

Primjena vozila na alternativno gorivo u procesu prihvata i otpreme zrakoplova

Čizmić, Maida

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:283923>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-16**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**PRIMJENA VOZILA NA ALTERNATIVNO GORIVO
U PROCESU PRIHVATA I OTPREME ZRAKOPLOVA**

**USING ALTERNATIVE FUEL VEHICLES
DURING TURNAROUND**

Mentor: doc. dr. sc. Igor Štimac

Student: Maida Čizmić

JMBAG: 0135258288

Zagreb, rujan 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 9. rujna 2022.

Zavod: Zavod za zračni promet
Predmet: Tehnologija prihvata i otpreme zrakoplova

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6678

Pristupnik: Maida Čizmić
Studij: Promet
Smjer: Zračni promet

Zadatak: Primjena vozila na alternativno gorivo u procesu prihvata i otpreme zrakoplova

Opis zadatka:

U prvom dijelu rada potrebno je definirati procese prihvata i otpreme na zračnoj luci te utvrditi izvore zagađenja okoliša s aspekta zračnoga prometa. U nastavku je potrebno napraviti pregled opreme i izvora zagađenja koje je koristilo konvencionalno gorivo te istražiti mogućnosti prijelaza opreme za prihvata i otpremu zrakoplova na alternativno gorivo. Sukladno navedenome, potrebno je navesti alternativna goriva i opisati njihovu specifičnost u cilju očuvanja okoliša. Nakon navedenoga istraživanja potrebno je za svaku opremu prikazati primjere opreme na konvencionalno i alternativno gorivo te napraviti usporedbu u segmentu zagađenja okoliša. Na kraju potrebno je istražiti trendove koji se razvijaju i koji će imati značajan utjecaj na očuvanje okoliša u segmentu prihvata i otpreme zrakoplova te korištenja alternativnog goriva u zračnom prometu. Na temelju prethodno navedenog potrebno je izraditi zaključak.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

doc. dr. sc. Igor Štimac

SAŽETAK

Sektor zračnog prijevoza se smatra jednim od većih globalnih zagađivača, a zbog najveće stope rasta u sektoru prijevoza, problem zagađenja okoliša koje izaziva je sve ozbiljniji. Potrebne su inovacije u vidu novih tehničkih rješenja uz uporabu alternativnih goriva za pogon opreme, vozila i zrakoplova. Ovaj rad se fokusira na mogućnostima primjene vozila na alternativno gorivo prilikom procesa prihvata i otpreme zrakoplova. Proces prihvata i otpreme zrakoplova obuhvaća skup aktivnosti koje se obavljaju u putničkoj kabini, prtljažno-teretnom prostoru zrakoplova i servisne aktivnosti koje uključuju angažman specijaliziranih vozila i opreme za priхват i otpremu zrakoplova. Zamjena pogonskog goriva kod ovih vozila i opreme doprinosi smanjenju štetnih emisija, te poboljšanoj ekonomskoj učinkovitosti procesa. Institucije EU i ostali zainteresirani sudionici aktivno rade na kreiranju uvjeta za cjelovitu dekarbonizaciju sektora zračnog prijevoza do 2050. godine kroz brojne inicijative i inovacije na polju alternativnih goriva potvrđuju opredjeljenost održivom zračnom prijevozu u budućnosti.

KLJUČNE RIJEČI: prihvat i otprema zrakoplova; vozila i oprema za prihvat i otpremu zrakoplova; alternativna goriva; inovativna rješenja; održivi zračni prijevoz.

SUMMARY

The air transport sector is considered to be the one of major global GHG emitters, thus due to its overall growth rate being the highest in the transport sector, environmental concerns are rising. Technological innovations using alternative fuels for propulsion of vehicles, equipment and aircrafts are sectorial top priority. This paper focuses on the possibilities to apply alternative fuels in the turnaround process. Aircraft turnaround process involves a set of activities carried out in the passenger cabine, aircraft baggage and cargo space and aircraft servicing, thus employing specialized vehicles and equipment for ground support. Replacement of propulsion fuels in GSE contributes to reduced emissions of GHG and improves process efficiency. EU institutions and other stakeholders take active role in making the grounds for full decarbonisation of air transport sector by 2050. through series of initiatives and inovations in usage of alternative fuels, demonstrating commitment to fully sustainable air transport in future.

KEY WORDS: aircraft turnaround process; ground support vehicles and equipment; alternative fuels; inovative solutions; sustainable air transport.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. DEFINIRANJE PROCESA PRIHVATA I OTPREME ZRAKOPLOVA U ZRAČNOJ LUCI.....	3
2.1. Aktivnosti u procesu prihvata i otpreme zrakoplova u zračnoj luci	3
2.1.1. Proces prihvata zrakoplova u zračnoj luci	6
2.1.2. Proces otpreme zrakoplova u zračnoj luci	9
2.2. Vozila i oprema u procesu prihvata i otpreme zrakoplova	12
2.3. Uporaba goriva za pogon vozila prihvata i otpreme zrakoplova	17
3. USPOREDBA KONVENCIONALNOG I ALTERNATIVNOG GORIVA KOD OPREME ZA PRIHVAT I OTPREMU ZRAKOPLOVA.....	19
3.1. Regulative i direktive EU vezano uz primjenu alternativnih goriva u zračnom prometu	19
3.2. Definicija i vrste goriva.....	21
3.3. Usporedba alternativnog i konvencionalnog goriva kod opreme u prihvatu i otpremi zrakoplova	24
3.3.1. Alternativna goriva za pogon vozila i opreme u prihvatu i otpremi zrakoplova	24
3.3.2. Moguća uporaba alternativnih goriva za pogon vozila i opreme u prihvatu i otpremi zrakoplova.	25
3.4. Prednosti primjene alternativnih goriva u prihvatu i otpremi zrakoplova.....	27
3.4.1. Ekološki aspekt primjene alternativnih goriva u prihvatu i otpremi zrakoplova	28
3.4.2. Ekonomski aspekt primjene alternativnih goriva u prihvatu i otpremi zrakoplova	30
3.5. Održivost primjene alternativnih goriva u zračnim lukama	31
4. PRIMJERI PRAKTIČNE PRIMJENE OPREME NA ALTERNATIVNA GORIVA U PROCESU PRIHVATA I OTPREME ZRAKOPLOVA	33
4.1. Primjena alternativnih goriva u zračnim lukama.....	33
4.2. Primjer ekološki prihvatljive zračne luke – Zračna luka Franjo Tuđman	38
4.2.1. Ekonomska učinkovitost zamjene goriva	40
4.2.2. Ekološka učinkovitost zamjene goriva	43
5. TRENDOVI I PERSPEKTIVE UPORABE ALTERNATIVNIH GORIVA U ZRAČNOM PROMETU	51
5.1. Perspektive uporabe alternativnih goriva u transportu sa fokusom na zračni prijevoz	51
5.2. Inovacijama do održivog zračnog prijevoza budućnosti	53
5.3. “Zelene” zračne luke za održivu mobilnost.....	58
6. ZAKLJUČAK.....	61
LITERATURA	63
POPIS SLIKA.....	67
POPIS TABLICA	68

1. UVOD

Sektor zračnog prijevoza ima najveću stopu rasta u sektoru transporta što rezultira i ozbiljnim posljedicama po okoliš, kroz zagađenje zraka, vode i tla, te visoke razine buke koju proizvodi. Značajan izvor zagađenja, uz zrakoplov, predstavljaju i vozila i oprema u procesu prihvata i otpreme zrakoplova u zračnim lukama. Istovremeno, spomenuti sektor je od iznimne važnosti za svjetsko gospodarstvo jer osigurava mobilnost ljudi i roba, te na taj način potiče gospodarski rast. Gospodarski značaj sektora je veliki, ali i razina zagađenja koju proizvodi. Zbog toga se kontinuirano radi na unapređenjima procesa kojim će se smanjiti zagađenje okoliša, a inovacijama u vidu novih tehničkih rješenja uz uporabu alternativnih goriva za pogon opreme, vozila i zrakoplova postignuti su iznimno dobri rezultati.

S ciljem prikaza tehnoloških rješenja i inovacija za unapređenje procesa prihvata i otpreme zrakoplova, u ovom radu su istražene mogućnosti primjene vozila i opreme na alternativna goriva u procesu prihvata i otpreme zrakoplova. Nadalje, definirane su aktivnosti u procesu prihvata i otpreme zrakoplova te su utvrđeni izvori zagađenja okoliša u tom procesu. Na temelju detaljne analize opreme i izvora zagađenja kao rezultat uporabe konvencionalnog pogonskog goriva, istražile su se mogućnosti zamjene pogonskog goriva kod vozila i opreme za prihvata i otpremu zrakoplova s ciljem zaštite okoliša i postizanja više razine učinkovitosti. Predmet istraživanja su i trendovi koji se razvijaju i koji će imati značajan utjecaj na očuvanje okoliša u segmentu prihvata i otpreme zrakoplova te korištenja alternativnog goriva u zračnom prometu.

Rad se sastoji od šest poglavlja.

U prvom poglavlju predstavljena su uvodna razmatranja.

U drugom poglavlju pod naslovom *Definiranje procesa prihvata i otpreme zrakoplova u zračnoj luci* prikazani su procesi prihvata i otpreme zrakoplova, vozila koja su angažirana u operacijama prihvata i otpreme zrakoplova i goriva koja se koriste za njihov pogon.

U trećem poglavlju pod naslovom *Usporedba konvencionalnog i alternativnog goriva kod opreme za prihvata i otpremu zrakoplova* se istražuju mogućnosti primjene alternativnih goriva u funkciji prihvata i otpreme zrakoplova potkrijepljeno regulativama i direktivama EU vezano uz primjenu alternativnih goriva u zračnom prometu, definiraju se vrste goriva, prezentira se detaljna usporedba alternativnih i konvencionalnih goriva i definiraju prednosti primjene alternativnih goriva u prihvatu i otpremi zrakoplova dodatno pojašnjeno s ekološkog i ekonomskog aspekta.

Četvrto poglavlje pod naslovom *Primjeri praktične primjene opreme na alternativna goriva u procesu prihvata i otpreme zrakoplova* prikazuje primjer praktične primjene alternativnih goriva kod opreme za prihvata i otpremu zrakoplova u zračnim lukama, model ekološki prihvatljive zračne luke kroz zamjenu konvencionalnih alternativnim gorivima, te dokazuje ekonomske i ekološke učinkovitosti za primjenu navedenog modela.

U petom poglavlju pod naslovom *Trendovi i perspektive uporabe alternativnih goriva u zračnom prometu* predstavljene su perspektive uporabe alternativnih goriva u zračnom prometu, inovacije i rješenja za održivost zračnog prometa i koncept “zelene” zračne luke.

U zaključnim razmatranjima objedinjeni su rezultati analiza i istraživanja, kao i spoznaje i zaključci doneseni na temelju razmatranja.

2. DEFINIRANJE PROCESA PRIHVATA I OTPREME ZRAKOPLOVA U ZRAČNOJ LUCI

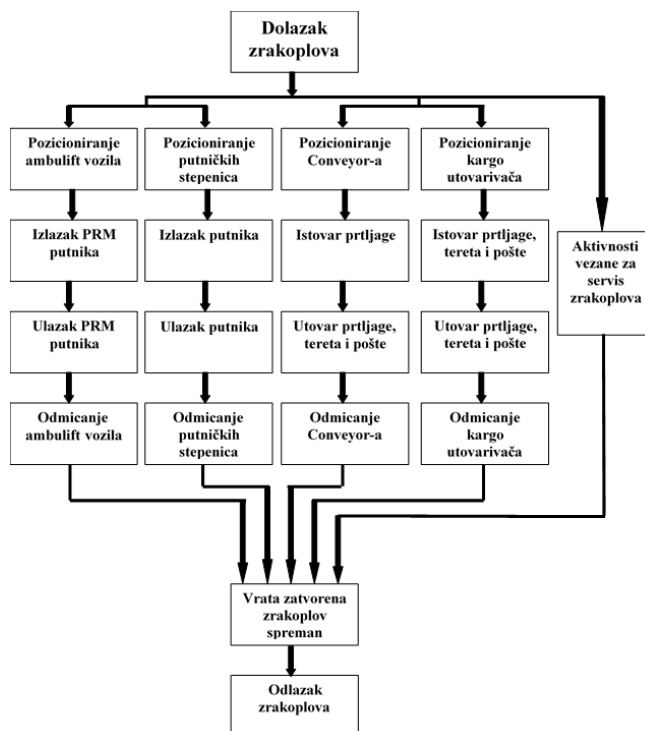
Proces prihvata i otpreme zrakoplova u zračnoj luci sastoji se od niza aktivnosti koje su detaljno opisane u ovom poglavlju. Prilikom odvijanja procesa prihvata i otpreme zrakoplova koriste se različite vrste vozila i opreme koji obavljaju važne funkcije u ovom procesu, a za čiji pogon se primjenjuju različite vrste goriva.

2.1. Aktivnosti u procesu prihvata i otpreme zrakoplova u zračnoj luci

Proces prihvata i otpreme zrakoplova predstavlja složeni proces koji se sastoji od niza aktivnosti, a zbog njegove složenosti, nužna je koordinacija svih sudionika kako bi se osigurala efikasnost, sigurnost i pravovremeno odvijanje samog procesa [1].

Brojne aktivnosti koje uključuju osoblje i vozila za prihvat i otpremu zrakoplova se odvijaju istovremeno na i oko zrakoplova s ciljem njegovog prihvata i pripreme za novi let u što kraćem mogućem vremenu [2].

Prihvat i otprema putničkog zrakoplova predstavlja složeni proces u kojem se javlja cijeli niz aktivnosti koje je potrebno prostorno i vremenski koordinirati. Svaka od aktivnosti u prijatu i otpremi je specifična te se odvija prema unaprijed utvrđenim pravilima. Složeni proces prihvata i otpreme putničkog zrakoplova prikazan je na slici 1. [1].

