

Zračne luke u funkciji intermodalnih čvorišta

Jukić, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:196463>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marko Jukić

ZRAČNE LUKE U FUNKCIJI INTERMODALNIH ČVORIŠTA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 11. svibnja 2021.

Zavod: Samostalne katedre
Predmet: Integralni i intermodalni sustavi

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6349

Pristupnik: Marko Jukić (0135254413)
Studij: Promet
Smjer: Zračni promet

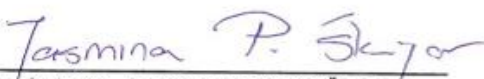
Zadatak: Zračne luke u funkciji intermodalnih čvorišta

Opis zadatka:

U radu je potrebno navesti značajke intermodalnog transporta. Isto tako potrebno je objasniti sustav zračne luke te napraviti analizu prihvata i otpreme tereta u zračnim lukama. Potrebno je prikazati hub and spoke koncept te objasniti uloge zračne luke unutar navedenog koncepta.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:


prof. dr. sc. Jasmina Pašagić Škrinjar

Neposredni voditelj:



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ZRAČNE LUKE U FUNKCIJI INTERMODALNIH ČVORIŠTA AIRPORTS IN THE FUNCTION OF INTERMODAL HUBS

Mentor: prof. dr. sc. Jasmina Pašagić Škrinjar

Student: Marko Jukić

Neposredni voditelj: Martina Jakara, mag. ing. traff.

JMBAG: 0135254413

Zagreb, kolovoz 2021.

Sažetak

Važnost intermodalnog prijevoza, kao novog suvremenog načina prometovanja, ogleda se u prednostima koje on nudi uključivanjem više prijevoznih modova tijekom prijevoza iste teretno-manipulativne jedinice. Kroz rad će se prikazati kako su zračne luke prilagođene intermodalnom prijevozu, te će biti pobliže objašnjena njihova uloga i zadaća u teretnim opskrbnim lancima. Analizirati će se tokovi tereta kroz koje teret prolazi da bi stigao do krajnjeg korisnika te shodno tome će biti prikazan kronološki slijed radnji koje se poduzimaju u zračnim lukama prilikom dolaska i odlaska tereta. Osim toga, u radu će biti analizirana i *hub and spoke* koncepcija mreže koja je karakteristična za zračni promet, njene prednosti i značaj za nesmetano odvijanje opskrbnih lanaca. Svaka vrsta *hub and spoke* mreže zasebno će se prikazati i objasniti.

Ključne riječi: Zračna luka; prihvatno-otpremni terminal; *hub and spoke*

Summary

The importance of Intermodal Transport, as a new modern form of transport, is reflected in the advantages it offers by including more transport modes in the transport of the same cargo handling unit. This paper will show how airports are adapted to intermodal transport, and their role and tasks in freight supply chains will be explained in more detail. The cargo flows through which the cargo passes in order to reach the end user will be analyzed and accordingly, the chronological sequence of actions taken at airports on arrival and departure of cargo will be shown. In addition, the paper will analyze the hub and spoke concept of the network that is characteristic of air traffic, its advantages and importance for the smooth running of supply chains. Each type of hub and spoke network will be presented and explained separately.

Keywords: Airport; Cargo Terminal; hub and spoke

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. INTERMODALNI PRIJEVOZ	2
2.1. Definiranje osnovnih pojmova intermodalni, kombinirani i multimodalni	2
2.2. Poopćeni model prometne mreže	4
2.3. Elementi intermodalnog prijevoznog sustava	5
2.4. Povezivanje različitih modova prijevoza (<i>gateways</i>).....	6
2.5. Sredstva integralnog prijevoza	7
2.5.1. ULD kontejner.....	7
2.5.2. ULD paleta	8
2.5.3. Igloo	9
2.5.4. Standardni ISO kontejner	9
3. SUSTAV ZRAČNE LUKE	11
3.1. Značaj zračnih luka u prijevozu tereta	12
3.2. Prometna suprastruktura.....	13
3.2.1. Prijevozna sredstva.....	14
3.2.2. Prekrajna mehanizacija.....	15
3.2.3. Tipovi zrakoplova za prijevoz tereta	16
3.3. Prihvatno-otpremni terminal	16
3.3.1. Funkcije prihvatno-otpremnog terminala zračne luke.....	17
3.3.2. Služba prihvata i otpreme tereta	18
3.3.3. Podjela prihvatno-otpremnih terminala zračne luke	19
4. ANALIZA PRIHVATA I OTPREME TERETA U ZRAČNIM LUKAMA	21
4.1. Elementi procesa zračnog prijevoza tereta.....	21
4.2. Definiranje tehnološkog procesa prijevoza tereta u zračnom prometu	22
4.3. Teretni opskrbni lanci u zračnom prometu	23
4.4. Proces prihvata i otpreme tereta u zračnoj luci	25
4.4.1. Tok tereta u odlasku sa zračne luke	26

4.4.2. Tok tereta u dolasku na zračnu luku.....	27
5. KONCEPCIJA HUB AND SPOKE MREŽE.....	28
5.1. Usporedba direktne veze i <i>hub and spoke</i> mreže	28
5.2. Vrste <i>hub and spoke</i> koncepta.....	29
5.2.1. Podjela po vrsti <i>hub and spoke</i> mreže	29
5.2.2. Podjela po alokaciji	30
5.2.3. Podjela po klasama.....	32
6. PRIJEVOZ ZRAČNOG TERETA KAMIONIMA (ROAD FEEDER SERVICE) ..	35
7. ZAKLJUČAK.....	37
POPIS LITERATURE.....	39
POPIS SLIKA.....	43
POPIS TABLICA.....	43

1. UVOD

U današnje vrijeme prisutna je izrazita potražnja za prijevozom gotovo svih oblika tereta zračnim putem. Sa unaprjeđenjem eksploatacijskih svojstava zrakoplova odnosno produljenjem njihova doleta i povećanjem nosivosti, zrakoplovi su postali konkurentna prijevozna sredstva kojima je moguće prevesti gotovo bilo kakav teret na velike udaljenosti. Novi trendovi koje potiče globalizacija potaknuli su teretni zračni promet da postane izrazito dinamičan i konkurentan osobito u pogledu međunarodnog prijevoza. Novi dionici ulaze na tržište, razvijaju se novi koncepti i nove tehnologije prijevoza.

Da bi se osigurao siguran, brz i učinkovit prijevoz tereta zračnim putem s jednog mjesta na drugo, ključno je kvalitetno djelovanje zračne luke koja predstavlja glavnu sponu na putu tereta od pošiljatelja do primatelja. Na zračne luke se može još gledati kao na mjesto na kojem se susreću dva ili više prometna moda, a služi i za konsolidaciju, carinjenje i druge usluge vezane uz teret.

Tema ovog završnog rada je Zračne luke u funkciji intermodalnih čvorišta, a cilj rada je opisati odvijanje svih procesa vezanih za prihvat i otpremu tereta u zračnoj luci, te prikazati ključna zbivanja unutar teretnih opskrbnih lanaca u zračnom prometu kao i način na koji su zračne luke umrežene preko *hub and spoke* mreže. Sve bitne značajke vezane uz zadanu temu bit će sagledane unutar sedam poglavlja, uključujući uvod i zaključak.

Nakon predstavljanja završnog rada u uvodnom dijelu, slijedi drugo poglavlje u kojem će biti objašnjen intermodalni prijevoz u širem smislu riječi, uključujući i poopćeni model prometne mreže čije je poznavanje korisno radi lakšeg razumijevanja kasnije analize *hub and spoke* mreže. U trećem poglavlju prikazan je sustav zračne luke. Predstavljena je prometna suprastruktura neophodna za obavljanje prijevoznih, prekrcajnih i drugih radnji nad teretom koji se prevozi zračnim putem. Osim toga, objašnjena je i organizacija prihvatno-otpremnog terminala koji djeluju u sklopu zračne luke. U četvrtom poglavlju detaljno je opisano odvijanje procesa prihvata i otpreme tereta u zračnim lukama kao i procesa prijevoza tereta u zračnom prometu. U petom poglavlju, pod naslovom koncepcija *hub and spoke* mreže, opisan je način međusobnog povezivanja čvorova u mreži, te je prikazana podjela *hub and spoke* mreže prema: vrsti, alokaciji i klasama. U šestom poglavlju opisano je funkcioniranje *Road Feeder Service* linija tj. prijevoza zračnog tereta kamionima. U sedmom poglavlju je izveden zaključak, a na samom kraju završnog rada nalazi se popis literature, popis slika i popis tablica.

2. INTERMODALNI PRIJEVOZ

Zbog specifičnosti određenog tereta koji se prevozi, načina pakiranja i specifičnih uvjeta koje je neophodno ispoštovati u okviru samog prijevoznog procesa, odavno se pojavila potreba da se teret što manje pretovara, odnosno izlaže nepotrebnoj manipulaciji u toku cjelokupnog prijevoza. To je bio i jedan od razloga da nastane potreba za odvijanjem cjelokupnog prijevoznog procesa korištenjem više modova prometa, ali uz upotrebu samo jedne teretno-manipulativne jedinice. Ovakav način prijevoza se naziva intermodalni prijevoz [1].

2.1. Definiranje osnovnih pojmova intermodalni, kombinirani i multimodalni

Intermodalni

Pojam intermodalni mogao je nastati od latinskih riječi: „*inter*“ što označava da se nešto nalazi između dijelova onoga što je rečeno drugim dijelom riječi; „*modus*“ u značenju vrsta, način i „*multus*“ u značenju mnogo ili više čega [2].

Intermodalni prijevoz je tehnologija kojom se teret prevozi u jednoj te istoj teretno-manipulativnoj jedinici ili vozilu uzastopnim korištenjem više različitih modova prijevoza bez rukovanja samim teretom prilikom promjene moda prijevoza [3]. Ovaj način prijevoza donosi niz pogodnosti, kao što su: manji broj operacija rukovanja sa teretom, povećana sigurnost tereta, brža isporuka te manja vjerojatnost nastanka štete ili gubitka tereta.

Prema [4] ukupno vrijeme prijevoza od izvorišta do odredišta moguće je odrediti pomoću formule (1):

$$t_{jk} = \sum_i^M t_{pi} + \sum_j^N t_{wj} \quad (1)$$

gdje je:

t_{jk} - ukupno vrijeme prijevoza jedinice

t_{pi} - vrijeme prijevoza i -tim modom (cestovnim, željezničkim, vodnim)

t_{wj} - vrijeme čekanja na sučeljima modova

Multimodalni

Prema [3] multimodalni prijevoz se definira kao prijevoz tereta s najmanje dva različita moda prijevoza na temelju ugovora o multimodalnom prijevozu iz mjesta u jednoj državi u kojoj je operator multimodalnog prijevoza preuzeo teret do mjesta određenog za dostavu u drugoj državi. Temeljno načelo je koristiti prednosti svakog pojedinog moda na određenom dijelu puta uz osiguranje odgovarajućih sučelja na prijelazu s jednog moda na drugi.

Intermodalni prijevoz je uži pojam od multimodalnog prijevoza. Razlika je u tome što intermodalni prijevoz uključuje izdavanje prijevoznog dokumenta za svako korišteno prijevozno sredstvo (kamion, brod i sl.) dok se u multimodalnom prijevozu ispostavlja samo jedan jedinstveni dokument o prijevozu tereta. Još jedna bitna razlika je što se u intermodalnom prijevozu moraju koristiti intermodalne teretne jedinice u kojima je teret zaštićen i njime se ne rukuje tijekom cijelog prijevoznog procesa i promjene modova. Za organizaciju prijevoza u multimodalnom prijevozu zadužen je samo jedan prijevozni operator odnosno operator multimodalnog prijevoza koji nudi uslugu prijevoza „od vrata do vrata”.

Kombinirani

Riječ kombinirani mogla je nastati od latinske riječi „*combinare*“ u značenju: povezivati u jedno [2]. Prema [3] kombinirani prijevoz se tumači kao vrsta prijevoza gdje se jedno (pasivno) prijevozno sredstvo prevozi na drugom (aktivnom) prijevoznom sredstvu koje osigurava vuču i troši energiju. Kombinirani prijevoz je podsustav intermodalnog prijevoza s time da je na početnoj ili završnoj dionici korišteno cestovno prijevozno sredstvo što je kraće moguće.

Podrobnije značenje dato je u Direktivi vijeća 92/106/EEZ, kojom se pojam „kombinirani prijevoz” definira kao prijevoz tereta između država članica Europske unije, pri čemu se kamion, prikolica, poluprikolica, s vučnim vozilom ili bez njega, izmjenjivi sanduk ili kontejner od 20 stopa ili više, koristi na cesti pri početnoj ili završnoj dionici putovanja, a u drugoj dionici, željezničkim ili unutarnjim plovnim putom ili pomorskim prijevozom (kratka obalna plovidba), ako je ta dionica dulja od 100 km zračne linije. Pri tome prijevoz tereta koji se odvija cestom čini početnu i/ili završnu dionicu cestovnog prijevoza. (org. U Direktivi vijeća 92/106/EEZ, pojam „kombinirani prijevoz” podrazumijeva prijevoz tereta) [5].

2.2. Poopćeni model prometne mreže

Prema [4] prometna mreža je prostorno distribuiran sustav čija je temeljna funkcija omogućiti sigurno, učinkovito, ekološki i troškovno prihvatljivo premještanje ljudi, tereta i informacija od izvorišta „a“ do odredišta „b“.

Prostorna dostupnost i kvaliteta pristupa određenoj prometnoj mreži bitno predodređuju njezino korištenje. Tako će npr. udaljenost ili druge barijere pristupa do zračne luke bitno utjecati na odluku korisnika o izboru moda prijevoza. Pristup zračnoj luci može biti ograničen uslijed prometnih opterećenja cestovnih prometnica koje vode do njih. Dodatno ograničenje su stroge sigurnosne procedure u zračnim luka koje mogu prouzročiti vremenske gubitke vezane za prihvat i otpremu tereta i pošte [4].

Prema [4] poopćeni model prometne mreže može se predstaviti izrazom (2):

$$PM = (ME, R_{ME})_{s,t} \quad (2)$$

gdje je:

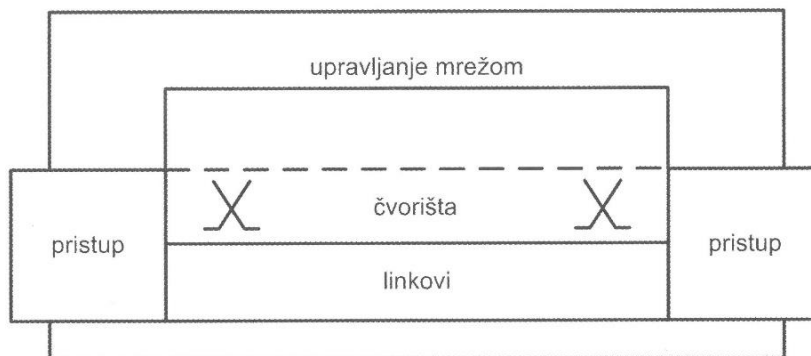
PM - prometna mreža

ME - mrežni element

R_{ME} - relacije

s, t - prostorno-vremenski okvir promatranja

Prometnu mrežu općenito čine mrežni elementi koji obavljaju određene funkcije vezane za pristupno opsluživanje, slijevanje prometa, daljinsko povezivanje, dodatne usluge i upravljanje mrežom [4]. U skladu s time može se postaviti poopćeni strukturni model prometne mreže prikazan na slici 1.



