika 45. Putanje ostvarenih letova između Varšave i Kişinjeva 18. siječnja 2023. [18].

Putanje leta ukupne su duljine 1859,26 NM koja se uz ostale karakteristike putanje može iščitati iz tablice 22. Zbroj direktnih udaljenosti iznosi 1543,89 NM što daje dodatnu prijeđenu udaljenost od 20,43%.

Tablica 22. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Kişinjeva 18. siječnja 2023. [18], [32].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[300 - 500]	4	1859,26	1543,89	20,43%

5.3.4 Letovi Riga – Larnaka za vrijeme rata

Dva leta ostvorena su 5. veljače 2023. između parova gradova Riga – Larnaka. Na slici 46 pobliže je prikazana stvarna putanja leta zrakoplova. Vidljivo je kako su putanje leta ravne do zračnog prostora Slovačke u kojem skreću te zaobilaze zračni prostor Ukrajine. Iako je jasno vidljiva zakrivljenost putanja, ona nije toliko izražena kao kod prethodnih slučajeva.



Slika 46. Putanje ostvarenih letova između Rige i Larnake 5. veljače 2023. [18].

Tablica 23 prikazuje karakteristike ostvarenih putanja leta. Ukupna duljina rute iznosila je 2882,64 NM, a direktne udaljenosti 2642,86 NM. Dodatna prijeđena udaljenost iznosi 9,07%:

Tablica 23. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Rige i Larnake 5. veljače 2023. [18], [31].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	2	2882,64	2642,86	9,07%

5.3.5 Letovi Varšava – Tbilisi za vrijeme rata

Sljedeći u nizu para gradova koji će biti analiziran je Varšava – Tbilisi. Pregled putanja letova koji su ostvareni 8. svibnja 2022. između Varšave i Tbilisija prikazan je na slici 47. Uočava se kako su sve tri putanje leta gotovo identične. Zračni prostor Ukrajine izbjegava se prolaskom kroz zračni prostor Slovačke, Mađarske i Rumunjske, a zračni prostor Ukrajine iznad crnog mora također se zaobilazi.



Slika 47. Putanje ostvarenih letova između Varšave i Tbilisija 8. svibnja 2022. [18].

Karakteristika putanja leta prikazana je u tablici 24. Ukupna prijeđena udaljenost sva tri leta iznosi 3930,18 NM. U usporedbi sa zbrojem duljina direktnih putanja leta koji iznosi 3364,76 NM, dodatna prijeđena udaljenost stvarnih putanja iznosi 16,8%.

Tablica 24. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Tbilisija 8. svibnja 2022. [18], [33].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	3	3930,18	3364,76	16,80%

5.3.6 Letovi Minsk – Dubai za vrijeme rata

Na relaciji između gradova Minsk i Dubai, dana 4. veljače 2023. ostvareno je 6 letova koji su podijeljeni između bjeloruskog zračnog prijevoznika i zračnog prijevoznika Ujedinjenih Arapskih Emirata. Na slici 48 prikazane su putanje leta zrakoplova, a vidljiva su i dva prometna toka. Jedan prometni tok prije ulaska u zračni prostor Rusije dijelom rute prolazi kroz zračni prostor Kazahstana i pripada zračnom prijevozniku Ujedinjenih Arapskih Emirata. Drugi prometni tok koji koristi bjeloruski zračni prijevoznik uspostavljen je južnije, a prije ulaska u ruski zračni prostor dijelom rute prolazi kroz zračni prostor Azerbajdžana. Putanje leta oba zračna prijevoznika zaobilaze zračni prostor Ukrajine i zračni prostor u blizini njene granice.



Slika 48. Putanje ostvarenih letova između Minska i Dubaija 4. veljače 2023. [18].

Karakteristika putanja svih 6 letova prikazana je u tablici 25. Duljina prijeđenih udaljenosti iznosi 14566,67 NM. Udaljenost direktnih ruta iznosila bi 12409,15 NM. Ukupna dodatna prijeđena udaljenost iznosi 17,39%.

Tablica 25. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Minska i Dubaija 4. veljače 2023. [18], [31].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	6	14566,67	12409,15	17,39%

5.3.7 Letovi Riga – Kišinjev za vrijeme rata

Dana 7. veljače 2023. ostvaren je samo jedan let između para gradova Riga i Kišinjev. Pregled putanje leta zrakoplova prikazan je na slici 49. Može se vidjeti kako je putanja leta zrakoplova u početku ravna. Neposredno prije ulaska u zračni prostor Mađarske, putanja leta započinje skretati za 90 stupnjeva lijevo, istovremeno zaobilazeći zračni prostor Ukrajine. Kao posljedica zaobilaženja zračnog prostora Ukrajine putanja je zakrivljena u obliku slova “L”.



Slika 49. Putanja ostvarenog leta između Rige i Kişinjeva 7. veljače 2023. [18].

Karakteristika putanje leta prikazana je u tablici 26. Stvarna duljina putanje leta zrakoplova iznosi 747,79 NM, a direktna udaljenost iznosi 577,41 NM. Zaobilaženje zračnog prostora Ukrajine rezultiralo je dodatnom prijednom udaljenošću od 29,51%.

Tablica 26. Karakteristika putanje leta zrakoplova između Rige i Kişinjeva 7. veljače 2023. [18], [31].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijedna udaljenost (%)
[500 - 800]	1	747,79	577,41	29,51%

5.3.8 Letovi Varšava – Istanbul za vrijeme rata

Posljednji par gradova koji će biti analiziran, a na kojeg je zatvaranje zračnog prostora Ukrajine izravno utjecalo je Varšava – Istanbul. Pregled putanja leta svih 6 letova ostvarenih 31. siječnja 2023 prikazan je na slici 50. Uočava se kako svih 6 letova ima gotovo identičnu putanju leta sa malom lateralnom devijacijom. Od svih analiziranih parova gradova, zatvaranje zračnog prostora Ukrajine najmanje je utjecalo na ovaj sa blagim skretanjem putanja iznad zračnih prostora Mađarske i Slovačke.



Slika 50. Putanje ostvarenih letova između Varšave i Istanbula 31. siječnja 2023. [18].

Tablica 27 prikazuje karakteristike ostvarenih putanja leta. Moguće je iščitati kako ukupna udaljenost ruta iznosi 4075,56 NM dok direktna udaljenost iznosi 3917,77 NM. Blago skretanje putanja dovelo je do dodatne prijeđene udaljenosti od 4,03% što je najmanji učinak od svih prethodno analiziranih slučajeva.

Tablica 27. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Istanbula 13. siječnja 2023. [18], [31].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[500 - 800]	6	4075,56	3917,77	4,03%

5.3.9 Letovi Helsinki – Tokio za vrijeme rata

Iako ovaj par gradova nije direktno pod utjecajem zatvaranja zračnog prostora Ukrajine i dalje je predmet analize zbog indirektnog utjecaja. Jedna od posljedica zatvaranja zračnog prostora Ukrajine je zatvaranje zračnog prostora Rusije za europske zračne prijevoznike. Pregled putanje leta ostvarenog 27. siječnja 2023. prikazan je na slici 51. Vidljivo je kako putanja leta u potpunosti zaobilazi zračni prostor Rusije prelazeći veliku dodatnu udaljenost.



Slika 51. Putanja ostvarenog leta između Helsinkija i Tokija 27. siječnja 2023. [18].

Karakteristika putanje leta prikazana je u tablici 28. Duljina putanje leta iznosi 5887,64 NM. U usporedbi sa direktnom udaljenošću koja iznosi 4220,97 NM uočavamo kako je prijeđena udaljenost veća za više od 1500 NM. Dodatna prijeđena udaljenost od 39,49% ukazuje na visoku neučinkovitost leta.