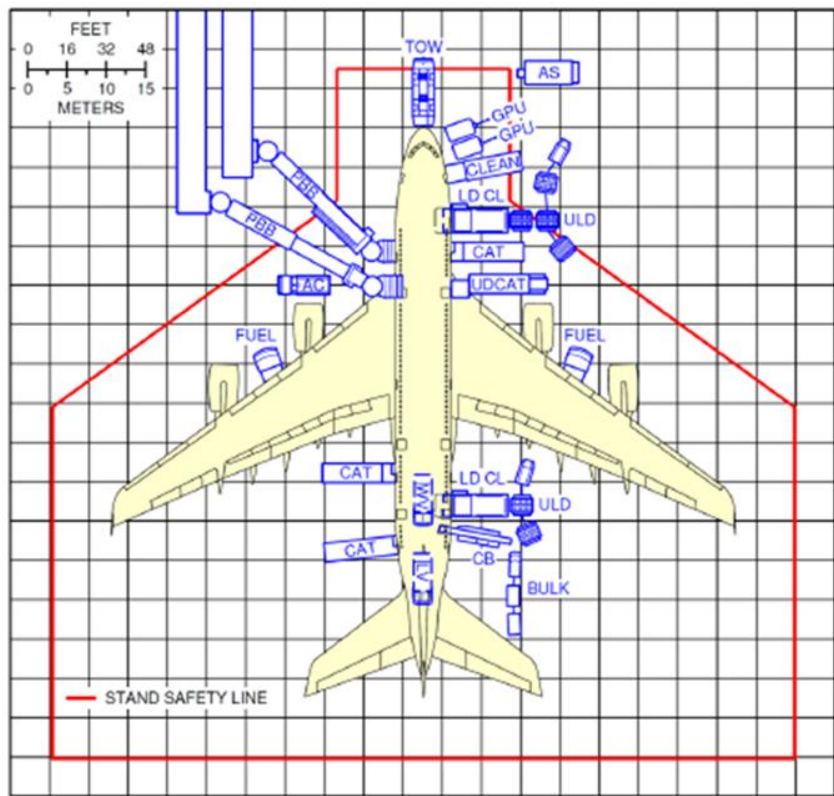


Slika 1. Općeniti prikaz tehnološkog procesa prihvata i otpreme putničkog zrakoplova

Izvor: [1]

Aktivnosti koje se provode u sklopu procesa prihvata i otpreme putničkog zrakoplova mogu se podijeliti na aktivnosti vezane uz putnike i ručnu/kabinsku prtljagu, odvojenu (predanu) prtljagu, robu i poštu, te servis zrakoplova [1].

Proces prihvata i otpreme zrakoplova kod tradicionalnih zračnih prijevoznika je znatno složeniji u odnosu na niskotarifne i *charter* zračne prijevoznike. Tradicionalni zračni prijevoznici putnicima pružaju višu razinu usluge na letu, što zahtijeva provođenje većeg broja aktivnosti unutar procesa prihvata i otpreme zrakoplova. Spomenute aktivnosti grupirane su s obzirom na odnose li se na putnike i njihovu kabinsku prtljagu, odvojenu prtljagu, teret i poštu ili servis zrakoplova [1].



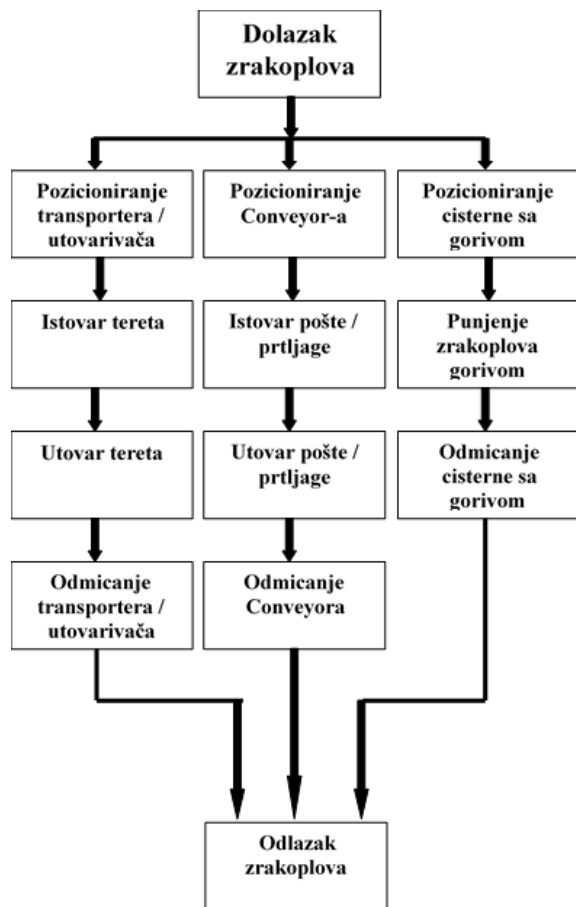
Slika 2. Zrakoplov A380 i oprema za prihvata i otpremu zrakoplova sa dva zračna mosta
Izvor: [1]

Karakteristike modela niskotarifnog zračnog prijevoza bitno utječu na aktivnosti procesa prihvata i otpreme zrakoplova. Prije svega to su visoki faktor popunjenosti kabine zrakoplova, niska razina kvalitete usluge na letu i nepostojanje poslovne klase u zrakoplovu. Zbog specifičnog načina njihovog poslovanja, pojedine aktivnosti kod prihvata i otpreme zrakoplova se izostavljaju. Aktivnosti poput čišćenja kabine, opskrbe zrakoplova hranom i pićem, utovar/istovar tereta i pošte, eventualno servis voda i otpadnih voda se ne obavljaju kod prihvata i otpreme zrakoplova niskotarifnog zračnog prijevoznika. Odvijaju se samo osnovne aktivnosti unutar procesa prihvata i otpreme zrakoplova koje su neophodne za uspješan završetak jednog, i početak drugog leta.

Slično je i kod *charter* zrakoplova, gdje se uz izuzetak aktivnosti opskrbe zrakoplova hranom i pićem odvijaju ostale aktivnosti u procesu prijvata i otpreme zrakoplova kao i kod niskotarifnih zračnih prijevoznika.

Proces prijvata i otpreme teretnog zrakoplova znatno se razlikuje od procesa prijvata i otpreme putničkog zrakoplova. U procesu prijvata i otpreme teretnog zrakoplova manipulira se isključivo teretom koji se smješta u unutrašnjost zrakoplova, koja je za razliku od putničkog u potpunosti namijenjena za smještaj tereta (engl. *All cargo aircraft*). Uz navedeni tip zrakoplova, teret se može prevoziti i u putničkim zrakoplovima, kombi zrakoplovima (engl. *Combi aircraft*), i konvertibilnim zrakoplovima (engl. *Convertible aircraft*).

Proces prijvata i otpreme teretnog zrakoplova prikazan je na slici 3., a sastoji se od sljedećih operacija: navođenje i parkiranje zrakoplova na poziciju, postavljanje podmetača pod kotače zrakoplova i prema potrebi spajanje zrakoplova na zemaljski izvor napajanja (*Ground Power Unit -GPU*), opskrba zrakoplova gorivom, dovoženje i pozicioniranje utovarivača/transportera uz zrakoplov, istovar/utovar tereta, odvoženje utovarivača/transportera od zrakoplova, uklanjanje podmetača i zemaljskog izvora napajanja i pokretanje motora i navođenje (izguravanje) zrakoplova prilikom izlaska sa pozicije [1].



Slika 3. Općeniti prikaz tehnološkog procesa prijvata i otpreme teretnog zrakoplova
Izvor: [1]

S ciljem nesmetanog obavljanja procesa prihvata i otpreme zrakoplova, obvezno je osigurati da su zadovoljeni svi uvjeti za prihvata zrakoplova u područje stajanke. Provode se redovite aktivnosti za koje su zadužene servisne službe u zračnoj luci:

- Obvezne inspekcije stajanke, objekata, hangara, postaja za opskrbu gorivom itd.
- Spasilačke i vatrogasne službe na najvišoj razini tehničke opremljenosti i fizičke spremnosti da bi se adekvatno reagiralo u slučaju pojave požara.
- Kontrola leda i snijega na zrakoplovu, i blagovremeno uklanjanje [3].

Proizvođači zrakoplova pri dizajniranju i inoviranju novih rješenja vode računa o tome da se zrakoplovi što više prilagode potrebama procesa prihvata i otpreme zrakoplova, dok zračni prijevoznici i tvrtke koje obavljaju ove procese u zračnim lukama nastoje provoditi aktivnosti koordinirano i učinkovito u što kraćem vremenu boravka zrakoplova u zračnoj luci.

U samom procesu bitan je parametar vrijeme prihvata i otpreme zrakoplova (*Turn Round Time* - TRT) koji se odnosi na vrijeme koje protekne između uspješnog parkiranja zrakoplova i procesa izguravanja, odnosno vrijeme koje zrakoplov provede na stajanci. TRT je kraći za uskotrupne zrakoplove u odnosu na širokotrupne zbog značajne razlike u broju aktivnosti koje se provode u operacijama prihvata i otpreme. Na TRT utječe i razina obučeniosti osoblja i veličina tima. Sve operacije prihvata i otpreme zrakoplova se odvijaju po redosljedu kojim se osigurava minimalno vrijeme „praznog hoda“ i kraće ukupno vrijeme prihvata i otpreme zrakoplova. Trajanje procesa je bitno zbog duljine angažmana opreme i vozila za prihvata i otpremu zrakoplova, slijedom toga i s aspekta utroška goriva i razine emisija ispušnih plinova koje oprema i vozila tijekom procesa proizvode. TRT se optimizira provođenjem što je više moguće paralelnih operacija na stajanci uz visoku razinu sigurnosti za osoblje i opremu. Na primjer, iskrcavanje i ukrcavanje putnika se može odvijati paralelno s istovarom i utovarom tereta jer je zračni most priključen sa desne strane zrakoplova, a teret se istovruje/utovaruje sa lijeve strane zrakoplova, tako se ovi procesi mogu nesmetano odvijati istovremeno. Međutim, dio aktivnosti se ne mogu odvijati paralelno sa drugima poput iskrcavanja putnika i catering opskrbe. Zato je neophodno da se sve aktivnosti odvijaju po propisanom redosljedu [2].

Loši vremenski uvjeti mogu negativno utjecati na proces prihvata i otpreme zrakoplova, kao i na sigurnosne uvjete za osoblje i zrakoplov. U zimskim uvjetima sa snijegom i ledom mora se planirati dodatno vrijeme za aktivnosti prihvata i otpreme zrakoplova zbog dodatnog opreza pri uporabi vozila i opreme na klizavim površinama te prilagođavanja brzine izvedbe otežanim uvjetima [4].

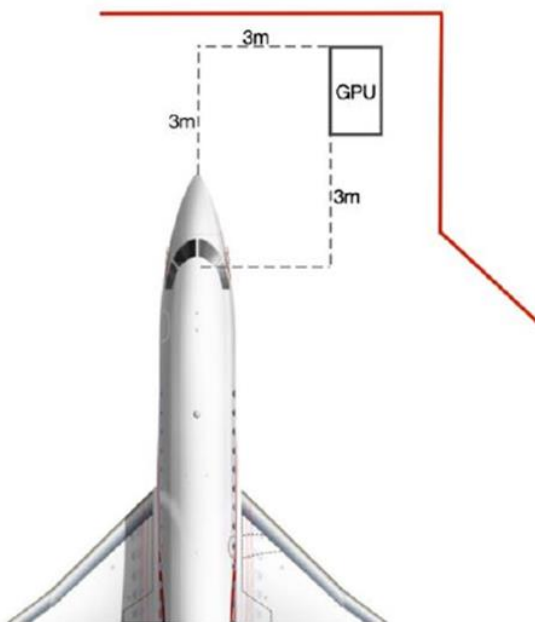
2.1.1. Proces prihvata zrakoplova u zračnoj luci

Prije nego započne proces prihvata i otpreme zrakoplova provode se određene operativne procedure koje prethode samom procesu. Nakon slijetanja, zrakoplov se usmjerava prema planiranoj parkirnoj poziciji i informira o ruti koju će koristiti na putu do nje. U međuvremenu, tehničko osoblje na stajanci obavlja inspekciju opreme koja će se upotrebiti u prihvatu i otpremi

zrakoplova. Sva oprema parkirana na drugim lokacijama se doprema na stajanku i stavlja u pripravnost kako bi se izbjegla moguća kašnjenja [2].

Operativne procedure koje prethode procesu prihvata i otpreme zrakoplova su navođenje i parkiranje zrakoplova. Navođenje i parkiranje zrakoplova na odgovarajuću poziciju operativno se može provesti samostalno od strane kapetana zrakoplova uz uporabu odgovarajućih informacijskih sustava i uz uporabu *follow me* vozila od unaprijed utvrđenog mjesta do pozicije za parkiranje zrakoplova. U slučaju zračnih luka s niskim i nižim intenzitetom prometa prakticira se navođenje zrakoplova uporabom *follow me* vozila. U trenutku kada zrakoplov izađe iz nadležnosti kontrole zračne luke preuzima ga *starter - parker* koji uz pomoć *follow me* vozila navodi zrakoplov na određenu poziciju. Navođenje zrakoplova izvodi se na način da *parker* vozilom slijedi središnju liniju vozne staze [1].

Proces prihvata zrakoplova počinje nakon što su motori ugašeni i *anti-collision* svjetla isključena. Postavljaju se podmetači pod prednje kotače ili naknadno pod kotače glavnog podvozja zrakoplova, pozicioniraju stepenice za iskrcaj putnika i daje dozvola za prilaz vozilima za prihvata i otpremu zrakoplova. Potom se pozicionira zemaljski izvor napajanja (*Ground Power Unit – GPU*), kako je prikazano na slici 4., koji zrakoplov priključuje na izvor električne energije. Na ovaj način se zrakoplovu omogućuje operativno djelovanje na zemlji [4].



Slika 4. Prikaz pozicioniranja zrakoplova u odnosu na zemaljski izvor energije
Izvor [5]

U trenutku kad se motori ugase, veliki broj vozila i opreme za prihvat i otpremu zrakoplova, se nalazi u području ograničenog ulaska vozila i opreme (*Equipment Restraint Area – ERA*) koje postaje najprometnije mjesto u zračnoj luci [2].

Nakon pozicioniranja zrakoplova, gašenja *anti-collision* svjetala, i osiguranja operativnih uvjeta za izvođenje procesa prihvata i otpreme zrakoplova, pristupa se proceduri izlaska putnika iz zrakoplova. Proces izlaska putnika moguće je ostvariti putem stepenica ili aviomostova. Ukoliko se iskrcaj putnika odvija pomoću vučenih ili samohodnih stepenica, vučene stepenice se dovoze uz uporabu vučnog vozila (traktora) do zrakoplova, te se zatim ručno prislanjanju uz zrakoplov. Samohodne stepenice se, za razliku od vučenih, dovoze i izravno prislanjanju na trup zrakoplova. Prije početka procedure iskrcaja putnika neophodno je osigurati da su stepenice ispravno pozicionirane na vratima zrakoplova [4].

Nakon izlaska putnika iz zrakoplova aerodromsko osoblje odvodi putnike od zrakoplova prema putničkoj zgradi pješice ili autobusom [1].

Tijekom iskrcavanja putnika, uz teretni prostor zrakoplova priključuju se transportna traka (uskotrupni zrakoplov) i utovarivač tereta (širokotrupni zrakoplov) te tad počinje proces istovara putničke prtljage, teretnih pošiljki i ukrcajnih jedinica (*Unit load device* - ULD) [2].