Slika 1: Poopćeni strukturni model prometne mreže, [4]

Pristupni dio mreže čine mjesta s kojih prometni entiteti (cestovna vozila, zrakoplovi, brodovi, itd.) ulaze ili izlaze s „jezgrenog dijela“ mreže odnosno uključuju se u prometne tokove. U sustavu zračnog prometa zrakoplovi izlaze sa svoje stajanke te preko vozni staza dolaze do uzletno-sletne staze [4].

Terminali su mjesta na kojima se susreću dva ili više prometna moda radi dovoza ili predaje, odnosno preuzimanja i odvoza tereta za prijevoz, mjesta za skladištenje i dr. Čine glavnu sponu na prijevoznom putu tereta od proizvođača do potrošača, a služe i za preradu, doradu, prepakiranje, razvrstavanje, uzorkovanje, carinjenje i druge usluge vezane uz teret [6].

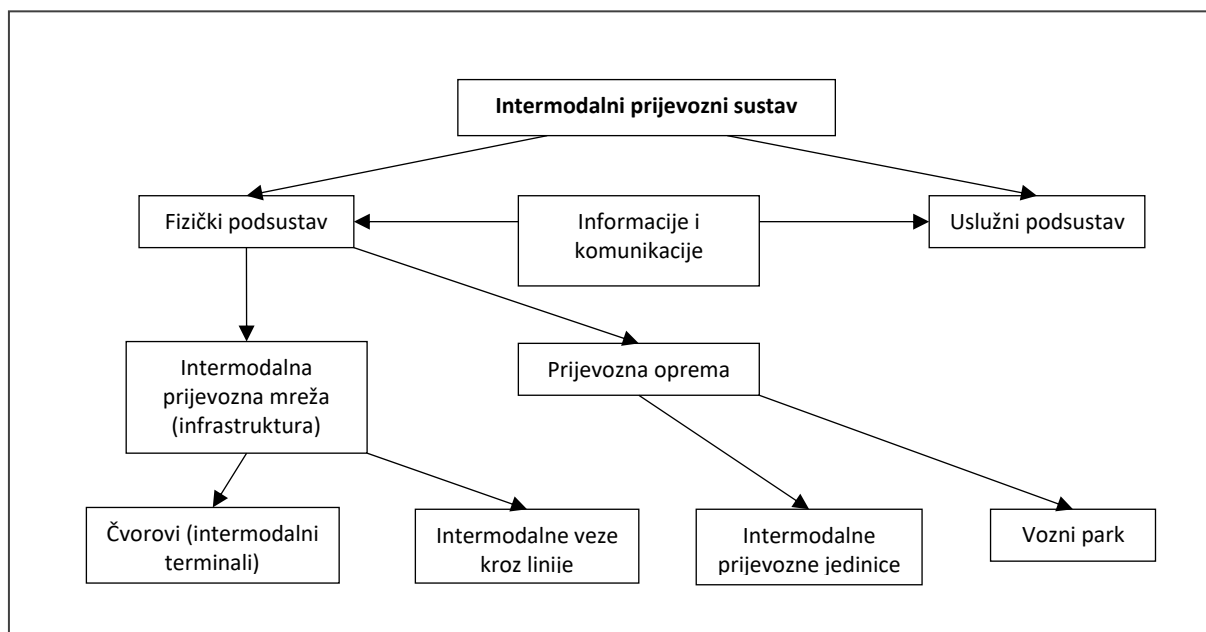
Čvorišta se definiraju kao mrežni elementi u kojima se koncentriraju, križaju, slijevaju ili odlijevaju prometni tokovi vozila, vlakova, zrakoplova, brodova, telekomunikacijskih kanala, podatkovnih podataka ili drugih prometnih entiteta. Tokovi putnika, tereta, paketa i drugih „transportnih entiteta“ u prometnom čvorištu ne smiju ometati tokove prometnih entiteta (npr. putnik ne smije biti na voznoj ili uzletno-sletnoj stazi) [4]. Čvorišta se mogu promatrati kao središta u kojima se izvršavaju aktivnosti poput objedinjavanja, sortiranja, skladištenja i pretovara između vozila, kao i između različitih modova prijevoza.

Veze se definiraju kao mrežni element koji spaja dva čvora i omogućuje kontinuirane tokove prometnih entiteta. Primjeri veza su: dionica ceste između dvaju raskrižja ili čvorišta, željeznička pruga s jednim ili više kolosijeka za promet vlakova između postaja i dr. [4].

Upravljanje prometnom mrežom uključuje širok raspon djelovanja, od trenutnog otklanjanja incidentnih situacija preko reguliranja prometa i održavanja mreže do strategije izgradnje temeljnih mrežnih kapaciteta [4].

2.3. Elementi intermodalnog prijevoznog sustava

Intermodalni prijevozni sustav se dijeli na dva podsustava. Prvi podsustav je fizički koji se sastoji od infrastrukture i prijevozne opreme. Infrastruktura se sastoji od čvorova i veza (linija). Mreža sastavljena od čvorova i veza naziva se fizička intermodalna prijevozna mreža. Veze su u ovisnosti o prijevoznim modovima: npr. željeznice, ceste, unutarnji plovni putovi, zračni putovi. Čvorovi predstavljaju intermodalne terminale, npr. luke, aerodrome.. Prijevozna oprema uključuje vozni park (kamioni, vlakovi, brodovi...) i intermodalne teretne jedinice (kontejnere, palete...) [6]. Pomoću slike 2 vide se svi elementi intermodalnog prijevoznog sustava.



Slika 2: Intermodalni prijevozni sustav, [6]

Podsustav usluga pruža usluge unutar intermodalnoga prijevoznog sustava. Uslužni akteri predstavljaju drugu grupu koja uključuje niz kompanija i organizacija koje pružaju usluge (špediteri, pošiljatelji, morski prijevoznici, cestovne kompanije...). Upravo oni omogućuju prijevoz između čvorova fizičke intermodalne prijevozne mreže. Oni nude i druge usluge, kao distribuciju, skladištenje i administraciju [6].

2.4. Povezivanje različitih modova prijevoza (*gateways*)

Sustav teretnog prijevoza karakterizira uzastopno kretanje tereta između mjesta ponude i potražnje, što u teoriji često označavamo kao čvorišta. Sav protok tereta uvijek prolazi kroz čvorove, a sam čvor može biti izvor, destinacija ili točka prekrcaja gdje se obavlja utovar/istovar, sortiranje i slaganje tereta. Veze predstavljaju aktivnosti prijevoza. U stvarnom sustavu veze opslužuju prijevozna sredstva koja koristeći se prometnom infrastrukturom povezuju čvorove stvarajući prijevoznu mrežu [7].

Za čvorove se koristi naziv terminal iako su nazivi poput aerodrom, luka ili kopneni terminal češći u kolokvijalnom govoru. Neki čvorovi se prikazuju kao prihvatni ili transportirajući čvorovi iz kojih teret izlazi iz mreže ili ulazi sa druge mreže. Takva vrsta čvora, u kojoj se spajaju različiti tipovi mreže, se naziva *gateway*. Drugi naziv za *gateway* je „zonski

centroid“ (*engl. zone centroids*) [7]. Unatoč imenu, ne mora se nalaziti u sredini mreže što se čini razumnim jer je teško pristupiti čvoru u sredini, osim u zračnom prometu.

2.5. Sredstva integralnog prijevoza

U zračnom prometu se gotovo sav teret prevozi u kontejnerima ili na paletama, što govori o stupnju kontejnerizacije i paletizacije u odnosu prema drugim modovima prometa. Dakako, razlog tome su vrste tereta koje se prevoze zračnim putem. Teretno-manipulativne jedinice koje se koriste u sustavu zračnog prometa (ULD) odstupaju od drugih, stoga pošiljatelj mora voditi računa o tome da teret bude upakiran u skladu s IATA¹ preporukama i propisima za pakiranje tereta u zračnom prometu [8].

Međunarodna organizacija za zračni prijevoz - IATA pod ULD-om razumijeva bilo koji tip kontejnera, palete ili iglua koji se koristi u zračnom prijevozu, pri čemu je nebitno je li neki ULD u vlasništvu neke od članica IATA-e i je li integralni dio zrakoplova [9].

U nastavku su navedene i objašnjene teretno-manipulativne jedinice koje su predmet manipulacije u zračnim lukama.

2.5.1. ULD kontejner

Kontejner je sanduk odnosno kutija za objedinjavanje tereta koja se koristi u svim modovima prometa. Većina kontejnera koja se danas koristi u zračnom prijevozu nije kompatibilno za prijevoz nekim drugim prijevoznim sredstvom osim zrakoplovom. Njihovi Izgledi i dimenzije nisu se u mnogome mijenjale u posljednjim desetljećima. Standardnih su dimenzija, a rubovi i vrhovi kontejnera u zaobljeni kako ne bi oštetili zrakoplov, drugi teret i kontejnere, aerodromsku opremu za manipulaciju ili ozlijedili osoblje.

ULD kontejneri su potpuno zatvoreni prostori standardnih izmjera koji se koristi za utovar prtljage, tereta i pošte na širokotrupne zrakoplove i određene uskotrupne zrakoplove. Omogućuje objedinjenje velike količine tereta u jednu cjelinu nad kojom se dalje vrši manipulacija. Stranice su izrađene od aluminijske ili posebne vrste plastičnih materijala dovoljno otpornih za višestruku upotrebu. Izmjere i oblik odgovaraju tipu zrakoplova za kojeg su

¹ IATA [*engl. International Air Transport Association*] - Međunarodna organizacija za zračni prijevoz

namijenjene, sve s ciljem postizanja maksimalne iskorištenosti ukrcajnog prostora zrakoplova. Na slici 3 nalazi se primjer jednog ULD kontejnera.

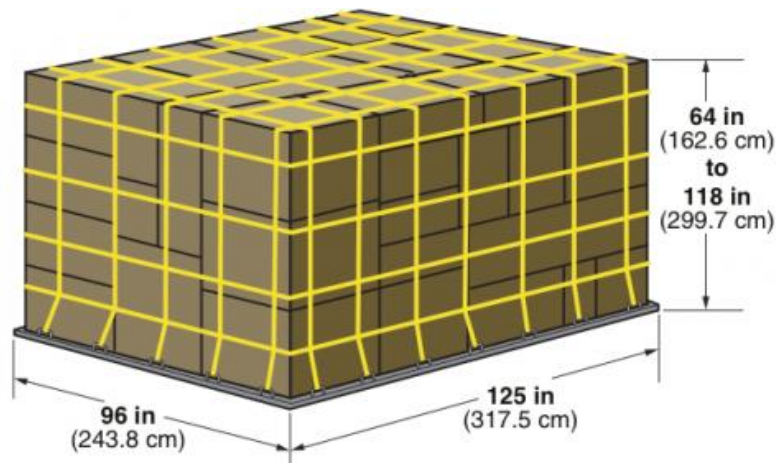


Slika 3: Prikaz ULD kontejnera tipa AKH

2.5.2. ULD paleta

ULD paleta je ravna aluminijska ploča s ojačanim rubovima dizajnirana da se može pričvrstiti na dno bagažnika u zrakoplovu. U rubovima palete se nalaze i otvori za kopče pomoću kojih se učvršćuje mreža za osiguravanje tereta. Karakteristika palete je da su što lakše, ali izdržljivije kako bi se mogla ukrcati što veća neto težina tereta uz zadanu maksimalnu dozvoljenu težinu palete [10]. Teret se slaže na palete u skladu sa preporukama IATA-e za formiranje pošiljke² koja će se koristiti u zračnom prijevozu. Na slici 4 prikazana je ULD paleta tipa PMC s pripadajućim dimenzijama.

² Pošiljku čini jedan ili više komada tereta prihvaćenih na prijevoz od jednog pošiljatelja pod jednim teretnim listom do jednog primatelja [9]



Slika 4: PMC paleta s mrežom, za glavnu palubu zrakoplova, [11]

Razlozi zbog kojih se odabiru palete umjesto kontejnera:

- određeni teret (*engl. Special Load*) nije moguće smjestiti u kontejnera,
- postoji više načina slaganja tereta kada se koriste palete.

2.5.3. Igloo

Igloo je zapravo paleta s integriranom zatvorenom krutom kupolom koja onemogućuje oštećenje tereta ili zrakoplova. Kupola popunjava odjeljak tj. kabinu zrakoplova, a izrađuje se najčešće od staklene vune ili lakog metala. Može biti i pravokutnog oblika, a otporan je na vremenske uvjete te se može zapečatiti zbog carinskih propisa.

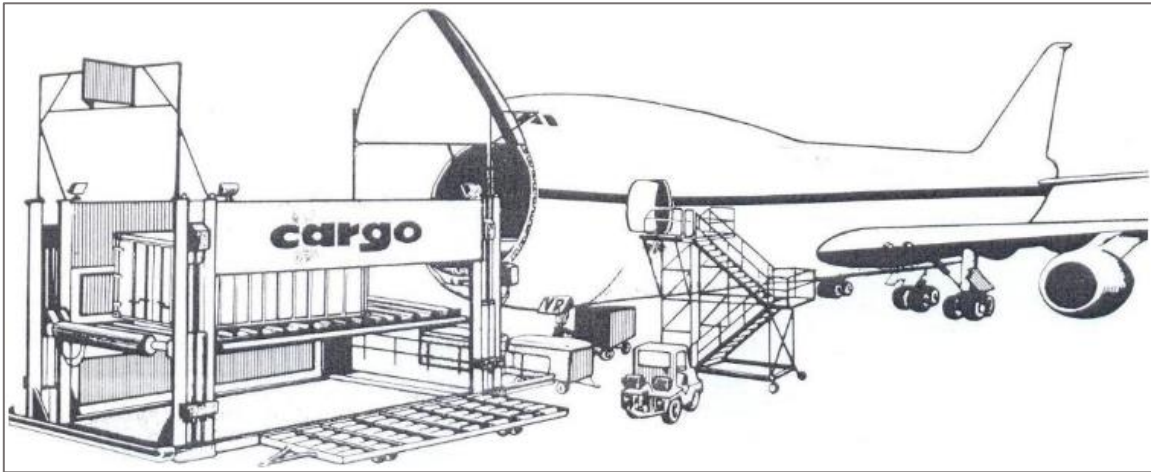
Postoje dvije vrste iglooa [8]:

- strukturnalni, integralne konstrukcije i zatvorene školjke,
- nestrukturnalni, otvorenog tipa na jednoj od duljih stranica, bez dna je i spojen je vijcima za paletu te osiguran mrežom. Postoji plastična zavjesa na otvorenoj strani za zaštitu tereta.