Tablica 28. Karakteristika putanje leta zrakoplova između Helsinkija i Tokija 27. siječnja 2023. [18], [31].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	1	5887,64	4220,97	39,49%

5.3.10 Letovi Düsseldorf – Seoul za vrijeme rata

Posljednji par gradova koji će se analizirati u ovom poglavlju je Düsseldorf – Seoul. Pregled stvarnih putanja svih 11 letova ostvarenih 28. siječnja 2023. prikazan je na slici 52. Iz pregleda putanja letova može se vidjeti kako osim zračnog prostora Ukrajine putanje zaobilaze i cijeli zračni prostor Rusije što uvelike povećava prijeđenu udaljenost.



Slika 52. Putanje ostvarenih letova između Düsseldorfa i Seoula 28. siječnja 2023. [18].

Ukupna prijeđena udaljenost svih letova iznosi 60373,63 NM kako je prikazano u tablici 29 uz ostale podatke o putanjama leta. Duljina direktnih ruta iznosi 50355,25 NM što je više od 10000 NM manje u odnosu na stvarnu prijeđenu udaljenost. Zaobilažene zračnog prostora Rusije dovelo je do velike neučinkovitosti leta i dodatne prijeđene udaljenosti u iznosu od 19,9%.

Tablica 29. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Düsseldorfa i Seoula 28. siječnja 2023. [18], [31].

Udaljenost (NM)	Broj letova	Duljina rute (NM)	Direktna udaljenost (NM)	Dodatna prijeđena udaljenost (%)
[1200 i više]	11	60373,63	50355,25	19,90%

6. Analiza rezultata

U ovom poglavlju detaljno će biti uspoređene putanje zrakoplova prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine, između parova gradova koji su prethodno analizirani u poglavljima 4.3 i 5.3. Putanja leta zrakoplova prije zatvaranja zračnog prostora Ukrajine biti će prikazana plavom bojom, a putanja leta zrakoplova nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine crvenom bojom.

Međusobna usporedba putanje kojom je određeni zrakoplov letio prije zatvaranja zračnog prostora Ukrajine te putanje kojom leti nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine biti će tablično prikazana pomoću sljedećih vrijednosti [16]:

- G - ortodromska udaljenost između polazišnog i odredišnog TMA
- N – broj letova
- S – najkraća dostupna ruta
- Min – minimalna duljina rute
- F – duljina predane rute leta
- A – duljina stvarna putanja leta zrakoplova
- Ds – direktna udaljenost između izlazne i ulazne točke TMA na temelju najkraće dostupne rute
- D3 – direktna udaljenost između izlazne i ulazne točke TMA
- Xt – ukupna neučinkovitost rute
- Xi – TMA interface neučinkovitost
- Xr – neučinkovitost direktne rute
- Xa – neučinkovitost ATC usmjeravanja
- Xs – neučinkovitost dizajna rute
- Xrs – en-route neučinkovitost
- Xis – TMA interface

6.1 Moskva – Istanbul let THY6085 i AFL 2137

Prva usporedba putanja leta zrakoplova biti će provedena na paru gradova Moskva – Istanbul. Kako na ovoj relaciji prometuju zrakoplovi ruskog i turskog zračnog prijevoznika koji ni prije zatvaranja zračnog prostora Ukrajine nisu imali jednake rute, svaki od njih biti će analiziran kao zasebni slučaj. Putanje leta zrakoplova THY6085 turskog zračnog prijevoznika prikazane su na slici 53. Putanja leta zrakoplova nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine značajno je zakrivljena i vidljivo duža u odnosu na onu koja je prolazila zračnim prostorom Ukrajine.



Slika 53. Putanja leta zrakoplova THY6085 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].

Detaljna usporedba putanja leta zrakoplova i podatci o neučinkovitosti leta prikazani su u tablici 30. Nova ruta zrakoplova duljine je 1405,6 NM, a neučinkovitost rute povećana je za 60,14%. Ukupna neučinkovitost rute iznosi 62,57% tj. prijeđena je dodatna udaljenost od 540,97 NM.

Tablica 30. Usporedba putanja leta zrakoplova THY6085 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [24], [30].

G [NM]	N	S [NM]	Min [NM]	F [NM]	A [NM]	Ds [NM]	D3 [NM]
864,63	1,00	885,60	1405,60	885,60	1405,60	866,65	960,17

Xt [NM]	Xt [%]	Xi [NM]	Xi [%]	Xr [NM]	Xr [%]	Xa [NM]	Xa [%]
540,97	62,57	95,54	11,05	445,43	51,52	520,01	60,14

Xs [NM]	Xs [%]	Xrs [NM]	Xrs [%]	Xis [NM]	Xis [%]
20,96	2,42	18,95	2,19	2,02	0,23

Drugi let koji je promijenio rutu na relaciji Moskva – Istanbul je let AFL2137 ruskog zračnog prijevoznika, a njegove putanje leta prikazane su na slici 54. Iako su obje putanje leta približne i nisu ulazile u zračni prostor Ukrajine, kao posljedica zatvaranja zračnog prostora Ukrajine povećan je rizik leta u zračnom prostoru Rusije uz Ukrajinску granicu. Stoga se primjećuje kako nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine putanja leta zaobilazi zračni prostor Ukrajine u širokom luku prevaljujući veliku dodatnu udaljenost u usporedbi sa prethodnom putanjom leta.



Slika 54. Putanja leta zrakoplova AFL2137 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].

Detaljna usporedba putanja leta zrakoplova i podatci o neučinkovitosti leta prikazani su u tablici 31. Ukupna neučinkovitost rute nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine iznosi 107,04% što ukazuje na to kako je stvarna prijeđena udaljenost dvostruko veća od ortodromske udaljenosti. Neučinkovitost nove rute veća je 69,87% u odnosu na rutu prije zatvaranja Ukrajinškog zračnog prostora.

Tablica 31. Usporedba putanja leta zrakoplova AFL2137 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [24], [31].

G [NM]	N	S [NM]	Min [NM]	F [NM]	A [NM]	Ds [NM]	D3 [NM]
864,63	1,00	1185,99	1790,10	1185,99	1790,10	877,62	885,11

Xt [NM]	Xt [%]	Xi [NM]	Xi [%]	Xr [NM]	Xr [%]	Xa [NM]	Xa [%]
925,46	107,04	20,48	2,37	904,99	104,67	604,11	69,87

Xs [NM]	Xs [%]	Xrs [NM]	Xrs [%]	Xis [NM]	Xis [%]
321,35	37,17	308,37	35,66	12,99	1,50

6.2 Minsk – Istanbul let BRU785

Drugi par gradova koji će biti analiziran je Minsk – Istanbul. Putanje leta zrakoplova BRU785 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine prikazane su na slici 55. Putanja prije zatvaranja zračnog prostora Ukrajine bila je gotovo ravna. Važno je napomenuti kako bjeloruski zračni prijevoznici kao i ruski zračni prijevoznici imaju zabranu korištenja europskog zračnog prostora. Nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine putanja leta prolazi zračnim prostorom Rusije te zaobilazi Ukrajinu i opasne zračne prostore u ruskom zračnom prostoru na isti način kao i ruski zračni prijevoznik u prethodnom slučaju. Duljina rute kroz ruski zračni prostor vidljivo je puno neučinkovitija.



Slika 55. Putanja leta zrakoplova BRU785 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].

Detaljna usporedba putanja leta zrakoplova i podatci o neučinkovitosti leta prikazani su u tablici 32. Ukupna neučinkovitost nove rute leta iznosi ekstremnih 207,04%, a prijeđena je dodatna udaljenost u iznosu od 1401,65 NM u odnosu na ortodromsku udaljenosti. Neučinkovitost rute povećana je za 205,86%.