Istovar prtljage iz prtljažno-teretnih prostora odvija se tako da se prvo u većini slučajeva istovari prioriteta prtljaga, a zatim ostala prtljaga te nakon toga teret i pošta. Za izvođenje procesa istovara prtljage potrebna su tehnička sredstva (mobilne tekuće trake, kolica za prijevoz prtljage i vučna vozila) te odgovarajući broj transportnih radnika. Ukoliko je teret utovaren komadno, istovaruje se korištenjem mobilne tekuće trake (engl. *Conveyor*) te su u pravilu potrebne dvije trake kada se prtljaga istovara iz prednjeg i stražnjeg prtljažno-teretnog prostora istovremeno.



Slika 5. Istovar prtljage pomoću mobilne tekuće trake

Izvor: [6]

Ukoliko je teret utovaren u jedinično sredstvo ukrcaja ULD istovaruje se pomoću posebne opreme za pretovar ULD-a iz zrakoplova na kolica. ULD su standardizirane ukrcajne jedinice (kontejneri, palete, igloo-i) za prijevoz prtljage i tereta u zrakoplovima, a njihova veličina i dimenzije su određene dizajnom teretnog odjeljka različitih tipova zrakoplova. Njihova prednost je velika ušteda na vremenu jer je prtljaga povezana u nekoliko jedinica što olakšava i ubrzava proces utovara i istovara [6].



Slika 6. Prijevoz tereta pomoću ULD-a

Izvor: [6]

Za prijevoz tereta do zrakoplova koji koriste kontejnere, koriste se posebno dizajnirana kolica za prijevoz kontejnera ULD, dok se do ostalih zrakoplova prtljaga i teret prevozi pomoću kolica za prtljagu i vučnih vozila, i potom komadno utovaruje u bagažnike.



Slika 7. Prijevoz prtljage do terminala

Izvor: [6]

U međuvremenu, klimatizacijska jedinica za opskrbu svježim klimatiziranim zrakom (*Air Condition Unit*) se priključuje na zrakoplov kako bi se održao ugodan ambijent za putnike i osoblje unutar zrakoplova [2].

2.1.2. Proces otpreme zrakoplova u zračnoj luci

Nakon prihvata zrakoplova u zračnoj luci te iskrcaja putnika i istovara prtljaga/tereta, započinje proces pripreme zrakoplova za novi let, odnosno procedure otpreme zrakoplova.

Piloti provjeravaju razinu popunjenosti spremnika gorivom i donose odluku o potrebi dopunjavanja. Ukoliko je neophodna nadopuna gorivom, pumpa za punjenje spremnika gorivom se parkira ispod ili u blizini krila zrakoplova i započinje proces punjenja gorivom, i to isključivo nakon izlaska svih putnika iz zrakoplova. Opskrba zrakoplova gorivom može biti izvedena uz pomoć cisterne sa vlastitom pumpom za gorivo (pokretna oprema) ili samohodne pumpe za gorivo koja se spaja na podzemne instalacije goriva (fiksni priključci) [2].

Opskrba zrakoplova hranom i pićem odvija se kod tradicionalnih zračnih prijevoznika, a kod niskotarifnih zračnih prijevoznika se izvodi prema potrebi. Sam proces u nadležnosti je odgovarajuće službe unutar odjela za prihvat i otpremu zrakoplova. Uobičajeno je istovremeno prihvatiti iz zrakoplova ostatke *cateringa* sa prethodnog leta i utovariti novi *catering* za sljedeći let. U određenim slučajevima potrebno je koordinirati proces opskrbe zrakoplova hranom i pićem sa procesom ulaska odnosno izlaska putnika sa smanjenom pokretljivošću (engl. *Passengers with Reduced Mobility – PRM*) jer postoji mogućnost preklapanja ta dva procesa.

Čišćenje putničke kabine zrakoplova je sljedeća aktivnost koja se provodi kod tradicionalnih zračnih prijevoznika, dok niskotarifni zračni prijevoznici uglavnom ne zahtijevaju ovu uslugu. Čišćenje zrakoplova odvija se nakon što putnici napuste putničku kabinu i završava prije nego li putnici započnu ulazak u zrakoplov [1].

Servis otpadnih voda obavlja se kod tradicionalnih zračnih prijevoznika, a kod niskotarifnih zračnih prijevoznika po potrebi. Vozilo za servis otpadnih voda koristi se za prihvat otpadnih voda iz zrakoplova te dezinfekciju spremnika za otpadnu vodu na način da napuni spremnik sredstvom za dezinfekciju.

Opskrba zrakoplova pitkom vodom aktivnost je koja se odvija kod tradicionalnih zračnih prijevoznika, a prema potrebi, na zahtjev posade opskrba zrakoplova vodom može se izvoditi i kod niskotarifnih zračnih prijevoznika. Prilikom opskrbe zrakoplova pitkom vodom radnje se moraju obavljati nakon što je ponovno uspostavljena opskrba električnom energijom i u vrijeme što bliže terminu odlaska zrakoplova [4].

Zaključivanjem pojedinog leta i zaključivanjem kontrole kupona za ulazak u zrakoplov može se započeti sa procesom transporta predane prtljage iz sortirnice do zrakoplova odnosno utovara prtljage u zrakoplov. Predana prtljaga za pojedini let pozicionira se na grupu kolica za prijevoz prtljage prema pojedinom letu te se transportira do zrakoplova [1].

Ulazak putnika u zrakoplov može započeti nakon što su osigurani operativni uvjeti za izvođenje procesa, odnosno nakon obavljanja niza aktivnosti vezanih za putničku kabinu. Putnici u zrakoplov ulaze internim stepenicama (ako ih zrakoplov posjeduje), stepenicama (samohodnim, vučenim) te zračnim mostom. U pravilu ulazak putnika u zrakoplov nije moguć ukoliko se istovremeno izvodi opskrba zrakoplova gorivom, uz izuzetak kod dijela niskotarifnih zračnih prijevoznika, pri čemu se moraju poštovati propisane procedure, i uz obveznu prisutnost vatrogasnog vozila.

Zračni most, agregat za zemaljsko napajanje električnom energijom i klimatizacijski uređaj ostaju priključeni na zrakoplov do završetka procesa ukrcaja putnika za sljedeći let. Nakon prebrojavanja putnika zaključuje se ukrcavanje i zračni most se fizički odvaja od zrakoplova. Sva

ostala oprema i vozila za prihvat i otpremu zrakoplova se fizički odvajaju od zrakoplova i udaljavaju u momentu kad izvrše zadatak, jer se zbog sigurnosti i učinkovitosti stajanka mora održavati slobodnom od svih nepotrebnih uređaja i opreme [2].

U zimskim uvjetima proces prijvata i otpreme zrakoplova se produžuje za određeni vremenski period potreban za odleđivanje i zaštitu zrakoplova protiv zaleđivanja pomoću vozila za odleđivanje koji vrše raspršivanje tekućine za odleđivanje i zaštitu protiv zaleđivanja na vanjsku površinu zrakoplova.



Slika 8. Postupak odleđivanja zrakoplova

Izvor: [5]

Nakon svih provedenih procedura otpreme, zrakoplov je spreman za polijetanje. Prije uzlijetanja zrakoplova osigurava se da je stajanka u cijelosti očišćena od stranih predmeta, snijega i leda kako bi se omogućilo sigurno kretanje zrakoplova. Neophodno je provesti pripreme radnje prije izguravanja zrakoplova priključivanjem *push-back* vozila. Nakon izguravanja uz pomoć *push-back* vozila, u zrakoplovu se pokreću motori. *Anti-collision* svjetla na zrakoplovu se pale, što predstavlja znak da je motor upaljen ili da se uskoro očekuje pokretanje zrakoplova [4].

Zračni starter (*Air Starter Unit - ASU*) osigurava potrebnu količinu zraka za početnu rotaciju zrakoplovnog motora, nakon čega pilot daje odobrenje za odvajanje od agregata za napajanje električnom energijom i klimatizacijskog uređaja, a *push-back* vozilo zauzima poziciju za izguravanje zrakoplova [2].

U trenutku kad zrakoplov dobije odobrenje za pristupanje uzletno-sletnoj stazi i polijetanje, završavaju se procesi prijvata i otpreme zrakoplova na stajanci.

Međutim, operacije prijvata i otpreme zrakoplova se odvijaju i izvan stajanke, a te aktivnosti uključuju manipulaciju prtljagom uključujući utovar i istovar uporabom transportnih traka u zračnoj luci, repositioniranje zrakoplova sa jednog parkirališnog mjesta na drugo, te vuču zrakoplova unutar i izvan hangara za održavanje.

2.2. Vozila i oprema u procesu prihvata i otpreme zrakoplova

Vozila u sastavu voznog parka zračne luke u funkciji su prihvata i otpreme zrakoplova, a dijele se u tri funkcionalne kategorije: *shuttle* vozila, vozila za hitne slučajeve i sigurnosna vozila te pogonska i vozila za održavanje [7].

Vozni park u zračnim lukama se razlikuje s obzirom da su i specifične potrebe u zračnim lukama različite. Čimbenici koji utječu na potrebe zračne luke su obujam dnevnog prometa zrakoplova, veličina zrakoplova i tip zračne luke. Vremenski uvjeti također imaju važnu ulogu kad je u pitanju sastav flote za zemaljsku podršku. Na primjer, tijekom zimskih mjeseci, nekim zračnim lukama potrebne su ralice za čišćenje uzletno-sletnih staza, a drugim, u ovisnosti od lokacije, kosilice za košenje trave uz uzletno-sletne staze. Velike zračne luke, poput *Charles de Gaulle-a* u Parizu, trebaju više vozila za prijevoz prtljage za razliku od manjih zračnih luka poput Joža Pučnik u Ljubljani [4].

Vozila i oprema u zemaljskoj podršci zrakoplovu u funkciji su procesa prihvata i otpreme zrakoplova, i obavljaju sljedeće zadatke:

- Osiguravaju energiju i klimatizaciju za zrakoplov;
- Premještaju zrakoplov (npr. iz područja izlaza, sa i na održavanje);
- Servisiranje zrakoplova između letova (opskrba zrakoplova, odleđivanje itd.);
- Ukrcavanje i iskrcavanje putnika;
- Utovar i istovar prtljaga i tereta;
- Servisiranje stajanki, uzletno-sletnih staza i ostalih zona (npr. uklanjanje snijega, održavanje travnatih površina itd.) [8].

Pokretna oprema za prihvat i otpremu zrakoplova može se razvrstati u četiri skupine:

- za ulazak ili izlazak putnika
- za utovar ili istovar prtljage
- za utovar ili istovar tereta
- za servis zrakoplova

Funkcija opreme za ulazak i izlazak putnika, bez obzira na veličinu i prometnu opterećenost zračne luke, jeste omogućiti brzi ulaz i izlaz putnika u/iz zrakoplova te osigurati odgovarajući standard i kvalitetu operacije ulaska i izlaska. Ulazak i izlazak putnika odvija se vođenjem putnika (pješačenjem) iz zgrade zračne luke preko stajanke do mjesta ulaska u zrakoplov i obratno, prijevozom putnika autobusima od zgrade zračne luke preko stajanke do mjesta ulaska u zrakoplov i obratno te izravnim ulaskom i izlaskom preko zračnih mostova iz terminala do zrakoplova i obratno. Posebna sredstva, odnosno oprema koja se koristi za ulazak i izlazak putnika u zrakoplov i iz njega čine stepenice. Njihove manevarske značajke, dimenzije i oblik moraju biti u skladu s dimenzijama i ostalim tehničko tehnološkim značajkama zrakoplova koje opslužuju [1].

Posebnu kategoriju putnika koji mogu koristiti usluge zračnog prijevoza predstavljaju putnici sa smanjenom pokretljivošću (PRM). PRM putnici predstavljaju putnike koji zbog tjelesnog

oštećenja nisu u mogućnosti koristiti konvencionalne sustave za ulazak i izlazak putnika. Stoga se za ulazak i izlazak PRM putnika koristi posebno dizajnirano vozilo *ambulift* (liftmobil). *Ambulift* vozilo nije potrebno u slučajevima kada zračna luka operativno koristi zračne mostove.

Oprema za manipuliranje predanom prtljagom putnika može se podijeliti na prijevozna i utovarno/istovarna. Prijevozna sredstva omogućuju prijevoz prtljage između sortirnice i zrakoplova te uključuju kolica za prijevoz prtljage, vučna vozila i samohodna vozila za prijevoz kontejnera s prtljagom. Sredstva za istovar odnosno utovar prtljage iz/u zrakoplova omogućuju svladavanje visinske razlike između kolica za prijevoz prtljage i prtljažnog prostora zrakoplova. Istovarna/utovarna sredstva omogućuju istovar/utovar prtljage iz/u zrakoplova i u tu skupinu pripadaju mobilne tekuće trake. Sustav utovara i istovara prtljage obuhvaća mehanička sredstva poput *conveyor*-a i lake utovarivače. Mobilne tekuće trake omogućuju utovar komadnog tereta ručnim, odnosno mehaničkim putem [1].

U procesu prihvata i otpreme teretnog zrakoplova sudjeluju sljedeća manipulativna sredstva:

- vozilo koje koristi *parker/starter*
- cisterna za opskrbu zrakoplova gorivom
- teretni utovarivač/fiksni utovarivač
- viličari za utovar paleta (u pravilu za vojne zrakoplove)
- traktor za vuču ULD kolica
- ULD kolica
- *Push-back* vozilo – ako je potrebno izguravanje zrakoplova

Oprema za transfer odnosno utovar/istovar ULD-ova između terminala zračne luke i zrakoplova mogu se podijeliti u dvije skupine: sredstva za transfer odnosno prijevoz i sredstva za utovar odnosno istovar. Transporter je sredstvo sa vlastitim pogonom koje uz mogućnost istovara i utovara ULD-ova može izvoditi transport ULD-ova između zrakoplova i terminala zračne luke. Utovarivači (ponekad se nazivaju i *cargo* platforme) kao i transporter ubrajaju se u istu skupinu tehničkih sredstava koji se koriste na zračnoj luci u procesu prihvata i otpreme zrakoplova. U slučajevima kada se standardna oprema ne može koristiti za utovar odnosno istovar tereta koriste se konvencionalni viličari, isti oni koji se koriste prilikom manipulacije tereta u skladišnim prostorima.

Za servis i opskrbu zrakoplova koriste se sljedeća tehnička sredstva:

- *catering* vozila za opskrbu zrakoplova hranom
- vozila agregati za napajanje zrakoplova električnom energijom
- vozila cisterne za opskrbu zrakoplova vodom
- vozila cisterne za servis sanitarija
- zračni *starteri*
- vozila s klimatizacijskim uređajima
- vozila cisterne za opskrbu zrakoplova gorivom
- vozila za čišćenje i uređivanje kabine zrakoplova.

Catering vozila pripadaju u posebnu vrstu vozila koja služe za istovar i utovar hrane i pića iz/u zrakoplova. Po izgledu i konstrukciji vrlo su slična *ambulift* vozilima.