2.5.4. Standardni ISO kontejner

Pojavom širokotrupnih zrakoplova omogućeno je da se u zrakoplov mogu utovariti i kontejneri ISO dimenzija. Tako je omogućena integracija zrakoplovnog i ostalih modova prijevoza u kojima se ovi kontejneri koriste od ranije.

ISO kontejneri za prijevoz zrakom i kopnom su 20' i 40' kontejneri visine i širine 2.438 m. Mogu biti prevoženi samo na glavnoj palubi širokotrupnog teretnog zrakoplova. ISO kontejneri imaju potpuno ravnu bazu kompatibilnu sa sustavima valjaka u zrakoplovu, a opremljeni su na gornjoj i donjoj strani sustavima za prihvat i učvršćenje koji omogućuju izravan utovar na kopnena prijevozna sredstva [10]. Na slici 5 prikazan je nosni utovar ISO kontejnera u teretni zrakoplov.



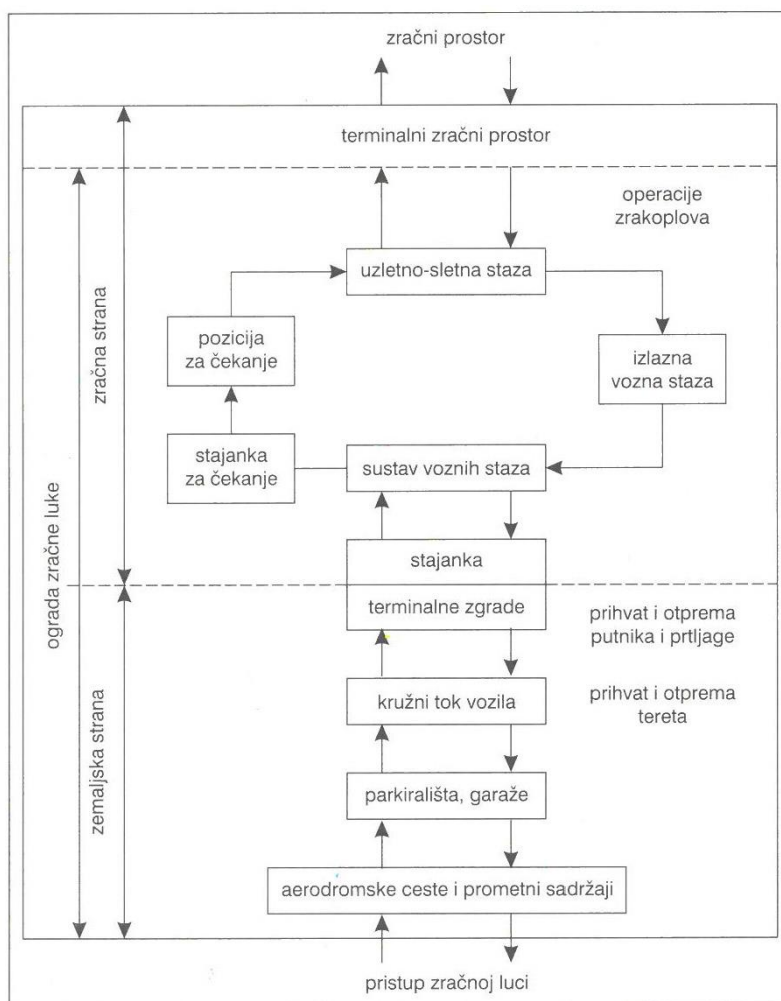
Slika 5: Prikaz nosnog utovara ISO kontejnera, [10]

Problemi u praktičnoj primjeni ovih kontejnera bili su kako riješiti pitanje relativno velike mrtve mase kontejnera budući da je nosivost zrakoplova ograničena. Problem je nadomješten povoljnostima koje kontejner u zračnom prometu pruža, prije svega, visokim stupnjem zaštite tereta pri prijevoznom procesu, kao i kompatibilnošću i mogućnošću brzih veza sa ostalim modovima prijevoza formiranjem „prijevoznog lanca“ od vrata do vrata bez direktnog djelovanja na teret [1].

3. SUSTAV ZRAČNE LUKE

Zračna luka (*engl. airport*) je aerodrom posebno prilagođen za usluge u zračnom prijevozu (stari zakon iz 1998. godine je zahtijevao bar jedan instrumentalni prilaz). Zračna luka se kao izvršitelj dijela prijevoznog procesa pojavljuje u fazi otpreme i u fazi prihvata, odnosno u pripremnoj i završnoj fazi prijevoznog procesa. Prema tome, njihov je temeljni predmet poslovanja - obavljanje poslova prihvata i otpreme zrakoplova, putnika, prtljage, pošte i tereta što obavljaju služeći se objektima, uređajima i opremom za te svrhe [12].

Sa gledišta prometa, zračna luka se sastoji od zračne strane (*engl. airside*) koja se sastoji od terminalnog zračnog prostora, manevarskih površina (uzletno-sletne staze i sustava voznih staza) i stajanke te zemaljske strane (*engl. landside*) koja obuhvaća putničku zgradu, prihvatno-otpremini terminal, prometnice i parkirališta itd. [12]. Elementi sustava zračne luke prikazani su na slici 6.



Slika 6: Prikaz zračne i zemaljske strane zračne luke, [12]

3.1. Značaj zračnih luka u prijevozu tereta

Zračne luke djeluju kao čvorišta u zračnom prometu unutar kojih se isprepliću tokovi putnika i tereta. Imaju vitalnu funkciju u sustavu zračnog prometa pružajući ključnu infrastrukturu za funkcioniranje prometnoga sustava. Unatoč njihovom značaju u cjelokupnom sustavu, tradicionalno se na njih često gleda kao na „vanjski medij“, a ne kao integrirani dio lanca opskrbe [13]. Važna su karika u teretnom zračnom prometu jer se putem njih ostvaruje veza između kopnenog prijevoza i operacija zrakoplova.

Mnogi objekti na zračnoj luci koji se koriste za operacije vezane uz putnika se mogu ujedno koristiti i za operacije vezane uz teret, ali uz to teret zahtijeva opremu za manipulaciju, skladišta u kojima se teret skladišti prije nego se otpremi na zrakoplov ili isporuči primatelju i pristup glavnim magistralnim cestama [13].

Iako većina zračnih luka na svijetu pripada među male regionalne zračne luke koje imaju mali protok tereta, druge zračne luke uveliko ovise o teretnom prometu. U tablici 1 nalazi se 10 najprometnijih zračnih luka po količini prevezenog tereta u 2020. godini kao i usporedba sa ostvarenim rezultatima iz godine koja je prethodila (2019.).

Tablica 1: Deset najprometnijih zračnih luka po količini prevezenog tereta

Svjetski rang (2020.)	Svjetski rang (2019.)	Zračna luka	IATA kod	Ukupno tereta u tonama (2020.)	Ukupno tereta u tonama (2019.)	2020. vs 2019. Razlika
1	2	Memphis	MEM	4 613 431	4 322 740	+6,7
2	1	Hong Kong SAR	HKG	4 468 089	4 809 485	-7,1
3	3	Shanghai	PVG	3 686 627	3 634 230	+1,4
4	6	Anchorage	ANC	3 157 682	2 745 348	+15,0
5	4	Louisville	SDF	2 917 243	2 790 109	+4,6
6	5	Incheon	INC	2 822 370	2 764 369	+2,1
7	9	Chinese Taipei	TPE	2 342 714	2 182 342	+7,4
8	13	Los Angeles	LAX	2 229 476	2 092 003	+6,6
9	8	Doha	DOH	2 175 292	2 215 804	-1,8
10	12	Miami	MIA	2 137 699	2 092 472	+2,2
Ukupno				30 550 623	29 648 902	+3,0

Izvor: [14]

Iz tablice 1 može se uočiti da je u poretku najprometnijih zračnih luka po količini prevezenog tereta prošle godine u svijetu došlo do promjena u usporedbi s 2019. godinom. Najuočljivija promjena dogodila se na vrhu poretka gdje je međunarodna zračna luka Memphis

s porastom od +6,7%, nadmašila međunarodnu zračnu luku Hong Kong koja je zabilježila pad od -7,1% u odnosu na 2019. godinu.

Tekuća kriza prouzrokovana pandemijom korona virusa, dovela je do djelomičnog prekida prometa na zračnim lukama širom svijeta, što je rezultiralo enormnim gubitcima i padom prometa poglavito u putničkom prometu. Zbog izricanja strogih mjera ograničenja kretanja i putovanja u druge zemlje, zabilježen je pad putničkog prometa od 47% na svih 10 najprometnijih zračnih luka po broju prevezenih putnika u 2020. godini [15]. Među 10 najprometnijih zračnih luka po broju prevezenih putnika našla se samo jedna zračna luka koja ujedno pripada i među 10 najprometnijih zračnih luka po količini prevezenog tereta. Riječ je o zračnoj luci Shanghai.

Pandemija COVID 19 je u manjoj mjeri utjecala na teretni zračni promet. Ukupan porast prometa teretom za 10 najprometnijih zračnih luka po količini prevezenog tereta iznosio je +3%. Navedene zračne luke su obradile oko 28% (30,6 milijuna metričkih tona) ukupnog svjetskog tereta u 2020. godini. Dobitak se može pripisati povećanju potražnje za farmaceutskim proizvodima, medicinskim uređajima te za zaštitnom medicinskom opremom [15].

3.2. Prometna suprastruktura

Suprastrukturu zračnog prometa čine sve vrste zrakoplova i drugih letjelica težih i lakših od zraka i prekrcajna mehanizacija koja služe proizvodnji usluga, reguliranju i sigurnosti zračnog prometa. Prijevozna sredstva i prekrcajna mehanizacija, kao temeljni elementi suprastrukture zračnog prometa, mogu proizvoditi prometnu uslugu samo pomoću objekata, uređaja i opreme infrastrukture zračnog prometa. Temeljno je obilježje suprastrukture zračnog prometa mobilnost prijevoznih sredstava i prekrcajne mehanizacije. Prijevozna sredstva omogućuju prometovanje predmeta pometa, a prekrcajna mehanizacija omogućuje utovar, istovar i prekrcaj predmeta prometovanja (tj. putnika, prtljage, tereta i sl.) [2].

Uvođenje ULD-ova uvjetovalo je i uključivanje odgovarajuće opreme i sredstava za operacije utovara i istovara kontejnera i paleta u zrakoplove kao i primjenu odgovarajuće mehanizacije za rukovanje teretom u skladištu i na utovarno-istovarnoj rampi gdje se vrši prijem i isporuka tereta [1].

3.2.1. Prijevozna sredstva

Za transfer odnosno prijevoz teretno-manipulativnih jedinica od i do zrakoplova uglavnom se koriste dolly kolica pogonjena vučnim vozilom i transporterima.

Dolly kolica su najčešće sredstvo za prijevoz ULD kontejnera i ULD paleta od stacionarnih platformi do utovarivača u zrakoplov. Manja kolica prikazana na slici 7 (a) služe za prijevoz jednog ULD-a, dok veća kolica prikazana na slici 7 (b) imaju kapacitet dva ULD-a. Obje vrste kolica imaju ugrađen sustav valjaka koji olakšava utovar i istovar ULD-a. Na ramu kolica, u smjeru utovara i istovara, urađeni su graničnici. Graničnici se ručno podižu i spuštaju, a služe za pozicioniranje ULD-a, sprječavanju njegovo klizanje po valjcima i spadanje sa kolica. Radi dodatne uštede u vremenu tijekom utovara i istovara, na pojedina kolica su instalirane okretne platforme kako bi se teretno-manipulativne jedinice mogle okrenuti u smjeru utovara na zrakoplov [12].



Slika 7: (a) Dolly kolica sa sustavom valjaka - kapaciteta jedan ULD; (b) Dolly kolica sa sustavom valjaka - kapaciteta dva ULD-a

Transporteri su kargo platforme s vlastitim pogonom, konstruirane tako da se njima, osim utovara i istovara, smije prevoziti teret. Namijenjeni su prijevozu ULD-a sa stacionarne platforme (npr. u prihvatno-otpremnom terminalu) do dolly kolica ili do utovarivača u zrakoplov. Razina transportera može se prilagoditi prema razini utovarivača ili stacionarne platforme. Ovisno o tipu i nosivosti mogu se prevoziti kontejneri ili, na većim transporterima, palete i kontejneri [12].

3.2.2. Prekrcajna mehanizacija

Na zračnim lukama za utovar, istovar i prekrcaj tereta koriste se različita sredstva za rad, odnosno prekrcajna mehanizacija, primjerice: utovarivači, elevatorske trake, portalne i poluportalne dizalice, viličari i dr.

Teretni utovarivač je namijenjen i dizajniran za utovar i istovar tereta koji se nalazi u kontejnerima ili na paleti. Čine ga dvije pokretne platforme koje se neovisno dižu ili spuštaju te na taj način omogućuju podizanje tereta sa nivoa kolica na nivo palube zrakoplova i obratno. Utovarivač se ubraja u skupinu samohodnih sredstava i shodno tomu ima na prednjoj desnoj strani odgovarajuću konzolu zajedno sa prostorom za vozača za upravljanje sredstvom [10].

Za utovar pojedinačnih pošiljaka u zrakoplov koristi se elevatorska traka. Elevator nije predviđen da služi za prijevoz tereta, niti kao sredstvo za vuču. Dizajniran je tako da ima prilagodljiv nosač trake što mu nudi mogućnost podizanja i spuštanja prednjeg i zadnjeg dijela nosača trake. Na ovaj način vrši se kompenzacija u razlici visine između vrata za utovar tereta u zrakoplov i platforme sredstva za prijevoz tereta.

Konvencionalni viličar koji se koristi na zračnim lukama služi za: utovar i istovar kamiona na zemaljskoj strani terminala, pozicioniranje tereta na skladišnim regalima unutar terminala te za utovar odnosno istovar tereta sa zrakoplova u slučajevima kada se standardna oprema za utovar i istovar ne može koristiti. Na slici 8 prikazan je jedan tip viličara koji se upotrebljava u sklopu zračne luke za manipulaciju ULD paleta. Vilice na prikazanom viličaru imaju nastavke sa valjcima što dodatno olakšava utovar i istovar paleta na vilice.



Slika 8: Viličar sa nastavkom za prijenos i dizanje ULD paleta

3.2.3. Tipovi zrakoplova za prijevoz tereta

Razvoj zračnog prometa u pogledu prijevoza tereta, vezan je ponajprije za pojavu i razvoj teretnih zrakoplova. Zrakoplovi prvotno proizvedeni i posebno prilagođeni za prijevoz tereta obično imaju osobine koje ih razlikuju od konvencionalnih putničkih zrakoplova: širok presjek trupa, visoko postavljena krila radi lakše manipulacije sa teretom, ojačano podvozje sa većim brojem kotača radi većeg opterećenja samog zrakoplova, visoko postavljen rep kako bi se omogućilo da teret ulazi i izlazi direktno u i iz zrakoplova.

Prema konfiguraciji, zrakoplovi kojima se prevozi teret dijele se u tri skupine:

- a) teretni zrakoplovi (*engl. freighter*),
- b) kombinirani zrakoplovi (*engl. combi*),
- c) *convertible* zrakoplovi.