Tablica 32. Usporedba putanja leta zrakoplova BRU785 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [25], [32].

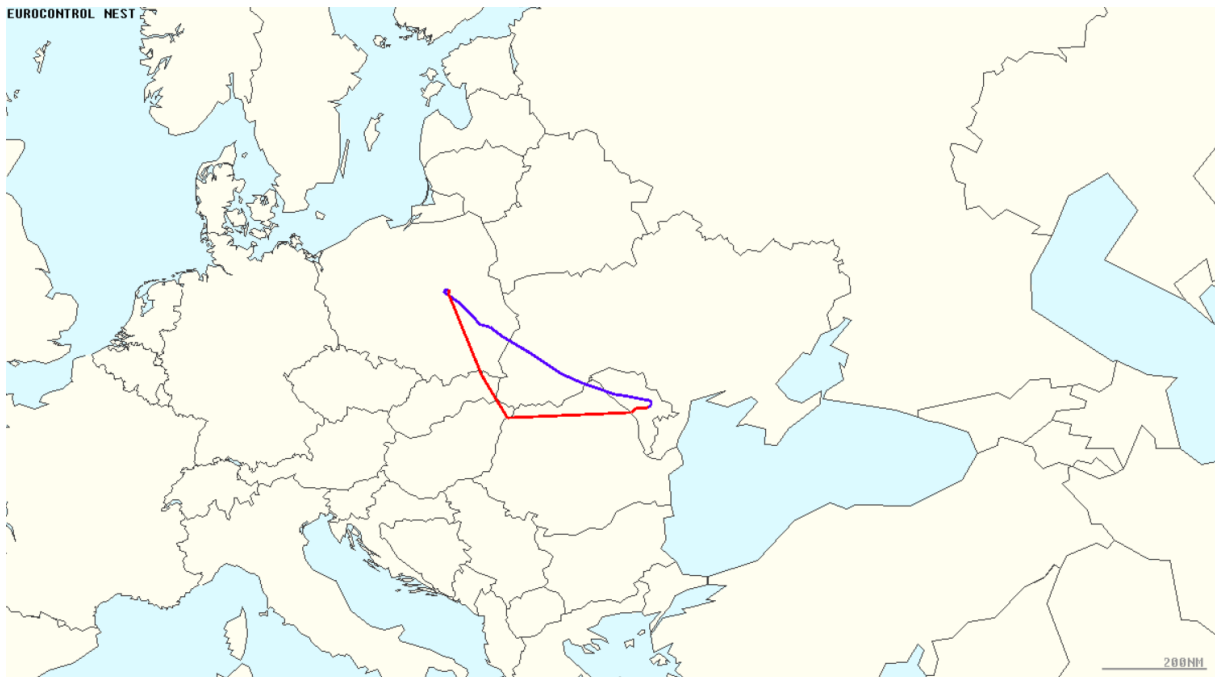
G [NM]	N	S [NM]	Min [NM]	F [NM]	A [NM]	Ds [NM]	D3 [NM]
676,99	1,00	685,03	2078,64	685,03	2078,64	678,00	746,02

Xt [NM]	Xt [%]	Xi [NM]	Xi [%]	Xr [NM]	Xr [%]	Xa [NM]	Xa [%]
1401,65	207,04	69,03	10,20	1332,62	196,85	1393,61	205,86

Xs [NM]	Xs [%]	Xrs [NM]	Xrs [%]	Xis [NM]	Xis [%]
8,04	1,19	7,03	1,04	1,01	0,15

6.3 Varšava – Kišinjev let LOT513

Putanje leta zrakoplova LOT513 koji je bio primoran promijeniti rutu leta nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine prikazane su na slici 56. Može se vidjeti kako za razliku od izravne rute koja je na jednom dijelu prolazila zračnim prostorom Ukrajine, nova ruta prolazi uz samu granicu zračnog prostora Ukrajine prije promjene pravca leta na granici Mađarske i Rumunjske.



Slika 56. Putanja leta zrakoplova LOT513 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].

Detaljna usporedba putanja leta zrakoplova i podatci o neučinkovitosti leta prikazani su u tablici 33. Ukupna neučinkovitost rute koja zaobilazi zračni prostor Ukrajine iznosi 27,14%. Neučinkovitost rute povećala se je 24,73% u odnosu na rutu kroz zračni prostor Ukrajine.

Tablica 33. Usporedba putanja leta zrakoplova LOT513 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [26], [32].

G [NM]	N	S [NM]	Min [NM]	F [NM]	A [NM]	Ds [NM]	D3 [NM]
360,97	1,00	369,70	458,95	369,70	458,95	363,16	383,06

Xt [NM]	Xt [%]	Xi [NM]	Xi [%]	Xr [NM]	Xr [%]	Xa [NM]	Xa [%]
97,98	27,14	22,09	6,12	75,89	21,02	89,25	24,73

Xs [NM]	Xs [%]	Xrs [NM]	Xrs [%]	Xis [NM]	Xis [%]
8,73	2,42	6,54	1,81	2,19	0,60

6.4 Riga – Larnaka let BTI658

Putanja leta zrakoplova BTI658 između para gradova Riga – Larnaka prikazana je na slici 57. Uočava se kako putanja leta prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine nije značajno promijenjena osim lateralne devijacije kao posljedica obilaska zračnog prostora Ukrajine. Umjesto prolaska kroz zračni prostor Ukrajine, nova putanja leta prolazi kroz zračni prostor Slovačke i Mađarske.



Slika 57. Putanja leta zrakoplova BTI658 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].

Detaljna usporedba putanja leta zrakoplova i podatci o neučinkovitosti leta prikazani su u tablici 34. Vidljivo je kako je neučinkovitost rute porasla za 5,39% u odnosu na rutu koja je prolazila zračnim prostorom Ukrajine i sada iznosi 10,96%.

Tablica 34. Usporedba putanja leta zrakoplova BTI658 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [27], [31].

G [NM]	N	S [NM]	Min [NM]	F [NM]	A [NM]	Ds [NM]	D3 [NM]
1299,66	1,00	1372,13	1442,14	1372,13	1442,14	1319,14	1319,22

Xt [NM]	Xt [%]	Xi [NM]	Xi [%]	Xr [NM]	Xr [%]	Xa [NM]	Xa [%]
142,48	10,96	19,57	1,51	122,92	9,46	70,00	5,39

Xs [NM]	Xs [%]	Xrs [NM]	Xrs [%]	Xis [NM]	Xis [%]
72,48	5,58	52,99	4,08	19,48	1,50

6.5 Varšava – Tbilisi let LOT7EP

Sljedeći par gradova koji će biti analiziran je Varšava – Tbilisi. Putanja leta zrakoplova LOT7EP prikazana je na slici 58. Može se primijetiti kako putanja leta prije zatvaranja zračnog prostora Ukrajine nije bila ravna, na samo malom dijelu rute prolazila je kroz Ukrajiniski zračni prostor. Putanja leta nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine zaobilazi zračni prostor Ukrajine kroz zračni prostor Slovačke i Mađarske, a iznad crnog mora prati istu putanju kao i prije.



Slika 58. Putanja leta zrakoplova LOT7EP prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].

Detaljna usporedba putanja leta zrakoplova i podatci o neučinkovitosti leta prikazani su u tablici 35. Neučinkovitost nove rute u odnosu na rutu prije zatvaranja zračnog prostora Ukrajine povećala se je za 9,57% te sada iznosi 23,67%.

Tablica 35. Usporedba putanja leta zrakoplova BT1658 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [27], [33].