U slučajevima kada zrakoplov ne posjeduje pomoćni uređaj za napajanje električnom energijom (*Auxiliary Power Unit* - APU) ili je taj izvor u kvaru, neophodno je priključiti zrakoplov na zemaljski uređaj za napajanje električnom energijom (GPU). Osnovna podjela uređaja je na vučene i samohodne. Vučenim agregatima potrebno je vučno vozilo za prijevoz između zrakoplova i parkirališta za vozila. Samohodni agregati imaju jednostavniji način manipulacije s obzirom na činjenicu da se mogu izravno dovesti do zrakoplova. S druge strane vučeni agregati imaju prednost prvenstveno u cijeni vozila i održavanja.

Cisterne za opskrbu zrakoplova pitkom vodom koriste se za nadopunjavanje zrakoplova pitkom vodom. Uređaj za fekalije koristi se za servis toaleta zrakoplova.

Uređaj za klimatizaciju koristi se za rashlađivanje, grijanje i klimatizaciju putničke kabine zrakoplova. Koristi se na zahtjev kapetana zrakoplova. Uređaj preko odgovarajućih filtera i uz pomoć posebnih crijeva upuhuje zrak u putničku kabinu zrakoplova [1].

Cisterne za opskrbu zrakoplova gorivom osiguravaju zrakoplovu potrebnu količinu goriva za let.

Od vučenih vozila koriste se traktori i vozila za izguravanje (*push-back*). *Push-back* su specijalno dizajnirana vozila za transport zrakoplova. Osnovna namjena *push-back* vozila je izguravanje zrakoplova sa pozicija gdje zrakoplovi ne mogu/smiju izlaziti snagom vlastitih motora (pozicije uz putničku zgradu). Osim toga *push-back* vozila se upotrebljavaju za izguravanje i vuču zrakoplova od/do pozicije do hangara, stajanke za odleđivanje, uzletno - sletne staze [1].











U slučajevima kada na zrakoplovu ne radi sekundarni izvor napajanja (APU) ili ga kapetan zrakoplova iz objektivnih okolnosti nije u mogućnosti operativno koristiti, potrebno je koristiti zračni starter (ASU). Zračni starter koristi se kod zrakoplova sa mlaznim ili turbomlaznim motorom i osigurava dovoljnu količinu zraka potrebnu za pokretanje motora.




U zimskim uvjetima proces prihvata i otpreme zrakoplova se produžuje za određeni vremenski period potreban za odleđivanje i zaštitu zrakoplova protiv zaleđivanja. Prskanje zrakoplova tekućinom izvodi se uz pomoć prskalica kojima je opremljeno vozilo za odleđivanje i zaštitu zrakoplova protiv zaleđivanja. U procesu odleđivanja/zaštite zrakoplova mogu sudjelovati jedan, dva ili tri vozila.

Zračne luke su složeni sustavi koji angažiraju veliki broj različitih vrsta vozila i opreme za različite poslove ključne za funkcioniranje zračne luke. Tablica 1. opisuje tipove i funkcije vozila zaduženih za prihvata i otpremu zrakoplova, te ostale poslove na održavanju zračne luke [9].

Tablica 1. Tipovi i funkcije vozila za prihvat/otpremu i održavanje zrakoplova i zračne luke

Kategorija	Opis kategorije	Vozilo	Opis vozila
Oprema za napajanje i klimatizaciju na tlu	Koriste se kao pomoć pri pokretanju motora, operativnih instrumenata i obavljaju aktivnosti vezane uz udobnost putnika (kao npr. osvjetljenje, klimatizacija...) dok je zrakoplov na stajanci.	 Zračni starteri	Vozilo sa ugrađenim motorom koje u trenutku kada se pokrenu motori zrakoplova, osigurava zrak za početnu rotaciju zrakoplovnog motora.
		 Agregat za opskrbu električnom energijom	Pokretni agregati za opskrbu energijom zrakoplova na parking pozicijama kada motori zrakoplova nisu u funkciji. U pravilu se ne koriste kod zračnih luka koje imaju sustave napajanja na gate-ovima (to jest 400 Hz). Može se koristiti i za pokretanje motora zrakoplova.
		 Uređaji za klimatizaciju	Izvori napajanja zrakom osiguravaju klimatizirani (odnosno ohlađen ili zagrijan) zrak kako bi proventilirali zrakoplov. Na većim zračnim lukama, koriste se pojedinačni pakirani sklopovi ili centralizirani sustavi na električni pogon sa unaprijed klimatiziranim zrakom.
Kretanje zrakoplova	Iako zrakoplov ima mogućnost kretati se unatrag, to se uobičajeno ne radi sa zrakoplovima na mlazni pogon zbog udarnog vala plina na stražnjem dijelu zrakoplova. Iz tog razloga se koriste tegljači za manevriranje zrakoplovom prilikom napuštanja gate-a.	 Pushback vozila/tegljači	Koriste se za izguravanje zrakoplova s parkirne pozicije od trenutka kada kontrola leta da odobrenje za taksiranje do uzletno-sletne staze. Mogu se također koristiti i za pomicanje zrakoplova na različite lokacije na zračnoj luci (npr. hangari za održavanje). Postoje dva tipa tegljača: konvencionalni i tegljači bez rude. Konvencionalni tegljači koriste ruda za vuču koje su spojene na nosni kotač zrakoplova. Tegljači bez rude zahvate nosni kotač i podignu ga sa zemlje.
Servisiranje zrakoplova	Servisne aktivnosti na zrakoplovu podrazumijevaju obnavljanje zaliha i opskrbu zrakoplova gorivom.	 Vozila za catering	Najčešće su u vlasništvu zrakoplovne tvrtke ili tvrtke koje se bave catering-om (npr. priprema i opskrba zrakoplova gotovom hranom). Također podrazumijeva i iznošenje neiskorištene hrane/pića iz zrakoplova te nadopuna novom hranom i pićem na idući let.
		 Kabinska servisna vozila	Glavne kabinske servisne aktivnosti obuhvaćaju čišćenje putničke kabine i nadopunu zaliha stavki poput sapuna, jastuka i prekrivača.
		 Vozila za sanitarni servis	Koristi se za pročišćavanje sanitarnih sustava zrakoplova.
		 Vozila za opskrbu pitkom vodom	Ova vozila opskrbljuju zrakoplov pitkom vodom.

		 <p>Hydrant dispenser truck i cisterna za gorivo</p>	<p>Dva su načina opskrbe zrakoplova gorivom. Prvom metodom se cisterna za gorivo direktno spaja sa spremnikom goriva u zrakoplovu. Druga metoda se koristi na zračnim lukama s podzemnim sustavima za napajanje gorivom, gdje se koristi Hydrant dispenser truck kao spona između podzemnog sustava za napajanje gorivom i zrakoplova.</p>
		 <p>Uređaj za čišćenje hidranta</p>	<p>Koriste se na zračnim lukama sa podzemnim sustavima za napajanje gorivom za ispiranje i čišćenje hidrantskih vodova.</p>
		 <p>Vozila za održavanje</p>	<p>Službe održavanja zrakoplova koriste brojne vrste vozila. Ova vozila koristi zračna luka i/ili zaposlenici zračnih prijevoznika za kretanje od/do objekata za održavanje i zrakoplova kojem je potreban popravak.</p>
		 <p>Odleđivači</p>	<p>Vozila koja služe za zagrijavanje i raspršivanje tekućine za odmrzavanje na zrakoplov prije polijetanja.</p>
Iskrcaj/ukrcaj putnika	<p>Metode se razlikuju ovisno o zrakoplovu, zračnoj luci i raspoloživoj opremi/objektima zračne luke. Dva načina za ukrcaj putnika u velike zrakoplove su avio-mostovi i stepenice za ukrcaj putnika.</p>	 <p>Stepenice za ukrcaj Autobusi</p>	<p>Bilo da su vučne, odgurane na poziciju ili pričvršćene za vozilo, stepenice za ukrcaj putnika omogućuju ukrcaj i iskrcaj putnika na platformu (npr. udaljene parkirne pozicije), a u slučaju nedostatka avio-mostova.</p>
			<p>Na zračnoj strani velikih zračnih luka, za prijevoz putnika i zaposlenika od jednog terminala do drugog (ili zrakoplova) koriste se autobusi.</p>
Manipulacija prtljagom i teretom	<p>Putnička prtljaga se mora prevesti od zrakoplova do sortirnice prtljage i obratno. Teretni zrakoplovi imaju jedna ili više velikih vrata za lakši utovar/istovar tereta.</p>	 <p>Tegljači za prtljagu</p>	<p>Ova vozila se koriste za transport prtljage, pošte i tereta između zrakoplova i terminala zračne luke i/ili sortirnice robe i prtljage.</p>
		 <p>Transportna traka</p>	<p>Služi za ukrcaj i iskrcaj prtljage i tereta u/iz zrakoplova.</p>
		 <p>Utovarivači tereta/kontejnera</p>	<p>Koriste se za ukrcaj i iskrcaj tereta u/iz zrakoplova koji se nalazi na paletama ili kontejnerima.</p>
		 <p>Cargo transporteri</p>	<p>Služe za ukrcaj i iskrcaj tereta, ali primarno za transport tereta s jedne lokacije u zračnoj luci do druge.</p>

		<p>Viličari</p> 	Teret se unutar zračne luke prevozi pomoću viličara unutar <i>robnog</i> skladišta.
		Pokretna traka za prtljagu	U većim zračnim lukama pokretne trake za prtljagu se koriste za prijevoz prtljage između punkta za registraciju prtljage i sortirnice, te sortirnice i punkta za preuzimanje prtljage.
Servisne službe u zračnoj luci	Servisne službe u zračnoj luci koriste više tipova vozila za zemaljsku podršku u prihvatu i otpremi zrakoplova (GSE)	<p>Ralice za snijeg</p> 	Ralice za snijeg održavaju uzletno-sletne staze, vozne staze i stajanke čistim od snijega i leda. Mogu imati priključke u vidu ralice, čistača snijega i otpuhivača snijega. Čistači snijega se najčešće koriste na površinama koje moraju biti potpuno čiste od snijega (npr. na uzletno-sletnim stazama), gdje se uz pomoć četki otklanjaju slojevi snijega s kolnika.
		 <p>Vozilo za uklanjanje stranih predmeta</p>	Uklanjanje stranih predmeta se može postići uporabom mehaničkih sustava (kamioni za čišćenje, vakumski sustavi, mlazni puhači zraka) i nemehaničkih sustava (npr. magnetske šipke, prikolice za vuču sa četkama...).
		Kamion	Kamion koji se prilagođava za vuču prikolice i opreme. U nekim zračnim lukama se također koriste za čišćenje snijega.
		Razna ostala oprema	Uključuje necestovnu opremu koju koriste zemaljske službe pri održavanju okolice zračne strane. Uključuju agregate i kosilice za travu. U ovu kategoriju se također mogu ubrajati i kamioni za vuču.

Izvor: [9]

2.3. Uporaba goriva za pogon vozila prihvata i otpreme zrakoplova

Vozila za prihvat i otpremu zrakoplova u dosadašnjoj praksi najčešće koriste dizel ili benzin kao pogonsko sredstvo. Međutim, s obzirom na to da vozila na fosilna goriva proizvode najveće razine emisija CO₂ te na taj način izravno doprinose činjenici da je transportni sektor jedan od najvećih zagađivača okoliša, proizvođači vozila, kao i zračne luke i zračni prijevoznici, sve više rade na novim tehnološkim rješenjima po pitanju pogonskih goriva. Pored okolišnih standarda koji sve više postaju obvezujući, aktualna je i situacija s poremećajima u lancima opskrbe plinom i naftom diljem Europe, što u ogromnoj mjeri utječe na enormni rast cijena goriva.

U tablici 2. navedena su vozila i oprema za prihvat i otpremu zrakoplova s vrstom goriva koje koriste za pogon [10].

Tablica 2. Vozila/oprema za prihvat i otpremu zrakoplova i pogonska goriva

Oprema za prihvat i otpremu zrakoplova			Pogonsko goriva	
Akronim	Opis vozila/opreme	Primjena	Dizel/benzin	Električna energija
AC	Jedinica za klimatizaciju	Zrakoplov	√	x
AS	Zračni starter	Zrakoplov	√	x
BULK	Kompozicija za prijevoz prtljage/ tereta	Prtljaga/teret	√	√
CAT	Catering vozilo	Putnici	√	√
CB	Transportna traka	Prtljaga/teret	√	√
CLEAN	Vozilo za čišćenje	Putnici	√	√
FUEL	Cisterna ili hidrant	Zrakoplov	√	√
GPU	Agregat	Zrakoplov	√	√
LD	Cargo platforma za donju palubu	Prtljaga/teret	√	√
LV	Sanitarno vozilo	Putnici	√	√
BUS	Autobusi za transfer putnika	Putnici	√	√
PS	Stepenice za ukrcaj	Putnici	√	√
TOW	Tegljač	Zrakoplov	√	√
ULD	Vlak za prijevoz jediničnih ukrcajnih jedinica	Prtljaga/teret	√	√
WV	Vozilo za opskrbu pitkom vodom	Putnici	√	√

Izvor: [10]

Kao što se može vidjeti iz tablice, sva vozila koja se koriste u funkciji prihvata i otpreme zrakoplova proizvode se u većini slučajeva opremljena motorima na pogon fosilnim gorivima (dizel ili benzin). U svjetlu globalnih događanja vezanih uz zagađenje okoliša, ali i gospodarske probleme i nadolazeću recesiju, alternativna goriva su sve atraktivnije, okolišno prihvatljivo i ekonomski učinkovitije pogonsko rješenje i za vozila za prihvat i otpremu zrakoplova. Električna energija je pogonsko gorivo koje može imati široku primjenu kao alternativa fosilnim gorivima. Svega dva vozila na konvencionalni pogon ne podržavaju zamjenu na alternativni pogon poput električne energije. U pitanju su oprema za klimatizaciju i zračni starter. Ostala vozila/oprema za prihvat i otpremu zrakoplova su raspoloživa na tržištu s pogonom na električnu energiju, što ne utječe na njihovu funkcionalnost i razinu izvedbe, a njihova uporaba može doprinijeti većoj ekološkoj i ekonomskoj učinkovitosti operacija u zračnim lukama.

3. USPOREDBA KONVENCIONALNOG I ALTERNATIVNOG GORIVA KOD OPREME ZA PRIHVAT I OTPREMU ZRAKOPLOVA

Alternativna goriva se sve češće spominju kao inovativno rješenje za sve prisutniji problem zagađenja okoliša, pa je tako i niz regulativa i direktiva Europske Unije vezano za primjenu alternativnih goriva u zračnom prijevozu. Alternativna goriva se mogu koristiti i za pogon vozila i opreme u procesu prijvata i otpreme zrakoplova, a ekonomski i ekološki aspekt njegove primjene je predmet istraživanja u ovom poglavlju.

