

Analiza mogućnosti smanjenja čekanja putnika u zračnim lukama

Jurčević, Deni

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:658360>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-01**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

DENI JURČEVIĆ

**ANALIZA MOGUĆNOSTI SMANJENJA ČEKANJA
PUTNIKA U ZRAČNIM LUKAMA**

DIPLOMSKI RAD

Rijeka, 2022.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET U RIJECI

**ANALIZA MOGUĆNOSTI SMANJENJA ČEKANJA PUTNIKA U
ZRAČNIM LUKAMA**

**ANALYSIS OF POSSIBILITIES TO REDUCE PASSENGER
WAITING IN AIRPORTS**

DIPLOMSKI RAD

Kolegij: Teorija redova čekanja

Mentor: prof. dr. sc. Svjetlana Hess

Student: Deni Jurčević

Studijski smjer: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112069543

Rijeka, rujan 2022.

Student: Deni Jurčević

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112069543

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam diplomski rad s naslovom

**ANALIZA MOGUĆNOSTI SMANJENJA ČEKANJA PUTNIKA U ZRAČNIM
LUKAMA**

izradio samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Svjetlane Hess.

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u diplomskom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student



Deni Jurčević

Student: Deni Jurčević

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112069543

IZJAVA STUDENTA – AUTORA O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG DIPLOMSKOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor diplomskog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa diplomskim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog diplomskog rada kao autorskog djela pod uvjetima Creative Commons licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student - autor



Handwritten signature of Deni Jurčević in blue ink on a light blue background.

SAŽETAK

Svaka prometna grana ili poduzeće u kojoj se pojavljuju redovi čekanja treba pronaći ravnotežu između dovoljnog kapaciteta za optimalno funkcioniranje i održavanja troškova na minimumu. Teorija redova čekanja ispituje funkcioniranje sustava masovnog usluživanja, omogućavajući razumijevanje, istraživanje, analizu i rješavanje problema koji se mogu pojaviti u takvim sustavima. U radu je pozornost usmjerena na moguća rješenja i buduće inovacije na području rješavanja problema redova čekanja u zračnim lukama kao i njihova implementacija. Također je naglašena važnost predviđanja i rješavanja novonastalih uskih grla u zračnim lukama te u tom slučaju primjene metode virtualnih redova čekanja.

Ključne riječi: teorija redova čekanja, uska grla, zračna luka, virtualni redovi čekanja

SUMMARY

Every transport branch or company where queues appear needs to find a balance between having enough capacity for optimal functioning and keeping costs to a minimum. Queuing theory examines the legitimacy of mass service systems, enabling the understanding, research, analysis, and resolution of problems that may arise in such systems. The paper focuses on possible solutions and future innovations in the field of solving the problem of queues at the airports and their implementation. The importance of predicting and solving newly created bottlenecks in airports and in that case applying the method of virtual queues was also emphasized.

Keywords: queuing theory, bottlenecks, air port, virtual queues

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
SUMMARY.....	I
1. UVOD.....	1
1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA	1
1.2. RADNA HIPOTEZA	1
1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA	1
1.4. ZNANSTVENE METODE	2
1.5. STRUKTURA RADA.....	2
2. TEORIJA REDOVA ČEKANJA	3
2.1. OSNOVNI POJMOVI REDOVA ČEKANJA	3
2.2. VRSTE REDOVA ČEKANJA	7
2.2. PARAMETRI I POKAZATELJI FUNKCIONIRANJA SUSTAVA.....	8
2.3. MODEL TROŠKOVA ČEKANJA.....	10
3. PROCES OBRADE PUTNIKA U ZRAČNOJ LUCI I POBOLJŠANJE TEORIJOM REDOVA ČEKANJA	11
3.1. KVALITETA USLUGE U ZRAČNIM LUKAMA	11
3.2. MJERENJE I ANALIZA PODPROCESA ODLASKA I DOLASKA.....	14
3.3. OPTIMIZACIJA LANCA USLUGE PRIMJENOM TEORIJE REDOVA ČEKANJA.....	21
4. ISTRAŽIVANJE SIGURNOSNE KONTROLE ZRAČNE LUKE TEMELJENO NA TEORIJI VIRTUALNOG REDA ČEKANJA	24
4.1. USPOSTAVA VIRTUALNOG MODELA ČEKANJA	24
4.2. SLUČAJ REDA ČEKANJA U KOJEM NIJE PRIMIJENJENA VIRTUALNA SIMULACIJA.....	26
4.3. SLUČAJ REDA ČEKANJA U KOJEM JE PRIMIJENJENA VIRTUALNA SIMULACIJA.....	26
4.4. USPOREDBA REZULTATA U RAZLIČITIM OKOLNOSTIMA	28

5. INOVATIVNE TEHNOLOGIJE I RJEŠENJA ZA UPRAVLJANJE REDOVIMA ČEKANJA PUTNIKA U ZRAČNIM LUKAMA.....	30
5.1. ODABIR I USVAJANJE TEHNOLOGIJE	30
5.2. NAJPROMETNIJE ZRAČNE LUKE NA SVIJETU.....	32
4.3. RJEŠENJA ZA SMANJENJE ČEKANJA U ZRAČNIM LUKAMA	34
4.4. PRIMJER AMSTERDAMSKE ZRAČNE LUKE SCHIPHOL.....	40
4.5. PRIMJER ZRAČNE LUKE AUCKLAND, NOVI ZELAND.....	41
6. ZAKLJUČAK	44
LITERATURA.....	45
POPIS SLIKA	47
POPIS DIJAGRAMA	47
POPIS TABLICA	47
POPIS GRAFIKONA	48

1. UVOD

Tema primjene metoda teorije redova čekanja osmišljena iz razloga istraživanja mogućih načina smanjenja čekanja na uslugu i analiziranja koliki utjecaj čekanje ima na funkcioniranje uslužne djelatnosti u nekoj prometnoj grani ili poduzeću.

1.1. PROBLEM, PREDMET I OBJEKTI ISTRAŽIVANJA

Problem istraživanja je čekanje na uslugu u zračnim lukama te stoga treba odrediti optimalne kapacitete koristeći teoriju redova čekanja. Ukoliko se promatraju zračne luke očito je da se prilagodbom broja kanala i ostalih čimbenika može uvelike unaprijediti njihovo poslovanje. Predmet istraživanja su parametri i pokazatelji funkcioniranja sustava masovnog opsluživanja te njihova međuzavisnost.

1.2. RADNA HIPOTEZA

Prometna poduzeća uvelike se oslanjaju na primjenu teorije redova čekanja kako bi se poboljšao protok robe ili putnika, izbjegla zagušenja i smanjio trošak.

1.3. SVRHA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Cilj rada je opisati kako funkcionira sustav sigurnosne provjere u zračnoj luci, identificirati sva uska grla i dati odgovor da li je sustav odgovarajuće optimiziran u skladu sa svim relevantnim kriterijima. Cilj je sagledati alternativna rješenja i vidjeti mogu li se ona koristiti u zračnim lukama diljem svijeta.

1.4. ZNANSTVENE METODE

Tijekom izrade ovog rada korištene su tehnike prikupljanja podataka, statističke metode, metoda deskripcije, metoda analize te metoda teorije redova čekanja.

1.5. STRUKTURA RADA

Struktura rada sastoji se od pet logično povezanih dijelova. Problematika rada, te njegovi ciljevi i pristup ukratko su opisani u prvom poglavlju pod naslovom "Uvod". Opisuju se izazovi istraživanja, predmet i objekt istraživanja te radna hipoteza.

Osnovne teorijske postavke potrebne za razumijevanje ovog rada definirane su u drugom poglavlju, "Teorija redova čekanja". Opisani su temelji uslužnog sustava, njegove komponente i različite vrste redova čekanja. Ovdje su detaljno predstavljene dvije vrste sustava koje su matematički obrađene u trećem poglavlju, zajedno sa značajkama uslužnog sustava i popisom pokazatelja funkcioniranja.

Treće poglavlje nosi naziv "Analiza mogućnosti za smanjenje čekanja i povećanje zadovoljstva putnika u zračnim lukama". U ovom poglavlju se polazi od postavke modela teorije redova čekanja za poboljšanje procesa obrade putnika u zračnoj luci pa do implementacije teorije virtualnog reda čekanja.

Četvrto poglavlje s naslovom "Inovativne tehnologije i rješenja za upravljanje redovima čekanja putnika u zračnim lukama" bazira se na rješenjima za smanjenje čekanja u zračnim lukama. Također se spominju i najprometnije zračne luke u svijetu s posebnom pažnjom na zračnu luku Auckland na Novom Zelandu i amsterdamsku zračnu luku Schiphol.

U petom dijelu rada "Zaključak", sažeto su opisana stečena saznanja ovim istraživanjem i prijedlozi za poboljšanje sustava sigurnosne provjere a koji se mogu primijeniti na realnim primjerima.

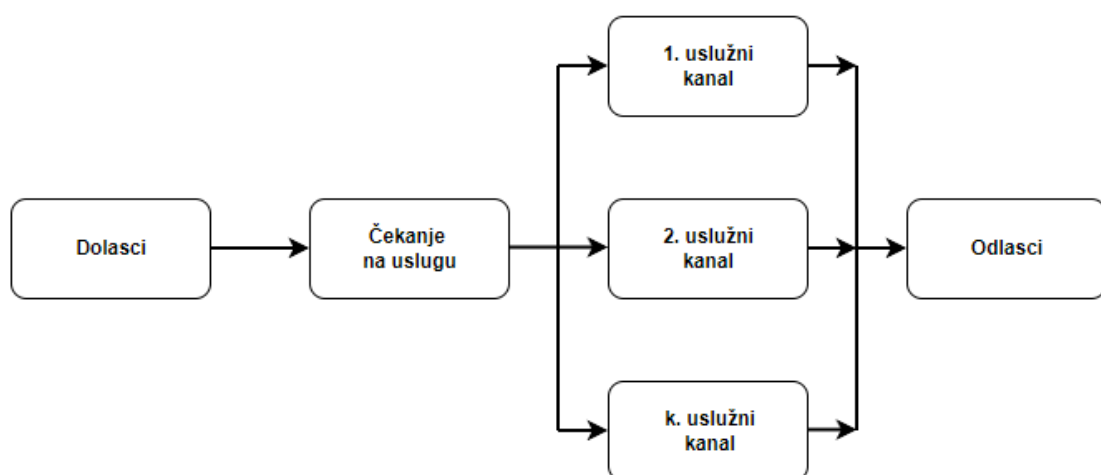
2. TEORIJA REDOVA ČEKANJA

Općenito govoreći svi su se nekada našli u neugodnoj situaciji čekanja u redu. U svakidašnjem životu čeka se redove u trgovini, banci, pošti ili pak u prometnim gužvama. Model teorije redova čekanja može se primijeniti za analizu slučajeva čekanja u svrhu izbjegavanja duljih čekanja ili gubitka vremena i/ili novca u uslužnoj i proizvodnoj industriji prouzrokovanih neučinkovitim korištenjem uslužnih mjesta.

2.1. OSNOVNI POJMOVI REDOVA ČEKANJA

Struktura procesa čekanja sastoji se od dolaska jedinica koje zahtijevaju uslugu ili obradu u sustavu, čekanje u redu ako su servisna mjesta zauzeta, servisiranje jedinica na jednom ili više servisnih kanala i na kraju odlazak jedinica iz sustava.

Slika 1. Struktura procesa čekanja



Izvor: [1]

Primarna svrha istraživanja sustava opsluživanja je njegovo poboljšanje, u smislu identificiranja akcija i koraka koje će poboljšati učinkovitost sustava, odnosno učiniti ga optimalnim s obzirom na skup kriterija koje daje istraživač. Jedna od prvih odgovornosti je definiranje operativnih parametara promatranog procesa usluge i minimalnog broja servisnih kanala potrebnih za zadovoljavanje traženog stupnja kvalitete usluge.

Osnovni pojmovi u teoriji redova čekanja su [1]:

- 1) ulazne jedinice (korisnici usluga, klijenti, potrošači, stranke, engl. customers)
- 2) kanali (uslužna mjesta, mjesta koja pružaju uslugu ili obavljaju obradu, engl. servers)
- 3) red čekanja (rep, linija, gomilanje, engl. queue)

Govori se o ulaznom toku jedinica, odnosno izlaznom toku jedinica, jer se ideja korisnika može poistovjetiti s događajem koji se događa na ulazu u uslužni sustav ili izlazu iz uslužnog sustava [2].

Sljedeći elementi opisuju sustav opsluživanja [1]:

- 1) razdioba vremena dolazaka jedinica (zahtjeva za uslugu),
- 2) razdioba vremena opsluživanja,
- 3) broj uslužnih mjesta (kanala opsluživanja),
- 4) kapacitet sustava opsluživanja,
- 5) redoslijed opsluživanja jedinica odnosno disciplina reda i
- 6) broj stupnjeva usluge.

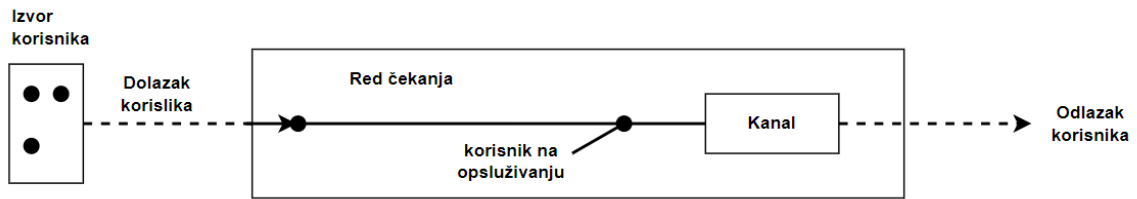
Razdoblje između dva uzastopna dolaska jedinica u uslužni sustav određuje razdiobu vremena dolaska jedinica. S obzirom na veličinu vremenskog intervala između dva dolaska, jedinični dolasci mogu biti s jednakim vremenskim intervalima, nejednakim, ali unaprijed određenim vremenskim intervalima i s nejednakim, ali slučajnim vremenskim intervalima, ali za koje je poznata njihova raspodjela vjerojatnosti .

Kada jedinica stigne na mjesto servisa, razdioba vremena opsluživanja je period tijekom kojeg će biti opslužen. Vrijeme usluge može biti konstantno, varijabilno sa unaprijed poznatim trajanjem ili potpuno slučajno [3].

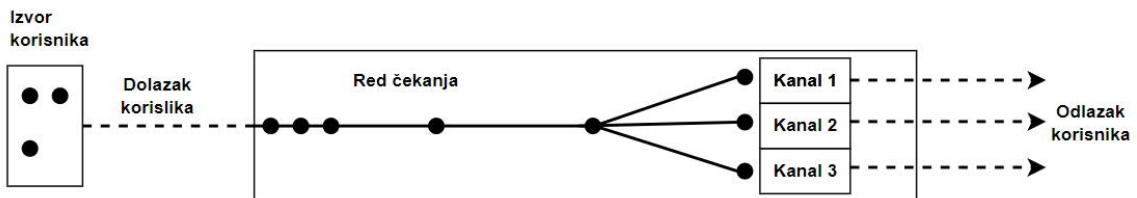
Broj servisnih mjesta u uslužnom sustavu na kojima se jedinice mogu istovremeno opsluživati naziva se brojem kanala.