G [NM]	N	S [NM]	Min [NM]	F [NM]	A [NM]	Ds [NM]	D3 [NM]
1079,12	1,00	1231,30	1334,53	1231,30	1334,53	1100,47	1138,67

Xt [NM]	Xt [%]	Xi [NM]	Xi [%]	Xr [NM]	Xr [%]	Xa [NM]	Xa [%]
255,42	23,67	59,55	5,52	195,86	18,15	103,24	9,57

Xs [NM]	Xs [%]	Xrs [NM]	Xrs [%]	Xis [NM]	Xis [%]
152,18	14,10	130,82	12,12	21,36	1,98

6.6 Minsk – Dubai let FDB1716

Putanja leta zrakoplova FDB1716 na relaciji između Gradova Minsk i Dubai prikazana je na slici 59. Primjećuje se kako se putanja leta zatvaranjem zračnog prostora Ukrajine nije značajno promijenila u pogledu duljine. Putanja zrakoplova umjesto zračnim prostorom Ukrajine prolazi kroz zračni prostor Rusije.



Slika 59. Putanja leta zrakoplova FDB1716 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].

Detaljna usporedba putanja leta zrakoplova i podatci o neučinkovitosti leta prikazani su u tablici 36. Ukupna neučinkovitost rute koja zaobilazi zračni prostor Ukrajine iznosi 21,94%, a povećala se je 13,3% u odnosu na rutu koja je prolazila kroz zračni prostor Ukrajine.

Tablica 36. Usporedba putanja leta zrakoplova BTI658 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [24], [31].

G [NM]	N	S [NM]	Min [NM]	F [NM]	A [NM]	Ds [NM]	D3 [NM]
2025,71	1,00	2200,78	2470,22	2200,78	2470,22	2033,39	2082,18

Xt [NM]	Xt [%]	Xi [NM]	Xi [%]	Xr [NM]	Xr [%]	Xa [NM]	Xa [%]
444,51	21,94	56,47	2,79	388,04	19,16	269,44	13,30

Xs [NM]	Xs [%]	Xrs [NM]	Xrs [%]	Xis [NM]	Xis [%]
175,07	8,64	167,39	8,26	7,68	0,38

6.7 Riga – Kišinjev T7DYN

Sljedeći par gradova koji će biti analiziran je Varšava – Tbilisi. Putanja leta zrakoplova T7DYN prikazana je na slici 60. Vizualnom usporedbom putanja leta primjećuje se kako je došlo do velike dodatne prijeđene udaljenosti i porastu neučinkovitosti kod leta koji je zaobilazio zračni prostor Ukrajine.



Slika 60. Putanja leta zrakoplova T7DYN prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].

Detaljna usporedba putanja leta zrakoplova i podatci o neučinkovitosti leta prikazani su u tablici 37. Zabilježen je veliki porast neučinkovitosti putanje leta od 34,55%. Dodatna prijeđena udaljenost u odnosu na ortodromsku udaljenost iznosi 201 NM te je ukupna neučinkovitost rute koja zaobilazi zračni prostor Ukrajine 36,76%.

Tablica 37. Usporedba putanja leta zrakoplova T7DYN prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [28], [31].

G [NM]	N	S [NM]	Min [NM]	F [NM]	A [NM]	Ds [NM]	D3 [NM]
546,79	1,00	558,89	747,79	558,89	747,79	549,46	577,41

Xt [NM]	Xt [%]	Xi [NM]	Xi [%]	Xr [NM]	Xr [%]	Xa [NM]	Xa [%]
201,00	36,76	30,63	5,60	170,38	31,16	188,90	34,55

Xs [NM]	Xs [%]	Xrs [NM]	Xrs [%]	Xis [NM]	Xis [%]
12,10	2,21	9,44	1,73	2,67	0,49

6.8 Varšava – Istanbul let LOT 135

Putanja leta zrakoplova LOT135 između Varšave i Istanbula prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine prikazan je na slici 61. Vidljivo je kako se putanja leta zrakoplova u ovom slučaju nije značajno promijenila u pogledu duljine. Umjesto zračnim prostorom Ukrajine putanja leta prolazi zračnim prostorom Slovačke i Mađarske.



Slika 61. Putanja leta zrakoplova LOT135 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].

Detaljna usporedba putanja leta zrakoplova i podatci o neučinkovitosti leta prikazani su u tablici 38. Zatvaranje zračnog prostora Ukrajine od svih obrađenih letova najmanje je utjecalo na ovaj let. Neučinkovitost rute povećala se je 2,58% te ukupna neučinkovitost obilazne rute iznosi 5,34%.

Tablica 38. Usporedba putanja leta zrakoplova LOT135 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [26], [31].

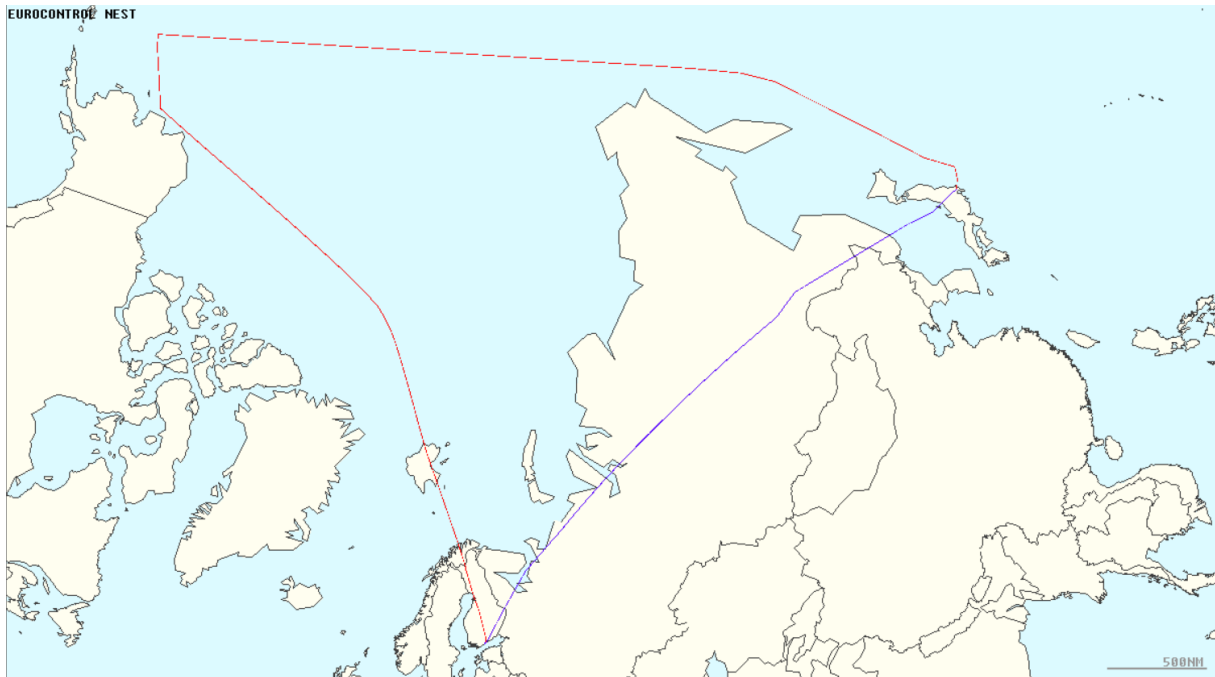
G [NM]	N	S [NM]	Min [NM]	F [NM]	A [NM]	Ds [NM]	D3 [NM]
646,69	1,00	664,57	681,25	664,57	681,25	647,06	655,73

Xt [NM]	Xt [%]	Xi [NM]	Xi [%]	Xr [NM]	Xr [%]	Xa [NM]	Xa [%]
34,56	5,34	9,05	1,40	25,52	3,95	16,67	2,58

Xs [NM]	Xs [%]	Xrs [NM]	Xrs [%]	Xis [NM]	Xis [%]
17,89	2,77	17,51	2,71	0,38	0,59

6.9 Helsinki – Tokio let FIN74

Jedan od parova gradova koji povezuje Europu i Aziju je Helsinki – Tokio. Putanja leta zrakoplova FIN74 na toj liniji prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Rusije za europske zračne prijevoznike prikazana je na slici 62. Primjećuje se kako nova putanja leta u potpunosti zaobilazi zračni prostor Rusije prelazeći daleko veću udaljenost nego prije zatvaranja zračnog prostora. Samim povećanjem prijeđene udaljenosti povećana je i neučinkovitost leta.