3.1. Regulative i direktive EU vezano uz primjenu alternativnih goriva u zračnom prometu

Sektor zračnog prijevoza je jedan od rijetkih kod kojeg su emisije CO₂ drastično porasle od 1990. godine. Zabrinjavajući je podatak da su emisije stakleničkih plinova iz sektora zračnog prijevoza na području Europske Unije (EU) prema podacima Europskog Parlamenta porasle za 146% u periodu 1990. – 2020. godine, kada kao rezultat smanjenog prometa uslijed pandemije COVID-19 dolazi do pada. Sektor zračnog prijevoza bilježi najbrži rast emisija stakleničkih plinova, dok je u proteklih 40 godina učinkovitost goriva porasla za 70% te u periodu 2005. – 2021. za 24% [10].

Sektor zračnog prijevoza ima najveći udio u emisijama stakleničkih plinova u sektoru transporta na globalnoj razini. Prema izvješću ACARE (*Advisory Council for Aeronautics Research in Europe*) iz 2022. godine izravne emisije sektora zračnog prijevoza iznose 4% ukupnih emisija stakleničkih plinova u EU i više od 2% - 3% emisija na svjetskoj razini. Kada se uzmu u obzir i ostale štetne emisije za sve sektore, postotak udjela će značajno porasti [11].

Nakon pandemije COVID-19 očekuje se ponovni trend rasta zračnog prijevoza, a samim tim i zagađenja te je potrebno urgentno raditi na smanjenju emisija i ostvarenju ciljeva Pariškog sporazuma (*Paris Agreement*), odnosno zadržavanju razine globalnog zagrijavanja ispod 2 °C i ograničavanja rasta na 1.5 °C [11]. Veliki broj dokumenata, usvojen i objavljen od strane vlada i organizacija iz sektora zračnog prijevoza, precizno definira legislativu i metode smanjenja emisija CO₂ u sektoru. Inicijative na tom planu govore u prilog važnosti poduzimanja napora za smanjenje zagađenja upravo u ovom sektoru. Najznačajniji dokumenti koji se odnose na ovo područje su: ICAO Annex 16 i ICAO Dokument 9889 “Priručnik o kvaliteti zraka u zračnim lukama” („*Airport Air Quality Manual*”), Dokumenti Europske Komisije, Nacionalne direktive i regulative, i dokumenti Savjetodavnog vijeća za istraživanja u aeronautici u Europi (ACARE) [10].

Tijekom protekla dva desetljeća relevantne institucije su se ozbiljno bavile pitanjima smanjenja zagađenja u sektoru transporta i mogućnostima šire uporabe alternativnih goriva u zračnom transportu. U veljači 2009. godine, Generalni direktorat Europske komisije za mobilnost i transport (*The European Commission Directorate General for Mobility and Transport*) objavio je studiju pod nazivom Održivi oblici alternativnih goriva i energija u zračnom prijevozu (*Sustainable Way for Alternative Fuels and Energy for Aviation - SWAFEA*). Navedena studija se bavi pitanjima

izvedivosti i utjecaja alternativnih goriva na sektor zračnog prijevoza. Organizacija međunarodnog civilnog zrakoplovstva ICAO (*International Civil Aviation Organization*) je 2010. godine usvojila rezoluciju kojom se do 2013. godine treba razviti standard za emisije CO₂ za zrakoplove te povećati učinkovitost goriva. ICAO navodi da je smanjenje emisija CO₂ moguće uporabom alternativnih goriva u zračnom prijevozu. U srpnju 2011. godine usvojen je i Europski zakon o klimi, kojim se postavlja i cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova u EU od minimalno 55% do 2030. godine, a referirajući se na razine iz 1990.-ih te u skladu s prioritetima postavljenim u Zelenom dogovoru (*Green Deal*) [8] .

Direktiva o infrastrukturi za alternativna goriva (*Alternative Fuels Infrastructure Directive* 2014/94/EU - *AFID*) iz 2014. referira se na ozbiljan nedostatak kapaciteta za opskrbu alternativnim gorivima diljem EU te potrebu za poboljšanim dugoročnim ulaganjima u tehnologije vezane uz alternativna goriva i vozila na pogon alternativnim gorivima. Sukladno tome su i članice u obvezi razvijati svoje nacionalne okvire i politike s ciljem osiguravanja dovoljnog broja kapaciteta za opskrbu i postaja za punjenje alternativnim gorivima.

Parlament Europske Unije naglašava potrebu daljnjeg razvoja infrastrukture za opskrbu alternativnim gorivima, i to kroz nekoliko odluka. U listopadu 2018. godine, Parlament je naglasio iznimnu povezanost između pitanja raspoloživosti vozila na alternativna goriva, uspostavljanja infrastrukture za alternativna goriva i potražnje za ovim novim tehnologijama. Pozvana je Europska Komisija u cilju revidiranja Direktive o infrastrukturi za alternativna goriva (*Alternative Fuels Infrastructure Directive* 2014/94/EU) iz 2014. godine i uvede obvezujuće i prinudne ciljeve kroz funkcionalne zakonske mehanizme. Predlažu i proširenje djelokruga direktive na sustave urbanih i regionalnih čvorišta te uključivanje javnog prijevoza kao novog segmenta u transportu [12].

U prosincu 2019. godine, Europska Komisija je objavila priopćenje vezano uz Zeleni dogovor (*Green Deal*), u kojem se naglašava važnost transformacije EU u modernu, konkurentnu i efikasnu ekonomiju, posebice kad su u pitanju resursi, da bi bili u mogućnosti nositi se s klimatskim i okolišnim izazovima. Posebice je naglašena potreba za ubrzanjem procesa prelaska na održivi i “pametni” transport te uporabu alternativnih goriva u transportu. Jedna od najavljenih mjera je revizija Direktive o infrastrukturi za alternativna goriva (2014/94/EU). Europski Zeleni dogovor postavlja jasan cilj smanjenja emisija iz sektora transporta za 90 % do 2050. (u odnosu na 1990.), i povećanje proizvodnje i uporabe održivih alternativnih goriva u transportu [12].

Inicijative EU iz 2020. godine uključuju i poticanje proizvodnje i uporabu održivih goriva u zrakoplovstvu u okviru programa „*RefuelEU Aviation*“. Inicijativa je integrirana u strategiju održive i pametne mobilnosti koja je usvojena krajem 2020. godine.

Dana 14.07.2021. godine, Europska Komisija je predstavila paket prijedloga pod nazivom “*The fit for 55*” – “Spremni za 55”, vezanih uz regulative EU o klimi, energiji, korištenju zemljišta, transportu i poreznim politikama s ciljem smanjenja emisija stakleničkih plinova za minimalno 55 % do 2030. godine, u odnosu na razine emisija iz 1990. godine. Prijedlozi podupiru ciljeve postavljene Europskim zakonom o klimi koji se odnose na smanjenje emisija u transportu, a predviđaju, između ostalog, povećanu primjenu alternativnih goriva u zračnom i brodskom prometu te strožije standarde u svezi emisije CO₂ za cestovna prijevozna sredstva. Paket uključuje prijedloge

za revidiranje direktiva o alternativnim gorivima iz 2014. godine i njihovo izglasavanje u regulative. U radnoj verziji regulative Komisija predlaže obvezne ciljeve vezane uz postaje za punjenje vozila električnom energijom, električno punjenje stacioniranih zrakoplova u zračnim lukama i postaje za opskrbu energijom brodova u lukama. Također uključuje i odredbe za članice EU koje trebaju osigurati zadovoljavajuće kapacitete za punjenje LNG-om (*Liquified Natural Gas*) teških teretnih kamiona [14].

Europska Komisija je provela opsežno istraživanje utjecaja inicijativa, vezano uz alternativna goriva, koje potvrđuje očekivanja za dugoročnim povećanjem potražnje za ovom vrstom vozila što će imati pozitivne učinke na gospodarstvo, društvo i okoliš. Očekuje se da će troškovi provođenja inicijative i uspostavljanja funkcionalne infrastrukture, uključujući kapital i operativne troškove, iznositi 67.1-70.5 milijardi eura u razdoblju 2021. - 2050. godine. Očekuju se i manji eksterni troškovi emisija CO₂, i to 445 milijardi eura u razdoblju 2021. - 2050. godine., umanjeno za 75 milijardi eura eksternih troškova zagađenja zraka. Navedena smanjenja će biti rezultat strožijih CO₂ standarda za vozila i kombije [13].

Države članice EU su u obvezi pratiti EU ciljeve poznate kao EU 20-20-20, što podrazumijeva ciljeve za države EU u vidu smanjenja emisija stakleničkih plinova za 20% u odnosu na 1990. godinu, rast potrošnje energije iz obnovljivih izvora za 20%, i unapređenje energetske učinkovitosti Europske Unije za 20% [10].

Primjena održivih goriva u zrakoplovstvu je važan čimbenik u smanjenju emisija i postizanju CO₂ neutralnosti u zračnom prijevozu. Razvoj alternativnih pogonskih tehnologija i proizvodnja održivih goriva predstavljaju najveći potencijal za smanjenje emisija u kratkom vremenskom roku. Alternativna goriva mogu se primijeniti bez radikalnih zahvata na postojećoj infrastrukturi koja je dizajnirana za konvencionalna goriva [12].

3.2. Definicija i vrste goriva

Izvori alternativnih goriva poznati su kao osnovne sirovine. Pojedina alternativna goriva se dobivaju iz neobnovljivih izvora poput nalazišta plina ili rudnika, dok ostala alternativna goriva nastaju iz obnovljivih izvora kao što su vjetar ili sunce.

Postoji i tip obnovljive osnovne sirovine poznat kao biomasa, odnosno biološki materijal koji se koristi kao izvor energije. Biomasa se može proizvoditi iz biljki poput kukuruza, divljeg lana, šećerne trske i drveta, kao i suproizvoda životinjskog podrijetla poput masnoća i otpada [8].

U tablici 3. navedene su vrste alternativnih goriva sa opisom koji se odnosi na podrijetlo, proces dobivanja i sastav.

Tablica 3. Vrste alternativnih goriva

Vrsta goriva	Opis
Biodizel	Gorivo proizvedeno iz ulja životinjskog ili biljnog podrijetla u procesu transesterifikacije.
Obnovljivi dizel („zeleni dizel“)	Gorivo proizvedeno iz otpadnih masti, ulja i biljnih ulja u procesu hidrobrade koji se mogu izravno miješati s konvencionalnim dizelom bez modifikacija na motoru.

Stlačeni prirodni plin (CNG)	Fosilno plinovito gorivo, uglavnom se sastoji od metana.
Obnovljivi prirodni plin („biometan“)	Gorivo koje nastaje od čvrstog otpada i ostalih bioloških sirovina, koje može zamijeniti konvencionalni prirodni plin sa značajno manjim emisijama stakleničkih plinova.
Ukapljeni prirodni plin (LNG)	Konvencionalni prirodni plin pretvoren u tekućinu kroz proces hlađenja.
Ukapljeni naftni plin (LPG)	Fosilno gorivo nastalo kao nusproizvod prirodnog plina i rafinirane nafte. Dobavlja se i skladišti kao tekuće gorivo. Poznat kao propan plin.
Vodikovo gorivo	Plinovito gorivo koje se koristi u gorivim ćelijama ili izravnom izgaranju.
Električna energija	Energija iz električne mreže koja se skladišti i čuva u baterijama.

Izvor: [7]

Biodizel je tekuće gorivo proizvedeno od estera masnih kiselina, metilnih estera masnih kiselina, ili dugolančanih mono alkil estera. Esteri su proizvod osnovnih sirovina poput čistog biljnog ulja, korištenog jestivog ulja, masnoća životinjskog podrijetla i algi [8].

Biodizel se koristi u varijantama B20 i B5, a posebice B20 zbog nekoliko prednosti: niskih troškova, niskih emisija, odlične izvedbe u hladnim vremenskim uvjetima, kompatibilnosti s materijalima i svojstva otapala. Da bi se kvalificirao kao alternativno gorivo u skladu sa *Clean Air Act* iz 1970. godine, mješavina mora biti u formi B20 ili višoj. Najčešći problem u uporabi biodizela je začepljenje filtera goriva. Čisti biodizel iz sojinih zrna počinje formirati ledene kristale kada temperatura padne ispod 0°C, dok je kod dizela to slučaj tek na temperaturi od -45°C do -7°C. Biodizel se u hladnim vremenskim uvjetima počinje zgušnjavati te da bi se to spriječilo primijenjuju se aditivi. Moguće je da biodizel zahtijeva više održavanja na vozilima i da je nešto skuplji po galonu u odnosu na dizel [7].

Najčešće je zamjensko gorivo za pogon vozila u SAD-u s potrošnjom od 2 milijarde galona godišnje. Čisti biodizel se proizvodi iz sojinih zrna i smanjuje emisije stakleničkih plinova za 12% u odnosu na konvencionalna goriva, dok biodizel koji nastaje iz otpadnih ulja može smanjiti emisije i do 88% tijekom životnog ciklusa. Ova vrsta nije toliko uobičajena u uporabi jer se ne može koristiti u standardnim dizel motorima te je potrebna modifikacija. Biodizel se može skladištiti u rezervoarima slično kao i dizel, međutim preporučuje se skladištenje ne duže od šest mjeseci iz razloga što ima svojstva otapala i može izazvati koroziju u rezervoarima i cijevnim sustavima. Pored toga, s obzirom na to da sadrži organske materije može izazvati rast mikroorganizama poput algi [8].

Obnovljivi dizel je ugljikovodično gorivo koje je učinkovitošću slično konvencionalnom dizel gorivu, ali proizvedeno iz obnovljivih izvora poput masnoća i ulja. Ova vrsta dizela ne zahtijeva zamjenu infrastrukture ili motora i može se miješati s dizelom do 100%. Dokazano je da obnovljivi dizel smanjuje emisije stakleničkih plinova čak do 80% u usporedbi s konvencionalnim dizelom, smanjuje nastanak nitrogen oksida (NOx) za 14% i smanjuje emisiju čestičnih tvari [7].