Slika 2. Vrste redova čekanja

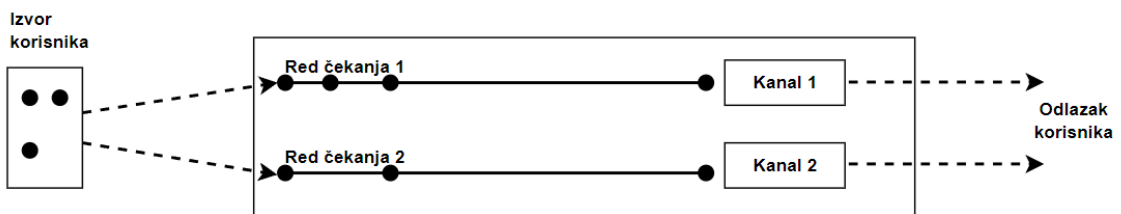
a) Jedan red čekanja, jedan kanal usluživanja



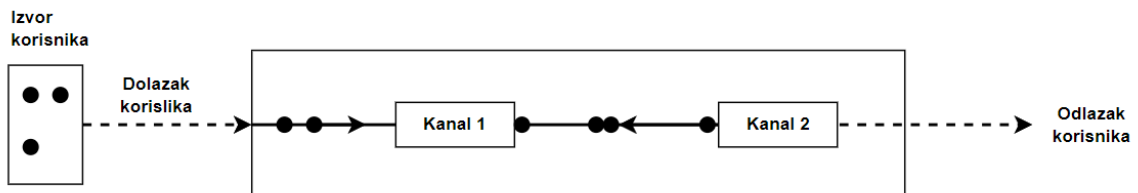
b) Jedan red čekanja, više paralelnih kanala usluživanja



c) Više redova čekanja, više paralelnih kanala usluživanja



d) Jedan red čekanja, više serijski povezanih kanala usluživanja



Izvor: [1]

Maksimalni broj jedinica koje čekaju u redu na opsluživanje i trenutno se opslužuju naziva se kapacitet sustava opsluživanja. Jedinica koja dolazi ne može ući u sustav ili u red ako je sustav potpuno zauzet. Sustavi velikog kapaciteta ponekad se pogrešno smatraju sustavima s beskonačnim kapacitetom.

Način na koji jedinice reda čekanja (korisnici usluge) pristupaju kanalu usluge naziva se disciplina reda. Postoji više mogućnosti [4]:

- 1) FIFO (first in - first out) je metoda opsluživanja koja uzima u obzir redoslijed dolazaka: tko je prvi stigao, prvi je opslužen.
- 2) LIFO (last in - first out) je sustav u kojem se daje prednost jedinici koja je bila zadnja u redu: zadnji ušao, prvi opslužen.
- 3) PRIOR je oznaka prioriteta usluge koja određenim servisnim jedinicama daje prvi prioritet.
- 4) SIRO se odnosi na metodu slučajnog odabira koja osigurava da svaka jedinica ima jednake šanse da bude uslužena bez obzira na to kada stigne u red.
- 5) kratica GD odnosi se na bilo koju drugu disciplinu čekanja.

S obzirom na gore navedene čimbenike koji čine specifičan proces čekanja, bilo je potrebno odrediti tip i vrstu problema čekanja. U tu svrhu prihvaćena je Kendall-ova notacija oblika [1]:

$$v / w / x / y / z$$

prema kojoj navedena slova označavaju:

- v - razdiobu vremena dolazaka jedinica u sustav,
- w - razdiobu vremena opsluživanja jedinica,
- x - broj kanala opsluživanja,
- y - kapacitet sustava opsluživanja,
- z - disciplinu reda čekanja.

Za v i w koriste se standardizirane oznake za razdiobe [1]:

- D - determinističko vrijeme između dolazaka i opsluživanja,
- M -eksponencijalna razdioba,
- E_k -Erlangova razdioba reda k ($k = 1,2,\dots$),
- G - bilo koja razdioba (uključujući M , E_k i D).

Ako y i z nisu navedeni, onda se podrazumijeva da je $y = \infty$, a $z = \text{FIFO}$.

2.2. VRSTE REDOVA ČEKANJA

Budući da se šest elemenata koji se koriste za opisivanje procesa usluge mogu pojaviti u velikom broju varijacija, u praksi postoji mnogo različitih tipova redova čekanja. Višekanalni sustavi imaju više servisnih kanala, dok jednokanalni sustavi imaju samo jedan.

Kod višekanalnih sustava red može biti:

- zajednički, što znači da za svaki pojedinačni zahtjev ne postoji određeni kanal na kojem će se jedinica opsluživati, a može biti bilo koji od postojećih kanala do trenutka opsluživanja i
- odvojeni red čekanja za svaku vrstu usluge kada zahtjev uđe u određeni red na temelju nekih kriterija i odabere određenu vrstu usluge.

Postoje deterministički i stohastički problemi reda čekanja koji se temelje na izvjesnosti procesa, tj. redoslijedu kojim jedinice ulaze u sustav i trajanju usluge. Vrijeme dolaska jedinica i vrijeme opsluživanja ili obrade poznati su i unaprijed određeni u determinističkom sustavu. Kao rezultat toga, za rješavanje takvih problema mogu se koristiti prilično jednostavni računski postupci. U praksi neće biti zagušenja sustava jer će organizacijske mjere omogućiti jedinicama da dođu i odu na vrijeme. Za razliku od determinističkih problema reda čekanja, dolasci jedinica i vremena usluge u stohastičkim sustavima su slučajne varijable. Kao rezultat toga, stohastički problemi su u fokusu istraživanja teorije redova čekanja.

Problem reda čekanja je otvoren ili zatvoren, ovisno o izvoru dolazaka jedinica. Intenzitet dolazaka u otvoreni uslužni sustav je neovisan o stanju sustava, a izvor korisnika usluge nalazi se izvan sustava. Za razliku od otvorenih sustava, intenzitet dolazaka jedinica

u zatvorene sustave određen je stanjem, a izvori jedinica nisu vanjski u odnosu na sustav, već unutarnji.

Prema mogućnosti pojavljivanja reda čekanja razlikuju se dvije vrste sustava masovnog opsluživanja:

- 1) sustavi s čekanjem jedinica u redu i
- 2) sustavi s otkazima jedinica.

"Čekaonica" i servisni kanal čine sustav s čekanjem. Ako su svi kanali zauzeti, jedinica se pridružuje redu čekanja i čeka uslugu dok jedan kanal ne postane dostupan. Tipičan primjer takvog sustava je opsluživanje brodova u luci, gdje ako su svi pristani u luci zauzeti brodovima koji su ranije došli, nastaje red. U sustavima s ograničenim brojem jedinica, ograničenja mogu uključivati broj mjesta u redu čekanja, maksimalno dopušteno vrijeme provedeno u redu čekanja i tako dalje. Ako su svi kanali zauzeti, sustav s otkazima jedinica je onaj u kojem jedinice napuštaju sustav opsluživanja. Riječ je o sustavima koji u praksi nemaju opremu za stvaranje redova.

Najčešće vrste sustava masovnog opsluživanja s čekanjem su [5]:

- 1) jednokanalni sustav s neograničenim brojem mjesta u redu čekanja ($S = 1, m = \infty$),
- 2) višekanalni sustav s neograničenim brojem mjesta u redu čekanja ($S > 1, m = \infty$),
- 3) jednokanalni sustav s ograničenim brojem mjesta u redu čekanja ($S = 1, m$ je konačan broj),
- 4) višekanalni sustav s ograničenim brojem mjesta u redu čekanja ($S > 1, m$ je konačan broj),
- 5) dvofazni sustav masovnog opsluživanja s čekanjem,
- 6) sustav s potpunom uzajamnom pomoći među kanalima,
- 7) sustav s prioritetom u opsluživanju.

2.2. PARAMETRI I POKAZATELJI FUNKCIONIRANJA SUSTAVA

Osnovni parametri u analizi sustava masovnog opsluživanja jesu [1]:

- λ - intenzitet toka dolazaka jedinica
- μ - intenzitet opsluživanja po kanalu
- S - broj kanala

Bitne značajke koje određuju određeni problem čekanja su intenzitet toka dolaska (λ) i intenzitet opsluživanja (μ). Intenzitet toka dolaska pokazuje kapacitet izvora iz kojeg jedinice dolaze u sustav, a intenzitet opsluživanja odražava kapacitet servisnih kanala. Oba se broja mogu procijeniti kao aritmetičke sredine ako su dostupni podaci o dolascima jedinica i broju usluga u jedinici vremena.

Na temelju polaznih parametara i svojstava konkretnog sustava masovnog opsluživanja mogu se izračunati odgovarajući pokazatelji. To su veličine kojima se izražava funkcioniranje sustava masovnog opsluživanja [1]:

- 1) stupanj opterećenja uslužnog mjesta (ρ),
- 2) koeficijent iskorištenja sustava (ρ/S),
- 3) vjerojatnost da se u sustavu opsluživanja ne nalazi nijedna jedinica, tj. da je kapacitet uslužnog mjesta neiskorišten (P_0),
- 4) vjerojatnost da se n jedinica nalazi u sustavu opsluživanja, tj. da se n jedinica upravo opslužuje ili da čekaju u redu da budu opslužene (P_n),
- 5) vjerojatnost da jedinica koja ulazi u sustav neće biti opslužena, tj. da će dobiti otkaz; vjerojatnost otkaza (neusluživanja) (P_{otk}),
- 6) vjerojatnost da će jedinica koja ulazi u sustav biti opslužena; vjerojatnost opsluživanja, odnosno relativna propusna sposobnost sustava opsluživanja ($P_{usl}=Q_R$),
- 7) apsolutna sposobnost sustava je broj jedinica koje će biti opslužene u jedinici vremena (Q_A),
- 8) prosječan broj jedinica u redu čekanja (L_Q),
- 9) prosječan broj jedinica u sustavu opsluživanja, tj. broj jedinica u redu čekanja plus one jedinice koje se upravo opslužuju (L),
- 10) prosječan broj jedinica koji se upravo opslužuje ($L_{usl}=L-L_Q$),
- 11) prosječno vrijeme provedeno u redu čekanja, tj. vrijeme čekanja jedinice prije nego što je opslužena (W_Q),
- 12) prosječno vrijeme provedeno u sustavu opsluživanja, tj. vrijeme čekanja jedinice uredi i vrijeme opsluživanja (W),
- 13) prosječno vrijeme opsluživanja jedinice ($W_{usl}=W-W_Q$),
- 14) prosječan broj slobodnih (nezauzetih) uslužnih mjesta ($S-\rho$),
- 15) vjerojatnost da su sva uslužna mjesta (kanali) zauzeta, tj. da će jedinica čekati ($P_{(n \geq S)}$).

2.3. MODEL TROŠKOVA ČEKANJA

Za eliminiranje čekanja koje se događa u uslužnom sustavu bio bi potreban ili vrlo velik broj kanala ili samo onoliko kanala koliko će se stalno koristiti. Međutim, ova konačna rješenja su nelogična, jer eliminiranje vremena čekanja jednog člana rezultira maksimalnim vremenom čekanja za drugog sudionika u sustavu čekanja. Ako se kao kriterij optimizacije odabere trošak, optimalan broj kanala je onaj za koji je zbroj navedenih troškova preračunatih za odabranu vremensku jedinicu najmanji.

Kao rezultat toga, najbolja odluka bit će ona koja minimizira gubitke koji nastaju kao rezultat čekanja. Ukupni trošak čekanja za jedan uslužni sustav (C) uključuje [1]:

- 1) troškove nastale kao posljedica čekanja jedinica (C_w) i
- 2) troškove nastali kao rezultat neiskorištenih uslužnih mjesta (C_p).

3. PROCES OBRADE PUTNIKA U ZRAČNOJ LUCI I POBOLJŠANJE TEORIJOM REDOVA ČEKANJA

Putnici u zračnoj luci očekuju nesmetan i personaliziran tretman, ali mnoštvo sudionika s različitim interesima, različitim ograničenjima i prioritetima, te posljedično različitim i autonomnim procesima, čine brzu uslugu otežanom, ponekad percipiranom kao neugodnom, što je posljedica mnoštva kontrola, velike procedure registracije i redova s kojima se putnici suočavaju. Brzina i protočnost uz bolju kvalitetu usluge predstavljaju temeljne zahtjeve putnika. Prepoznavanje ograničenja, odabir potencijalnih poboljšanja i razvijanje strategije za unapređenja procesa postupanja s putnicima moguće je izradom dijagrama toka i primjenom teorija redova čekanja. Cilj je poboljšati kvalitetu usluge putnicima smanjenjem vremena čekanja i uklanjanjem uskih grla kroz poboljšanje predviđanja, planiranja i raspodjele resursa u različitim komponentama sustava.

3.1. KVALITETA USLUGE U ZRAČNIM LUKAMA

Zračne luke postale su više od luke kroz koju ljudi putuju na putu do odredišta, te mnoge sada djeluju kao čvorišta koja šalju putnike diljem svijeta. Ova čvorišta stvaraju ekonomiju razmjera usklađivanjem potražnje za odredištima i redovnim letovima. Klijenti zračnih luka su različiti a uključuju putnike, zrakoplovne tvrtke, zaposlenike, koncesionare i druge. Međutim, usprkos razlikama, svi su ti korisnici u zračnoj luci s jedinom svrhom prelaska sa kopnenog na zračni način prijevoza [2].

Ovaj dio rada bazira se na putnicima zračnog prometa tj. na krajnje korisnike usluga zračnih luka budući da je njihovo zadovoljstvo ključ poslovnog uspjeha. To se zadovoljstvo događa kada kvaliteta usluge zračne luke ispuni ili premaši očekivanja putnika.

Pojmove kvalitete usluga zračne luke teško je definirati. Okvir za proučavanje kvalitete usluga zračne luke različite su zbog toga što su procesi i dizajn svake zračne luke malo drugačiji. Stoga je priroda očekivanja na kojima se temelji percepcija kvalitete usluga zračne luke nije jasna. Zračna luka prima putnike iz različitih zemalja svijeta a različite zemlje imaju različite tipove kulture. Stoga će putnici imati različite percepcije iste situacije, što povećava poteškoće upravi zračne luke u rješavanju pitanja zadovoljstva putnika.

Kvaliteta usluga može se mjeriti na više načina, a najčešće se koristi SERVQUAL model (engl. servicequality model). SERVQUAL predstavlja najpouzdaniji model za mjerenje kvalitete usluge u uslužnim djelatnostima te ima široku primjenu u znanosti, ali i u praksi. U procjeni kvalitete usluga zračnih luka razvili su se kriteriji prema klasičnom okviru SERVQUAL metodologije:

- pouzdanost (engl. reliability),
- sigurnost (engl. assurance)
- opipljivost (engl. tangibles)
- razumijevanje (engl. empathy)
- odaziv (engl. responsiveness).