Slika 62. Putanja leta zrakoplova FIN74 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Rusije [18].

Detaljna usporedba putanja leta zrakoplova i podatci o neučinkovitosti leta prikazani su u tablici 39. Putanja koja je prolazila zračnim prostorom Rusije bila je vrlo učinkovita, a zaobilazanjem zračnog prostora Rusije neučinkovitost leta porasla je za čak 41,43%. Ukupna neučinkovitost rute koja zaobilazi zračni prostor Rusije iznosi 42,05%.

Tablica 39. Usporedba putanja leta zrakoplova FIN74 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Rusije [28], [31].

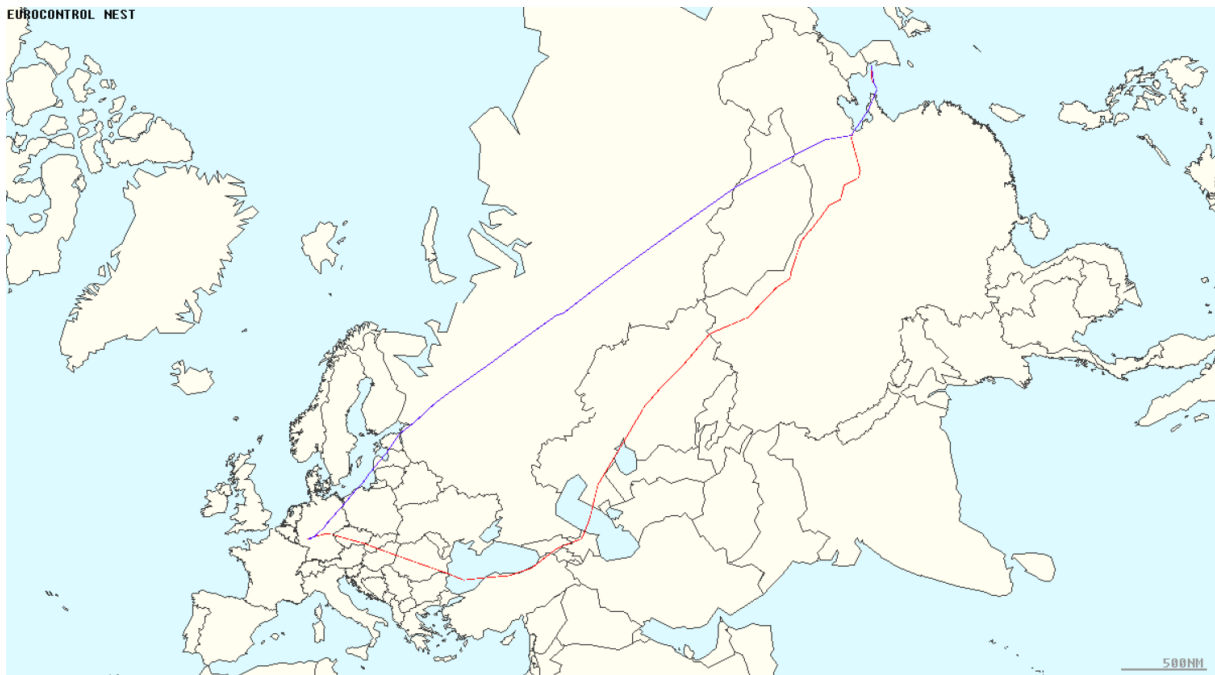
G [NM]	N	S [NM]	Min [NM]	F [NM]	A [NM]	Ds [NM]	D3 [NM]
4144,82	1,00	4170,59	5887,73	4170,59	5887,73	4144,84	4220,97

Xt [NM]	Xt [%]	Xi [NM]	Xi [%]	Xr [NM]	Xr [%]	Xa [NM]	Xa [%]
1742,91	42,05	76,15	1,84	1666,76	40,21	1717,14	41,43

Xs [NM]	Xs [%]	Xrs [NM]	Xrs [%]	Xis [NM]	Xis [%]
25,77	0,62	25,75	0,62	0,02	0,00

6.10 Düsseldorf – Seoul let AAR541

Posljednji let koji će biti analiziran je let zrakoplova AAR541 na relaciji Düsseldorf – Seoul čije su putanje leta prikazane na slici 63. Za razliku od prethodnog slučaja gdje je putanja leta zrakoplova prolazila sjevernije od zračnog prostora Rusije, let AAR541 zračni prostor Rusije zaobilazi kretanjem južnije od zračnog prostora Rusije. Također se može primijetiti kako je došlo do značajnog produljenja rute, a time i povećanja neučinkovitosti.



Slika 63. Putanja leta zrakoplova AAR541 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Rusije [18].

Detaljna usporedba putanja leta zrakoplova i podatci o neučinkovitosti leta prikazani su u tablici 40. Zabilježen je veliki porast neučinkovitosti putanje leta od 18,02%. Dodatna prijeđena udaljenost u odnosu na ortodromsku udaljenost iznosi 987,66 NM te je ukupna neučinkovitost rute koja zaobilazi zračni prostor Rusije 21,8%.

Tablica 40. Usporedba putanja leta zrakoplova AAR541 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Rusije [26], [31].

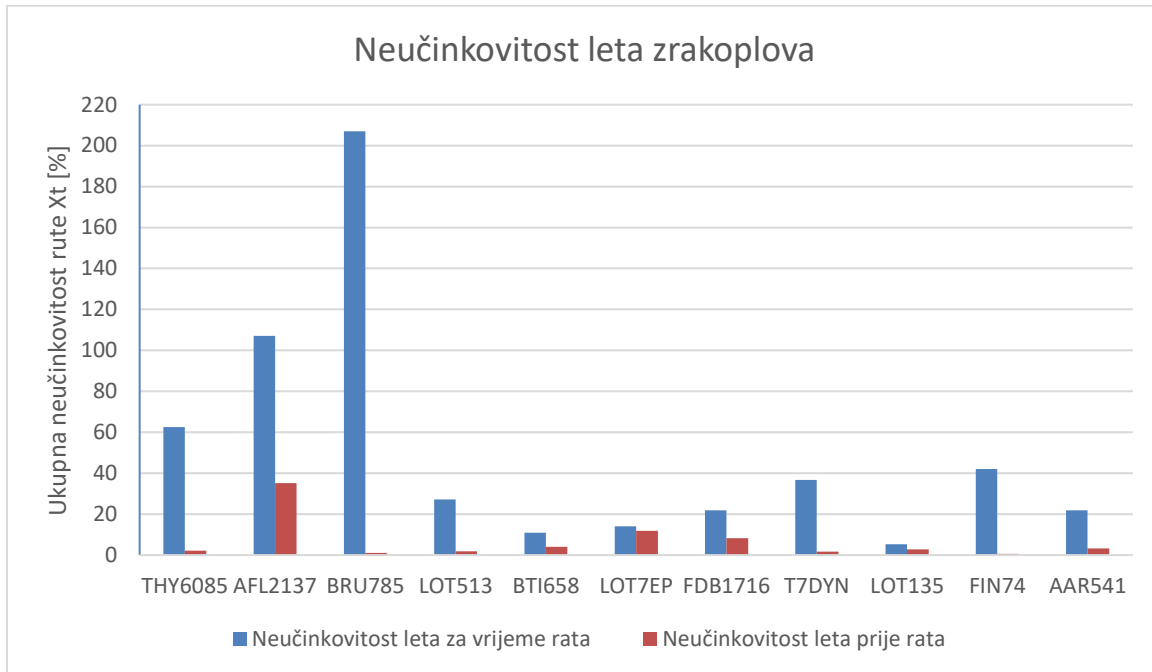
G [NM]	N	S [NM]	Min [NM]	F [NM]	A [NM]	Ds [NM]	D3 [NM]
4529,82	1,00	4701,40	5517,48	4701,40	5517,48	4551,52	4552,69