Stlačeni prirodni plin (*Compressed Natural Gas* - CNG) je alternativno gorivo koje se najčešće koristi u zračnim lukama za pogon vozila za prihvat i otpremu zrakoplova. Emisije stakleničkih plinova koje proizvodi stlačeni prirodni plin su za 11% manje u odnosu na dizel. Također, posebna prednost u odnosu na dizel su značajno manja zagađenja zraka u vidu NOx i čestica prašine. Prednosti stlačenog prirodnog plina u odnosu na dizel gorivo su niži troškovi goriva, manje potrebe za održavanjem, manje emisije kritičnih zagađivača, lakše predviđanje kretanja

cijena goriva, smanjeni neugodni mirisi ispušnih plinova i niže razine buke motora. Ključna prednost vozila na stlačeni prirodni plin je da većina tipova vozila može biti hibridna, odnosno da mogu raditi na stlačeni prirodni plin ili plinski/dizel pogon što omogućava da: vozila mogu izdržati dužu vožnju izvan zračne luke ukoliko je neophodno bez punjenja na CNG postaji, vozila se mogu koristiti i u slučaju kad je CNG postaja za punjenje privremeno izvan funkcije i vozila nastavljaju s radom bez prekida koji može izazvati manjak rezervnih dijelova za CNG motor. Međutim, postoje i određena ograničenja: sporo punjenje na CNG postajama (što zahtijeva više planiranja oko ciklusa punjenja vozila); malo raspoloživih modela vozila na tržištu; potrebni veći kapaciteti skladištenja; za razliku od vozila na plin, svjećice na motorima podliježu učestalij zamjeni zbog visoke temperature sagorijevanja; dodatni troškovi rada i goriva ukoliko postaja za punjenje nije u sklopu zračne luke; rezervari CNG-a u vozilima imaju kraći vijek trajanja u odnosu na vozilo (otprilike na pola životnog ciklusa) što izaziva značajne troškove zamjene (do 15.000 američkih dolara za *shuttle bus*), i teško se nalaze zamjenski dijelovi za CNG motore [7].

Obnovljivi prirodni plin je obnovljiva zamjena za fosilni prirodni plin. Nastaje iz otpadnih plinova na odlagalištima otpada, odlagalištima čvrstog otpada, s farmi krava, i postrojenja za preradu otpadnih voda. Nakon što se preradi, obnovljivi prirodni plin koristi iste plinovode za distribuciju i postaje za punjenje kao i prirodni plin. Uporabom obnovljivog prirodnog plina smanjuju se emisije stakleničkih plinova za čak 100% potiskivanjem emisija metana na crpilištu. Obzirom na to da proizvodnja nije značajno raširena, ova vrsta goriva nije u velikoj mjeri u uporabi u zračnim lukama [7].

Ukapljeni prirodni plin (*Liquified Natural Gas - LNG*) se u voznim parkovima zračnih luka uobičajeno koristi za pogon specijalizirane opreme. Najveća prepreka većoj uporabi LNG-a je viša cijena u odnosu na CNG, kao i potreba za specijalnim rezervarima za skladištenje koji su opremljeni i za održavanje kriogeni rashlađenog goriva u tekućem stanju. Zračne luke koje su smještene u blizini morskih terminala, gdje se LNG već uvozi i izvozi, imaju ekonomsku opravdanost za njegovu primjenu. Blizina terminala isključuje potrebu da zračne luke moraju omogućiti tlačenje plina. Ipak, primjena ove vrste goriva u zračnim lukama ostaje ograničena prije svega zbog visokih troškova u odnosu na druga goriva.

Ukapljeni naftni plin (*Liquified Petroleum Gas - LPG*), poznat kao propan, se isključivo primjenjuje u zračnim lukama kod viljuškara i ostale opreme za manipuliranje materijalima. Raspoloživost vozila na ovaj pogon predstavlja prepreku za veću primjenu ove vrste goriva. LPG se ne smije koristiti kao pogonsko gorivo vozila i opreme u tunelima zbog protupožarnih propisa. Cijena LPG-a je veća od dizela i to u prosjeku za 0,20 američkih dolara po galonu [7].

Vodikovo gorivo (Hidrogen) proizvedeno iz obnovljivih izvora ne emitira stakleničke plinove, te tako ima veliki potencijal za primjenu u dugoročnoj strategiji smanjenja emisija CO₂ i uporabe goriva naftnog podrijetla. Tehnologija za proizvodnju ovog goriva je još relativno nova i raspoloživost vozila na ovu vrstu pogona je još uvijek ograničena, te su to glavne barijere većoj primjeni u zračnim lukama. Koriste se za pogon pokretne rasvjete u zračnoj luci i ne smatraju se pogodnim za velika vozila zbog cijene samih vozila i cijene goriva.

Primjena električne energije, kao alternativnog pogonskog goriva, imala je najbrži rast u posljednjem desetljeću. Zračne luke ju koriste za pogon električnih vozila zbog velike prednosti u odnosu na konvencionalna goriva - niski troškovi i stabilne cijene goriva. Električna vozila koja rade na baterije ne emitiraju stakleničke plinove, a ukupne emisije ovise o samom izvoru koji se koristi za proizvodnju električne energije koju vozila koriste za pogon. Ukoliko je u pitanju obnovljivi izvor, onda su i emisije na nultoj razini. Jedini nedostatak u primjeni električne energije za pogon vozila u zračnoj luci su više cijene električnih vozila u nabavi u odnosu na konvencionalna vozila. Još jedan nedostatak je relativno dugo vrijeme punjenja te se zbog spremnosti voznog parka za dnevne operacije, punjenje mora obavljati tijekom noći.

3.3. Usporedba alternativnog i konvencionalnog goriva kod opreme u prihvatu i otpremi zrakoplova

Vozila i oprema angažirana u procesu prihvata i otpreme zrakoplova mogu funkcionirati putem pogona na fosilna i alternativna goriva. Zračna luka i zračni prijevoznici pri donošenju odluke o primjeni pogonskog goriva i zamjeni vozila u sastavu voznog parka obvezno sagledavaju sve aspekte i razlike koje donosi promjena pogonskog goriva. Pri tome moraju voditi računa o standardima i regulativama koji su vezani za zaštitu okoliša, ali i o učinkovitosti i ekonomičnosti poslovanja.

Alternativna goriva su čista i ekološki prihvatljiva. Prilikom izgaranja fosilnih goriva u atmosferu se oslobađa CO₂, metan i ostali staklenički plinovi. Na ovaj način se povećava globalno zagrijavanje. Alternativna goriva smatraju se neutralnim po pitanju emisije stakleničkih plinova unatoč činjenici da mogu uključivati stvaranje energije sagorijevanjem određenih materijala [12].

Cijena goriva je najvažniji čimbenik koji utječe na troškove voznog parka. Troškovi goriva iznose glavninu ukupnih troškova vozila na konvencionalna goriva kad se promatra na godišnjoj razini tijekom životnog vijeka vozila. Ključna prednost alternativnih goriva je da su manje podložna drastičnim promjenama cijena. Međutim, zbog činjenice da mnoga alternativna goriva nisu dosegla tržišnu zrelost, troškovi su nepredvidljivi i često veći u odnosu na konvencionalna goriva [7].

3.3.1. Alternativna goriva za pogon vozila i opreme u prihvatu i otpremi zrakoplova

Više je mogućnosti za primjenu alternativnih goriva u operacijama u zračnim lukama (npr. objekti, zrakoplovi, i vozila za prihvat i otpremu zrakoplova). Iako je većina transportnih goriva u zračnoj luci u uporabi za pogon zrakoplova, zračne luke često koriste veliki vozni park različitih vozila u operacijama i logistici.

Uvođenje novih vrsta goriva za pogon vozila i opreme u zračnoj luci zahtijeva visoku razinu koordinacije u planiranju više segmenata poslovanja u zračnoj luci, i to u sektoru nabave, operacija i održavanja vozila. Veliki broj zračnih luka upravlja ovim sektorima odvojeno, na primjer neke ugovaraju zakup vozila i usluge sa drugim tvrtkama, neke nabavljaju vlastita vozila, ali ugovaraju usluge. Postaje za punjenje električnom energijom su nekada u vlasništvu zračnih luka, a u nekim

slučajevima u vlasništvu treće strane koja od zračne luke iznajmljuje zemljište na kojem se nalazi postaja za punjenje [7] .

Zračne luke se u procesu uvođenja alternativnih goriva suočavaju s brojnim izazovima: raspoloživost goriva u geografskom području zračne luke, prostorni raspored zračne luke i udaljenost između točki za punjenje, tuneli koji isključuju primjenu određenih plinovitih goriva te učestalost snježnih oborina. Ipak, otvaraju se mogućnosti i prilike za zračne luke, prvenstveno u smislu poticaja u poslovanju sukladno propisanim politikama koje zahtijevaju primjenu alternativnih goriva, vladine potpore kojom se smanjuje cijena alternativnih goriva, opredjeljenosti interesnih skupina i podrška zajednice.

Prisutan je još jedan problem, mnogi od ključnih izvora emisija CO₂ i čestica prašine (i primarni potencijalni korisnici alternativnih goriva) nisu pod direktnom kontrolom zračne luke. Zagađivači su i vozila koja se kreću prilaznim cestama, vozila i oprema za prihvat i otpremu zrakoplova (koja su uobičajeno uključena u operacije vezane uz zrakoplove kojim upravljaju zračni prijevoznici, ostali stacionirani operatori, kao i zračne luke) i sami zrakoplovi [15].

Većina zračnih luka pri donošenju odluke o uporabi novih alternativnih goriva prolazi kroz proces u tri koraka: (1) identificiraju opcije raspoloživih vozila za dano gorivo, (2) utvrđuju troškove i benefite alternativnih goriva u odnosu na naftna goriva, (3) razmatraju opcije za eksterne i interne izvore financiranja za nabavu vozila, goriva i infrastrukture. Zračne luke u većini slučajeva grade nove infrastrukturne objekte prilagođene novim alternativnim gorivima kada uvode njegovu primjenu jer nisu u mogućnosti iskoristiti postojeću infrastrukturu [7] .

3.3.2. Moguća uporaba alternativnih goriva za pogon vozila i opreme u prihvat i otpremi zrakoplova

Izračun emisija CO₂ vozila i opreme za prihvat i otpremu zrakoplova, standardi emisija motora, alternativna goriva i njihov utjecaj na okoliš se kontinuirano prate, a zračne luke su pod stalnim pritiskom pridržavanja standarda i ciljeva vezano uz emisije CO₂, što ih dodatno motivira da rade na intenzivnijoj primjeni alternativnih goriva u svim segmentima poslovanja.

Veliki je broj vozila i opreme u zračnim lukama koji su angažirani u servisnim poslovima, a pri tome većina ovih vozila koristi dizel ili benzin kao pogonsko gorivo. Samim time je veliki i potencijal za zamjenu pogonskog goriva kod navedenih vozila [10].

U cilju smanjenja emisija CO₂ od vozila u zemaljskoj podršci zrakoplovima koja koriste dizel goriva, postoje dvije moguće opcije zamjene dizel goriva: biodizel ili “zeleni” ekološki dizel [8].

Među alternativnim gorivima, CNG koristi najviše zračnih luka (71% u istraživanju). Međutim, najveći rast u posljednjih 5 godina bilježi električna energija (64% zračnih luka u istraživanju). Zračne luke često koriste hibridna vozila na dvojni pogon, poput CNG-a i/ili dizela/benzina, koja smatraju jako korisnim. Dvojni pogonski sustav osigurava pouzdanost vozila u situacijama kad jedna od postaja za punjenje nije u funkciji [7].

Vozila na električni pogon osiguravaju najveće smanjenje emisija čestica u odnosu na sva druga alternativna goriva, ali se može implementirati samo zamjenom vozila ili kod samo određenih

primjena. Održiva primjena električnog pogona najbolje se pokazala kod tegljača za prtljag i mobilnih tekućih traka. Ostala specijalizirana vozila na zračnoj strani se još testiraju [15].

Kada su u pitanju konkretne vrste vozila koje sudjeluju u prihvatu i otpremi zrakoplova, autobusi za prijevoz putnika unutar zračne luke najčešći su kandidati za primjenu alternativnih goriva jer proizvode najviše razine zagađenja zraka u blizini putnika, imaju planski raspored vožnje te je relativno jednostavno planirati punjenje, najvidljiviji su te tako zračna luka može javnosti pokazati svoju brigu za okoliš. Zračne luke posjeduju ili iznajmljuju autobuse, *shuttle* buseve, i kombije za prijevoz putnika i zaposlenika između točaka u terminalima, parkinga i upravnih objekata, kako u sklopu zračne luke tako i izvan nje. Ova kategorija vozila je najpogodnija za pogon na alternativna goriva. Kod *shuttle* buseva u zračnoj luci najčešće su u uporabi stlačeni prirodni plin i biodizel. Vidljivost ovih vozila u zračnoj luci i izvan nje te mogućnost da se javnosti odlično demonstrira imidž okolišno osvještene tvrtke, dva su glavna benefita primjene alternativnih goriva kod ove kategorije vozila. Ipak, poželjno je testiranje primjene novih alternativnih goriva, prije šire uporabe, na putničkim vozilima ili kamionetima zbog mogućeg povezivanja autobusa i *shuttle* buseva koji su znatno vidljiviji, s eventualnim problemima ili kašnjenjima, što bi moglo izazvati negativne konotacije vezane uz nove tehnologije i alternativna goriva te naškoditi imidžu zračne luke. Također, njihova nabavna cijena je niža u odnosu na autobuse, *shuttle* buseve i kombije.

Izazov predstavlja i znatno veća kilometraža koju prelaze *shuttle* busevi u odnosu na ostala vozila iz ove kategorije što zahtijeva češće punjenje, posebice kad su u pitanju alternativna goriva sa određenim ograničenjima poput CNG-a, obnovljivog prirodnog plina i električne energije. Problem punjenja se može riješiti boljim planiranjem angažiranja i rasporeda punjenja vozila. Nabavna cijena ove kategorije vozila na alternativna goriva je veća u odnosu na vozila s pogonom na fosilna goriva. Izuzetak od navedenog su vozila s pogonom na biodizel, gdje su nabavne cijene približne [7].

Vozila za hitne slučajeve i sigurnosna vozila u zračnim lukama rjeđe koriste alternativna goriva obzirom da ova vozila moraju biti spremna za brzu reakciju, jednostavna za punjenje i stavljanje u pogon. Ciklusi vožnje ovih vozila su dugi i odvijaju se ustaljenim rutama uz učestale periode praznog hoda i rijetku intenzivnu vožnju velikim brzinama. Periodi intenzivne vožnje su i razlog zbog kojeg zračne luke inzistiraju na visokoj spremnosti ovih vozila. Kad su u pitanju sigurnosna vozila, čest je slučaj da nabavu vozila, operacije i punjenje u zračnoj luci nadgleda odjel sigurnosti i policija, za razliku od drugih kategorija vozila koje su u nadležnosti opće uprave zračne luke. Slična pitanja oko uporabe alternativnih goriva se postavljaju i kod spasilačkih, vatrogasnih i vozila hitne pomoći u zračnoj luci, gdje je pouzdanost i spremnost vozila u svakom trenutku najveći prioritet.

Kategorija pogonskih vozila i vozila za održavanje obuhvaća nekoliko vrsta vozila poput radnih kamiona i opreme za manipulaciju materijalima između ostalog. Ova vozila obavljaju različite poslove u zračnoj luci i sukladno tome imaju različite cikluse u primjeni, od dužih perioda stajanja (npr. snježne ralice ili kosilice) do svakodnevne uporabe (npr. viličari). Primjena alternativnih goriva u ovoj kategoriji ovisi o vrsti vozila. CNG i obnovljivi prirodni plin su najčešće u primjeni kod kamioneta i putničkih vozila, dok je kod drugih vozila njihova primjena ograničena.