Mnogi autori procjenjuju kvalitetu prema 22 kriterija, dok su drugi nadopunili dimenzije kvalitete grupom kriterija obrasca leta i koristili skup od 28 kriterija. Neki pak tvrde da je glavno mjerilo procjene poslovanja zračne luke mišljenje putnika, stoga je vrlo važno analizirati očekivanja putnika u pogledu usluga zračne luke. Oni su ti koji moraju definirati i vrednovati usluge.

Prilikom proučavanja aktivnosti i procesa u zračnoj luci potrebno je usredotočiti se ponajviše na vrijeme čekanja putnika u različitim fazama procesa usluge. Dok neki putnici vrijeme čekanja doživljavaju kao priliku za opuštanje, nešto što im omogućuje da pobjegnu od brze rutine radeći razne stvari, kao što su kupovina, jelo, gledanje filmova na računalu, korištenje zahoda, posao, itd ..., drugi to smatraju gubitkom vremena [6].

Ova kontradiktorna percepcija može se opravdati: prirodom putnika (primjerice, zapadne kulture često cijene "biti zauzet" a uspoređuju "nerad" s negativnim asocijacijama), financijskom situacijom putnika (neki putnici se suočavaju s čekanjem korištenjem plaćenih usluga zračnih luka, dok si manje imućni putnici nisu uvijek u mogućnosti priuštiti usluge zračne luke), te mjestom čekanja (redovi na sigurnosnim kontrolnim točkama zahtijevaju od putnika pridržavanje strogih procedura i pravila bez obzira koliko to bilo neugodno i dosadno te se sudionici osjećaju nelagodno i pod stresom na sigurnosnoj provjeri, što se smatra najneugodnijim iskustvom čekanja u zračnoj luci) [7].

Međunarodno udruženje zračnog prijevoza (IATA) povezuje kvalitetu usluge na terminalu zračne luke s njegovom sposobnošću obrade zahtjeva korisnika u određenom vremenu. Kvalitetu usluge IATA opisuje u obliku ljestvice vrijednosti u 6 razina:

- razina A: izvrsna razina usluge, uvjeti slobodnog protoka, bez čekanja i izvrsna razina udobnosti,
- razina B: visoka razina usluge, stabilni uvjeti protoka, vrlo kratka vremena čekanja i visoka razina udobnosti,
- razina C: dobra razina usluge, stabilni uvjeti protoka, prihvatljivo vrijeme čekanja i dobra razina udobnosti,
- razina D: odgovarajuća razina usluge, nestabilni uvjeti protoka, prihvatljiva kašnjenja za kratka razdoblja i odgovarajuća razina udobnosti,
- razina E: nedovoljna razina usluge, nestabilni uvjeti protoka, neprihvatljiva kašnjenja i nedovoljna razina udobnosti i
- razina F: neprihvatljiva razina usluge, uvjeti križanja protoka, kvar sustava, nepodnošljiva kašnjenja i nepodnošljiva razina udobnosti.

Također, IATA smatra vrijeme čekanja za različite faze ključnim čimbenikom kvalitete usluge.

Tablica 1. Maksimalno vrijeme čekanja koje preporučuje IATA

Modul	A	B	C	D	E
	Vrijeme čekanja Kratko do prihvatljivo			Vrijeme čekanja Prihvatljivo do dugo	
Prijava u ekonomsku klasu	0-12 min			12-30 min	
Prijava u poslovnu klasu	0-3 min			3-5 min	
Sigurnosna provjera	0-3 min			3-7 min	
Kontrola putovnica dolaska	0-5 min			5-10 min	
Kontrola putovnica odlaska	0-7 min			7-15 min	
Potraživanje prtljage	0-12 min			12-18 min	

Izvor: <https://www.iata.org/contentassets/935670dbc80e40f3a35b85a71ddd368e/cons-apcs-los-article-iar-2015.pdf> (p. 50)

Tablica 1 prikazuje maksimalno vrijeme čekanja u minutama, koje preporučuje IATA za svaku fazu obrade na temelju kvalitete usluge. Ovo vrijeme ovisi o složenom sustavu zračne luke po svojim sudionicima, strukturi i procesima. Stoga razumijevanje ovog sustava pomaže u optimizaciji vremena kako bi se poboljšala kvaliteta usluge putnicima. Moduli zračnih luka mogu se klasificirati u četiri skupine:

- planiranje kapaciteta,
- operativno planiranje i dizajn,

- sigurnosna politika i planiranje, te
- pregled učinkovitosti zračnih luka.

Pristupi mogu biti analitički, simulacijski i hibridni. Zahtijevaju različite razine detalja i imaju determinističke i stohastičke značajke. Moduli bilježe različite metrike performansi za operativnu učinkovitost, uključujući vrijeme usluge, duljinu čekanja i zagušenja [6].

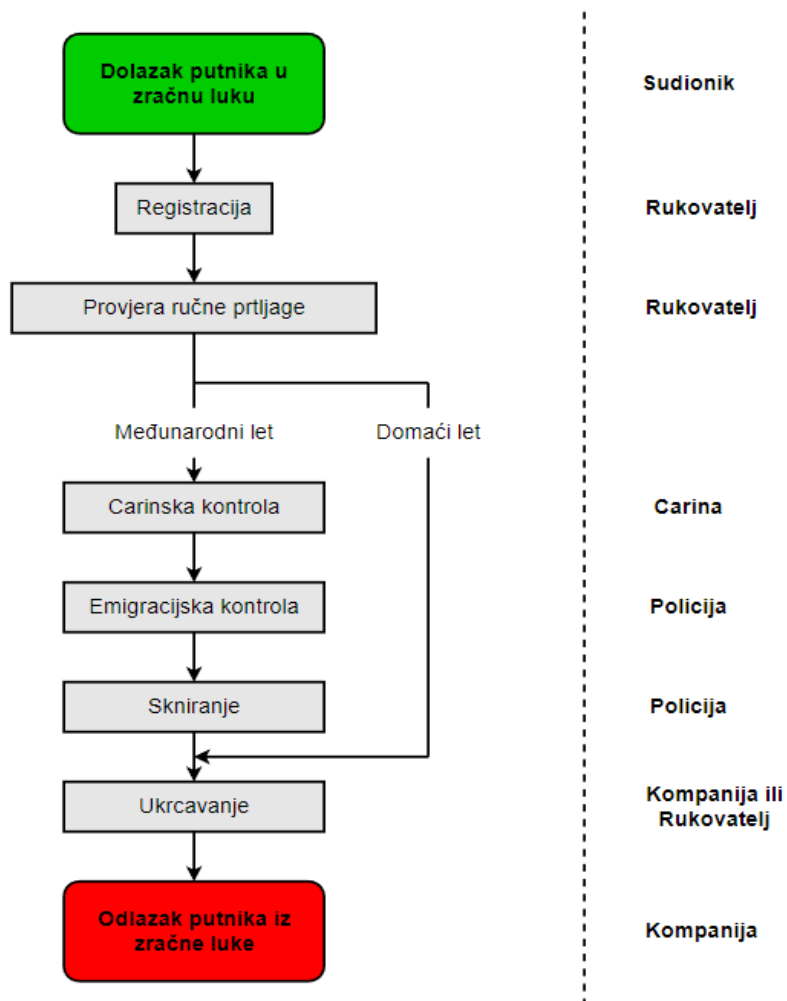
Teorija redova čekanja koja se koristila na razini ovog rada široko se primjenjuje na za optimizaciju procesa u sustavu zračne luke. Analiza sustava korištenjem teorije redova čekanja daje uvid u dužine redova i vremena čekanja po putniku. Sa stajališta pružatelja usluga, potrebno je odrediti broj zaposlenika i ostale kapacitete koji su potrebni za održavanje pokazatelja funkcioniranja sustava čekanja na prihvatljivoj razini [7].

3.2. MJERENJE I ANALIZA PODPROCESA ODLASKA I DOLASKA

Po dolasku u zračnu luku putnik započinje proces obrade koji se sastoji od formalnosti i usluge predaje prtljage. Ovaj proces karakterizira mnoštvo sudionika različitih interesa što komplicira lančano odvijanje usluga. Svaka pojedinačna intervencija doprinosi uspjehu ili neuspjehu procesa postupanja s putnicima kroz lanac obrade. Ovaj se proces može podijeliti na dva podprocesa: dolazak i odlazak, s obzirom na specifičnosti svake faze obrade. Ovladavanje slabom karikom, organizacija sučelja i uključenost svakog sudionika ključni su za uspjeh cjelokupne izvedbe.






Podproces odlaska. Podproces odlaska sastoji se od više modula obrade. Ovaj podproces je linearan gdje svaki putnik dobiva istu osnovnu uslugu prolazeći kroz niz standardiziranih koraka i od jedne operacije do druge prema unaprijed određenom slijedu. Za analizu ovog podprocesa prvo se koristi dijagram toka (dijagram 1) kako bi se pratili tokovi prema kojima putnici prolaze kroz podproces, a zatim dijagram podprocesa odlaska (dijagram 2) čiji je cilj provesti vremensku analizu koraka i operacija, grupiranih u pet glavnih faza: operacija, premještanje, pregled/kontrola, čekanje i skladištenje. Cilj je imati kvantitativne podatke, pratiti napredak aktivnosti i ustanoviti sve potrebne i važne detalje kako bi se istražila i zaključila faza koja mora biti predmet budućeg razmatranja u svrhu poboljšanja podprocesa.






Dijagram 1. Dijagram toka putnika u odlasku



Izvor: Izradio student prema [13]

Dijagram 2. Dijagram podprocesa odlaska

Podproces:	Postupanje s putnicima pri odlasku	Aktivnost	Broj koraka	Trajanje u minutama	Udaljenost u metrima	
Objekt:	Osigurati kontinuitet i potrebne pogodnosti za putnike koji putuju u drugu zemlju ili drugi grad	Operacija		5	1,76	
		Transport		5	0,91	Nekoliko metara
		Kontrola		0		
Početak:	Dolazak putnika u zračnu luku	Čekanje		5	Nekoliko minuta	
Kraj:	Ukrcavanje	Skladištenje		0		

Korak br.	Prosječno trajanje	Udaljenost putovanja (metar)						Opis koraka
1	20 s	Nekoliko metara		X				Putnik dolazi u zračnu luku i pojavljuje se u sobi za registraciju (red)
2	Nekoliko minuta					X		Putnik čeka svoj red
3	56 s		X					Putnik dolazi do šaltera za prijavu radi registracije
4	20 s			X				Putnik se usmjerava na sučelje za kontrolu ručne prtljage
5	Nekoliko minuta					X		Putnik čeka svoj red
6	12 s		X					Provjera ručne prtljage
7	5 s	Nekoliko metara		X				Putnik se pojavljuje u sobi za imigracije
8	Nekoliko minuta					X		Putnik čeka u redu
9	40 s		X					Putnik obavlja formalnosti vezane uz imigracije
10	5 s	Nekoliko metara		X		X		Putnik se kreće do mjesta sigurnosne provjere
11	12 s		X					Uviđaj obavlja policija
12	5 s	Nekoliko metara		X				Putnik prelazi u prostor za ukrcaj
13	Nekoliko minuta					X		Putnik čeka na ukrcaj
14	10 s		X					Provjera karata ukrcajnih putnika

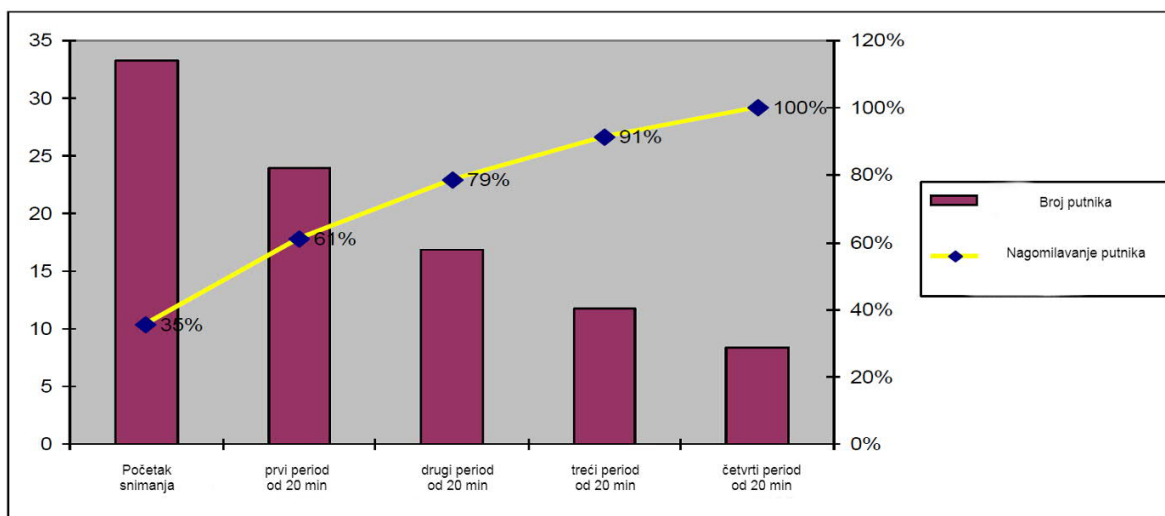
Izvor: Izradio student prema [13]

Može se uočiti iz dijagrama 2 da je vrijeme čekanja putnika u različitim fazama prije svake operacije nekoliko minuta, dok kretanja i operacije ne prelaze tri minute. Do ovog vremena čekanja uglavnom dolazi zbog resursa koji se postavljaju za svaku operaciju, jer je vrijeme putovanja između ovih operacija zanemarivo. Glavni izazov je kako upravljati promjenjivom potražnjom usvajanjem metodičkog pristupa koji se temelji na planiranju kapaciteta (resursa) koji odgovara situaciji, na temelju opterećenja (privremeni zahtjevi) na različitim modulima i sučeljima podprocesa odlaska.

Pokretni element podprocesa je dolazak putnika do registracijskog modula. Kapacitet ovog modula omogućuje definiranje kapaciteta ostalih modula prema protoku koji on generira. Taj je tok jedan od odlučujućih čimbenika resursa koji se postavljaju na razini drugih modula kako bi se izbjegla uska grla, posebno ako se stopa odnosno intenzitet postupanja s putnicima na sučelju za kontrolu ručne prtljage ili na modulu za kontrolu imigracija ne podudara sa stopom registracije. Tada će se formirati red između mjesta ova dva modula.

Vrijeme čekanja putnika na registraciju vezano je za stopu dolazaka putnika, stoga je raspodjela resursa na ovoj razini odlučujući čimbenik za smanjenje tog vremena. Da bi se dobila stopa dolazaka putnika provedeno je brojanje putnika koji čekaju na registraciju u periodu od 80 minuta (vrijeme rezervirano za bilježenje) u intervalima od 20 minuta za uzorak od 29 letova [13]. Analiza rezultata ovih opažanja omogućila je da se zaključi postotak putnika koji su stigli na mjesto registracije tijekom prvog sata.