Xt [NM]	Xt [%]	Xi [NM]	Xi [%]	Xr [NM]	Xr [%]	Xa [NM]	Xa [%]
987,66	21,80	22,87	0,50	964,79	21,30	816,08	18,02

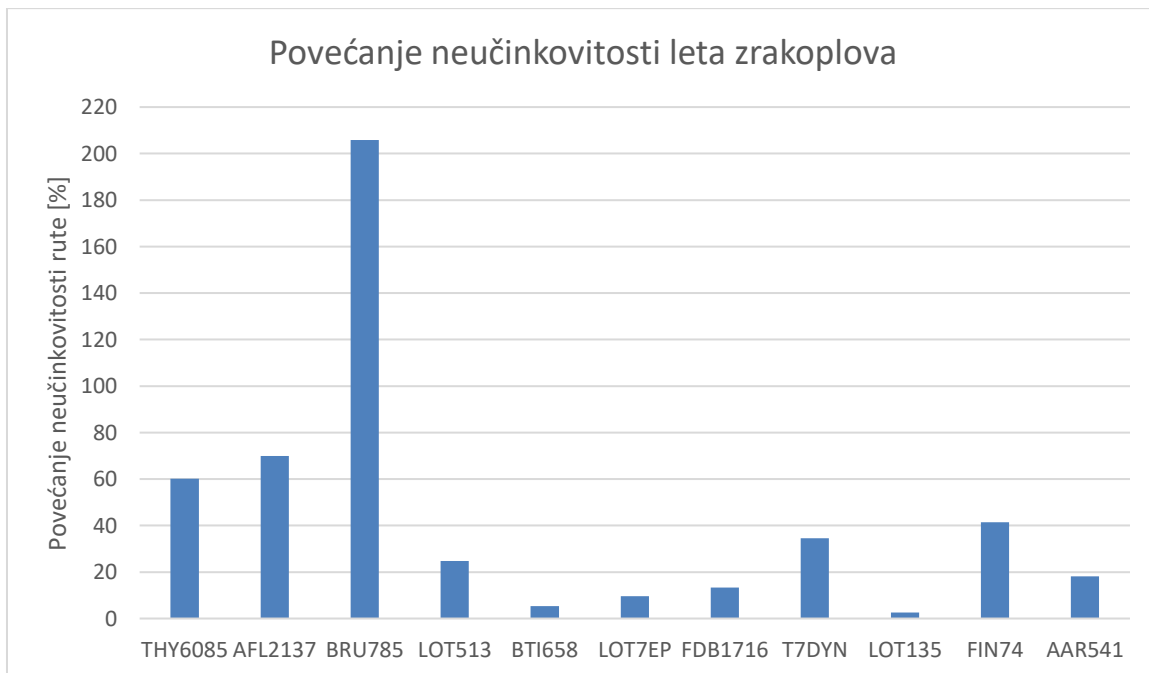
Xs [NM]	Xs [%]	Xrs [NM]	Xrs [%]	Xis [NM]	Xis [%]
171,58	3,79	149,88	3,31	21,71	0,48

6.11 Grafički prikaz analize rezultata

Međusobna usporedba neučinkovitosti leta zrakoplova koji su analizirani u prethodnom poglavlju prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine prikazana je na slici 64. Na slici 65 prikazan je porast neučinkovitosti rute tih istih zrakoplova.



Slika 64. Usporedba neučinkovitosti leta zrakoplova prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine.



Slika 65. Povećanje neučinkovitosti rute zrakoplova prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine.

7. Zaključak

Zračni promet je jedna od najvažnijih prometnih grana. Iznimno je osjetljiv na krize i stanje ekonomije, a ovisi i o mnogim drugim faktorima poput sigurnosti, političkih napetosti, prirodnih katastrofa i pandemija. Tijekom pandemije SARS-CoV-2 zračni promet doživio je dramatičan pad zbog ograničenih putovanja i smanjene potražnje. Političke napetosti i ratovi mogu dovesti do zatvaranja zračnog prostora i preusmjerenja prometnih tokova što rezultira smanjenjem ili povećanjem zračnog prometa u određenim regijama. Upravo to se je dogodilo u veljači 2022. godine nakon početka rata u Ukrajini.

Zbog rusko-ukrajinskog rata došlo je do zatvaranja zračnog prostora Ukrajine. Zatvaranje zračnog prostora Rusije kao odgovor na uvedene sankcije dodatno je pogoršalo situaciju. Potreba za preusmjerenjem prometnih tokova stvorila je dodatne probleme u povezivanju Europe i Azije što je rezultiralo potrebom za dodatnom prijeđenom udaljenošću leta.

Cilj ovog rada je prikazati utjecaj zračnog prostora Ukrajine na učinkovitost leta. Horizontalna učinkovitost leta kao razlika između stvarne prijeđene udaljenost i najkraće udaljenosti između dvije točke jedan je od važnijih pokazatelja učinkovitosti sustava, a koji ne uzima u obzir optimalnost leta. Horizontalna učinkovitost leta stvarnih ruta na području EUROCONTROL-a povećala se je za 0,32% u odnosu na 2021. godinu, a jedan od razloga povećanja je upravo zatvaranje zračnih prostora Ukrajine i Rusije. Analiza pojedinih letova provedena pomoću programskog alata NEST pokazala je značajan porast neučinkovitosti leta. Analizirani letovi imali su povećanje horizontalne neučinkovitosti leta u rasponu od 2,5% do 205%. Jedan od letova morao je prevaliti dodatnu udaljenost veću 1700NM od prijašnje rute.

Učinkovitost leta kroz cijelu godinu i za sav promet nije bilo moguće prezentirati zbog karakteristika programa NEST upotrebljavanog za analizu. Program NEST ne omogućuje dobivanje izlazne datoteke trajektorija zrakoplova za vremenski period različit od 24 sata, a koja se koristi prilikom analize. Analizom podataka za sav promet kroz cijelu godinu na taj način dobila bi se velika količina podataka koju bi bilo nemoguće obraditi na adekvatan način. Stoga su odabrani pojedini parovi gradova kako bi se obuhvatili letovi na koje je zatvaranje zračnog prostora Ukrajine i Rusije djelovalo različitim intenzitetom u pogledu učinkovitosti leta.

Na kraju ovog završnog rada može se zaključiti kako je utjecaj zatvaranja zračnog prostora Ukrajine doveo do povećanja neučinkovitosti leta na području EUROCONTROL-a.