Teretni zrakoplovi prevoze isključivo teret te imaju neke tehničke modifikacije koje se ne nalaze u putničkim ili kombiniranim zrakoplovima. Radi lakšeg manipuliranja teretom, teretni zrakoplovi imaju povećana vrata, a često i posebna dodatna vrata za utovar i istovar tereta [9].

Combi zrakoplovi su zrakoplovi čija konfiguracija omogućuje istovremeni prijevoz i putnika i prtljage na glavnoj palubi.

Convertible zrakoplovi su zrakoplovi koji se jednostavnim ubacivanjem odnosno izbacivanjem putničkih sjedala mogu iz teretnog zrakoplova pretvoriti u putnički i obrnuto.

3.3. Prihvatno-otpremni terminal

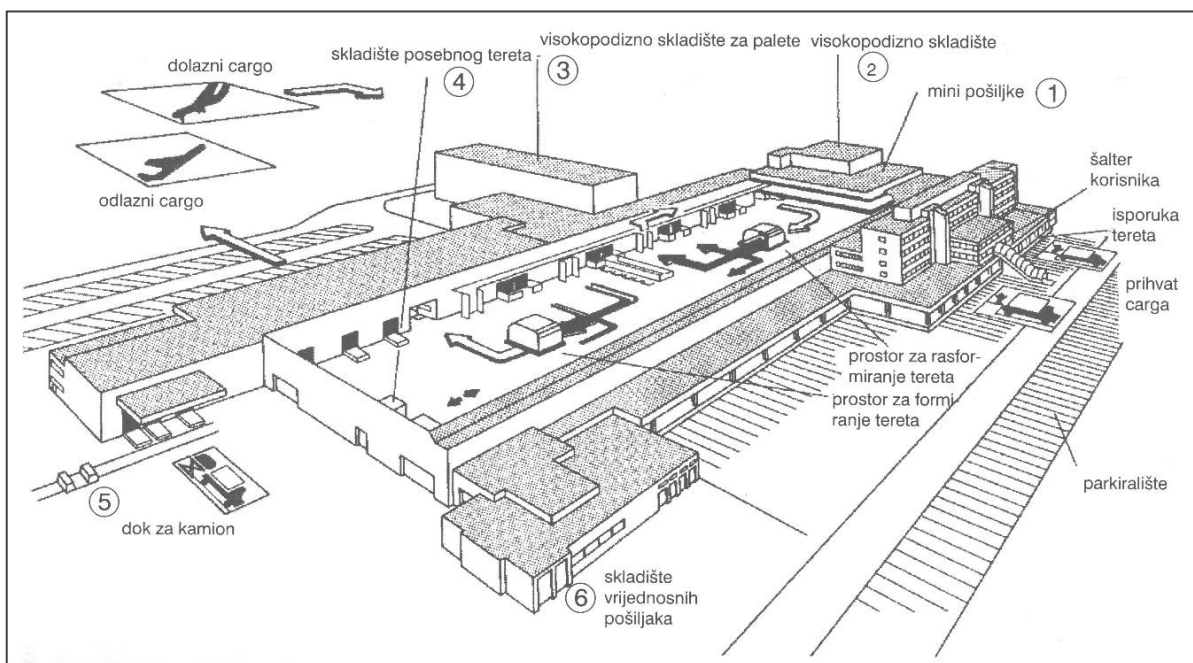
Prijevozni proces, nezavisno o primijenjenoj tehnologiji prijevoza često uvjetuje potrebu za prekidom prometnog toka. To je uvjetovalo nastanak i razvoj operativnog prostora na kojemu je moguće osigurati potrebne uvjete za kraći ili duži prekid kretanja prijevoznih sredstava i predmeta prijevoza kao i uvjete za prihvat, smještaj i otpremu prijevoznih sredstava i predmeta prijevoza. Prema [1] takav operativni prostor se naziva prihvatno-otpremni terminal.

Lokacija prihvatno-otpremnih terminala u kojima se odvijaju procesi prihvata i otpreme tereta u zračnom prometu ne mora biti nužno vezana uz zračnu luku, već je to samo jedan od lokaliteta na kojima se prihvatno-otpremni terminali mogu nalaziti. Mogu biti smješteni i u

okruženju logističkih operatera, integratora, poduzeća registriranih za prihvat i otpremu tereta, kurirskih operatera, zrakoplovnih prijevoznika i dr. Svaki od navedenih sudionika dizajnira prihvatno-otpremne terminale sukladno vlastitim potrebama i funkciji koju obavlja. Na primjer terminali logističkih operatera mogu biti, kao i terminali na zračnim lukama, opremljeni za prihvat i otpremu pošiljaka u multimodalnom prijevozu, dok terminali pošiljatelja neće imati takve karakteristike, ali isto tako rijetko će se zateći prihvatno-otpremni terminal logističkog operatera opremljen manipulativnim sredstvima za utovar tereta u zrakoplov [9].

3.3.1. Funkcije prihvatno-otpremnog terminala zračne luke

Prihvatno-otpremni terminal zračne luke (zgrada robnog prometa) je po funkciji identičan putničkom. To je mjesto gdje teret započinje ili završava putovanje zrakom, a nastavlja put dalje nekim drugim prijevoznim sredstvom. Na slici 9 prikazan je primjer prihvatno-otpremnog terminala zračne luke skupa sa svim elementima koje može sadržavati. Pri tome treba napomenuti da ne sadrže svi prihvatno-otpremni terminali sve prikazane elemente jer to ovisi dizajnu i razvijenosti prihvatno-otpremnog terminala.



Slika 9: Elementi prihvatno-otpremnog terminala zračne luke, [16]

Funkcije prihvatno-otpremnog terminala zračne luke su [10]:

- izmjena modaliteta prijevoza (iz cestovnog, željezničkog, vodnog, zračnog prometa u zračni i obratno),
- prihvata i otprema (procesiranje) tereta i pošte u odlasku i dolasku, tranzitu i transferu i
- promjena načina kretanja.

Teret se dovozi u zračnu luku individualno, u manjim ili većim količinama, dostavnim vozilima, kamionima i sl. Prihvatno-otpremni terminal funkcionira kao spremnik koji kontinuirano prihvaća teret za sve letove i usmjerava ih u skladište, da bi se nekoliko sati prije nekog leta pošiljke skupile, složile na kolica, ako ih je malo, ili na palete odnosno u kontejner ako ima toliko tereta i uputile prema zrakoplovu [16].

Teret dolazi na prijevoz izravno od pošiljatelja ili preko logističkog operatera. Često stiže mnogo prije predviđenog leta zrakoplova, stoga se teret do zakazanog leta skladišti u prihvatno-otpremnom terminalu. Uglavnom se doprema kopnenim prijevoznim sredstvima, najčešće cestovnim radi veće fleksibilnosti i nižih troškova prijevoza. Isto tako, nakon prijevoza zrakom teret se najčešće prekrcava na kopnena prijevozna sredstva (većinom cestovna) sa kojima će stići na konačno odredište. Shodno tome zračna luka se može promatrati kao mjesto na kojem se odvija izmjena modaliteta prijevoza [16].

Procesiranje tereta i pošte obuhvaća određene radnje i postupke koje je potrebno provesti nad teretom i poštom u međunarodnom i domaćem zračnom prometu. Tako se u odlasku prvo obavlja prihvata tereta i pošte i njihovih dokumenata za prijevoz i zaštitni pregled. U međunarodnom prometu eventualno se obavlja carinska kontrola. U dolasku se provodi pregled prispjelog tereta i pošte i njihovih dokumenata [16].

3.3.2. Služba prihvata i otpreme tereta

U službi prihvata i otpreme tereta obavljaju se poslovi prihvata i otpreme tereta i pošte u skladu s međunarodnim i domaćim propisima, ugovaranje s korisnicima usluga (prijevoznici, otpremnici, banke, tisak i dr.), izrade planova (plan prometa tereta, pošte i prihoda), statistička izvješća o prometu tereta i pošte, ispostavljanja dokumenata u teretnom prometu, primopredaja tereta i pošte u skladu s vremenskim razgraničenjima, praćenje realizacije plana prihoda službe, praćenje troškova službe u svezi obavljanja poslova, posredovanja kod carinjenja tereta, prihvata, otprema, smještaj tereta i pošte u tereta skladišta te suradnja s ostalim službama u prometu i svim ostalim korisnicima u procesu prihvata i otpreme tereta [17].

Uloga službe prihvata i otpreme tereta dijeli se u dvije grupe [9]:

- a) dokumentarni prihvata i otprema pošiljki i
- b) fizički prihvata i otprema pošiljki.

Dokumentarni prihvata se odnosi na administrativne poslove provjere podnesene dokumentacije, upis pošiljke u informatički sustav za obradu, te ispostavljanje teretnog manifesta. Fizički proces karakteriziraju postupci vezani uz provedbu sigurnosnih mjera, utvrđivanje stvarnih parametara pošiljke (masa i dimenzije), pripremu teretno-manipulativnih jedinica te planiranje utovara pošiljaka u zrakoplov [9].

3.3.3. Podjela prihvatno-otpremih terminala zračne luke

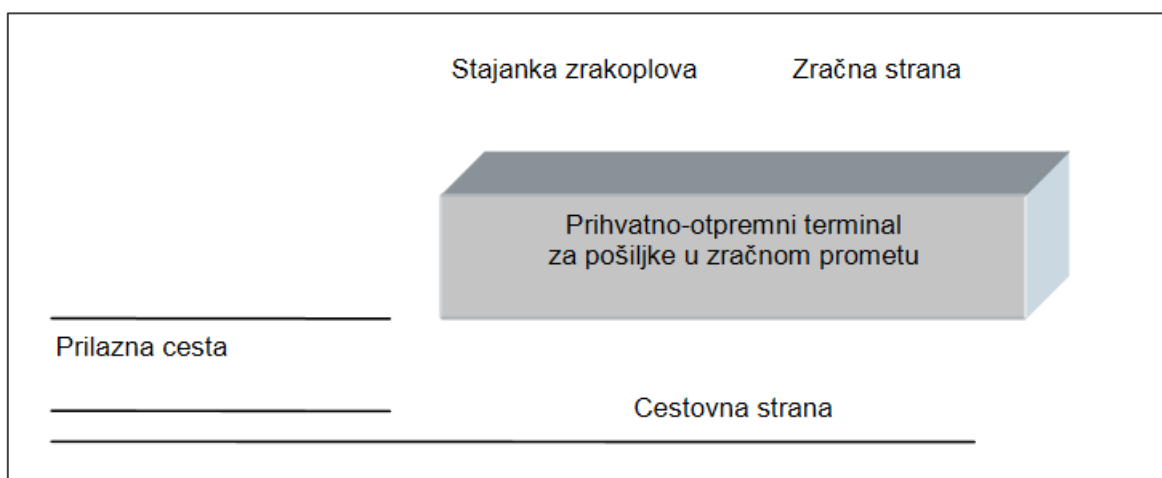
Prihvatno-otpremni terminali zračnih luka mogu se podijeliti prema namjeni i prema slojevitosti strukture zgrade robnog prometa.

Prema namjeni mogu biti [9]:

- a) prihvatno-otpremni terminali za zračni promet tereta i
- b) prihvatno-otpremni terminali za multimodalni promet tereta.

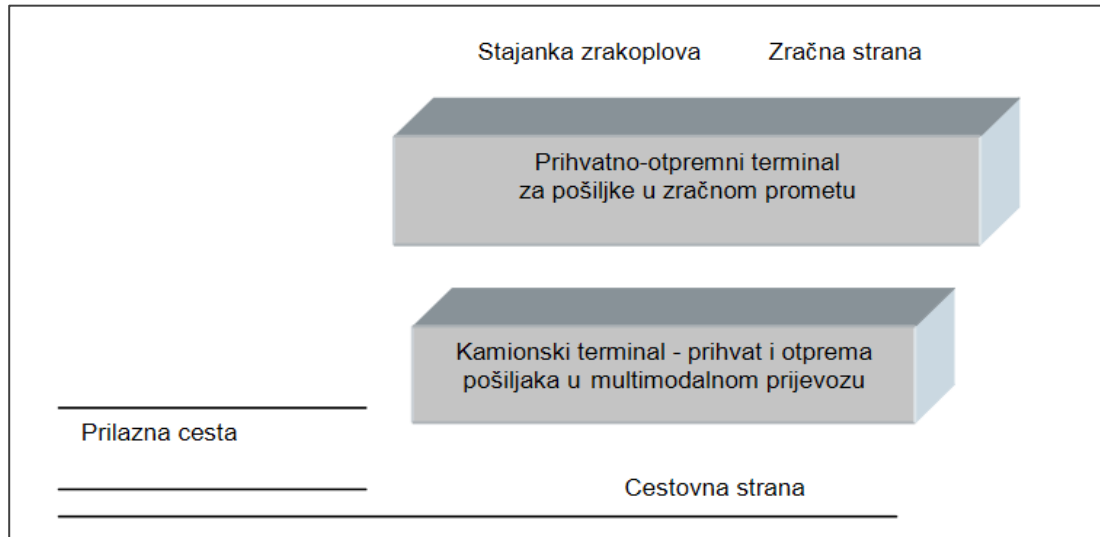
Prema slojevitosti strukture zgrade robnog prometa mogu biti [9]:

- a) jednoslojni prihvatno-otpremni terminali prikazani na slici 10,
- b) dvoslojni prihvatno-otpremni terminali prikazani na slici 11,
- c) višeslojni prihvatno-otpremni terminali.



Slika 10: Prostorni prikaz jednoslojnog terminala za prihvat i otpremu u zračnoj luci, [9]

Kod jednoslojnog prihvatno-otpremno terminala zastupljena je jedinstvena struktura zgrade unutar koje mogu, ali i ne moraju postojati fizičke pregrade. Pregrade mogu biti administrativnog karaktera i odnositi se na uvažavanje regulatornih obveza [9].



Slika 11: Prostorni prikaz dvoslojnog terminala za prihvat i otpremu u zračnoj luci, [9]

4. ANALIZA PRIHVATA I OTPREME TERETA U ZRAČNIM LUKAMA

Ukupni proces prijevoza tereta u zračnom prometu počinje dovozom tereta u zračnu luku otpreme i traje sve do odvoženja tereta iz zračne luke odredišta. Proces je često veoma složen i podliježe nizu regulatornih zahtjeva, posebno ako se radi o međunarodnom prijevozu. Za prijevoz tereta u zračnom prometu, karakteristično je da pošiljatelj nije kompetentan za samostalno obavljanje svih aktivnosti koje se javljaju u procesu prijevoza tereta već je potrebna simbioza više sudionika unutar procesa [18]. Uz pošiljatelja, ključni dionici koji se javljaju u tehnološkom procesu prihvata i otpreme tereta u zračnom prometu su prije svega: logistički operater, prihvatno-otpremni terminali i prijevoznik [9].

Teret koji se šalje zračnim putem vrlo je raznolik po svojim fizičkim i vrijednosnim karakteristikama - između ostalog, može se odnositi na lakopokvarljivu robu, osobne stvari, vrijednosne pošiljke pa čak i na žive životinje i opasnu robu. Vrlo je važno da predmet prijevoza bude propisno pakiran, obilježen, označen te pravilno i koncizno deklariran, osobito ako se radi o opasnoj robi jer nepravilno rukovanje s opasnom robom može dovesti u pitanje sigurnost operativnog osoblja koje se javlja u procesu prihvata i otpreme ili zrakoplova i putnika.