Grafikon 1. Broj putnika koji čekaju u vremenskim intervalima od 20 minuta



Izvor: Izradio student prema [13]

Analiza ovog grafikona pokazuje da 90% putnika dolazi na prijavno mjesto u prvom satu, a da 10% putnika dolazi u zadnjih dvadesetak minuta. Na temelju stope registracije i pod pretpostavkom da se veliki postotak putnika koji se registriraju kreće radi provjere ručne prtljage, moguće je izračunati trajanje (u minutama) te broj putnika u redovima ispred postaje za predaju ručne prtljage te ispred kontrolne postaje za imigracije (kroz 10 minuta).

$$\text{Vrijeme čekanja} = \frac{\text{protok putnika} \times \text{prosječno trajanje pregleda ručne prtljage}}{(\text{broj provjera} \times 60)}$$

$$\text{Broj putnika u redu} = \text{maksimalno trajanje} \times \text{protok putnika}$$

Tablica 2. Broj putnika u redu i vrijeme čekanja u fazi kontrole ručne prtljage

Broj šaltera za registraciju	1	2	3	4	5	6	7
Vrijeme čekanja / 10 minuta (s jednom kontrolnom točkom)	3 min	5 min	8 min	11 min	13 min	16 min	19 min
Vrijeme čekanja / 10 minuta (s dvije kontrolne točke)	1 min	3 min	4 min	5 min	6 min	8 min	9 min
Broj putnika u redu / 10 minuta (s jednom kontrolnom točkom)	3	11	26	46	72	103	140
Broj putnika u redu / 10 minuta (s dvije kontrolne točke)	1	6	13	23	36	52	70

Izvor: Izradio student prema [13]

Tablica 2 pokazuje da se, obzirom na broj šaltera, broj putnika u redovima i vrijeme čekanja smanjilo za 50% sa dva šaltera i jednom kontrolnom točkom. Stopa pregleda ručne prtljage, broj putnika u redovima i vrijeme čekanja za imigracijsku kontrolu prikazani su u tablici 3.

Tablica 3. Broj putnika u redu i vrijeme čekanja na imigracijskoj kontroli

Broj šaltera imigracijske kontrole	1	2	3	4	5	6
Vrijeme čekanja / 10 minuta (s jednom kontrolnom točkom ručne prtljage)	32 min	16 min	11 min	8 min	6 min	5 min
Broj putnika u redu / 10 minuta (s jednom kontrolnom točkom ručne prtljage)	128	64	43	32	26	21
Vrijeme čekanja / 10 minuta (s dvije kontrolne točke ručne prtljage)	64 min	32 min	21 min	16 min	13 min	11 min
Broj putnika u redu / 10 minuta (s dvije kontrolne točke ručne prtljage)	512	256	171	128	102	85

Izvor: Izradio student prema [13]

Analiza podataka pokazuje da se s povećanjem broja korištenih šaltera smanjuje broj putnika u redovima i vrijeme čekanja (tablica 4).

Tablica 4. Broj putnika u redu i vrijeme čekanja na mjestima inspekcije/filtracije, PIF*

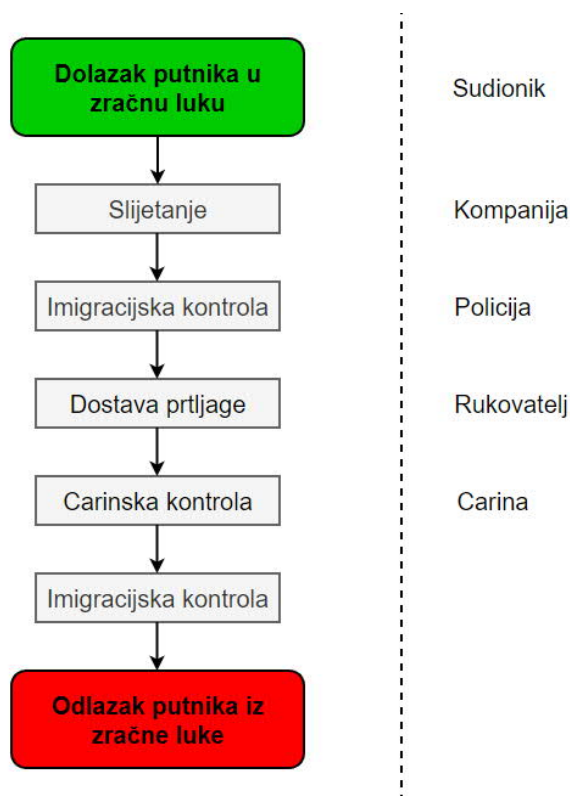
Broj imigracijskih šaltera	1	2	3	4	5	6
Vrijeme čekanja / 10 minuta (samo jedan PIF)	3 min	6 min	9 min	13 min	16 min	19 min
Broj putnika u redu / 10 minuta (samo s jednim PIF-om)	4	16	35	63	98	141
Vrijeme čekanja / 10 minuta (dva PIF-a)	2 min	3 min	5 min	6 min	9 min	9 min
Broj putnika u redu / 10 minuta (dva PIF-a)	2	8	18	31	49	70

*Napomena: PIF (Posts of inspection/filtering)

Izvor: Izradio student prema [13]

Podproces dolaska. Podproces dolaska je niz dvaju modula obrade, odnosno imigracije i dostave prtljage (dijagram 3). Analiza podprocesa putnika u dolasku prikazana je na dijagramu 4.

Dijagram 3. Dijagram toka putnika u dolasku



Izvor: Izradio student prema [13]






Vrijeme čekanja putnika na imigracijskoj kontroli i predaji prtljage iznosi nekoliko minuta, dok premještaj i operacije ne prelaze 3 min (dijagram 4). Protok putnika na razini imigracijskog modula raste proporcionalno s otvorenim imigracijskim šalterima (tablica 5). Dakle, za smanjenje vremena čekanja operacija dostave prtljage mora se ubrzati.






Tablica 5. Protok putnika na imigracijskim šalterima

Broj imigracijskih šaltera	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Protok putnika / 15 minuta	19	38	56	75	94	113	131	150	169	188

Izvor: Izradio student prema [13]

Dijagram 4. Dijagram podprocesa dolaska

Podproces:	Postupanje s putnicima pri dolasku	Aktivnost	Broj koraka	Trajanje u minutama	Udaljenost u metrima
Objekt:	Osigurati kontinuitet i potrebne pogodnosti za putnike koji dolaze u drugu zemlju ili drugi grad	Operacija 	2	0,96	
		Transport 	3	1,16	Nekoliko metara
		Kontrola 	0		
Početak:	Dolazak putnika u zračnu luku	Čekanje 	2	Nekoliko minuta	
Kraj:	Polazak iz zračne luke	Skladištenje 	0		

Korak br.	Prosječno trajanje	Udaljenost putovanja (metar)						Opis koraka
1	60 s	Nekoliko metara		X				putnik stiže u zračnu luku zrakoplovom i pridružuje se sobi za dolazak (imigracijska kontrola)
2	Nekoliko minuta					X		Putnik čeka svoj red
3	48 s		X					Putnik obavlja formalnosti vezane uz imigracije
4				X				putnik kreće prema sobi za dostavu prtljage
5						X		Putnik čeka isporuku svoje prtljage
6				X				putnik kreće prema carinskoj kontroli
7			X					putnik se podvrgava carinskoj kontroli

Izvor: Izradio student prema [13]

Varijabla vrijeme čekanja, koja je najvažniji element u osiguravanju kvalitete putnika, izravno je povezana s resursima dodijeljenim svim modulima. Stoga je pronalazak optimalnog kapaciteta jedino rješenje za bolje zadovoljstvo putnika.

3.3. OPTIMIZACIJA LANCA USLUGE PRIMJENOM TEORIJE REDOVA ČEKANJA

Proces usluge putnika u zračnoj luci odvija se kroz više faza, a korisni kapacitet svake od njih često varira budući da resursi u svakoj fazi uslužnog lanca nisu uvijek određeni u skladu s interesima, ograničenjima i prioritetima drugih faza. To stvara ili usko grlo ili nezauzet resurs, a zatim izgubljenu vrijednost za putnika i također za zračnu luku gdje se resurs može rasporediti u drugi modul radi poboljšanja kvalitete usluge. Optimizacija se sastoji od primjene metode dinamičkog upravljanja i teorije redova čekanja pri čemu se na temelju predviđenog broja putnika po letu može zaključiti koje količine resursa treba postaviti na svakom modulu tako da se smanji vrijeme čekanja i uklone uska grla.

Menadžerima je na raspolaganju nekoliko vrsta redova za projektiranje sustava za proizvodnju roba ili usluga ili za prikaz već postojećeg sustava kako bi se analiziralo njegovo funkcioniranje. Analizira se red čekanja sa više kanala usluge i eksponencijalno vrijeme usluge. Ove se vrste primjenjuju samo na nezagušene sustave. Sustave u kojima $\lambda > S \cdot \mu$ nema smisla analizirati jer je očito da su u takvim slučajevima zagušeni.

Prosječan broj klijenata koji čekaju u redu čekanja (L_Q) je ključni pokazatelj u određivanju drugih pokazatelja funkcioniranja sustava, kao što je prosječan broj klijenata u sustavu, prosječno vrijeme u redu i prosječno vrijeme provedeno u sustavu. Stoga, pri rješavanju problema s redovima čekanja, prvi pokazatelj koji treba uzeti u obzir je L_Q .

Slijedi prikaz primjera primjene metode redova čekanja u jednoj zračnoj luci [13]. Analiza dvaju podprocesa odlaska i dolaska pokazala je da je jedini čimbenik koji negativno utječe na kvalitetu usluge putnika, na različitim modulima i sučeljima lanca usluge, vrijeme čekanja s obzirom na opipljiv karakter i percepciju korisnika.

Pristup optimizaciji ima za cilj definirati postupak koji će donijeti potrebna i dovoljna poboljšanja procesa djelujući na njegov vremenski aspekt. Čimbenik vremena izravno je povezan s brojem postavljenih poslužitelja i njihovim mogućnostima. Kako bi se to učinilo, koriste se načela teorije redova čekanja s ciljem da se razvije dinamički alat koji će omogućiti predviđanje, planiranje i optimalnu alokaciju resursa na razini svakog modula.

Tablica 6. Primjena teorije redova čekanja u procesu usluživanju putnika zračne luke

REGISTRACIJSKI MODUL								
Tretman u 1. satu								
Upiši broj putnika	177,00							
Dolasci putnika / sat	159,30							
Stopa usluge u broju putnika / sat	64,29	Broj kontrolnih točaka koje treba postaviti:				Stopa popunjenosti:		
A	2,48			3			83%	
Broj šaltera		1	2	3	4	5	6	7
Prosječan broj putnika u redu/satu				3,275	0,509	0,12433	0,03217	0,00809
Prosječan broj putnika u sustavu/sat				5,753	2,987	2,6023	2,5102	2,4861
Prosječno vrijeme provedeno u sustavu/sat				0,036	0,019	0,016	0,016	0,016
Prosječno vrijeme čekanja u redu/sat				0,0206	0,0032	0,0008	0,0002	0,0001
Tretman u zadnjih 20 minuta								
Očekivani broj putnika	17,7							
Stopa dolazaka putnika/sat	53,1							
Stopa usluge u broju putnika/sat	64,29	Broj šaltera koje treba uspostaviti:				Stopa popunjenosti:		
A	0,83			1			83%	
Broj šaltera		1	2	3	4	5	6	7
Prosječan broj putnika u redu/satu		3,9210	0,1700	0,0210	0,0030	0,00033	0,00004	0,00000
Prosječan broj putnika u sustavu/sat		4,7470	0,9960	0,8470	0,8290	0,8263	0,8260	0,8260
Prosječno vrijeme provedeno u sustavu/sat		0,0890	0,0190	0,0160	0,0160	0,0160	0,0160	0,0160
Prosječno vrijeme čekanja u redu/sat		0,0740	0,0032	0,0004	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
SUČELJE ZA KONTROLU RUČNE PRTLJAGE								
Protok putnika/sat	192,86							
Cijena usluge/sat	240							
A	0,8	Broj kontrolnih točaka koje treba postaviti:				Stopa popunjenosti:		
				1			80%	
Broj kontrolnih točaka		1	2					
Prosječan broj putnika u redu/satu		3,2870	0,1550					
Prosječan broj putnika u sustavu/sat		4,0910	0,9580					
Prosječno vrijeme provedeno u sustavu/sat		0,0210	0,0050					
Prosječno vrijeme čekanja u redu/sat		0,0170	0,0010					

Izvor: Izradio student prema [13]

Glavni ulazni podatak je broj putnika planiranih za let ili određeni let. Izlazni podaci su resursi za implementaciju. Za odlazni let resursi će biti:

- broj šaltera za registraciju koji će se otvoriti u prvom satu i broj šaltera koji će se otvoriti sljedećih 20 minuta;

- broj kontrolnih točaka za ručnu prtljagu i broj imigracijskih šaltera,
- broj mjesta za inspekciju / filtriranje (PIF),
- prosječan broj putnika koji čekaju u redovima i sustavu i prosječno vrijeme čekanja u redovima i sustavu.

Za let ili nekoliko letova pri dolasku, izlazni podaci će biti:

- broj imigracijskih šaltera koje treba postaviti,
- prosječan broj putnika koji čekaju u redu i sustavu,
- prosječno vrijeme čekanja u redu i sustavu.

Analiza rezultata ovog alata pokazuje:

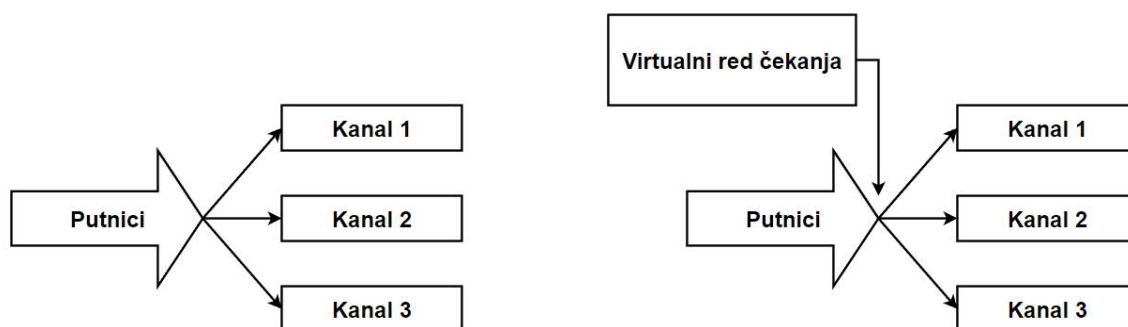
- u registracijskom modulu se ne moraju zadržati isti ljudski resursi nakon prvog sata usluge, mogu se preraspodijeliti u modul za ukrcaj za kontrolu ukrcajnih karata i pripremu putnika za let,
- u emigracijskom modulu minimalni broj resursa koji se koriste su 4 šaltera (odnosno 4 radnika) s obzirom na protok putnika od kontrolne točke za prtljagu,
- u imigracijskom modulu, s brojem putnika većim od 120, treba koristiti sve resurse (10 šaltera) jer se svi putnici pojavljuju u sobi za dolazak unutar 10 minuta nakon dolaska letova,
- u modulu za dostavu prtljage protok s imigracijskih šaltera je vrlo velik, stoga dostava prtljage mora biti vrlo brza kako bi se izbjegla gužva i predugo vrijeme čekanja, posebno u slučaju istovremenih letova,
- šaltere za putnike smanjene mobilnosti (*reduced mobility passengers*, RMP) treba koristiti u slučaju velikih performansi, s obzirom na ograničeni postotak RMP-a koji prolazi kroz zračnu luku. Ako je RMP prisutan, on mora imati prioritet u smislu formalnosti.