Bibliografija

- [1] »Britannica,« [Mrežno]. Available: <https://www.britannica.com/event/2022-Russian-invasion-of-Ukraine>. [Pokušaj pristupa 19. svibanj 2023.].
- [2] »CNBC,« [Mrežno]. Available: <https://www.cnbc.com/2022/01/27/how-russia-invaded-ukraine-in-2014-and-how-the-markets-tanked.html>. [Pokušaj pristupa 19. svibanj 2023.].
- [3] »Outlook India,« [Mrežno]. Available: <https://www.outlookindia.com/international/roots-of-the-war-a-peek-into-russo-ukraine-conflict-news-245495>. [Pokušaj pristupa 19. svibanj 2023.].
- [4] »CFR,« [Mrežno]. Available: <https://www.cfr.org/global-conflict-tracker/conflict/conflict-ukraine>. [Pokušaj pristupa 19. svibanj 2023.].
- [5] »CBS News,« [Mrežno]. Available: <https://www.cbsnews.com/news/ukraine-news-russia-war-how-we-got-here/>. [Pokušaj pristupa 19. svibanj 2023.].
- [6] »The Washington Post,« [Mrežno]. Available: <https://www.washingtonpost.com/world/2022/02/24/ukraine-russia-denials/>. [Pokušaj pristupa 20. svibanj 2023.].
- [7] »Kremlin,« [Mrežno]. Available: <http://kremlin.ru/events/president/news/67835>. [Pokušaj pristupa 20. svibanj 2023.].
- [8] »Kremlin,« [Mrežno]. Available: <http://kremlin.ru/events/president/news/67843>. [Pokušaj pristupa 20. svibanj 2023.].
- [9] »Safe airspace,« [Mrežno]. Available: <https://safeairspace.net/ukraine/>. [Pokušaj pristupa 20. svibanj 2023.].
- [10] »Safe airspace,« [Mrežno]. Available: <https://safeairspace.net/moldova/>. [Pokušaj pristupa 20. svibanj 2023.].
- [11] »OPS Group,« [Mrežno]. Available: <https://ops.group/blog/ukraine-russia-update/>. [Pokušaj pristupa 20. svibanj 2023.].
- [12] »Consilium Europa,« [Mrežno]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/sanctions/restrictive-measures-against-russia-over-ukraine/sanctions-against-russia-explained/>. [Pokušaj pristupa 21. svibanj 2023.].
- [13] »Consilium Europa,« [Mrežno]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/02/28/eu-adopts-new-set-of-measures-to-respond-to-russia-s-military-aggression-against-ukraine/>. [Pokušaj pristupa 21. svibanj 2023.].
- [14] »Business Insider,« [Mrežno]. Available: <https://www.businessinsider.com/map-shows-countries-that-closed-airspace-russia-over-ukraine-war-2022-3>. [Pokušaj pristupa 29. svibanj 2023.].

- [15] »Reuters,« [Mrežno]. Available: <https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/russia-imposes-sweeping-flight-bans-airlines-36-countries-2022-02-28/>. [Pokušaj pristupa 21. svibanj 2023.].
- [16] »NEST User Guide,« EUROCONTROL, 2023..
- [17] »Eurocontrol,« [Mrežno]. Available: <https://www.eurocontrol.int/model/network-strategic-modelling-tool>. [Pokušaj pristupa 10. srpanj 2023.].
- [18] EUROCONTROL, *NEST 1.8.3*.
- [19] *NEST AIRAC 2205*.
- [20] *NEST AIRAC 2203*.
- [21] *NEST AIRAC 2103*.
- [22] »ANSpformance,« [Mrežno]. Available: <https://ansperformance.eu/methodology/horizontal-flight-efficiency-pi/#achieved-distances-and-network-contribution-1>. [Pokušaj pristupa 11. srpanj 2023.].
- [23] »Performance review report,« EUROCONTROL, 2021..
- [24] *NEST AIRAC 2108*.
- [25] *NEST AIRAC 2105*.
- [26] *NEST AIRAC 2201*.
- [27] *NEST AIRAC 2107*.
- [28] *NEST AIRAC 2101*.
- [29] »Performance review report,« EUROCONTROL, 2022..
- [30] *NEST AIRAC 2202*.
- [31] *NEST AIRAC 2301*.
- [32] *NEST AIRAC 2213*.
- [33] *NEST AIRAC 2204*.

Popis slika

Slika 1. Karta zatvorenih i opasnih zračnih prostora za civilno zrakoplovstvo [11].	5
Slika 2. Karta zemalja koje su zabranile ulazak ruskim zrakoplovima u vlastiti zračni prosto [14].	7
Slika 3. sučelje NEST programa [18].	8
Slika 4. Sučelje Route Length Extension Analysis [18].	9
Slika 5. Primjer izvješća o analizi duljine i ekstenzije rute [18], [19].	10
Slika 6. Primjer detaljne analize usporedbe dvije prometne datoteke [18], [20], [21].	10
Slika 7. Prva metoda izračuna neučinkovitosti rute [16].	10
Slika 8. Druga metoda izračuna ukupne neučinkovitosti rute [16].	11
Slika 9. HFE prikazana kao usporedba stvarne prijeđene udaljenosti tokom leta i ortodromske udaljenosti [22].	13
Slika 10. Zahtjev lokalne izvedbe na razini EU [22].	13
Slika 11. Udaljenost od odredišta prilikom ulaska i izlaska iz područja [22].	14
Slika 12. Udaljenost od polazišta prilikom ulaska i izlaska iz područja [22].	15
Slika 13. Slučaj savršene lokalne efikasnosti bez mrežnog doprinosa [22].	16
Slika 14. Neovisnost lokalne izvedbe u odnosu na izvedbu izvan lokalnog područja [22].	17
Slika 15. Područje EUROCONTROL-a sa 41 državom članicom i dvije države potpisnice sveobuhvatnog ugovora [23].	19
Slika 16. Ostvareni zračni promet 2021. godine na području EUROCONTROL-a [23].	20
Slika 17. Kretanje razina prometa u 2021. godini po državama članicama u usporedbi sa 2019. godinom [23].	21
Slika 18. Segmenti tržišta zračnog prometa u periodu od 2019. do 2022. godine [23].	21
Slika 19. Top 30 zračnih prijevoznika koji su ostvarili najveći broj letova [23].	22
Slika 20. Horizontalna en-route neučinkovitost u periodu od 2019. do 2022. godine [23].	23
Slika 21. Dodatna prijeđena udaljenost stvarne trajektorije i učinkovitost leta po državama u 2021. godini [23].	24
Slika 22. Horizontalna en-route efikasnost stvarne treajektorije rastavljena na komponente po državama članicama EUROCONTROL-a [23].	25
Slika 23. Putanje ostvarenih letova između Moskve i Istanbula 23. kolovoza 2021. [18].	26
Slika 24. Putanje ostvarenih letova između Minska i Istanbula 28. svibnja 2021. [18].	28
Slika 25. Putanje ostvarenih letova između Varšave i Kišinjeva 4. veljače 2022. [18].	29
Slika 26. Putanja ostvarenog leta između Rige i Larnake 1. kolovoza 2021. [18].	30
Slika 27. Putanje ostvarenih letova između Varšave i Tbilisija 8. kolovoza 2021. [18].	31
Slika 28. Putanje ostvarenih letova između Minska i Dubaija 20. kolovoza 2021. [18].	33
Slika 29. Putanja ostvarenog leta između Rige i Kišinjeva 31. siječnja 2021. [18].	35
Slika 30. Putanje ostvarenih letova između Varšave i Istanbula 1. veljače 2022. [18].	36
Slika 31. Putanje ostvarenih letova između Helsinkija i Tokija 7. veljače 2021. [18].	37
Slika 32. Putanje ostvarenih letova između Düsseldorfa i Seoula 2. veljače 2022. [18].	38
Slika 33. Zračni prostor Ukrajine i rute zrakoplova nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].	39
Slika 34. Ostvareni zračni promet 2022. godine na području EUROCONTROL-a [29].	40
Slika 35. Rast prometa raspodijeljen po državama [29].	41
Slika 36. Segmenti tržišta zračnog prometa u 2022. godini [29].	42
Slika 37. Top 30 zračnih prijevoznika po broju dnevnih letova u 2022. godini [29].	42
Slika 38. Horizontalna en-route učinkovitost leta za područje EUROCONTROL-a [29].	43
Slika 39. Promjena horizontalne učinkovitosti leta u periodu od ožujka do prosinca 2022. i 2019. godine [29].	44