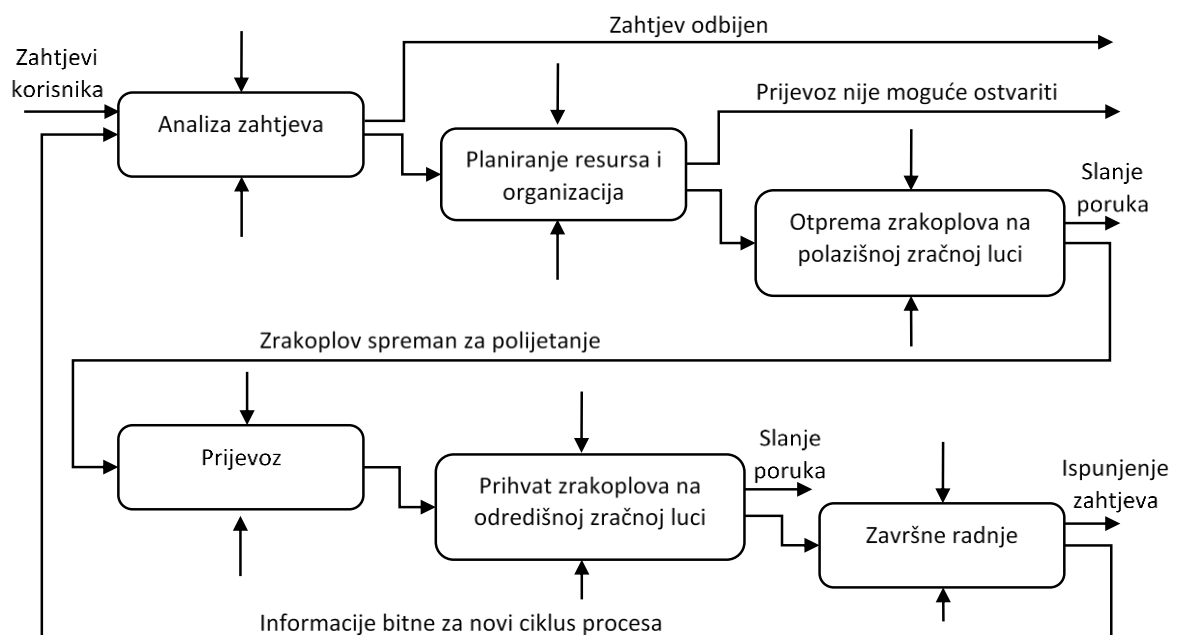
4.1. Elementi procesa zračnog prijevoza tereta

Prema [19] proces je transformacija ili preoblikovanje ulaznih veličina u izlazne, prema određenim pravilima i kontrolama i primjenom određenih mehanizama, odnosno resursa. Mehanizmi su zapravo resursi koji su potrebni i koji se koriste u procesu: radnici određenih kompetencija, objekti i druga infrastruktura, financije, razna oprema i dr. Bez njih se ne bi moglo odvijati preoblikovanje ulaza u izlaze [19].

Prema prikazanoj slici 12 vidljivo je da proces zračnog prijevoza tereta čini šest procesnih koraka: 1) Analiza zahtjeva; 2) Planiranje prijevoza; 3) Otprema zrakoplova na aerodromu polaska; 4) Prijevoz; 5) Prihvat zrakoplova na aerodromu dolaska i 6) Završne radnje.

Zahtjev pošiljatelja za prijevoz određenog tereta s polazne zračne luke na odredišnu zračnu luku je ulaz (*engl. input*) u proces. Potom se vrši analiza zaprimljenog zahtjeva te ukoliko se procjeni da proces nije moguće realizirati na onakav način kakav korisnik zahtjeva, zahtjev se odbija. Ukoliko se nakon analize odobri zahtjev za preuzimanjem tereta, prelazi se

na slijedeću aktivnost a to je planiranje prijevoza. Ako se u ovom koraku konstatira da nisu osigurani potrebni resursi ili da kapacitet aerodroma ili primarni tehnološki sadržaji terminala nisu dostatni za ispunjenje zahtjeva, proces će biti završen jer prijevoz u tom slučaju nije moguće realizirati, no ako se utvrdi da postoje organizacijske i infrastrukturne pretpostavke za normalno odvijanje procesa, isti će se nastaviti u trećem procesnom koraku. Otprema zrakoplova na polazišnoj zračnoj luci je treći procesni korak nakon kojeg slijedi čisti prijevoz. Na odredišnoj zračnoj luci odvija se prihvat zrakoplova kao peti procesni korak te šesti, završne radnje. Izlaz iz procesa (*engl. output*) je zapravo rezultat procesa koji se manifestira kao usluga [19].



Slika 12: Dijagram dekompozicije procesa zračnog prijevoza: [19]

4.2. Definiranje tehnološkog procesa prijevoza tereta u zračnom prometu

U prihvatu i otpremi tereta tehnološki proces predstavlja skup unaprijed definiranih koraka svakog pojedinog sudionika koji u međusobnoj interakciji aplikacijom različitih tehnika djelovanja na predmet obrade imaju za cilj postizanje visokog stupnja uspješnosti u realizaciji predviđenog zadatka [9].

Prije nego što stigne do krajnjeg primatelja, predmet prijevoza će proći kroz tri faze tehnološkog procesa. Tijekom svake od tih faza moguće je prepoznati različite dionike sa

odgovarajućim ulogama, osim logističkog operatera koji se pojavljuje u sve tri faze kao poveznica na relaciji pošiljatelj-prijevoznik-primatelj. Faze tehnološkog procesa su [9]:

- Pripremna faza - uključuje obradu predmeta prijevoza u području odgovornosti pošiljatelja, interakcija s logističkim operaterom zaduženim za organizaciju otpreme.
- Provedbena faza - ovu fazu karakterizira interakcija prijevoznika i prihvatno-otpremnih terminala.
- Završna faza - podrazumijeva obradu predmeta prijevoza u području odgovornosti logističkog operatera na odredištu i primatelja.

Sve radnje koje se obavljaju u okviru pojedinih faza izvršavaju se u većem broju organizacijskih jedinica koje, iako međusobno prostorno odvojene, moraju biti vremenski i teritorijalno dobro sinkronizirane tako da se slijevaju u jedinstveni tijek lančane proizvodnje [12].

4.3. Teretni opskrbni lanci u zračnom prometu

Zbog ekonomskih promjena na tržištu teretnog prijevoza i ubrzanog procesa globalizacije, opskrbni lanac postaje sve složeniji. Teretni opskrbni lanac se može promatrati kao dinamični sustav u kojem se teret, informacije i novac neprestano izmjenjuju među dionicima lanca. Odnosi se na niz aktivnosti kroz koje teret prolazi tijekom putovanja od primatelja, preko logističkog operatera, prihvatno-otpremnog terminala zračne luke i prijevoznika do konačnog primatelja [20].

Kao što je već rečeno, proces prijevoza tereta u zračnom prometu započinje u trenutku kada pošiljatelj prethodno pripremljen teret preda na prijevoz. Pod pripremljen teret razumijeva se, između ostalog, da je pošiljatelj pravilno deklarirao predmet prijevoza te u skladu sa IATA preporukama i propisima izvršio pakiranje i obilježavanje pošiljke. Nakon što je pošiljatelj obavio sve pripremne radnje koje su u njegovoj domeni odgovornosti, pošiljka se može predati logističkom operateru unajmljenom od strane pošiljatelja. Tim je činom, pošiljka stigla na prvu prijelaznu točku u kojoj dolazi do prijenosa odgovornosti sa pošiljatelja na logističkog operatera [21].

Logistički operateri nude usluge koje se odnose na pripremu, skladištenje, prijevoz i konačnu isporuku tereta. Angažman logističkog operatera je potrebit jer njegovo poznavanju

karaktera predmeta prijevoza i specifičnosti prijevoznih rješenja je od iznimnog značaja. Veoma je rijetka izravna veza pošiljatelja s prihvatno-otpremnim terminalima ili prijevoznicima [9]

Ranije je navedeno kako se odgovornost za deklaraciju predmeta prijevoza i njegovo adekvatno pakiranje nalazi u području odgovornosti pošiljatelja, no konačna obrada pošiljke do statusa spremna na prijevoz³ odvija se u području djelovanja logističkog operatera i podrazumijeva [9]:

- kontrolu pakiranja,
- kontrolu i po potrebi dopunu obilježavanja pakiranja,
- obilježavanje pakiranja teretnim naljepnicama s brojem teretnog lista,
- utvrđivanje konačnih izmjera (masa, dimenzije pakiranja),
- konsolidacija dokumentacije za otpremu.

Prijevoz tereta do zračne luke polaska odvija se uglavnom cestovnim putem u području odgovornosti pošiljatelja ili češće logističkog operatera. Po dolasku u zračnu luku polaska, teret se predaje službi prihvata i otpreme tereta na prihvatno-otpremnom terminalu zračne luke te se dalje provodi dokumentarni i fizički prihvata i otprema pristiglog tereta [9].

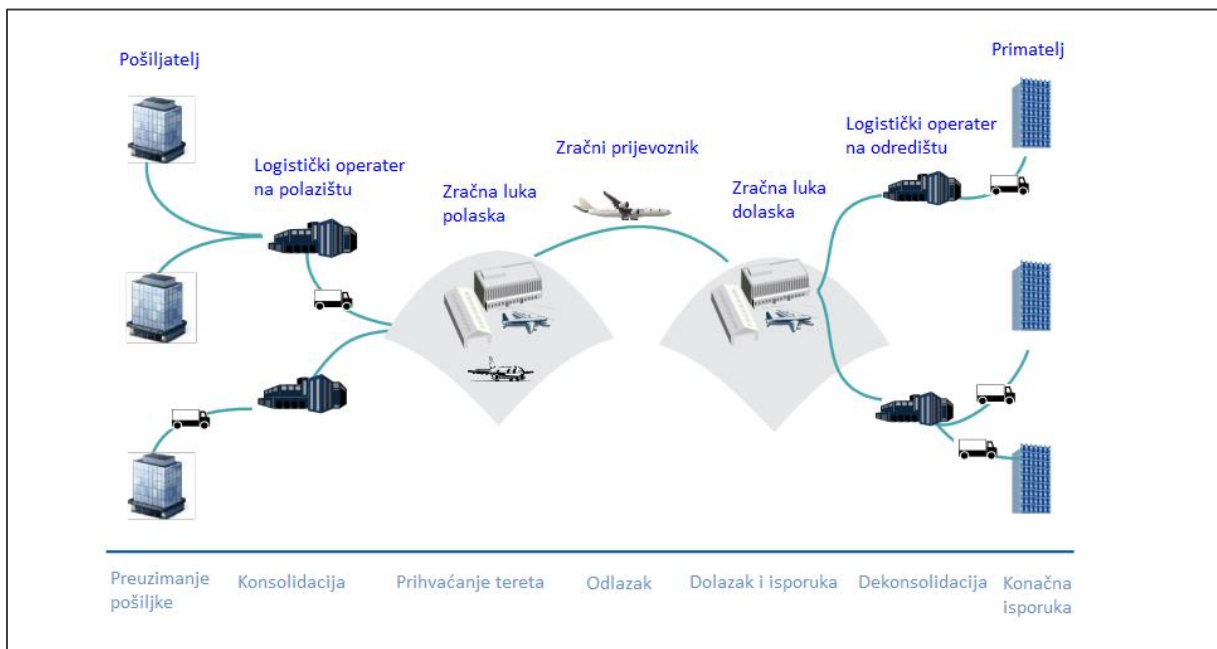
Nakon obavljene konsolidacije u prihvatno-otpremnom terminalu zračne luke, teret se predaje službi prihvata i otpreme zrakoplova koja je odgovorna za prijevoz tereta od prihvatno-otpremnog terminala do zrakoplova i njegov utovar. Dakle, usluga prijevoza započinje isporukom tereta prijevozniku, a prijevoznik je dalje obavezan temeljem ugovora u prijevozu prevesti predani teret iz jednog mjesta na drugo [21].

U odabiru odgovarajućeg prijevoznog sredstva za prijevoz tereta može se odabrati putnički ili teretni zrakoplov. U nekim slučajevima, posebno na kratkim udaljenostima, zračni prijevoznici mogu prevoziti zračni teret cestom (*engl. Road Feeder Service*) [21]. Također, treba voditi računa da su neke kategorije tereta, na primjer opasne tvari, zabranjene za prijevoz na putničkom zrakoplovu, stoga je vrlo bitno da prijevoznik bude upoznat sa karakteristikom predmeta prijevoza i ograničenjima u prijevozu istog.

³ Pošiljka u statusu spremna za prijevoz (*engl. Ready for carriage*) podrazumijeva realizaciju svih postupaka u pripremi, pakiranju i označavanju, dokumentarnoj obradi, te pozicioniranju u izvoznom skladištu zračne luke polaska [9]

Dolaskom u zračnu luku odredišta, teret se istovara i prevozi do prihvatno-otpremnog terminala zračne luke u kojem se obavlja dekonsolidacija. Daljnja postupanja na odredištu mogu se prikazati u inverziji s postupanjima u otpremi tereta. U završnoj fazi tehnološkog procesa prijvata i otpreme tereta, logistički operater na odredištu će obaviti pregled pristiglog tereta. Cilj provjere je utvrditi da li je očuvan integritet i kvaliteta predmeta prijevoza tijekom obavljanja prijevoznog zadatka. Ako su ispunjeni svi uvjeti za izdavanje tereta primatelju, može se organizirati prijevoz do lokacije primatelja [18].

Na slici 13 predočen je tijek kretanja tereta među dionicima tehnološkog procesa prijvata i otpreme u zračnom prometu. Prikazani proces karakterizira jednosmjerno kretanje tereta od pošiljatelja do krajnjeg primatelja.