Predloženi alat pruža pomoć u donošenju odluka o resursima koje treba imati na svakom pojedinom modulu, kako bi se smanjilo vrijeme čekanja putnika. Međutim, ono postaje nedostatno u nedostatku bliske suradnje između svih sudionika u sustavu usluživanja putnika zračne luke. Da bi se sudjelovalo u ovoj koordinaciji potrebno je svakom sudioniku dati viziju njegove uloge u postizanju cjelokupnog učinka, okupiti različite sudionike u radnu grupu radi razmjene informacija, donošenja odluka te rješavati probleme vezane uz svaki pojedini let.

4. ISTRAŽIVANJE SIGURNOSNE KONTROLE ZRAČNE LUKE TEMELJENO NA TEORIJI VIRTUALNOG REDA ČEKANJA

Virtualni red čekanja je dodavanje virtualnog reda realnom redu čekanja. Naime, putnici se ne nalaze u stvarnom redu čekanja, ali mogu zauzeti mjesto u redu putem aplikacije te doći do reda u vrijeme koje je određeno u aplikaciji, tj. virtualnom sustavu čekanja. U suprotnom se mjesto u redu čekanja otkazuje.

Dijagram 5. Usporedba normalnih i virtualnih redova čekanja



Izvor: Izradio student prema [14]

4.1. USPOSTAVA VIRTUALNOG MODELA ČEKANJA

U ovom dijelu rada daje se primjer jedne europske zračne luke kao objekta istraživanja i dobivaju se čimbenici virtualnog reda čekanja. Predloženi model virtualnog reda čekanja služi za smanjenje troškova sigurnosti zračne luke i poboljšanje učinkovitosti zračne luke [14]. Slijedi prikaz konkretnih dokaza o tome kako model virtualnog reda čekanja povećava učinkovitost usluge. Uzimajući podatke o sigurnosti zračne luke u tablici 7 kao primjer uspostavljen je virtualni model čekanja za analizu i izračun podataka sa osnovnim pretpostavkama, a rezultati se uspoređuju sa stvarnim podacima o sigurnosti zračne luke.

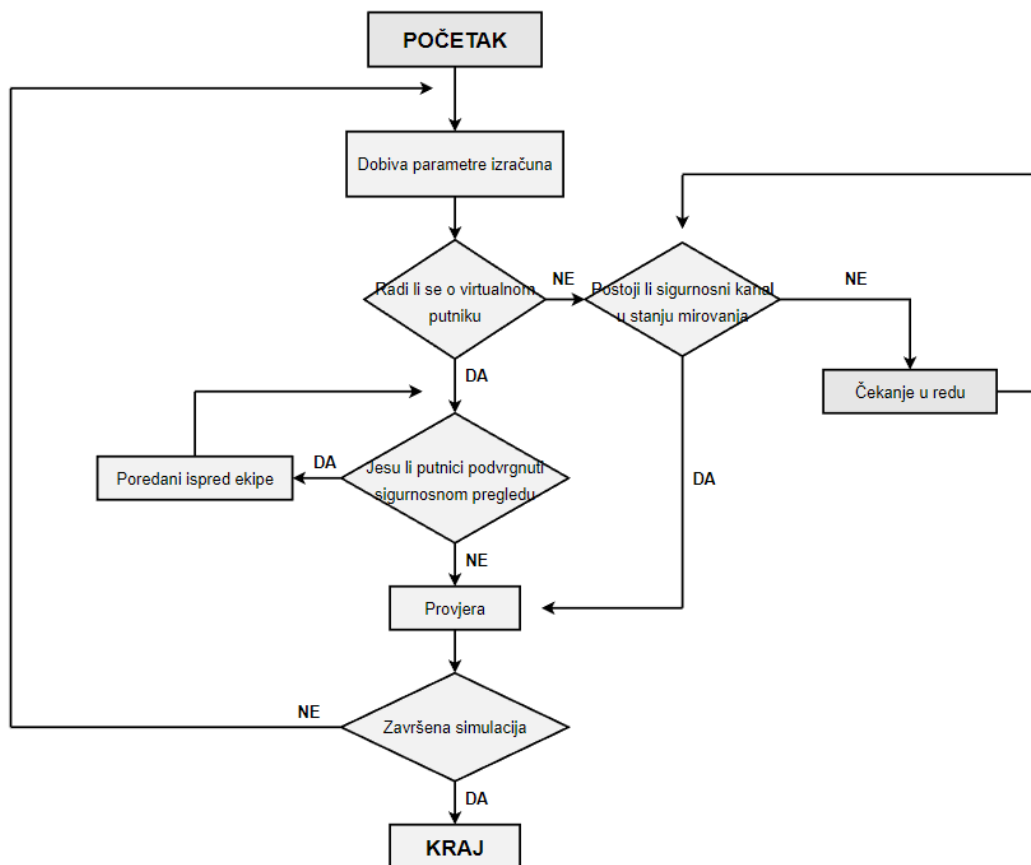
Tablica 7. Podaci zračne luke za sigurnosnu kontrolu

Vremenski interval	Broj dolazaka	Broj otvorenih sigurnosnih kanala	Broj putnika po sigurnosnom kanalu	Stvarna stopa dolaska svakog kanala	Stvarna stopa usluge svakog kanala
9:00-9:30	1361	9	151	5,03	2,67
9:30-10:00	1524	10	152	5,07	2,67
10:30-11:00	1644	11	149	4,97	2,67
11:00-11:30	1511	10	150	5,00	2,67
11:30-12:00	1508	10	151	5,04	2,67

Izvor: Izradio student prema [14]

Kako bi se olakšao izračun, odabrani su vršni sati od 9:00-12:00. Iz dostupnih podataka vidi se da je broj putnika po sigurnosnom kanalu oko 150, tako da će ovaj primjer bazirati na kapacitet od 150 putnika.

Dijagram 6. Dijagram toka operacije virtualnog čekanja



Izvor: Izradio student prema [14]

4.2. SLUČAJ REDA ČEKANJA U KOJEM NIJE PRIMIJENJENA VIRTUALNA SIMULACIJA

Vrijeme čekanja putnika bez virtualnog čekanja u redu simulira se na temelju stvarnih anketnih podataka, te se u ovom slučaju uzima u obzir vrijeme leta putnika, a svi putnici su obični putnici, nema virtualnih putnika u redu. Prema pravilu usluge "tko prvi dođe, prvi je uslužen" putnici čekaju u redu za sigurnosnu provjeru. Prema stopi dolaska putnika, stopi usluge osoblja i teoriji maksimalnog čekanja u redu, MATLAB simulira vrijeme čekanja putnika. Rezultati simulacije prikazani su u tablici 8.

Tablica 8. Vrijeme čekanja za ne-virtualne putnike koji stoje u redu

Vremenski interval	Prosječan broj putnika koji čekaju u kanalu	Ukupno vrijeme čekanja putnika [min]	Prosječno vrijeme čekanja putnika [min]
9:00-9:30	151	3055,45	20,24
9:30-10:00	152	3202,23	21,21
10:00-10:30	149	2999,94	20,13
10:30-11:00	153	3219,18	21,04
11:00-11:30	150	2961,85	19,75
11:30-12:00	151	3004,27	19,90

Izvor: Izradio student prema [14]

4.3. SLUČAJ REDA ČEKANJA U KOJEM JE PRIMIJENJENA VIRTUALNA SIMULACIJA

Kada su neki putnici virtualni putnici, prema procesu putničkog virtualnog reda čekanja, može se vidjeti da se obični putnici mogu pridružiti virtualnom redu čekanja putem virtualnog sustava reda čekanja. Zatim, virtualni sustav reda čekanja može mjeriti raspodjelu protoka putnika tijekom vršnog razdoblja reguliranjem čekanja putnika na red i skraćivanjem vremena čekanja, čime se povećava sigurnosna propusnost.

U procesu simulacije treba odrediti virtualne putnike u proporcijama putnika koji stoje u redu, kako bi se olakšao izračun te se 20% od ukupnog broja putnika određuje kao udio virtualnih putnika. Ti će se virtualni putnici staviti u red čekanja u određeno vrijeme kako bi se pristupili izravno u red čekanja na čelnoj poziciji radi sigurnosti. Obični putnici i dalje moraju slijediti načelo čekanja u redu: tko prvi dođe – prvi je uslužen.

Vrijeme za povratak putnika virtualnom redu čekanja određuje sam sustav virtualnog čekanja u redu, bez obzira na vrijeme leta putnika. Ali u stvarnosti, kako bi se osiguralo da se virtualni putnici mogu ukrcati u zrakoplov na vrijeme, proces virtualnog reda čekanja mora uzeti u obzir vrijeme polaska leta. Stoga, uzimajući u obzir vrijeme leta putnika, vrijeme u kojem se putnici u virtualnom redu čekanja vraćaju u red određeno je vremenom leta i sustavom virtualnog reda čekanja.

Tablica 9 a/b. Rezultati proračuna (a) i simulacije izvedene u MATLAB-u (b)

Vremenski interval	Prosječan broj putnika koji čekaju u kanalu	Bez obzira na red letenja		S obzirom na vrijeme leta	
		Vrijeme čekanja svih putnika [min]	Prosječno vrijeme čekanja [min]	Prosječno vrijeme čekanja [min]	Broj očekivanih letova
9:00-9:30	151	3055,45	12,12	13,33	6
9:30-10:00	152	3202,23	13,16	14,73	7
10:00-10:30	149	2999,94	12,34	13,88	7
10:30-11:00	153	3219,18	13,04	14,49	8
11:00-11:30	150	2961,85	11,95	13,52	5
11:30-12:00	151	3004,27	12,04	13,6	6

9b

Vremenski interval	Prosječan broj putnika koji čekaju u kanalu	Bez obzira na red letenja		S obzirom na vrijeme leta	
		Vrijeme čekanja svih putnika [min]	Prosječno vrijeme čekanja [min]	Prosječno vrijeme čekanja [min]	Broj očekivanih letova
9:00-9:30	151	803,31	5,32	7,01	6
9:30-10:00	152	919,57	6,05	7,63	7
10:00-10:30	149	810,60	5,44	6,83	7
10:30-11:00	153	937,91	6,13	7,77	8
11:00-11:30	150	844,47	5,63	7,15	5
11:30-12:00	151	812,33	5,38	6,82	6

Izvor: Izradio student prema [14]

Vrijeme čekanja putnika računa se u dva slučaja, neovisno o vremenu leta i s obzirom na vrijeme leta. Rezultati izračuna prikazani su u tablici 9a. Prema podacima iz tablice 9a, vrijeme čekanja putnika u redu je smanjeno, neovisno o tome jesu li vremena letenja uzeta u obzir ili ne, u usporedbi sa slučajevima kada nije implementirano virtualno čekanje u redu. U slučaju uzimanja u obzir vremena letenja, prosječno vrijeme čekanja putnika povećava se za oko 1,5 minutu u odnosu na vrijeme bez obzira na red letenja.

Ako su svi putnici virtualni putnici u redu čekanja, idealni su za virtualne sustave redova čekanja. U ovom procesu se računa vrijeme čekanja putnika u slučaju da se uzme u obzir vrijeme leta i da se ne uzme u obzir vrijeme leta. Simulacija je provedena u programu MATLAB, a rezultati su prikazani u tablici 9b.

4.4. USPOREDBA REZULTATA U RAZLIČITIM OKOLNOSTIMA

S obzirom na vrijeme leta, napravljena je komparativna analiza rezultata bez virtualnog čekanja u redu, djelomičnog virtualnog čekanja putnika i virtualnog čekanja svih putnika, kao što je prikazano u tablici 10.

Tablica 10. Usporedba rezultata u različitim okolnostima

Vremenski interval	Ne implementirati virtualni red čekanja	Neki od putnika za virtualni red		Svi putnici za virtualni red	
	Vrijeme čekanja [min]	Vrijeme čekanja [min]	Smanjeni udio [%]	Vrijeme čekanja [min]	Smanjeni udio [%]
9:00-9:30	20,24	13,33	34,14	7,01	65,37
9:30-10:00	21,21	14,73	30,55	7,63	64,03
10:00-10:30	20,13	13,88	31,05	6,83	66,07
10:30-11:00	21,04	14,49	31,13	7,77	63,07
11:00-11:30	19,75	13,52	31,54	7,15	63,8
11:30-12:00	19,9	13,6	31,66	6,82	65,73
Prosjek	20,38	13,93	31,68	7,20	64,68

Izvor: Izradio student prema [14]

U slučaju kada virtualni red čekanja nije implementiran, vrijeme čekanja je oko 20 minuta. U usporedbi sa situacijom u kojoj je postoji virtualno čekanje vrijeme čekanja putnika se u određenoj mjeri smanjuje. Prosječno vrijeme čekanja je oko 14 minuta, što je oko 30% manje od prosječnog vremena čekanja bez virtualnog čekanja u redu, koje iznosi oko 6 minuta kada su neki od putnika virtualni putnici u redu čekanja. Kada su svi putnici virtualni putnici, prosječno vrijeme čekanja je oko 7 minuta, što je oko 65% manje od prosječnog vremena čekanja bez virtualnog čekanja.

Može se vidjeti da u stvarnosti, korištenje modela virtualnog reda čekanja može učinkovito smanjiti vrijeme čekanja, povećati protok i povećati zadovoljstvo putnika, što ima važnu ulogu u razvoju procesa usluživanja u zračnim lukama.

5. INOVATIVNE TEHNOLOGIJE I RJEŠENJA ZA UPRAVLJANJE REDOVIMA ČEKANJA PUTNIKA U ZRAČNIM LUKAMA

Posljednjih godina okruženje zračne luke postaje pod sve većim pritiskom. Sve više sigurnosnih provjera diljem svijeta, porastom broja putnika i letova svake godine i ograničenim prostorom za proširenje postojeće infrastrukture, moderne zračne luke često se moraju boriti s dugim redovima umornih, frustriranih ljudi. To stavlja sve veći pritisak na menadžment, koji kako bi osigurao da je osoblje pravilno raspoređeno, mjeri protok i broj ljudi kroz procese i rješava nepredviđene događaje, poput kašnjenja ili teških vremenskih uvjeta. Većina međunarodnih zračnih luka implementirala je automatizaciju kako bi smanjila redove, uključujući, između ostalog, opcije samostalne prijave i samoposlužne predaje prtljage. Nažalost to ne otklanja stajanja u redu. Ako se sve odvija glatko učinkovito, stvari će se odvijati relativno brzo, ali kada stvari krenu po zlu, to je recept za krajnje uznemirene putnike.