Biodizel B20 se koristi kod većine vozila iz ove kategorije, posebice smetlarskih kamiona, vozila za čišćenje asfaltnih površina i gospodarskih kamiona. Nabavna cijena ove kategorije vozila na alternativno pogonsko gorivo je nešto veća ili približna onoj vozila s benzinskim ili dizel motorima.

3.4. Prednosti primjene alternativnih goriva u prihvatu i otpremi zrakoplova

S rastom prometa raste i intenzitet aktivnosti koje se u zračnim lukama odvijaju u procesu prihvata i otpreme zrakoplova. Kad su u pitanju vozila i oprema uključena u operacijama u zračnoj luci, rad se nastoji optimizirati i balansirati s različitim ciljevima poput smanjenja kapitalnih troškova, rezanja troškova održavanja, smanjenja troškova goriva i smanjenja emisija CO₂. Uvođenje alternativnih goriva za pogon vozila i opreme, može pomoći u dostizanju jednog ili više nabrojanih ciljeva.

Zračne luke nabavljaju vozila na alternativna goriva iz različitih razloga, najčešće da bi postigli i održali imidž kompanije koja brine o okolišu i postigli rezultate u smanjenju emisije stakleničkih plinova (*Greenhouse Gas* - GHG). Dokazano je da alternativna goriva predstavljaju efikasan način za smanjenje emisija CO₂. Fosilna goriva pri sagorijevanju oslobađaju CO₂ u atmosferu, što je kod alternativnih goriva minimizirano ili ga uopće ne oslobađaju. Alternativna goriva pružaju niz mogućnosti i opcija za smanjenje emisija CO₂, prelazak na CNG ili LPG, biodizel, obnovljivi prirodni plin ili pogon na električnu energiju predstavljaju odlična rješenja za zaštitu okoliša i poboljšanje kvalitete zraka. Alternativna goriva, posebice CNG i LPG, pružaju korisnicima određenu fleksibilnost u smislu kombiniranja ovih goriva s benzinom uz prilagodbe motora. Dodavanjem odvojenog sustava i novog seta ubrizgavača goriva u motoru postiže se mogućnost rada vozila na dvojni pogon.

Konvencionalna fosilna goriva poput benzina i dizela su generalno dostupnija i prihvatljivija, ali ipak u nekim slučajevima alternativna goriva su jeftinija. Prirodni plin je jeftiniji od benzina ili dizela pa se zamjenom autobusa i drugih vozila na dizel pogon onim na CNG mogu postići ogromne uštede.

Vozila s pogonom na alternativna goriva, posebice prirodni plin zahtijevaju manje održavanje. Sagorijevanje je čistije nego kod tekućih goriva pa se i redovni servisi vozila mogu raditi u dužim intervalima. Kad je u pitanju veći vozni park, moguće su značajne uštede u troškovima održavanja.

Tehnološki unaprijeđeni motori na pogon obnovljivim gorivima značajno smanjuju kemijske i fizikalne negativne karakteristike ispušnih plinova, a emisije su svedene na vrlo niske razine u ovisnosti o gorivu koje je u uporabi. Ukoliko se radi o pogonu na električnu energiju, negativnih utjecaja i nema pri radu vozila.

Primjena alternativnih goriva predstavlja odličnu priliku da zračne luke smanje emisije CO₂, upravljaju troškovima pogonskog goriva, smanje ovisnost o nafti, povećaju energetska sigurnost, potencijalno smanje radove na održavanju i poboljšaju imidž u javnosti. Međutim upravljanje kompleksnim procesima nabave, donošenje operativnih odluka koje se tiču okoliša i alternativnih goriva može biti izazov za zračne luke bez obzira na veličinu i lokaciju.

3.4.1. Ekološki aspekt primjene alternativnih goriva u prihvatu i otpremi zrakoplova

Podatci o negativnim učincima sektora transporta na okoliš, posebice sektora zračnog prijevoza sve više zabrinjavaju odgovorne institucije na globalnoj razini. Sektor zračnog prijevoza ima udjel od 15% u rastu globalne potražnje za gorivima do 2030. godine prema *New Policies Scenario IEA*, postotak približan rastu predviđenom za putnička vozila. Ovaj rast znači da će zračni prijevoz imati udio od 3.5% u globalnim emisijama CO₂ do 2030., s porastom sa sadašnjih 2.5%, unatoč aktualnim unapređenjima učinkovitosti zračnog prijevoza. Ekspanzija u sektoru zračnog prijevoza dodatno naglašava potrebu za aktivnijim pristupom u rješavanju problema emisija CO₂ [16].

Globalna kvaliteta zraka se općenito veže uz emisije stakleničkih plinova i klimatske promjene koje su njima izazvane. Lokalna kvaliteta zraka se mjeri putem NAAQS (*National Ambient Air Quality Standards*) kriterija koji uključuju sljedeće zagađivače: ozon (uključujući emisije VOC i NO_x), ugljični monoksid (CO), sumpor dioksid (SO₂), nitrogen dioksid (NO₂), čestice prašine (PM10 i PM2.5), i olovo (Pb). Prema raspoloživim podacima, zrakoplovi proizvode između 41% i 63% ukupnih emisija štetnih čestica u zračnim lukama, dok vozila i oprema za prihvata i otpremu zrakoplova emitiraju između 5% i 37%. Pomoćni agregati stvaraju između 9% i 22%, a cestovna vozila između 1% i 5% ukupnih štetnih emisija u zračnoj luci [15].

U tablici 4. prikazana je usporedba primjene konvencionalnih goriva i alternativnih goriva kod putničkih vozila, teretnih kamioneta i autobusa s pregledom negativnih utjecaja navedenih goriva na okoliš u vidu emisija stakleničkih plinova te čestica kojim se zagađuje zrak koje dolaze iz ispušnih plinova.

Tablica 4. Kvalitativna usporedba alternativnih goriva kod putničkih vozila, kamioneta i autobusa

Putničko vozilo	GHG emisije (kg/mi)	Kvaliteta zraka (samo ispušni plinovi)			
		Nox (g/mi)	PM2.5 (mg/mi)	PM10 (mg/mi)	CO (g/mi)
Benzin	0.31	0.12	4.78	5.41	2.7
Vodik	0.26	0	0	0	0
Električna energija	0.21	0	0	0	0

Teretni kamionet	GHG emisije (kg/mi)	Kvaliteta zraka (samo ispušni plinovi)			
		Nox (g/mi)	PM2.5 (mg/mi)	PM10 (mg/mi)	CO (g/mi)
Dizel	0.62	1.15	21.89	25.22	0.46
BD20 (biodizel)	0.53	0.94	10.89	11.84	0.37
RD100 (obnovljivi dizel)	0.44	0.94	10.89	11.84	0.37
Stlačeni prirodni plin (CNG)	0.55	0.46	10.16	11.48	7.49
Ukapljeni prirodni plin (LPG)	0.55	0.46	10.16	11.48	7.49
Obnovljivi prirodni plin (RNG)	0.09	0.46	10.16	11.48	7.49

Autobus	GHG emisije (kg/mi)	Kvaliteta zraka (samo ispušni plinovi)			
		Nox (g/mi)	PM2.5 (mg/mi)	PM10 (mg/mi)	CO (g/mi)
Dizel	3.12	1.17	21.29	23.14	0.52
BD20 (biodizel)	2.68	1.17	21.29	23.14	0.52
RD100 (obnovljivi dizel)	2.21	1.17	21.29	23.14	0.52
Stlačeni prirodni plin (CNG)	3.31	0.59	21.29	23.14	23.00
Ukapljeni prirodni plin (LPG)	3.30	0.59	21.29	23.14	23.00
Obnovljivi prirodni plin (RNG)	0.55	0.59	21.29	23.14	23.00
Električna energija	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00

Izvor: [7]

Kako se može vidjeti iz tabličnog prikaza vodik i električna energija sudjeluju u emisijama stakleničkih plinova, ali ne direktno u vidu ispušnih plinova nego u procesu njihove proizvodnje. I jedno i drugo gorivo imaju nulte emisije čestica iz ispušnih plinova, dok je kod benzina evidentno učešće i u stakleničkim plinovima i u ispušnim plinovima. U slučaju teretnih kamioneta koji ne rade na električni pogon, alternative dizelu su različite vrste biodizela i plina. Kod svih alternativnih goriva evidentne su manje emisije stakleničkih plinova u odnosu na dizel. Negativni utjecaji u česticama ispušnih plinova su daleko manji kod biodizela, dok su kod svih plinova pokazatelji ispušnih plinova slični kao i kod biodizela, osim kod čestica CO koji su veći u odnosu na dizel i biodizel. Na primjeru autobusa se vidi da biodizeli, obnovljivi prirodni plin i električna energija proizvode niže emisije stakleničkih plinova, dok električna energija ponovno pokazuje nulte stope negativnih čestica iz ispušnih plinova.

Može se zaključiti da su alternativna goriva (vodik, električna energija) kod putničkih vozila najbolje rješenje koje doprinosi značajnom poboljšanju kvaliteta zraka. Kod teretnog kamioneta se biodizel i obnovljivi dizel izdvajaju kao okolišno najprihvatljivija rješenja. Autobusi bi u svakom slučaju trebali koristiti električnu energiju za pogon s obzirom da su emisije stakleničkih plinova minimalne i to iz procesa proizvodnje, a čestice iz ispušnih plinova su na nultoj razini.

Mnogi čimbenici utječu na zagađenje zraka u sektoru zračnog prijevoza i mogu se podijeliti u nekoliko kategorija prema izvorima nastanka:

- zrakoplov sagorijevanjem pogonskog goriva
- zrakoplov u kretanjima u zračnoj luci
- vozila za prihvat i otpremu zrakoplova (zračna strana)
- prijevoz putnika i osoblja unutar zračne luke do pristupnih točaka
- emisije CO₂ nastale u procesu proizvodnje energije u objektima zračne luke
- prilikom izgradnje infrastrukture u zračnoj luci [10].

Zračne luke posjeduju ili iznajmljuju vozni park za prijevoz putnika, osoblja i robe. Iako većinu goriva troše zrakoplovi, primjena alternativnih goriva kod vozila u zračnoj luci u procesu prihvata i otpreme zrakoplova je prilika za zračne luke da kontroliraju emisije CO₂, troškove goriva i održavanja. Benzin i dizel predstavljaju primarna goriva koja se koriste u transportnom sektoru u

Sjedinjenim Američkim Državama, sa čak 93% udjela u ukupnoj potrošnji energije kod vozila za prijevoz tereta. Sektor transporta je i najveći zagađivač s najvećim emisijama stakleničkih plinova. Ključni strateški pravac za transportni sektor je smanjenje primjene naftnih goriva i razine emisija uvođenjem alternativnih goriva [7].

U vrijeme kada svijet postaje sve zabrinutiji za okoliš koji je ugrožen globalnim zatopljenjem i ima sve veću potrebu za proizvodnjom energije iz obnovljivih izvora, zračne luke su ozbiljno pogođene rastom cijena fosilnih goriva te stalnim pritiskom i zahtjevima za smanjenje emisije stakleničkih plinova koji su glavni uzrok globalnog zatopljenja [10].

Menadžment u zračnim lukama, agencije za okoliš i ostali u sektoru zračnog prometa su sve svjesniji negativnih utjecaja koje aktivnosti u zračnim lukama ostavljaju na kvalitetu zraka, kako na lokalnoj tako i na globalnoj razini. Navedeni problemi vezani uz zagađenje zraka mogu imati važan učinak na procjeni i odobravanju razvojnih projekata u zračnim lukama jer je kvaliteta zraka na lokalitetima zračnih luka izravno ugrožena emisijama CO₂ i drugim štetnim česticama koji nastaju iz različitih izvora u zračnoj luci [15].

3.4.2. Ekonomski aspekt primjene alternativnih goriva u prihvatu i otpremi zrakoplova

Pored ekoloških izazova, koji su sve prisutniji u sektoru zračnog prijevoza, i pritisaka za smanjenjem emisija CO₂, prisutna je i potreba da se nastojanja za poboljšanjem situacije u ovom segmentu balansira u smislu ekonomske učinkovitosti i održivosti. Prilagođavanje poslovanja novim uvjetima neupitno zahtijeva i nova kapitalna ulaganja. Kad su u pitanju vozila i oprema za prihvati i opremu zrakoplova, zamjena vozila s motorom na konvencionalna goriva alternativnim gorivima podrazumijeva prilagodbu sustava ili potpunu zamjenu vozila. Kapitalna ulaganja bi se trebala isplatiti u određenom vremenskom periodu, a moguće su i uštede na troškovima goriva u istom razdoblju, što bi trebalo dodatno kompenzirati početna ulaganja.

Još 2008. godine konvencionalna goriva su dostigla rekordne cijene te na taj način negativno utjecala na gospodarstvo. Od tada pa do danas, izazvano različitim događanjima na globalnoj razini poput pandemije, ratova i financijskih kriza, cijene goriva kontinuirano rastu, a time i potreba da se konvencionalna goriva zamjene alternativnim [8].

Postavlja se pitanje dostupnosti alternativnih goriva i infrastrukture za njihovu distribuciju i skladištenje. U državama gdje ovi sustavi nisu razvijeni na dovoljnoj razini, preferira se uporaba električne energije ili određenih vrsta plinova, što je još uvijek cjenovno prihvatljivija opcija u odnosu na konvencionalna goriva. S obzirom da cijene goriva kontinuirano rastu, poseban naglasak se stavlja na proizvodnju energije u okviru svojih kapaciteta što bi u velikoj mjeri dodatno utjecalo na smanjenje troškova. Moguća je proizvodnja energije u zoni zračne luke putem solarnih panela koji proizvode električnu energiju potpuno besplatno i s nultom stopom zagađenja okoliša.

Od iznimne važnosti je da uvođenjem alternativnih goriva za pogon vozila i opreme u prihvatu i otpreme zrakoplova, pored ekonomskog učinka, zračna luka postiže smanjenje emisija CO₂ i drugih štetnih čestica te na taj način zadovoljava i standarde zaštite okoliša koji su propisani od strane relevantnih institucija. Istovremeno se prilagođava i pridružuje sektoru u postizanju ciljeva

iz Zelenog dogovora i drugih direktiva EU vezano uz zaštitu okoliša. Nepridržavanje propisanih standarda bi u budućnosti moglo biti skuplje od ulaganja u prilagodbu voznog parka novim pogonskim gorivima u sadašnjosti.

3.5. Održivost primjene alternativnih goriva u zračnim lukama

Potrebe sektora zračnog prijevoza za gorivom će po predviđanjima Međunarodne agencije za energiju (engl. *International Energy Agency - IEA*) do 2030. godine kontinuirano rasti i dostići 15% ukupnih svjetskih potreba za gorivima. Sličan trend rasta se očekuje i u segmentu putničkih vozila. Takav rast će generirati i rast emisija CO₂ iz sektora te se očekuje da će do 2030. godine sektor zračnog prijevoza doprinosti globalnim emisijama CO₂ sa 3.5%. Radi se o porastu s trenutnih 2.5%, unatoč kontinuiranim poboljšanjima učinkovitosti zračnog prijevoza. Podatci o očekivanom rastu još jednom naglašavaju potrebu da sektor zračnog prijevoza nastavi i intenzivira ozbiljan rad na smanjenju emisija CO₂ [16].