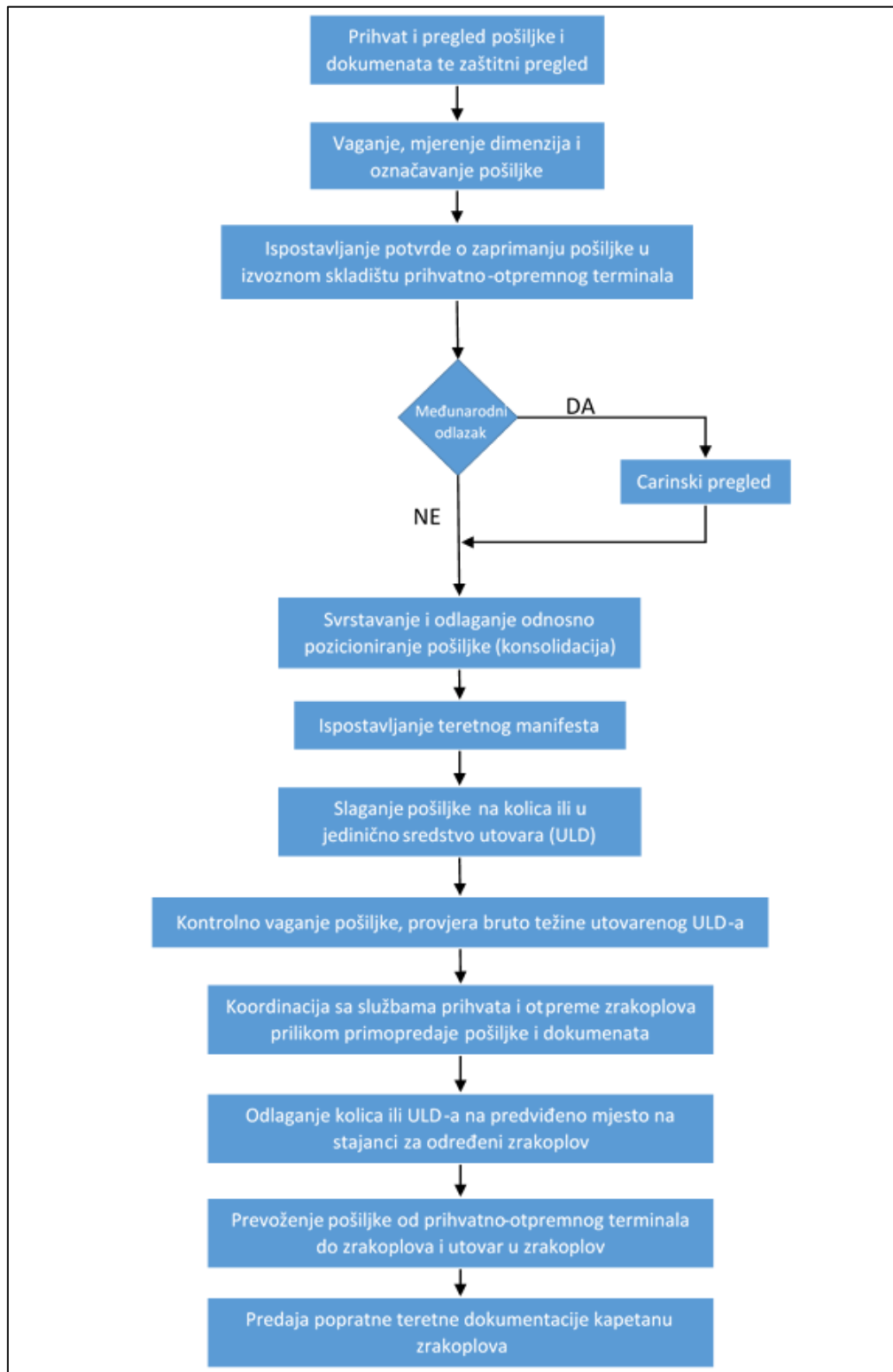
Slika 13: Dionici tehnološkog procesa prijvata i otpreme tereta u zračnom prometu: [21]

4.4. Proces prijvata i otpreme tereta u zračnoj luci

Osim tokova tereta u dolasku i odlasku pojavljuju se i tranzitni i transferni tokovi tereta. Tranzitni teret ostaje u zrakoplovu, ne mijenja zrakoplov, dok transferni teret mijenja. Transferni teret se može izravno pretovariti iz jednog zrakoplova u drugi na samoj stajanci ili može biti privremeno odložen u prihvatno-otpremnom terminalu zračne luke do ponovnog utovara u drugi zrakoplov.

4.4.1. Tok tereta u odlasku sa zračne luke

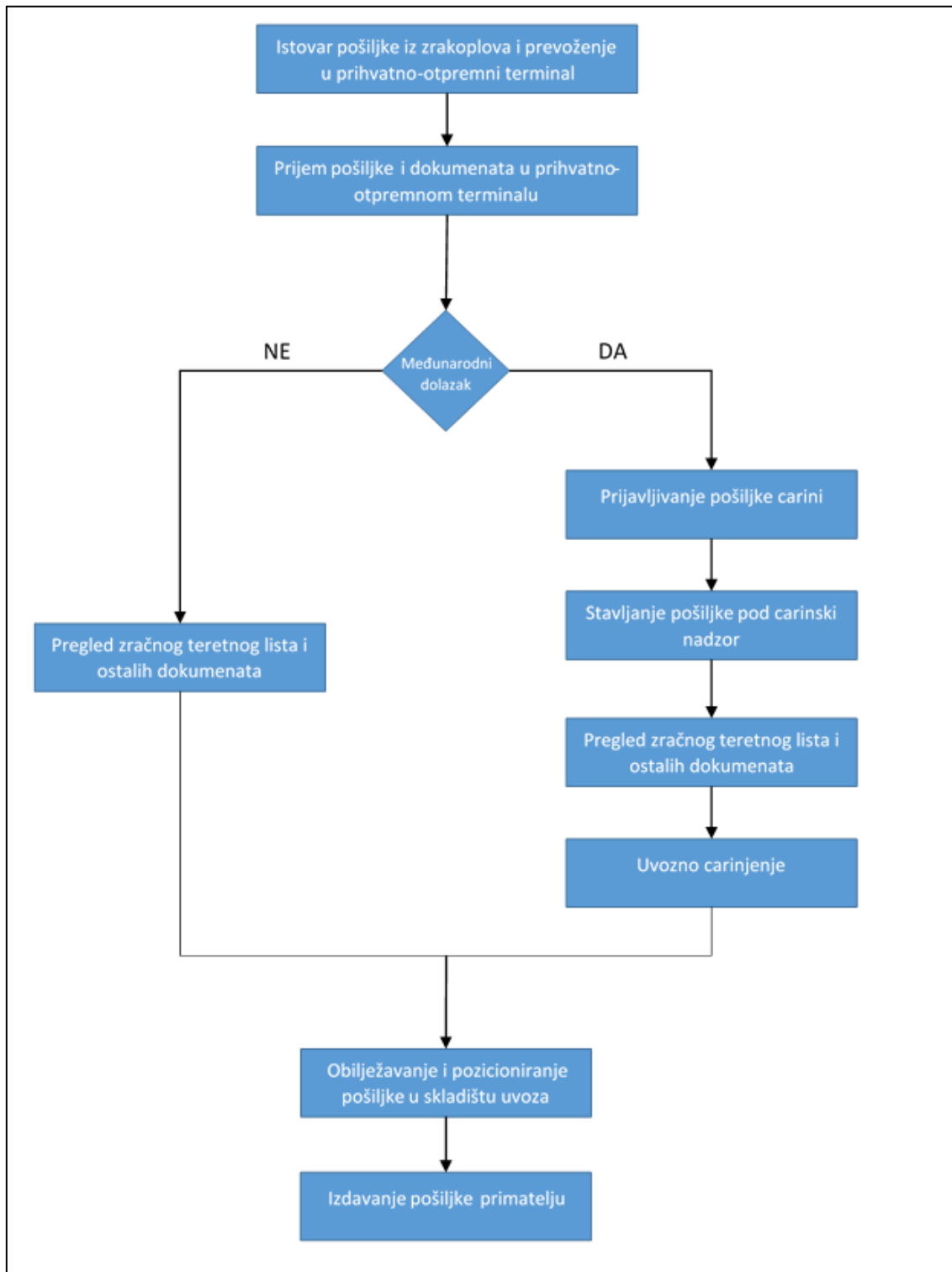
Tok tereta u odlasku obuhvaća obradu i aktivnosti koje su predočene dijagramom toka na slici 14.



Slika 14: Dijagram toka tereta u odlasku sa zračne luke: [16]

4.4.2. Tok tereta u dolasku na zračnu luku

Tok tereta u dolasku obuhvaća obrade i aktivnosti koje su predočene dijagramom toka na slici 15.



Slika 15: Dijagram toka tereta u dolasku na zračnu luku: [16]

5. KONCEPCIJA HUB AND SPOKE MREŽE

Kod *hub and spoke* koncepta jedan čvor definira se kao središnji terminal i svi prijevozi moraju proći kroz njega, čak i u slučajevima kad je udaljenost između čvorova manja ako se teret prevozi direktno. Ovakav način mrežne organizacije razvija se u područjima s dominantnim središtem i satelitskim terminalima koji su u ovisnosti od njega [7].

U sklopu *hub and spoke* mreže razlikuju se dvije osnovne vrste čvorova [22]:

- a) čvorovi koji nisu glavna (*hub*) čvorišta (*engl. non-hub nodes*),
- b) glavna (*hub*) čvorišta (*engl. hub nodes*).

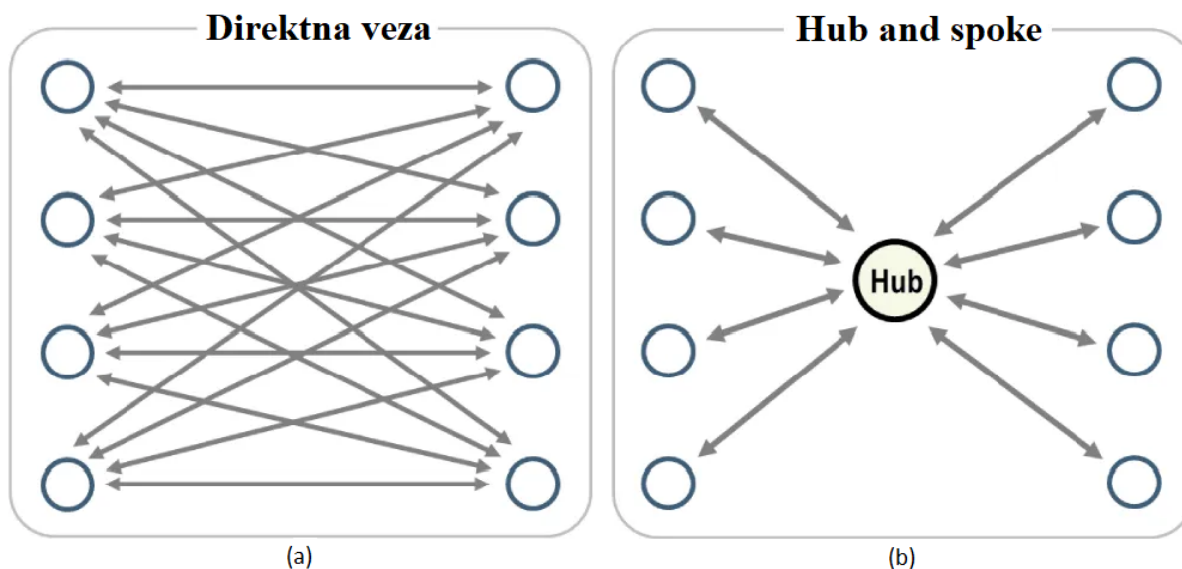
Hub čvorište je mjesto najveće koncentracije teretnih tokova u koje se slijevaju tokovi tereta iz drugih čvorišta. Stoga je od velike važnosti da odabrani čvor može osigurati kapacitete dostatne povećanom protoku tereta te da može ponuditi kratko vrijeme manipulacije [7].

5.1. Usporedba direktne veze i *hub and spoke* mreže

Kontrast između direktne veze i *hub and spoke* mreže je izrazit. Direktna veza odgovara mreži *point-to-point*⁴, gdje je svaki par čvorova spojen izravnom vezom od izvorišta do odredišta. Od svih dizajna mreže, ova vrsta uspostavljanja veza rezultira najkraćem vremenu putovanja. Ipak, kao što je prikazano na slici 16 (a), to ima za posljedicu velik broj veza od kojih su mnoge nedovoljno korištene. Koncept zasnovan na putovanju od točke do točke ima prednost ako su veze kratke te ako na tržištu vlada izrazita potražnja za uslugom [22].

U usporedbi sa direktnom vezom, umjesto izravnog povezivanja polazišnih i odredišnih točaka u mreži, *hub and spoke* mreža pruža bolju uslugu uspostavljanjem čvorišta između polazišnih i odredišnih točaka te ostvarivanjem manjeg broja veza što je vidljivo na primjeru (b) sa slike 16. Pri korištenju *hub and spoke* mreže povećavaju se pojedinačni putni kilometri jer većina ruta više nisu izravni letovi, već su rute s jednim ili dva stajališta, ali u konačnici ovaj koncept mreže pogoduje nižim ukupnim mrežnim troškovima [23].

⁴ *Engl. Point to point* – od točke do točke



Slika 16: Usporedba direktne veze i *hub and spoke* mreže: (a) direktna veza; (b) *hub and spoke* mreža, [24]

5.2. Vrste *hub and spoke* koncepta

U nastavku će biti objašnjena podjela *hub and spoke* mreža i to prema: vrsti, alokaciji i klasama.

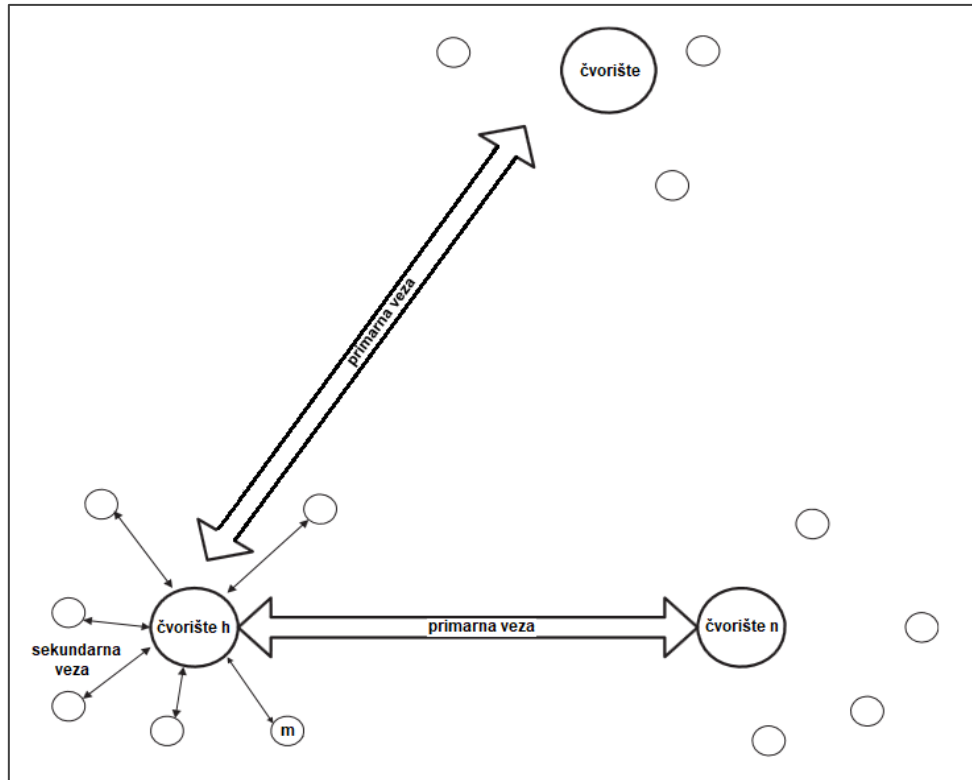
5.2.1. Podjela po vrsti *hub and spoke* mreže

Prema vrsti, *hub and spoke* mreže se dijele na:

- a) klasične *hub and spoke* mreže,
- b) mreže povezanih čvorova.