Što se tiče nedostatka točnih informacija, ukoliko putnici ne znaju koliko dugo moraju čekati u redu, njihova frustracija raste. U okolnostima te neizvjesnosti putnici pribjegavaju nagađanju i nadi da će se stvari pokrenuti dovoljno brzo. Naglašavajući koliko je to ključno, izvješće "Airport Delight Report" za 2019. godinu pokazalo je da čak 77% putnika želi podatke o vremenu čekanja. Jedan od glavnih problema za pružanje točnih informacija o vremenu čekanja je kako točno prikupiti i obraditi relevantne informacije.

5.1. ODABIR I USVAJANJE TEHNOLOGIJE

Zračne luke su se pozabavile potrebom za informacijama u procesu usluge usredotočujući se samo na jedno područje, primjenjujući tehnologiju za mjerenje vremena čekanja tamo gdje su uska grla odnosno zastoji najčešći. Iako je ovaj pristup svakako koristan, on ima svoja ograničenja. Rezultat rješavanja samo jednog uskog grla jest da se zagušenje može proširiti i na druga područja. Za optimizaciju i poboljšanje pojedinih područja poslovanja bitno je razumjeti kako su sva područja i procesi međusobno povezani i utječu jedni na druge. Postoji nekoliko dostupnih tehnologija koje omogućuju uvid u red čekanja, te za poboljšanje planiranja kapaciteta u svrhu smanjenja čekanja.

Iako svaka tehnologija ima svoje jedinstvene prednosti, niti jedna tehnologija sama ne može zadovoljiti sve potrebe, a tehnologija dizajnirana za određeno područje možda neće ispravno funkcionirati za drugo. Bolje rješenje je kombinirati više tehnologija. IT sustavi koji primjenjuju podatke prikupljene s više tipova senzora na objedinjeni analitički softver najučinkovitiji su u smanjivanju zagušenja i ujednačavanju protoka putnika. Ova hibridna rješenja učinkovito eliminiraju mrtve točke oko terminala i ako vrijeme čekanja na kraju premaši definirani prag, timovi mogu biti odmah upozoreni. Što je još važnije, kombiniranje višesenzorskog praćenja s povijesnim podacima omogućuje generiranje predviđanja, omogućavajući predviđanje uskih grla prije nego što se pojave.

U 2018. lučka uprava New Yorka i New Jersey (PANYNJ) usvojila je Veovo rješenje za predvidljivost putnika u svrhu upravljanja linijama te prikaz vremena čekanja na TSA (Transportation Security Administration) sigurnosnim kontrolnim točkama i taksi stajalištima u zračnim lukama JFK, Newark, LaGuardia i Stewart. Cilj je bio višestruk: prvo, pružiti točne informacije za upravljanje očekivanjima putnika; drugo, omogućiti zračnim lukama da razviju strategije i potrebne resurse za smanjenje vremena čekanja.

Nekoliko godina ranije, Međunarodna zračna luka Cincinnati/Northern Kentucky (CVG) okrenula se istom rješenju kako bi smanjila frustracije i pritužbe koje proizlaze iz netočne percepcije vremena kod ljudi. Ne samo da je CVG smanjio pritužbe, već je također uspješno upotrijebio prikupljene podatke da preporuči prilagodbu osoblja TSA-a, što je rezultiralo smanjenjem vremena obrade putnika za jednu trećinu.

U amsterdamskoj zračnoj luci Schiphol rješenje se ne koristi samo za davanje usluge vremena čekanja u točkama obrade, već također ima značajnu ulogu u digitalnoj transformaciji ove zračne luke, budući da će se uskoro omogućiti analitika kretanja putnika u cijeloj zračnoj luci od ulaska do leta.

Brojne druge međunarodne zračne luke slijede taj primjer i globalno su iskusile smanjenje vremena u redu čekanja, kao i broj pritužbi. Prepoznali su da su informirani putnici sretniji i manje pod stresom, što dovodi do poboljšanog iskustva putovanja.

5.2. NAJPROMETNIJE ZRAČNE LUKE NA SVIJETU

U tablici 11 nalazi se top 10 najprometnijih svjetskih zračnih luka izračunato je na temelju ukupnog kapaciteta zračnih prijevoznika (domaći i međunarodni letovi).

Tablica 11. Top 10 najprometnijih svjetskih zračnih luka prema sjedalima (domaći i međunarodni letovi)

Top 10 najprometnijih svjetskih zračnih luka prema sjedalima (domaći i međunarodni)				
Poredak 2022	Šifra zračne luke	Naziv zračne luke	Sjedala	Poredak 2019.
1	ATL	Međunarodna zračna luka Atlanta Hartsfield-Jackson	4,617,775	1
2	DFW	Međunarodna zračna luka Dallas Dallas/Fort Worth	3,843,297	10
3	LHR	Zračna luka London Heathrow	3,635,590	7
4	ORD	Međunarodna zračna luka Chicago O'Hare	3,611,634	5
5	IST	Zračna luka Istanbul	3,563,452	13
6	DEN	Međunarodna zračna luka Denver	3,550,458	16
7	LAX	Međunarodna zračna luka Los Angeles	3,449,112	4
8	HND	Međunarodna zračna luka Tokyo (Haneda)	3,361,042	6
9	DEL	Zračna luka Delhi	3,358,143	21
10	CDG	Zračna luka Paris Charles de Gaulle	3,245,545	9

Izvor: <https://www.oag.com/busiest-airports-world> (preuzeto 5.7.2022.)

Top 10 najprometnijih međunarodnih zračnih luka izračunato je samo korištenjem kapaciteta zračnih prijevoznika i to na međunarodnim letovima (tablica 12).

Tablica 12. Top 10 najprometnijih međunarodnih zračnih luka prema sjedalima (međunarodni letovi)

Top 10 najprometnijih međunarodnih zračnih luka po sjedalima Izračunato samo za međunarodne letove				
Poredak 2022	Šifra zračne luke	Naziv zračne luke	Sjedala	Poredak 2019.
1	LHR	Zračna luka London Heathrow	3,423,498	2
2	DXB	Međunarodna zračna luka Dubai	3,209,837	1
3	AMS	Zračna luka Amsterdam	3,169,524	6
4	CDG	Zračna luka Paris Charles de Gaulle	2,934,523	4
5	FRA	Međunarodna zračna luka Frankfurt	2,789,501	5
6	IST	Zračna luka Istanbul	2,619,036	9
7	DOH	Zračna luka Doha	2,084,078	16
8	LGW	Zračna luka London Gatwick	1,965,580	13
9	MAD	Zračna luka Madrid Adolfo Suarez-Barajas	1,886,306	14
10	SIN	Zračna luka Singapore Changi	1,784,475	8

Izvor: <https://www.oag.com/busiest-airports-world> (preuzeto 5.7.2022.)

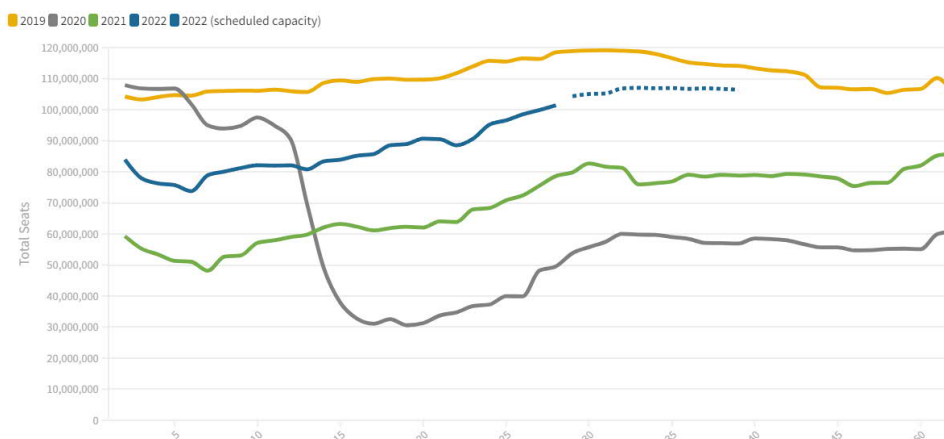
Tablica 13. Top 10 najprometnijih europskih zračnih luka prema sjedalima (domaći i međunarodni letovi)

Top 10 najprometnijih zapadno-europskih zračnih luka po sjedalima Izračunato za ukupnu frekvenciju (domaću i međunarodnu)				
Poredak 2022	Šifra zračne luke	Naziv zračne luke	Sjedala	Poredak 2019.
1	LHR	Zračna luka London Heathrow	3,635,590	1
2	IST	Zračna luka Istanbul	3,563,452	4
3	CDG	Zračna luka Paris Charles de Gaulle	3,245,545	3
4	AMS	Zračna luka Amsterdam	3,169,924	5
5	FRA	Međunarodna zračna luka Frankfurt	3,109,694	2
6	MAD	Zračna luka Madrid Adolfo Suarez-Barajas	2,624,167	6
7	BCN	Zračna luka Barcelona	2,348,530	7
8	LGW	Zračna luka London Gatwick	2,127,764	10
9	PMI	Zračna luka Palma de Mallorca	2,063,468	11
10	MUC	Međunarodna zračna luka Munich	2,051,929	8

Izvor: <https://www.oag.com/busiest-airports-world> (preuzeto 5.7.2022.)

Grafikon 2 prikazuje ukupan broj sjedala zračnih prijevoznika za domaće i međunarodne letove od početka 2019. do srpnja 2022. Ukupan svjetski kapacitet zračnih prijevoznika prikazan je po tjednima (za posljednje tri godine) sa 2019. kao bazom, prateći i utjecaj pandemije Covid-19 i oporavak industrije putovanja u 2022. godini.

Grafikon 2. Ukupan broj sjedala zračnih prijevoznika (domaći i međunarodni letovi) u razdoblju 2019.-2022. godine



Izvor: <https://www.oag.com/coronavirus-airline-schedules-data> (preuzeto 5.7.2022.)

4.3. RJEŠENJA ZA SMANJENJE ČEKANJA U ZRAČNIM LUKAMA

Redove u zračnoj luci nitko ne voli, a ponajmanje putnici koji kasne. Kao što je već ustanovljeno, s regulatorima diljem svijeta koji sve više propisuju korištenje sustava za mjerenje čekanja u redu za obavještanje putnika o vremenu čekanja, nagađanja i stres putnika povezani sa stajanjem u redu su smanjeni. Priopćavanje vremena čekanja zabrinutim putnicima samo je početak. 3D kamere i senzori za brojanje ljudi koji prikazuju točkice koje se kreću kroz liniju i toplinske karte na mjestima gdje se nakupljene gomile nedvojbeno su vizualno od pomoći. No, bitno je što se radi sa tim podacima i kako se na njih reagira.

Postoje znatno različite razine učinkovitosti obrade po linijama. To može biti bilo što, od položaja zaposlenika, iskustva ili stila pružanja usluga kupcima, do dodatnih zahtjeva za provjeru, rotacije ili kombinacije osoblja te bilo koje kombinacije navedenog.

Da bi se razumjelo zašto je jedna obradna linija učinkovitija od druge, koristi se analiza čekanja zajedno s promatranjima na licu mjesta kako bi se neovisno procijenila izvedba pojedine kontrolne točke. Zračne luke koje su to učinile obično su dobile 20-30% povećanja učinkovitosti preslikom dobrih praksi na svakoj liniji.

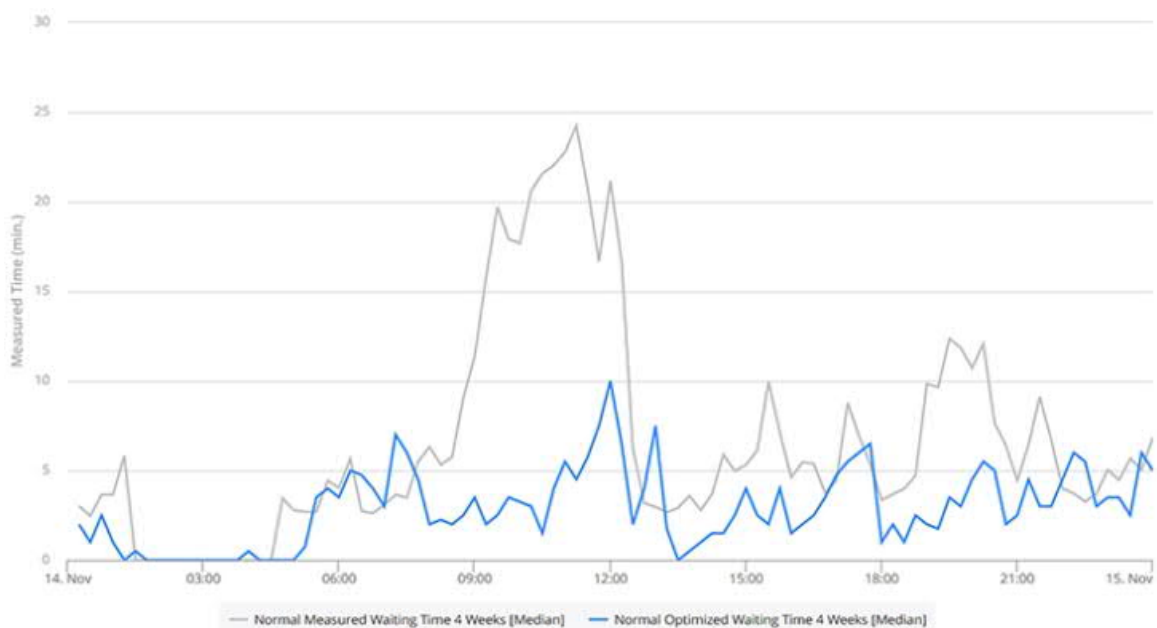
Dok su podaci u stvarnom vremenu korisni, za prilagođavanje osoblja u situacijama pojave uskih grla već je prekasno. Stvarna povećanja učinkovitosti događaju se kada zračne luke mogu točno predvidjeti dolazak putnika, vrijeme zadržavanja i putanje kretanja putnika te stvoriti dobre planove resursa. Budući da svaka promjena postojećeg plana može uzrokovati neuspjeh izvedbe, dobar plan će smanjiti broj promjena potrebnih tijekom dana, što će dovesti do bolje izvedbe. Zračne luke kao što je Birmingham International otkrile su da su predviđanjem krivulja dolazaka ostvarile 10 % poboljšanja performansi iz godine u godinu, unatoč značajnom rastu broja putnika [17].

U vrijeme najvećih gužvi, ljudi se usmjeravaju prema sljedećoj dostupnoj liniji ili se usmjeravaju redovi kako bi rasporedili opterećenost. Također se mogu prikazati preporuke za smjer ispred reda, integracijom s operativnim podacima o letu, te dati savjet kuda se kretati na jezicima koji će najvjerojatnije odgovarati profilima putnika koji dolaze. Europska zračna luka srednje veličine, sa dva stalna dispečera dnevno, može uštedjeti 150.000 € samo u prvoj godini automatizacijom ovog procesa.