Slika 40. Horizontalna en-route neučinkovitost stvarnih putanja po državama u 2022. godini [29].....	45
Slika 41. Lokalna i komponenta međupovezanosti horizontalne učinkovitosti leta po državama u 2022. godini [29].....	46
Slika 42. Putanje ostvarenih letova turskog zračnih prijevoznika između Moskve i Istanbula 14. ožujka 2022. [18].	47
Slika 43. Putanje ostvarenih letova ruskih zračnih prijevoznika između Moskve i Istanbula 13. veljače 2023. [18].	48
Slika 44. Putanje ostvarenih letova između Minska i Istanbula 13. siječnja 2023. [18].	49
Slika 45. Putanje ostvarenih letova između Varšave i Kišinjeva 18. siječnja 2023. [18].	50
Slika 46. Putanje ostvarenih letova između Rige i Larnake 5. veljače 2023. [18].	51
Slika 47. Putanje ostvarenih letova između Varšave i Tbilisija 8. svibnja 2022. [18].	52
Slika 48. Putanje ostvarenih letova između Minska i Dubaija 4. veljače 2023. [18].	53
Slika 49. Putanja ostvarenog leta između Rige i Kišinjeva 7. veljače 2023. [18].	54
Slika 50. Putanje ostvarenih letova između Varšave i Istanbula 31. siječnja 2023. [18].	55
Slika 51. Putanja ostvarenog leta između Helsinkija i Tokija 27. siječnja 2023. [18].	56
Slika 52. Putanje ostvarenih letova između Düsseldorfa i Seoula 28. siječnja 2023. [18].	57
Slika 53. Putanja leta zrakoplova THY6085 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].	59
Slika 54. Putanja leta zrakoplova AFL2137 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].	60
Slika 55. Putanja leta zrakoplova BRU785 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].	61
Slika 56. Putanja leta zrakoplova LOT513 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].	62
Slika 57. Putanja leta zrakoplova BTI658 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].	63
Slika 58. Putanja leta zrakoplova LOT7EP prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].	64
Slika 59. Putanja leta zrakoplova FDB1716 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].	65
Slika 60. Putanja leta zrakoplova T7DYN prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].	66
Slika 61. Putanja leta zrakoplova LOT135 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [18].	67
Slika 62. Putanja leta zrakoplova FIN74 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Rusije [18].	68
Slika 63. Putanja leta zrakoplova AAR541 prije (plavo) i nakon (crveno) zatvaranja zračnog prostora Rusije [18].	69
Slika 64. Usporedba neučinkovitosti leta zrakoplova prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine.	70
Slika 65. Povećanje neučinkovitosti rute zrakoplova prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine.	70

Popis Tablica

Tablica 1. Parametri korišteni pri izračunu ukupne neučinkovitosti rute prvom metodom [16].....	11
Tablica 2. Parametri korišteni pri izračunu ukupne neučinkovitosti rute drugom metodom [16].....	11
Tablica 3. Metoda izračuna ukupne neučinkovitosti rute [16].	12
Tablica 4. Karakteristika putanje leta zrakoplova ruskih zračnih prijevoznika između Moskve i Istanbula 23. kolovoza 2021. [18], [24].	27
Tablica 5. Karakteristika putanje leta zrakoplova turskih zračnih prijevoznika između Moskve i Istanbula 23. kolovoza 2021. [18], [24].	27
Tablica 6. Ukupna karakteristika putanja leta zrakoplova između Moskve i Istanbula 23. kolovoza 2021. [18], [24].	27
Tablica 7. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Minska i Istanbula 28. svibnja 2021. [18], [25].	28
Tablica 8. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Kišinjeva 4. veljače 2022. [18], [26].	29
Tablica 9. Karakteristika putanje leta zrakoplova između Rige i Larnake 1. kolovoza 2021. [18], [27]. ..	30
Tablica 10. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Tbilisija 8. kolovoza 2021. [18], [27].	32
Tablica 11. Ukupna karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Tbilisija 8. kolovoza 2021. [18], [27].	32
Tablica 12. Karakteristika putanje leta zrakoplova bjeloruskog zračnog prijevoznika između Minska i Istanbula 20. kolovoza 2021. [18], [24].	33
Tablica 13. Karakteristika putanje leta zrakoplova zračnog prijevoznika Ujedinjenih Arapskih Emirata između Minska i Istanbula 20. kolovoza 2021. [18], [24].	34
Tablica 14. Ukupna karakteristika putanja leta zrakoplova između Minska i Istanbula 20. kolovoza 2021. [18], [24].	34
Tablica 15. Karakteristika putanje leta zrakoplova između Rige i Kišinjeva 31. siječnja 2021. [18], [28].	35
Tablica 16. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Istanbula 1. veljače 2022. [18], [26].	36
Tablica 17. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Helsinkija i Tokija 7. veljače 2021. [18], [28].	37
Tablica 18. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Düsseldorfa i Seoula 2. veljače 2022. [18], [26].	38
Tablica 19. Karakteristika putanja leta zrakoplova turskog zračnog prijevoznika između Moskve i Istanbula 14. ožujka 2022. [18], [30].	48
Tablica 20. Karakteristika putanja leta zrakoplova rusog zračnog prijevoznika između Moskve i Istanbula 13. veljače 2023. [18], [31].	49
Tablica 21. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Minska i Istanbula 13. siječnja 2023. [18], [32].	50
Tablica 22. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Kišinjeva 18. siječnja 2023. [18], [32].	50
Tablica 23. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Rige i Larnake 5. veljače 2023. [18], [31]. ..	51
Tablica 24. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Tbilisija 8. svibnja 2022. [18], [33].	52
Tablica 25. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Minska i Dubaija 4. veljače 2023. [18], [31].	53

Tablica 26. Karakteristika putanje leta zrakoplova između Rige i Kišinjeva 7. veljače 2023. [18], [31].	54
Tablica 27. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Varšave i Istanbula 13. siječnja 2023. [18], [31].	55
Tablica 28. Karakteristika putanje leta zrakoplova između Helsinkija i Tokija 27. siječnja 2023. [18], [31].	56
Tablica 29. Karakteristika putanja leta zrakoplova između Düsseldorfa i Seoula 28. siječnja 2023. [18], [31].	57
Tablica 30. Usporedba putanja leta zrakoplova THY6085 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [24], [30].	59
Tablica 31. Usporedba putanja leta zrakoplova AFL2137 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [24], [31].	60
Tablica 32. Usporedba putanja leta zrakoplova BRU785 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [25], [32].	61
Tablica 33. Usporedba putanja leta zrakoplova LOT513 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [26], [32].	62
Tablica 34. Usporedba putanja leta zrakoplova BTI658 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [27], [31].	63
Tablica 35. Usporedba putanja leta zrakoplova BTI658 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [27], [33].	64
Tablica 36. Usporedba putanja leta zrakoplova BTI658 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [24], [31].	65
Tablica 37. Usporedba putanja leta zrakoplova T7DYN prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [28], [31].	66
Tablica 38. Usporedba putanja leta zrakoplova LOT135 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Ukrajine [26], [31].	67
Tablica 39. Usporedba putanja leta zrakoplova FIN74 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Rusije [28], [31].	68
Tablica 40. Usporedba putanja leta zrakoplova AAR541 prije i nakon zatvaranja zračnog prostora Rusije [26], [31].	69

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

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

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom Utjecaj zatvaranja zračnog prostora Ukrajine na učinkovitost leta , u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 06.09.2023

Luka Mičetić, Mičetić
(ime i prezime, potpis)