Za klasičnu *hub and spoke* mrežu vrijedi da je jedan čvor definiran kao središnji terminal (*hub* čvorište) i da svi prijevozi moraju proći kroz njega, dok se kod mrežnog modela povezanih čvorova javlja više *hub* čvorišta koji su povezani direktno, ali opet svaki od njih se opskrbljuje satelitskim terminalima. Satelitski terminali imaju funkciju „hranjenja“ *hub* čvorišta što pruža mogućnost dopremanja tereta iz udaljenih regija do bilo kojeg većeg čvorišta i na koncu distribuiranje do krajnjeg odredišta [25]. Sekundarnim vezama povezuju se satelitski terminali i *hub* čvorišta (*engl. spoke routes*), dok su *hub* čvorišta među sobom povezana primarnim vezama (*engl. inter-hub routes*) [25].

Pojednostavljen model povezivanja satelitskih terminala sa *hub* čvorištima prikazan je slikom 17. Promatrajući sliku 17 može se uvidjeti da je teret iz mjesta „m” do čvorišta „n” moguće prevesti izravno na ruti m-n ili preko čvorišta „h” odakle prometuje redovna linija do čvorišta „n”.



Slika 17: Mrežni model povezanih čvorišta: [26]

Između *hub* čvorišta uspostavljene su redovne linije koje su frekventnije i prometuju nekoliko puta dnevno. Na letovima između *hub* čvorišta (npr. između čvorišta „h” i „n” na slici 17) koriste se uglavnom veći zrakoplovi prikladni za dulja putovanja i prijevoz veće količine tereta, dok na *feeder* linijama koje povezuju satelitske terminale sa gravitirajućim *hub* čvorištem učestaliji su manji zrakoplovi prilagođeni obujmu prometa i duljini rute [27].

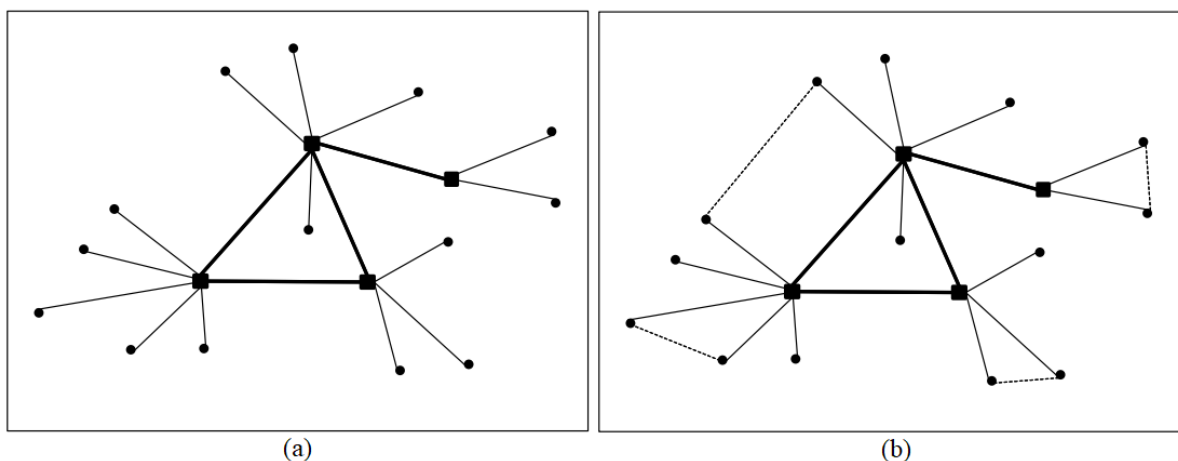
5.2.2. Podjela po alokaciji

Ovisno o načinu na koji su satelitski terminali povezani sa *hub* čvorištima, razlikuju se četiri osnovna koncepta alokacije, a to su [22]:

- a) jednostruka alokacija bez izravnih veza,
- b) jednostruka alokacija sa izravnim vezama,

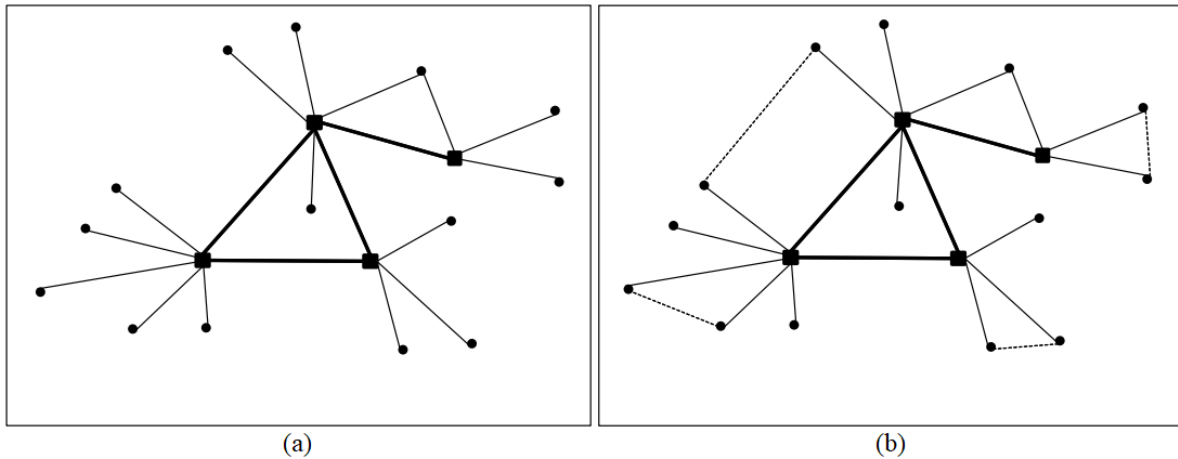
- c) višestruka alokacija bez izravnih veza,
- d) višestruka alokacija sa izravnim vezama.

Kod koncepta jednostruke alokacije bez izravnih veza, svaki je satelitski terminal povezan sa samo jednim *hub* čvorištem, a izravne veze između čvorova koji nisu *hub* čvorište nisu dopuštene. Cjelokupni prijevoz se obavlja isključivo preko određenog *hub* čvorišta, dok u polazišnoj točki nema sortiranja jer sav tok tereta mora putovati do istog *hub* čvorišta. Koncept jednostruke alokacije sa izravnim vezama razlikuje se od prethodnog koncepta po tome što su dopuštene izravne veze između čvorova koji nisu *hub* čvorište. Odnosno, ne pretpostavlja se da bi tok tereta trebao proći kroz minimalno jedno *hub* čvorište. U ovom slučaju, određeni teret je moguće izravno poslati od njegove polazišne do njegove odredišne točke [22]. Slika 18 prikazuje razliku između jednostruke alokacije bez izravnih veza i jednostruke alokacije sa izravnim vezama.



Slika 18: Jednostruka alokacija: (a) bez izravnih veza; (b) sa izravnim vezama, [22]

Koncept višestruke alokacije bez izravnih veza omogućuje povezivanje svakog čvora koji nije *hub* čvorište s jednim ili više *hub* čvorišta. Razvrstavanje se mora obaviti u svakoj polazišnoj točki koja je povezana s više od jednim *hub* čvorištem. Koncept višestruke alokacije sa izravnim vezama dopušta još izravno povezivanje čvorova koji nisu *hub* čvorište. Ovime se povećava broj veza u mreži, ali istovremeno smanjuje pojedinačna vremena putovanja [22]. Slika 19 prikazuje razliku između višestruke alokacije bez izravnih veza i višestruke alokacije sa izravnim vezama.



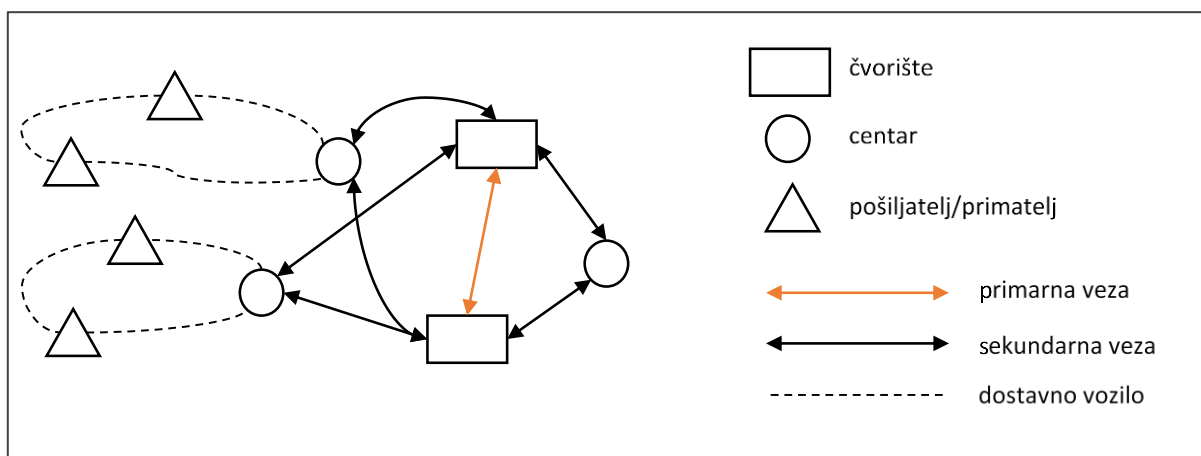
Slika 19: Višestruka alokacija: (a) bez izravnih veza; (b) sa izravnim vezama, [22]

5.2.3. Podjela po klasama

Prema [25] *hub and spoke* veze je moguće podijeliti po klasama na:

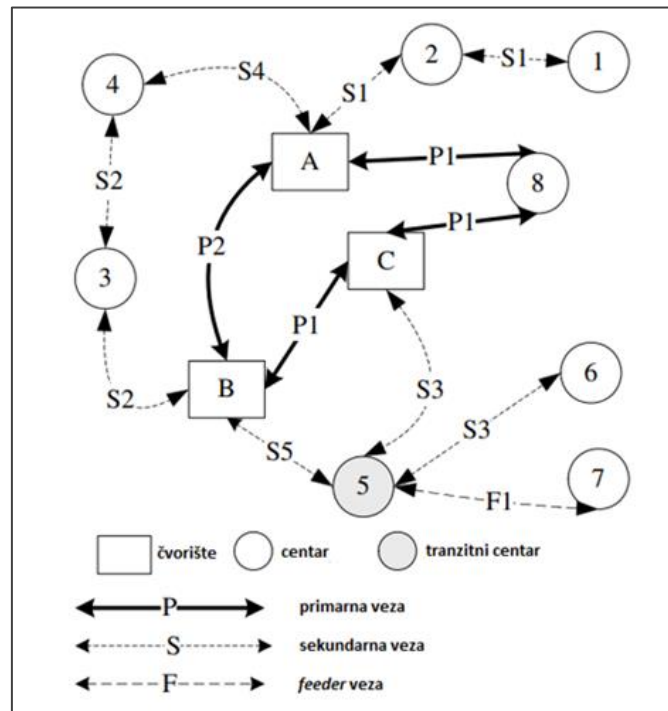
- čiste *hub and spoke* veze;
- hub and spoke* veze s stajanjima i *feeder* linijama; te
- hub and spoke* veze sa stajanjima, *feeder* linijama te direktnim vezama od centara.

U *Pure* ili čistoj *hub* mreži svaka radnja s prijevoznim sredstvom mora započeti ili završiti u čvorištu gdje se teret u potpunosti istovara sa pristiglih zrakoplova, sortira i ponovo utovara u odlazne zrakoplove za određene čvorove ili druga čvorišta ako je daljnje rukovanje ekonomično [25]. Slika 20 prikazuje čistu *hub and spoke* vezu.



Slika 20: Ilustracija čiste *hub and spoke* veze: [25]

Na slici 21 prikazane su *hub and spoke* veze s stajanjima i *feeder* linijama. Prema [25] *feeder* linija podrazumijevaju korištenje zrakoplova manjeg kapaciteta za prijevoz tereta od manjih dostavnih centara do tranzitnih centara na sekundarnim vezama. U tranzitnim centrima teret se istovara sa pristiglih *feeder* linija i ponovo utovara u zrakoplove (većeg kapaciteta) koji prometuju na sekundarnoj (*feeder*) vezi što čini sekundarni tranzit. Navedeni proces može se obavljati i obrnutim redoslijedom. Primjer tranzitnog centra je centar 5 sa slike 21 koji predstavlja tranzitni centar za *feeder* liniju od centra 7 do centra 5.



Slika 21: *Hub and spoke* veze s stajanjima i *feeder* linijama, [25]

Hub and spoke veze s stajanjima omogućuju zrakoplovima na primarnim i sekundarnim vezama zaustavljanje u središnjim centrima. Kao rezultat toga, zrakoplov koji prometuje od čvorišta do odredišnog centra, može se zaustaviti u drugim centrima u svrhu utovara ili istovara tereta. Na slici 21, primjer je zrakoplov koji na putu od čvorišta B do centra 4 može obaviti zaustavljanje odnosno *drop-off* u centru 3 ili zaustavljanje zrakoplova u centru 2 na putu od centra 1 do čvorišta A. Slično navedenom, analogne se operacije mogu izvoditi jednako dobro na rutama od čvorišta do čvorišta kao na primjer zaustavljanje zrakoplova u centru 8 na ruti između čvorišta C i A [25].

Hub and spoke veze sa stajanjima, *feeder* linijama te direktnim vezama od centara su slične *hub and spoke* vezama s stajanjima i *feeder* linijama, ali s većom operativnom fleksibilnošću. Odnosno, kada god se zrakoplov na sekundarnim vezama zaustavi preko centra

uzimajući dodatni teret, prijevoznik istodobno može istovariti dostavljeni teret. Takav sustav naziva se središte (*engl. center directs*). Prednost istovara pristiglog tereta je ta da se time oslobađa prijevozni kapacitet zrakoplova. Veća iskorištenost prostora može pogodovati eksploataciji manje flote za linijski prijevoz [25].

6. PRIJEVOZ ZRAČNOG TERETA KAMIONIMA (*ROAD FEEDER SERVICE*)

RFS operacije (*engl. Road Feeder Service*) moguće je jednostavno terminološki prihvatiti kao kamionski prijevoz u zračnom prometu [9]. Glavna razlika između RFS-a odnosno *Air truckinga* i tradicionalnog cestovnog prijevoza kamionima jest ta što RFS kamioni prometuju između zračnih luka na osnovu teretnog lista (AWB) kojeg izdaje međunarodna zrakoplovna tvrtka. Također, RFS kamioni imaju fiksni vremenski raspored te su dužni napustiti polazišnu točku u točno određeno vrijeme bez obzira na trenutnu popunjenost kapaciteta, no pridržavanje planirane rute kretanja na zemlji nije strogo propisano kao u slučaju prijevoza tereta zrakom [27].

S gledišta dokumentacije i sigurnosnih zahtjeva koje postavljaju nadležne vlasti, za RFS kamione vrijede isti propisi kao da teret uistinu leti zrakoplovom, stoga se tretiraju na isti način kao i pravi zrakoplovi [27]. Na slici 22 prikazan je vanjski izgled jednog RFS kamiona i unutrašnjost poluprikolice sa ugrađenim sustavom valjaka.