Kombiniranjem predviđanja dolazaka i samostalnog rasporeda osoblja mogu se postići daljnji dobici učinkovitosti. To omogućuje osoblju da procijene prognozu i sami prilagode

svoj dnevni raspored kako bi se nosili s predviđenim gužvama. Na primjer, mogu odlučiti pomaknuti svoju pauzu za 10 minuta tijekom razdoblja zauzetosti. Na grafikonu 3 siva linija prikazuje vrijeme čekanja u redu bez preporuka ili prilagodbi rasporedu dok plava linija prikazuje znatna poboljšanja kada je isto osoblje prilagodilo svoje rasporede dnevnim prognozama.

Grafikon 3. Izmjereno vrijeme čekanja u odnosu na optimizirano vrijeme čekanja



Izvor: <https://www.internationalairportreview.com/article/108195/five-quick-wins-for-improving-airport-queue-occupancy-and-flow-efficiency/> (preuzeto 10.7.2022.)

Uobičajen sljedeći korak za one koji već upravljaju redovima čekanja je razmatranje upravljanja protokom u cijeloj zračnoj luci. Donosi značajan napredak u korisničkom iskustvu i jedan je od najboljih načina za povećanje učinkovitosti i prihoda zračne luke. Zračne luke otkrivaju da kada procese razmatraju izolirano, preusmjeravanje uskih grla u jednom području može završiti tako da ih samo pomaknu dalje duž linije. Umjesto toga, mapiranjem kretanja od početka do kraja i povezivanjem s podacima o cestovnom prometu, letovima i prostoru pod koncesijom, zračne luke mogu pojačati uvid kako bi otkrile smislene obrasce i pospješile optimalne postupke.

Na slici 3 svaka traka prikazuje ukupno prosječno vrijeme provedeno po području i letu:

- zelene trake = vrijeme provedeno u područjima pod koncesijom
- crvene/narančaste/žute trake = vrijeme provedeno na gate-u
- plave trake = vrijeme provedeno u točkama obrade [17].

Slika 3. Ukupno prosječno vrijeme provedeno po području i letu

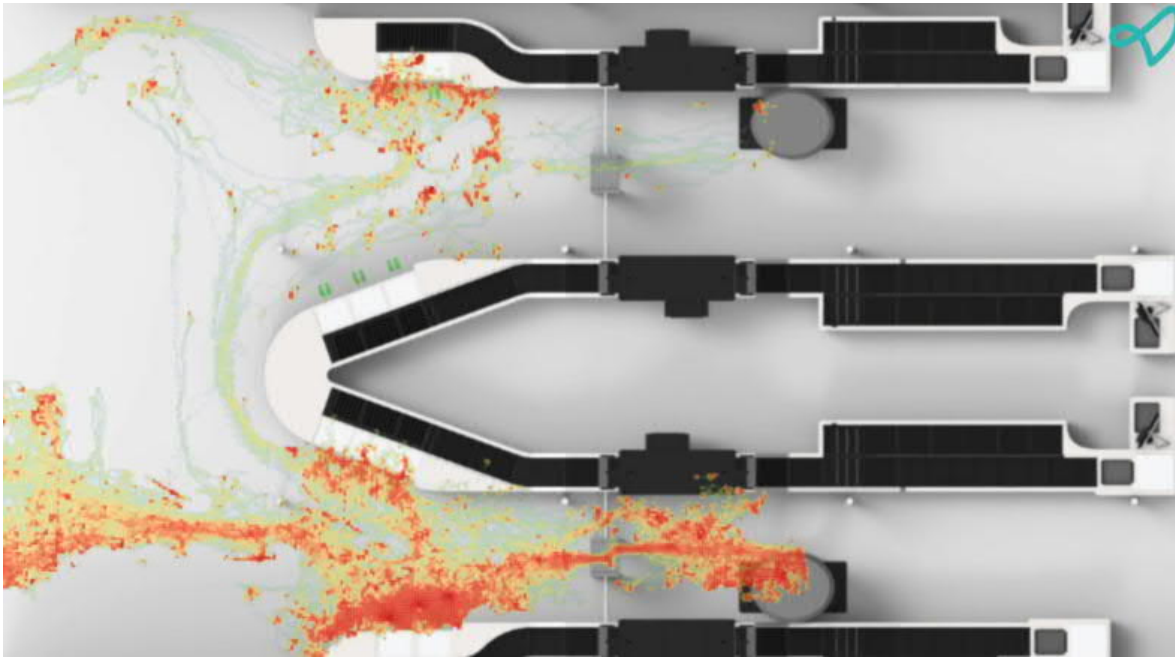


Izvor: <https://www.internationalairportreview.com/article/108195/five-quick-wins-for-improving-airport-queue-occupancy-and-flow-efficiency/> (preuzeto 10.7.2022.)

Osigurati da se svi procesi u zračnoj luci odvijaju tečno, kako bi se osigurala optimalna obrada putnika, izazov je koji se može riješiti korištenjem prave kombinacije tehnologija. Veovo tehnološki sustav kombinira 3D senzore, WiFi/BT senzore i izvore podataka trećih strana, kako bi ponudio jedinstveno upravljanje protokom za cijelu zračnu luku.

Stropni 3D senzori vizualno broje i prate kretanje putnika od početka do kraja kako bi se smanjio učinak čekanja u redu. Napredni algoritmi dubinskog učenja dopuštaju formiranje redova čekanja i individualizirane, potpuno anonimizirane obrasce kretanja. 3D senzor nadilazi osnovno brojanje – točno razlikuje djecu, odrasle i objekte te analizira podatke na temelju vremena, lokacije, visine, brzine, mase i smjera kretanja.

Slika 4. Primjer korištenja Veovo 3D senzora



Izvor: <https://veovo.com/discover/news/veovo-3d-sensor/> (preuzeto 10.7.2022.)

Ovaj tip pristupa rješava probleme pokrivenosti s visinama stropova i pomaže u smanjenju instalacija spajanjem podataka o položaju sa više 3D senzora. To pruža detaljne informacije o pojedinačnom putu, dok napredno filtriranje nudi različite opcije analitike, uključujući [18]:

- izmjereno vrijeme,
- prediktivno vrijeme,
- popunjenost reda/područja,
- brojanje linija koje se prelaze,
- upotreba resursa (šalter/traka/otvoreno/zatvoreno).

Praćenje pojedinaca od početka do kraja omogućuje profiliranje putnika na temelju njihovog cijelog putovanja. Mogućnost profiliranja na cijelom putu, a ne samo na krajnjoj usluzi, omogućuje sustavu da prijavi točna vremena čekanja za više tokova, uključujući:

- dinamičko formiranje redova,
- jedinstvene zone,
- po procesu,

- zrakoplovnom linijom,
- po šalteru, te
- klase putnika.

Dodatno se može dobiti uvid u detaljnu upotrebu resursa, kao što su šalteri za prijavu, sigurnosne trake, kabine za kontrolu putovnica i dr. Kako Veovo već podržava i koristi podatke iz višestrukih tehnologija senzora, uključujući WiFi/BLE/Bluetooth senzore i razne druge izvore, dodavanje 3D senzora ukupnoj ponudi pruža još veći doseg i fleksibilnost te prilagodljivost mnoštvu okruženja zračnih luka. Uklanja mrtve točke oko terminala zračne luke bez potrebe za pretjeranim sensorima, dopuštajući zračnim lukama da pređu s mjerenja jednog procesa na upravljanje protokom na razini cijele zračne luke, bez oslanjanja na jedno tehnološko rješenje.

Kako se zrakoplovno tržište oporavlja, mnogi operateri zračnih luka ponovno procjenjuju vrijednost dugoročnog ekskluzivnog modela zakupa gate-ova i terminala. Terminali za zajedničku upotrebu, gdje zračne luke upravljaju gate-om, a prijevoznici dijele fiksne resurse, dokazuju bolji povrat ulaganja u infrastrukturu kao i učinkovitiji način upravljanja. S niskotarifnim prijevoznicima voljnim isprobati nove rute, uobičajena uporaba također nudi mogućnosti rasta. Zajednički resursi mogu podnijeti nove korisnike mnogo fleksibilnije i brže nego namjenski resursi. No, dijeljenje terminala ili gate-ova može dovesti do novih izazova za komercijalne, operativne i financijske timove, poput postavljanja cijena, najboljeg raspoređivanja resursa na letove i točnog obračuna za njihovo korištenje.

Očito je da ne postoji jednostavan pristup uobičajenoj upotrebi. Različite zračne luke zahtijevaju različite strukture cijena i modele poslovanja. Bez obzira na to, postoji rastuća želja među vodećim operaterima da iskoriste priliku zajedničkog korištenja i ponište svoje procese određivanja cijena i upravljanja gate-ovima zračne luke, oslanjajući se na automatizaciju, umjetnu inteligenciju i pametnije donošenje odluka kako bi isporučili najbolje rezultate za sebe i svoje klijente zračnih prijevoznika. Iz primjera i iskustva zračnih lukama diljem svijeta, mogu se izdvojiti tri ključne preporuke za maksimalno povećanje korištenja resursa i infrastrukture [21]:

- formirati tarife koje najbolje odgovaraju infrastrukturi, rastu i potrebama korisnika,
- ugraditi operativne procedure i optimizirati planiranje,
- pretvorite podatke o korištenju u prihode.

Novo tržište zahtijeva nove stope. Zračne luke se zalažu za poštene, fleksibilne, ali kreativne tarife koje podržavaju potrebe svih prijevoznika (novih i starih) i pomažu u maksimalnom korištenju položaja. U Sjevernoj Americi prioritetni pristup postaje sve popularniji kao učinkovita metodologija određivanja cijena za zračne luke s velikim brojem prijevoznika. Iako gate-ovima sada upravlja zračna luka, zračne tvrtke koje su spremne posvetiti se minimalnom prometnom pragu mogu zadržati prednosti sigurnosti lokacije. Postoji veliki stupanj fleksibilnosti oko toga kako se taj prag postavlja. Neke zračne luke koriste broj sjedala u odlasku, drugi navode minimalni broj skretanja dnevno ili postotak ukupnog broja iskranih putnika. Za one prijevoznike koji padnu ispod praga, često je isplativije dijeliti gate. Zračni prijevoznici mogu platiti godišnju naknadu za pristup, što im daje povjerenje za osnivanje i rast. Ili, za one koji isprobavaju novu rutu, naknada po obrtaju bi mogla biti poželjniji model. U drugim se regijama tarife, popusti i rabati često koriste za poticanje širenja ruta ili privlačenje novih prijevoznika. Na primjer, jedna europska zračna luka upotrijebila je inovativno određivanje cijena i shemu popusta kako bi povećala broj redovnih zračnih linija za 60% u 4 godine. Kad je kapacitet bio nedovoljan, prilagodili su svoje tarife kako bi potaknuli više prometa izvan vršnog prometa i korištenje udaljenijih gate-ova [21].

Tamo gdje zračne luke preuzimaju kontrolu nad gate-ovima, nove tarife moraju biti podržane jasnim radnim protokolima i visokim stupnjem automatizacije planiranja. Podaci, napredna analitika i alati za podršku pametnim odlukama ključni su čimbenici. Operateri bi trebali definirati koje podatke trebaju od zračnih prijevoznika i kada. Alati za planiranje sezonskih i dnevnih resursa često se koriste za automatsku dodjelu gate-a za uobičajenu upotrebu i drugih fiksnih resursa letovima uz prilagodbu operativnim postupcima i preferencijama. Pa ipak, iako vrlo specifičan skup pravila može biti sveobuhvatan, on je također statičan. Dakle, kada se dogode nestandardne operacije, kao što su poremećaji povezani s vremenskim prilikama, osobno donošenje odluka ima tendenciju preuzimanja. Zračne luke koje razmišljaju o budućnosti sada proširuju svoje mogućnosti upravljanja gate-ovima i resursima s naprednom analitikom kako bi podržale dinamičniju podršku odlučivanju i kontinuirano poboljšanje. Strojno učenje i modeliranje scenarija "što-ako" ovdje počinju igrati značajnu pomoćnu ulogu, omogućujući dublje uvide u prošle izvedbe otkrivajući prilike za povećanje "virtualnog kapaciteta", elastičnost i pravovremene odlaske.

Podaci nisu samo nužnost učinkovitog upravljanja gate-ovima. Također su ključni i za učinkovito upravljanje prihodima u zrakoplovstvu. Nažalost za mnoge zračne luke, kada se

radi o prikupljanju podataka o korištenju zajedničkih resursa i primjeni tih podataka na postupak naplate, to nije jednostavan proces. Zbog složenih i slabih integracija podataka, postoji kašnjenje u dostupnosti podataka ili jednostavno nemogućnosti obrade troškova izvan jednostavnih fiksnih naknada.

Povećanje mogućnosti upravljanja gate-om i tarifama znači da zračne luke mogu stvoriti najbolje strukture cijena, ugraditi operativne procedure i optimizirati odluke o planiranju koje maksimiziraju puni potencijal njihove infrastrukture. Može potaknuti rast, ojačati odnose s prijevoznicima i dovesti do poboljšanog iskustva putnika. S pravim cijenama, boljim podacima i pametnijom podrškom za odlučivanje, zračne luke mogu bolje i dulje koristiti resurse koju imaju.

4.4. PRIMJER AMSTERDAMSKE ZRAČNE LUKE SCHIPHOL

Amsterdamska zračna luka Schiphol je rano usvojila Veovo tehnologiju predvidljivosti putnika, rješenje koje je znatno poboljšalo način na koji se ljudi kreću zračnom lukom. Zračna luka Schiphol služi kao tranzitno središte za više od 300 odredišta. U 2019. bila je treća najprometnija zračna luka u Europi s više od 72 milijuna putnika, što je povećanje od 40% u osam godina. Budući da je domaćin 107 zračnih prijevoznika, sa šest uzletno-sletnih staza, 90 izlaza, često korištenom cestovnom infrastrukturom i ograničenjima kapaciteta, izazovi Schiphol-ovog upravljanja usluživanjem putnika su značajni i zahtijevaju aktivan uvid i suradnju [19].

Zračna luka treba prihvatiti sve veći broj putnika, izbjeći kršenja sigurnosti, uskladiti se s promjenjivim propisima, zadovoljiti osoblje, proširiti kapacitet i osigurati da putnici uživaju u ugodnom iskustvu zračne luke. Susretanjem s višestrukim izazovima, a jednim cjelovitim rješenjem, Schiphol se u velikoj mjeri oslanja na podatke koje pruža Veovo rješenje za predvidljivost putnika kako bi pružio informacije o redu čekanja i kretanju u stvarnom vremenu, u svrhu proaktivnog upravljanja protokom putnika.

Slika 5. Zračna luka Schiphol (Amsterdam)



Izvor: <https://skytraxratings.com/airports/amsterdam-airport-schiphol-rating> (preuzeto 12.7.2022.)