Slika 22: Primjer RFS kamiona i unutarnjeg odjeljka poluprikolice previdenog za smještaj tereta, [28]

Razvijenost i povezanost cestovne prometne mreže određuje faktor uspješnosti ove vrste usluge. Promatrajući europski kontinent te uzimajući u obzir činjenicu da su udaljenosti između polazišnih i odredišnih točaka prilično male, RFS u tim slučajevima može biti adekvatna alternativna tradicionalnom načinu zračnog prijevoza putem zrakoplova [27].

Usluga prijevoza zračnog tereta kamionima pruža brojne prednosti, poput veće pristupačnosti, fleksibilnosti i jednostavnosti koju nude kamioni u odnosu na zrakoplove. Prijevoznicima je omogućeno pružanje usluga prema zračnim lukama za koje nemaju

uspostavljene izravne letove ili imaju, ali su kapaciteti zrakoplova na tim letovima ograničeni. Stoga RFS kamioni uglavnom prometuju na *feeder* linijama tj. povezuju regionalne zračne luke sa zračnim lukama čvorištima koje su najčešće i domicilne zračne luke za određene prijevoznike [27].

7. ZAKLJUČAK

Zbog rasta potražnje za zračnim prijevozom tereta, danas je intermodalni prijevoz potrebniji nego ikada prije. Razlog tomu je što samim zrakoplovom nije izvedivo prevesti teret od vrata do vrata, nego su potrebni i drugi modovi prijevoza pa svi oni zajedno čine složenu mrežu prijevoza koja se prostire po cijelom svijetu. Jačanjem intermodalnog prijevoza rasterećuju se pojedini modovi prijevoza koji trpe povećan promet, a potiče se uključivanje ostalih modova prijevoza koji nisu previše atraktivni.

U zračnom prijevozu tereta, zračne luke služe kao sučelje između zrakoplova i kopnenih prijevoznih sredstava dok oni izmjenjuju teret. S time u svezi zračne luke bi trebale osigurati adekvatne uvjete i kapacitete potrebne za brz protok tereta u i iz zračnih luka što je osobito važno zbog prirode tereta koji se šalje zrakoplovima, a nerijetko su to pošiljke za koje se očekuje da u kratkom vremenskom roku budu prevezene na odredište. Kako bi proces prijevoza tereta u zračnom prometu bio jednostavniji i brži, podstiče se uporaba suvremenih teretno-manipulativnih jedinica (ULD) koje uvelike olakšavaju rukovanje teretom na zračnoj luci i poboljšavaju učinkovitost prijevoznog procesa.

Danas u sklopu zračne luke djeluje barem jedan prihvatno-otpremni terminal u kojem se obavlja prihvat, otprema i skladištenje pošiljaka u zračnom prometu. Broj, veličina i opremljenost tih terminala ovisiti će o potrebama svake zračne luke ponaosob, odnosno o tome koliko je određena zračna luka orijentirana na teretni promet te kakve rezultate ostvaruje na tom polju.

Za prijevoz tereta zrakoplovom od polazišne do odredišne zračne luke, prijevoznici najčešće odabiru *hub and spoke* mrežu. Koncept mrežne organizacije u kojem se sav promet objedinjuje u glavnom (*hub*) čvorištu, potiče nadmetanje među velikim i srednjim zračnim lukama za poziciju dominantnog čvorišta u okruženju, a manje zračne luke, iako imaju funkciju „hranjenja” glavnih čvorišta, dobivaju priliku da prošire vlastito poslovanje te da postanu profitabilnije i atraktivnije. Osim zračnih luka, prednosti može osjetiti i regija koja gravitira zračnoj luci u vidu ekonomske i društvene koristi kao i u poboljšanju povezanosti. S druge strane, preveliki broj letova prema glavnim čvorištima može prouzročiti gužve u određenim zračnim lukama te potaknuti zračne prijevoznike da pružaju direktne veze (*engl. point to point*) između zračnih luka.

Mnogo je prednosti koje zračni promet nudi u prijevozu tereta, a najistaknutije su svakako brzina, osobito na velike udaljenosti, manji rizik od oštećenja i sigurnost. Navedene prednosti dolaze do izražaja kod prijevoza tereta na veće udaljenosti, dok je na kraćim udaljenostima zračni promet potisnut od strane kopnenih modova prijevoza koji su i dalje dominantni na tim rutama. Kod prijevoza tereta zrakom, prisutna su ograničenja zbog težine i veličine tereta koje je dopušteno prevoziti zrakoplovom, ali primjenom RFS kamiona moguće je prevoziti i teret većih gabarita.

Zbog prevelikog zagušenja prometne infrastrukture i neujednačenog angažiranja prijevoznih modova, naglasak se sve više stavlja na intermodalni i multimodalni prijevoz odnosno na uključivanju više prijevoznih modova u cilju korištenja prednosti svakog pojedinog moda na određenom dijelu puta. Kako bi teretni zračni promet bio konkurentan u odnosu na druge prijevozne modove, nužno je provoditi modernizaciju i proširenje kapaciteta zračnih luka, paralelno s jačanjem prometnih veza. Za očekivati je da će u budućnosti broj zračnih luka u funkciji glavnih čvorišta biti sve veći, jer promet postaje intenzivniji, kapaciteti prijevoznih sredstava se povećavaju, a posljedično i količina tereta koja se prevozi je sve veća.

POPIS LITERATURE

- [1] Deljanin A, Kiso F. *Saobraćajno komunikacijski sistemi*. Sarajevo: Fakultet za saobraćaj i komunikacije - Univerzitet u Sarajevu; 2015.
- [2] Zelenika R. *Multimodalni prometni sustavi*. Rijeka: Ekonomski fakultet Sveučilišta u Rijeci; 2006.
- [3] European Communities, United Nations Economic Commission for Europe, European Conference of Ministers of Transport. *Glossary for transport statistics. Izdanje: 3*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2003. Preuzeto sa: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5885021/KS-BI-03-002-EN.PDF/475a08e8-cbdf-4fe4-b4eb-4e7f9bff9e2c> [Pristupljeno: 3.5.2021.]
- [4] Bošnjak I, Badanjak D. *Osnove prometnog inženjerstva*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti - Sveučilište u Zagrebu; 2005.
- [5] Europska unija. *Direktiva Vijeća 92/106/EEZ od 7. prosinca 1992. o utvrđivanju zajedničkih pravila za određene vrste kombiniranog prijevoza robe između država članica*. Strasbourg: Službeni list Europske unije; 1992. Preuzeto sa: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1992/106/oj> [Pristupljeno: 7.5.2021.]
- [6] Brnjac N. *Intermodalni transportni sustavi*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti - Sveučilište u Zagrebu; 2012.
- [7] Woxenius J. *Development of small-scale intermodal freight transportation in a systems context*. Göteborg: Department of Transportation and Logistics - Chalmers University of Technology; 1998.
- [8] Božinović D, Kovačević D. *Suvremene transportne tehnologije*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti - Sveučilište u Zagrebu; 2002.
- [9] Majić Z, Pavlin S, Škurla Babić R. *Tehnologija prihvata i otpreme tereta u zračnom prometu*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti - Sveučilište u Zagrebu; 2010. Preuzeto sa: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_prihvata_i_otpreme_tereta_i_poste/Materijali/skripta_Tehnologija_prihvata_i_otpreme_tereta_i_poste.pdf [Pristupljeno: 7.5.2021.]

- [10] Bračić M, Pavlin S. *Tehnologija prihvata i otpreme zrakoplova*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti - Sveučilište u Zagrebu; 2017. Preuzeto sa: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_prihvata_i_otpreme_zrakoplova/Materijali/Literatura_Tehnologija_prihvata_i_otpreme_zrakoplova_.pdf [Pristupljeno: 21.5.2021.]
- [11] SeaRates. *Air cargo ULD containers: PMC/P6P pallet dimensions*. Preuzeto sa: <https://www.searates.com/reference/pmc/> [Pristupljeno: 21.5.2021.]
- [12] Radačić Ž, Suić I, Škurla Babić R. *Tehnologija zračnog prometa I*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti - Sveučilište u Zagrebu; 2008.
- [13] Mayer R. *Airport Classification based on Cargo Characteristics*. *Journal of Transport Geography*; 2016. Svezak 54, Str. 53-65.
- Preuzeto sa:
https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/9966/Airport_Classification_based_on_Cargo_Characteristics-2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Pristupljeno: 21.5.2021.]
- [14] ACI. *World's 10 busiest air cargo hubs*. Montreal: Airports Council International; 2021.
- Preuzeto sa: <https://aci.aero/wp-content/uploads/2021/04/2020PrelimTop10Cargo.pdf> [Pristupljeno: 20.6.2021.]
- [15] ACI. *ACI World data reveals COVID-19's impact on world's busiest airports*. Montreal: Airports Council International; 2021.
- Preuzeto sa: <https://aci.aero/news/2021/04/22/aci-world-data-reveals-covid-19s-impact-on-worlds-busiest-airports/> [Pristupljeno: 20.6.2021.]
- [16] Pavlin S. *Aerodromi I*. Zagreb: Fakultet prometnih znanosti - Sveučilište u Zagrebu; 2006.
- [17] Smolar D. *Logistika prihvata i otpreme tereta na Zračnoj luci Zagreb*. Diplomski rad. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje - Sveučilište u Zagrebu; 2008. Preuzeto sa: <https://repositorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb%3A210/datastream/PDF/view> [Pristupljeno: 3.7.2021.]

[18] Larrodé E, Muerza V, Villagrasa V. *Analysis model to quantify potential factors in the growth of air cargo logistics in airports*. Transportation Research Procedia; 2018. Svezak 33, Str. 339-346.

Preuzeto sa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146518302680>
[Pristupljeno: 4.7.2021.]

[19] Drljača M. 2017. *Čimbenici kvalitete procesa zračnog transporta*. Preuzeto sa: <http://www.quality.unze.ba/zbornici/QUALITY%202017/003-Q17-047.pdf> [Pristupljeno: 5.7.2021.]

[20] Drljača M, Petar S, Raad M. *Airport City as a part of the supply chain*. Dubai: Third AFU International Conference Towards Advanced Scientific Knowledge in Business Sciences - Al Falah Univesity Dubai; 2019. Preuzeto sa: <https://www.bib.irb.hr/1073060>
[Pristupljeno: 6.7.2021.]

[21] ICAO. *Moving Air Cargo Globally*. Izdanje: 2. Preuzeto sa: https://www.icao.int/Security/aircargo/Moving%20Air%20Cargo%20Globally/ICAO_WCO_Moving_Air_Cargo_en.pdf [Pristupljeno: 11.7.2021.]

[22] Mirzaghafour F. *Modular Hub Location Problems*. Montreal: School of Graduate Studies - Concordia University; 2013.

Preuzeto sa: https://spectrum.library.concordia.ca/976925/1/Mirzaghafour_MASc-S2013.pdf [Pristupljeno: 13.7.2021.]

[23] Bryan DL, O'Kelly ME. *Hub-and-Spoke Networks in Air Transportation: An Analytical Review*. Journal od Regional Science; 1999. 39 (2), Str. 275-295.

Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/publication/279585374_Hub-and-spoke_networks_in_air_transportation_An_analytical_review [Pristupljeno: 17.7.2021.]

[24] *Point-to-point versus hub-and-Spoke networks*. The Geography of Transport Systems. Preuzeto sa: <https://transportgeography.org/contents/chapter2/geography-of-transportation-networks/point-to-point-versus-hub-and-spoke-network/> [Pristupljeno: 17.7.2021.]

[25] Lin CC, Chen SH. *An integral constrained generalized hub-and-spoke network design problem*. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review; 2008. 44 (6), Str. 986-1003.

Preuzeto sa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1366554508000173>
[Pristupljeno: 19.7.2021.]

[26] Hsu CI, Wang CC. *Reliability analysis of network design for a hub-and-spoke air cargo network*. International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management; 2013. 16 (4), Str. 257-276. Preuzeto sa: <https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/22633/1/000323304700001.pdf> [Pristupljeno: 19.7.2021.]

[27] Beifert A. *Role of Air Cargo and Road Feeder Services for Regional Airports - Case Studies from the Baltic Sea Region*. Riga: Transport and Telecommunication Institute; 2016. 17 (2), Str. 87-99.

Preuzeto sa:

<https://www.proquest.com/openview/9ee42b2340ada52b107018266b3e64cd/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026667> [Pristupljeno: 21.7.2021.]

[28] *Road Feeder Service*. HTRFS Solutions GmbH. Preuzeto sa: <https://www.htrfs.de/en/road-feeder-service> [Pristupljeno: 22.7.2021.]

POPIS SLIKA

Slika 1: Poopćeni strukturni model prometne mreže	4
Slika 2: Intermodalni prijevozni sustav	6
Slika 3: Prikaz ULD kontejnera tipa AKH.....	8
Slika 4: PMC paleta s mrežom, za glavnu palubu zrakoplova	9
Slika 5: Prikaz nosnog utovara ISO kontejnera	10
Slika 6: Prikaz zračne i zemaljske strane zračne luke	11
Slika 7: (a) Dolly kolica sa sustavom valjaka - kapaciteta jedan ULD; (b) Dolly kolica sa sustavom valjaka - kapaciteta dva ULD-a.....	14
Slika 8: Viličar sa nastavkom za prijenos i dizanje ULD paleta	15
Slika 9: Elementi prihvatno-otpremnog terminala zračne luke.....	17
Slika 10: Prostorni prikaz jednoslojnog terminala za prihvat i otpremu u zračnoj luci	19
Slika 11: Prostorni prikaz dvoslojnog terminala za prihvat i otpremu u zračnoj luci.....	20
Slika 12: Dijagram dekompozicije procesa zračnog prijevoza	22
Slika 13: Dionici tehnološkog procesa prijvata i otpreme tereta u zračnom prometu.....	25
Slika 14: Dijagram toka tereta u odlasku sa zračne luke.....	26
Slika 15: Dijagram toka tereta u dolasku na zračnu luku.....	27
Slika 16: Usporedba direktne veze i hub and spoke mreže: (a) direktna veza; (b) hub and spoke mreža	29
Slika 17: Mrežni model povezanih čvorišta	30
Slika 18: Jednostruka alokacija: (a) bez izravnih veza; (b) sa izravnim vezama	31
Slika 19: Višestruka alokacija: (a) bez izravnih veza; (b) sa izravnim vezama	32
Slika 20: Ilustracija čiste hub and spoke veze.....	32
Slika 21: Hub and spoke veze s stajanjima i feeder linijama	33
Slika 22: Primjer RFS kamiona i unutarnjeg odjeljka poluprikolice previđenog za smještaj tereta	35

POPIS TABLICA

Tablica 1: Deset najprometnijih zračnih luka po količini prevezenog tereta.....	12
---	----



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4


IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.
Izjavljujem također, kako 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 rada
pod naslovom **Zračne luke u funkciji intermodalnih čvorišta**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 26.8.2021 _____

Student/ica:



(potpis)