Nove funkcionalnosti Veovo tehnologije, uključujući informacije o predviđenom vremenu čekanja, prikazane na zaslonima na mjestima obrade putnika. Također, nedavno razvijeno hibridno 3D i WiFi/BLE senzorsko rješenje pomaže zračnoj luci ublažiti kritične probleme prenapučenosti, dok mjerenje protoka putnika pruža besprijekornu sliku kretanja i ponašanja putnika u zračnoj luci. Kao dio Schiphol-ove digitalne transformacije suradnja je značajno ojačala tijekom godina, što je rezultiralo kontinuiranim poboljšanim rješenjima za zračnu luku i Veovo. Danas partnerstvo igra važnu ulogu u Schiphol-ovom prediktivnom pristupu i inicijativi za digitalnu transformaciju.

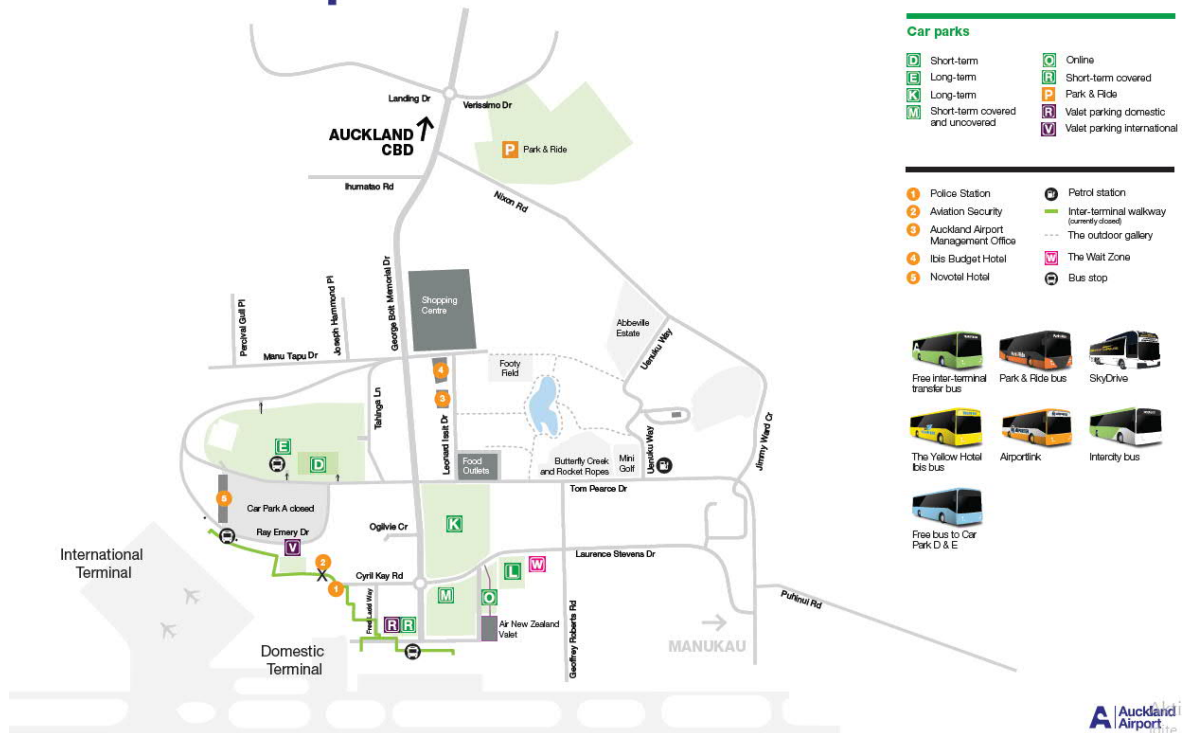
4.5. PRIMJER ZRAČNE LUKE AUCKLAND, NOVI ZELAND

Očekuje se da će zračna luka Auckland imati više od 40 milijuna putnika godišnje do 2044. godine. Kako bi se nosila s ovim povećanjem broja putnika, zračna luka je krenula u opsežan i prvi u svijetu kombinirani projekt mjerenja protoka putnika i cestovnog prometa, s ciljem dobivanja kohezivnog pogleda na obrasce kretanja ljudi u stvarnom vremenu, za usmjeravanje dnevnih i dugoročnih operativnih odluka, maksimiziranje kapaciteta i poboljšanje protoka. U svojoj izgradnji, zračna luka je odlučila težiti održivosti,

osiguravajući ne samo da će imati kapacitet za usluživanje dodatnim putnicima, već i sposobnost da putovanje putnika učini što lakšim i bez stresa [20].

Slika 6. Zračna luka Auckland (Novi Zeland)

Auckland Airport Overview



Izvor: <https://www.aucklandairport.co.nz/information/airport-maps> (preuzeto 15.7.2022.)

Neometan protok putnika, kako na dolaznim tako i na odlaznim terminalima, koncesijskim i tranzitnim čekaonicama te na cestama koje okružuju zračnu luku, ključan je za uspješan rad zračne luke. Problemi s protokom prometa mogu rezultirati kašnjenjima putnika, osoblja zračne luke i posade zrakoplova, što može dovesti do prekida rada zračne luke i zrakoplovnih kompanija.

Kako bi upravljali protokom putnika i prometa, Zračna luka Auckland shvatila je da im je potreban pogled iz ptičje perspektive na cijeli sustav, kao i detaljna analiza tekućih problema. Izvan zračne luke, rješenje mjeri protok prometa između centra grada (Central Business District, CBD) i zračne luke, pružajući podatke u stvarnom vremenu o pouzdanosti, broju vozila i vremenu putovanja. Pruža podatke o kombinaciji osoblja i putnika koji koriste

uslugu "Park and Ride", omogućujući zračnoj luci da bolje razumije učinak i redovito provjerava kako može poboljšati svoje pogodnosti. Ove se informacije također analiziraju kako bi pomogle u donošenju odluka o planiranju održavanja cestovne mreže i infrastrukturnih projekata.

Uvidi, prikupljeni korištenjem niza tehnologija, uključujući radar i WiFi senzore, također pomažu Novozelandskoj prometnoj agenciji (New Zealand Traffic Agency, NZTA) u donošenju informiranih odluka o upravljanju prometom i omogućili su provedbu niza inicijativa za poboljšanje protoka prometa do zračne luke. To uključuje optimizaciju vremena prometnih signala, a u kombinaciji s nedavnim otvaranjem novoizgrađene veze Waterview, rezultiralo je značajnim skraćenjem vremena putovanja do i od zračne luke iz CBD-a i West Aucklanda.

Osim toga, Veovo podaci u stvarnom vremenu i povijesni podaci omogućuju NZTA-i, putem njihove nove aplikacije "RideMate", da uživo prikazuje vrijeme putovanja između CBD-a i zračne luke, kao i informiranje o danima s visokim rizikom od zagušenja. To korisnicima u prometu omogućuje planiranje unaprijed, smanjujući rizik da putnici zakasne na let i da zaposlenici u zračnoj luci kasne na posao. Osim prednosti izvješćivanja u stvarnom vremenu, povijesni podaci koriste se za otkrivanje anomalija vremena vožnje. Učinkovito, to znači da rješenje može precizno odrediti dionice cesta i raskrižja gdje vrijeme vožnje odstupa od norme kao rezultat građevinskih projekata, incidenata, radova na cesti, neispravnih semafora i drugih čimbenika. Uz ove informacije pri ruci, može se odvijati upravljanje prometom u stvarnom vremenu.

Unutar zračne luke, rješenje pruža metriku o broju putnika u redu i količini, kao i uvid u obrasce kretanja putnika kroz procese odlaska i dolaska međunarodnih i domaćih terminala. To pomaže zračnoj luci da bolje upravlja i podržava resurse fokusirajući se na lokacije i razdoblja s velikom potražnjom. Isto tako, podaci izravno koriste putnicima prikazivanjem vremena čekanja na sigurnosnim kontrolnim točkama, upravljanjem očekivanjima putnika i smanjenjem stresa povezanog s čekanjem u redu.

6. ZAKLJUČAK

Generalno, svi se kad tad nađu u neugodnoj situaciji čekanja u redu. U svakodnevnom životu čeka se red u trgovini, banci, pošti ili pak u prometnim gužvama. Model teorije redova čekanja može se primijeniti za analizu situacije kako bi se izbjegla duga čekanja ili gubljenja sredstava u industriji i uslužnim djelatnostima prouzrokovanih neučinkovitim iskorištavanjem resursa. Cilj je primjene metode redova čekanja kao i raznih informacijsko-tehnoloških alata poboljšati kvalitetu usluge putnicima smanjenjem vremena čekanja i uklanjanjem uskih grla kroz poboljšanje predviđanja, planiranja i raspodjele resursa u različitim komponentama sustava.

Razni alati pružaju pomoć u donošenju odluka o resursima koje treba implementirati na svakom modulu, kako bi se smanjilo vrijeme čekanja putnika. Međutim, oni ostaju nedostatni bez bliske suradnje između svih sudionika u lancu zračnih luka. Da bi se sudjelovalo u koordinaciji, potrebno je svakom sudioniku dati viziju njegove uloge u postizanju cjelokupnog učinka, okupiti različite sudionike u radnu grupu radi razmjene informacija, donošenja odluka i rješavati probleme vezane uz svaki let.

Mnoge zračne luke diljem svijeta rade na implementaciji novih i inovativnih tehnologija kako bi poboljšali svoje poslovanje. Neke rade na pojedinim aspektima dok druge mijenjaju cijeli pristup teoriji redova čekanja kako bi se postigao optimum korištenja resursa i pružanja odgovarajuće usluge korisnicima.

LITERATURA

Knjige:

- [1] Zenzerović, Z. *Teorija redova čekanja, Stohastički procesi 2. dio*, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2003.
- [2] Kanaka, B. *Queuing Theory Concept and Applications*, ICFAI University Press, editor: B.V.S. Prasad, 2009.
- [3] Sazdanović, S. *Elementi operacionih istraživanja*, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [4] Willig, A. *A Short Introduction to Queueing Theory*, Tehnical University Berlin, Berlin, 1999.
- [5] Žiljak, V. *Simulacija računalom*, Školska knjiga, Zagreb, 1982.

Članci:

- [6] Fodness, D., Murray, B. *Passengers' expectations of airport service quality*, Journal of Services Marketing, Vol. 21, No. 7, 2007, p. 492-506.
- [7] Jagoda, K., Balasuriya, V. *Passengers perception of airport service quality: an exploratory study*, University of Peradeniya.
- [8] Vannini, P. *Ferry tales: mobility, place and time on Canada's West Coast*, Routledge, 2012.
- [9] Blichfeldt, B., Pumputis, A., Ebba, K. *Using, spending, wasting and killing time in airports*. International Journal of Culture, Tourism and Hospitality Research, 11(1), 2017.
- [10] Alodhaibi, S., Burdett, R.L., Yarlagadda, P. KDV (2017), *Framework for Airport Outbound Passenger Flow Modelling*, Procedia Engineering, Volume 174, 2017, p. 1100-1109.
- [11] Vokáč, R., Lipták, T., Lánský, M. *The Methods of Terminal Capacity Analysis*, MAD - Magazine of Aviation Development, 4(17), 2016., p. 20-23.
- [12] Lange, R.D., Lovich, I.S., Rhee, B.D. *Research on Airport Security Based on Virtual Queueing Theory*, European Journal of Operational Research, 225(1), 2013, p.153.

[13] Jawab, F. et al., *Queuing model for improving airport passengers treatment process*, Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Paris, France, July 26-27, 2018.

[14] Liu, Y., *Research on airport security based on virtual queuing theory*, Proceedings of the International Conference on Network, Communication, Computer Engineering (NCCE 2018), Advances in Intelligent Systems Research, volume 147.

Web izvori:

[15] <https://www.oag.com/busiest-airports-world> (preuzeto 5.7.2022.)

[16] <https://www.oag.com/coronavirus-airline-schedules-data> (preuzeto 5.7.2022.)

[17] <https://www.internationalairportreview.com/article/108195/five-quick-wins-for-improving-airport-queue-occupancy-and-flow-efficiency/> (preuzeto 10.7.2022.)

[18] <https://veovo.com/discover/news/veovo-3d-sensor/> (preuzeto 10.7.2022.)

[19] <https://veovo.com/discover/news/schiphol-keeps-passengers-moving-with-veovo/>
(preuzeto 12.7.2022.)

[20] <https://veovo.com/discover/success-stories/auckland-airport-takes-to-the-streets-to-boost-city-to-gate-passenger-experience/> (preuzeto 15.7.2022.)

[21] <https://veovo.com/discover/articles/rate-making-and-gate-management/> (preuzeto 12.07.2022.)

[22] *Improving and optimising the level of servic of an airport*, dostupno na <https://www.iata.org/contentassets/935670dbc80e40f3a35b85a71ddd368e/cons-apcs-los-article-iar-2015.pdf> (preuzeto 31.08.2022.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Struktura procesa čekanja	3
Slika 2. Vrste redova čekanja	5
Slika 3. Ukupno prosječno vrijeme provedeno po području i letu	36
Slika 4. Primjer korištenja Veovo 3D senzora	37
Slika 5. Zračna luka Schiphol (Amsterdam)	41
Slika 6. Zračna luka Auckland (Novi Zeland)	42

POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 1. Dijagram toka putnika u odlasku	15
Dijagram 2. Dijagram podprocesa odlaska	16
Dijagram 3. Dijagram toka putnika u dolasku	19
Dijagram 4. Dijagram podprocesa dolaska	20
Dijagram 5. Usporedba normalnih i virtualnih redova čekanja	24
Dijagram 6. Dijagram toka operacije virtualnog čekanja	25

POPIS TABLICA

Tablica 1. Maksimalno vrijeme čekanja koje preporučuje IATA	13
Tablica 2. Broj putnika u redu i vrijeme čekanja u fazi kontrole ručne prtljage	18
Tablica 3. Broj putnika u redu i vrijeme čekanja na imigracijskoj kontroli	18
Tablica 4. Broj putnika u redu i vrijeme čekanja na mjestima inspekcije/filtracije (PIF)	19

Tablica 5. Protok putnika na imigracijskim šalterima	20
Tablica 6. Primjena teorije redova čekanja u procesu usluživanja putnika zračne luke	22
Tablica 7. Podaci zračne luke za sigurnosnu kontrolu	25
Tablica 8. Vrijeme čekanja za ne-virtualne putnike koji stoje u redu	26
Tablica 9a/b. Rezultati proračuna i simulacije izvedene u MATLAB-u	27
Tablica 10. Usporedba rezultata u različitim okolnostima	28
Tablica 11. Top 10 najprometnijih svjetskih zračnih luka prema sjedalima (domaći i međunarodni letovi)	32
Tablica 12. Top 10 najprometnijih međunarodnih zračnih luka prema sjedalima (međunarodni letovi)	32
Tablica 13. Top 10 najprometnijih europskih zračnih luka prema sjedalima (domaći i međunarodni letovi)	33

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Broj putnika koji čekaju u vremenskim intervalima od 20 minuta	17
Grafikon 2. Ukupan broj sjedala zračnih prijevoznika (domaći i međunarodni letovi) u razdoblju 2019.-2022. godine	33
Grafikon 3. Izmjereno vrijeme čekanja u odnosu na optimizirano vrijeme čekanja	35