Zabrinutost zbog zagađenja okoliša i rastućih cijena konvencionalnih goriva važan su poticaj vladama i sektoru zračnog prijevoza za ozbiljno istraživanje rješenja vezanih uz alternativna goriva. Rezultat intenzivnih istraživanja i testiranja je uvođenje alternativnih goriva u zračnom prijevozu na dva polja i to za pogon zrakoplova i opreme i vozila za prihvat i otpremu zrakoplova angažiranih u zračnoj luci. Implementacija alternativnih goriva je omogućena putem više programa poput Dobrovoljnog programa za smanjenje emisija (*Voluntary Low Emissions Program*). Svake godine zračni prijevoznici poput *United Airlines* i *Royal Dutch Airlines* postupno povećavaju uporabu alternativnih goriva u svojim flotama sa ciljem smanjenja emisije stakleničkih plinova iz zrakoplova, a na zemlji, prilagođavaju ili nabavljaju nova vozila u službi prihvata i otpreme zrakoplova na pogon alternativnim gorivima [8].

Inicijative za uvođenje novih alternativnih izvora energije su sve intenzivnije, posebice na polju obnovljivih izvora s obzirom da predstavljaju manju prijetnju u okolišnom smislu, a zahvaljujući njihovom obnovljivom i održivom karakteru potencijalno mogu pružiti neograničene količine goriva za budućnost. Zamjena benzinskih i dizel motora kod vozila i opreme za prihvat i otpremu zrakoplova, novim motorima na pogon alternativnim gorivima se čini kao najbolje rješenje za zračne luke, kako po pitanju ekonomske učinkovitosti tako i u smislu zaštite okoliša i doprinosa inicijativama za smanjenje emisija CO₂ na globalnoj razini [10].

Zračne luke diljem Europe sve više investiraju u održivu energiju poput biomase, geotermalne energije, solarne energije pa čak i energije iz vjetroelektrana. Vozila za prihvat i otpremu zrakoplova su sve češće na električni, hibridni pogon, vodik ili ukapljeni naftni plin (na primjer brzi tegljači koji voze zrakoplove između terminala i hangara za održavanje štede više od 15 milijuna litara kerozina i smanjuju emisije CO₂ za 40 milijuna kg na godišnjoj razini. Zračne luke su se počele natjecati u naporima za smanjenje emisija CO₂ u sklopu Programa akreditacije zračnih luka za smanjeni karbonski otisak (*Airport Carbon Accreditation Program*) koji je pokrenut još 2009. godine. U program koji uključuje četiri razine (mapiranje, smanjenje, optimizaciju i neutralnost) akreditirane su 64 zračne luke [10].

Iz perspektive zračne luke, od iznimne važnosti je pratiti i analizirati emisije CO₂ kod vozila za prihvat i otpremu zrakoplova i to na mjesečnoj ili godišnjoj osnovi te aktivno raditi na implementaciji okolišno prihvatljivih tipova vozila i opreme s obzirom da će goruće pitanje u budućnosti biti upravo održivost zračne luke i operacija koje se odvijaju. Iz spomenutog razloga, većina zračnih luka se strateški fokusira na zamjenu pogona vozila i opreme za prihvat i otpremu zrakoplova sa benzina ili dizela na električnu energiju.

4. PRIMJERI PRAKTIČNE PRIMJENE OPREME NA ALTERNATIVNA GORIVA U PROCESU PRIHVATA I OTPREME ZRAKOPLOVA

U ovom poglavlju se razmatraju ekonomska i ekološka učinkovitost primjene alternativnih goriva u procesu prihvata i otpreme zrakoplova u zračnoj luci, te kako zamjena konvencionalnog pogonskog goriva kod vozila i opreme za prihvata i otpremu zrakoplova stvara preduvjete za primjenu modela ekološki prihvatljive zračne luke.

4.1. Primjena alternativnih goriva u zračnim lukama

Iz godine u godinu, alternativna goriva su sve prisutnija u svakodnevnom životu i sve više u uporabi u zračnim lukama. Biodizel je pronašao širu primjenu u gradovima i prometnicama, a u zadnjem desetljeću sve više i u zračnim lukama [8].

Kroz povijest, biodizel se prvi put primjenjuje za pogon vozila u zemaljskoj podršci daleke 2006. godine u Međunarodnoj zračnoj luci Orlando (Sjedinjene Američke Države). Dizel gorivo zamijenjeno je biodizelom B20 za pogon 100 vozila na prihvat i otpremi zrakoplova uključujući autobuse, traktore i kamione. Ova vozila su trošila 1.000 galona biodizela dnevno [8].



Slika 9. Primjena biodizela kod vozila u prihvat i otpremi zrakoplova - Zračna luka Orlando
Izvor: [18]

U travnju 2011. godine, UPS (*United Parcel Service*) instalirao je u zračnoj luci Worldport (najveći centar za sortiranje paketa) u Luisville-u, rezervare za biodizel kapaciteta 30.000 – 50.000 galona, namijenjene za opskrbu 200 vozila i opreme na prihvat i otpremi zrakoplova.

Zračna luka Schiphol Amsterdam i nacionalni zračni prijevoznik KLM, 2011. godine za pogon 40 vozila u zračnoj luci koristi biodizel B100 s ciljem smanjenja emisija CO₂. [19]



Slika 10. Punionica biodizelom u Zračnoj luci Schiphol Amsterdam
Izvor: [19]

Zračna luka Brisbane i zračni prijevoznik Virgin Australia, u svibnju 2012. godine uvodi B20 za pogon tegljača za prtljagu i *push-back* vozila.

Zračni prijevoznici diljem svijeta nastoje uvesti održiva goriva u što veću uporabu, pa je na primjer u 2017. godini postignut cilj od preko 100 000 letova na kojim se koristila mješavina biogoriva. Četiri zračne luke su osigurale redovitu distribuciju biogoriva (Oslo, Bergen, Stockholm i Los Angeles) i trend širenja se nastavlja [17].

Zeleni ili sintetički dizel se često javlja kao zamjensko gorivo za konvencionalni dizel. Prema podacima Honeywell International Inc., proizvođača zelenog dizela, ovo alternativno gorivo ispušta čak 80% manje štetnih čestica u atmosferu i može se u bilo kojem omjeru miješati s dizel gorivima, te u usporedbi s biodizelom, zeleni dizel ima bolja svojstva na niskim temperaturama i oksidacijsku stabilnost. Od 2012. godine, osam zračnih prijevoznika u međunarodnoj zračnoj luci Los Angeles primjenjuju zeleni dizel za pogon vozila za prihvat i otpremu zrakoplova uključujući tegljače za prtljag, *catering* vozila i ostala vozila. U rujnu 2012. godine, *shuttle* busevi u zračnim lukama Louis Armstrong i Houston Hobby koriste zeleni dizel. Enterprise Holdings je ujedno i prva *rent-a-car* tvrtka koja je primijenila zeleni dizel za pogon svoje flote *shuttle* buseva.

LPG je mješavina propana, propilena, butana i butilena koja pod tlakom prelazi u tekuće stanje. Ponekad se ne kvalificira u alternativna goriva jer se proizvodi preradom prirodnog plina i rafiniranjem nafte. U travnju 2011. Međunarodna zračna luka Louis Armstrong u New Orleansu uvela je LPG kao pogonsko gorivo za 27 *shuttle* buseva za prijevoz putnika u i iz zračne luke.



Slika 11. LPG punionica
Izvor [8]

CNG je izravna zamjena za benzin, a vozila ne moraju biti modificirana da bi zadovoljila standarde emisija CO₂. U primjeni su i vozila na dvojni pogon koji mogu koristiti i CNG i benzin za pogon s različitim sustavima za svako gorivo. Popularno je alternativno gorivo u primjeni u zračnim lukama kao zamjena za benzin i dizel. CNG u SAD-u zauzima približno ¼ ukupne potrošnje energije, posebice za zagrijavanje i proizvodnju električne energije. Približno 29% voznog parka Međunarodne zračne luke Denver, 165 vozila (autobusi, agregati, zračni kompresori, viličari, čistači itd.) koristi CNG kao pogonsko gorivo [20].



Slika 12. CNG punionica - Zračna luka Denver
Izvor: [20]

Novi tip CNG-a koji nastaje iz obnovljivih izvora, bioplin, sve se više primjenjuje kao alternativno gorivo. Bioplin nastaje iz izvora biološkog podrijetla poput otpadnih voda, životinjskih nusprodukata, poljoprivrednog, komunalnog i industrijskog otpada. S obzirom da bioplin sadrži između 50% i 80% metana, mora se podvrgnuti procesu rafiniranja prije uporabe u vozilima. U zračnim lukama je u primjeni već od 2005. godine posebice kod *shuttle* buseva, autobusa za prijevoz putnika do/od terminala, ali i kod drugih vozila angažiranih u prihvat i otpremi zrakoplova.

Električna energija je najčišće alternativno gorivo koje je u sve većoj primjeni u zračnim lukama. Popularna je opcija iz razloga što se može proizvesti iz više izvora, i to nafte, uglja, nuklearne energije, ali i iz obnovljivih izvora kao što su hidroenergetski izvori, prirodni plin, vjetar i sunčeva energija. Za razliku od ostalih alternativnih goriva koja mehaničku snagu generiraju izgaranjem, električna energija je crpi iz samog izvora. Vozila koja koriste električnu energiju za pogon proizvode se u tri kategorije: hibridna električna vozila (*Hybrid Electric Vehicle - HEV*), hibridna električna vozila na punjenje (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle - PHEV*), i električna vozila (*Electric Vehicle - EV*). Hibridna vozila imaju mogućnost promjene pogona s motora na unutarnje sagorijevanje na električni motor. Električni motor pokreće baterija koja se puni rekuperacijskim kočenjem i sagorijevanjem u motoru. Kod hibridnih vozila na punjenje, baterija se puni uključivanjem u izvor napajanja električnom energijom, dok se kod električnih vozila baterija puni isključivo uključivanjem u neki izvor električne energije. Važno je spomenuti da ova vozila pri vožnji ne izazivaju emisije CO₂. Također, zahtijevaju manje održavanja u odnosu na benzinska/dizel vozila [8].



Slika 13. Solarna postaja za punjenje vozila na električni pogon - Zračna luka Orlando

Izvor: [8]

Još 2005. godine Zračna luka San Francisco svoju flotu vozila i opreme za prihvat i otpremu zrakoplova proširila je sa 54 vozila na električni pogon i to tegljače za prtljag, transportne trake i ostala vozila angažirana u operacijama za tri velika zračna prijevoznika. Od tada pa do danas, vozila

na električni pogon su sve prisutnija u zračnim lukama, gdje se posebice u operacijama prihvata i otpreme zrakoplova postiže velika ekonomska učinkovitost i značajno smanjenje emisija CO₂.

Hidrogen proizveden uporabom obnovljive električne energije se kombinira s ugljikovim dioksidom kako bi se dobilo gorivo s nultim emisijama stakleničkih plinova. Obnovljivi hidrogen predstavlja moguće rješenje za postizanje ciljeva zaštite okoliša, posebice u zračnom prijevozu gdje se procjenjuje da primjena hidrogena ima potencijal za smanjenje CO₂ emisija u sektoru od čak 50%. Air Liquide, Airbus i Groupe ADP od lipnja 2022. godine rade na zajedničkom projektu dekarbonizacije sektora zračnog prijevoza. Hidrogen će biti snažno pogonsko gorivo za zrakoplove, a Airbus će do 2035. godine postati prvi proizvođač zrakoplova s nultom emisijom štetnih plinova. Novi modeli zrakoplova će zahtijevati prilagodbu zračnih luka u smislu kapaciteta za proizvodnju, opskrbu i distribuciju hidrogena. Dvije glavne zračne luke u Parizu će biti uključene u implementaciju projekta testiranja zrakoplova na hidrogenski pogon, Paris-Orly i Paris-Charles de Gaulle.

U suradnji s tvrtkom Jet Aviation i uz podršku nekoliko udruga iz područja zračnog prijevoza, zračna luka Zurich uspostavlja testni lanac opskrbe obnovljivim gorivima za zrakoplove (SAF). Koncept se pokazao uspješnim što je rezultiralo ukupnim smanjenjem emisija CO₂ od 115 tona. Po završetku administrativnih procedura koncept je odobren kao standardni proces opskrbe SAF-a u Švicarskoj. Swiss International Air Lines je u srpnju 2021. godine bio prvi zračni prijevoznik u zračnoj luci Zurich, koji je svoj zrakoplov punio SAF-om. Opskrba zrakoplova sa 20 cisterni održivog goriva, rezultirala je smanjenjem od 1.250 tona CO₂. Od tada je opskrba zrakoplova održivim gorivom postala redovita procedura u svim zračnim lukama u Švicarskoj [21].



Slika 14. SAF rezervoar - Zračna luka Zurich

Izvor: [22]

Zračna luka Arlanda u Stockholmu kojim upravlja Swedavia, još od 2020. godine u svojim operacijama ne koristi fosilna goriva, što je čini prvom zračnom lukom u svijetu s nultom stopom emisija CO₂. U svim zračnim lukama kojim upravlja Swedavia, njih 10, na raspolaganju je nefosilni

obnovljivi HVO – dizel (Hydrotreated Vegetable Oil) visoko kvalitetno biogorivo za opskrbu zrakoplova. Cilj Švedavie je do 2030. godine obavljati sve domaće letove primjenom nefosilnih goriva, a do 2045. godine i u svim zrakoplovima na međunarodnim letovima koji polijeću iz švedskih zračnih luka [23].

Kod vozila za prihvat i otpremu zrakoplova najveća smanjenja emisija se postižu zamjenom dizel vozila odgovarajućim vozilima na benzin, CNG, LPG ili električnu energiju. Trošak alternativnih goriva za pogon ovih vozila je isti ili malo viši u odnosu na konvencionalna goriva, s izuzetkom mješavina biogoriva (npr. E85 i B100), koja su značajno skuplja u usporedbi sa konvencionalnim gorivima.

Moguće su prilagodbe postojećih vozila s dizel motorima ugradnjom specijaliziranih dijelova, uz dosta nesigurnosti po pitanju učinka u smanjenju emisija, ali troškovno učinkovitije. U slučajevima gdje je moguća opcija zamjene vozila, električna vozila su mnogo bolja u usporedbi s onim na pogon drugim alternativnim gorivima u smislu smanjenja izravnih emisija CO₂ i štetnih čestica. Diljem svijeta na raspolaganju su zamjene za tegljače i mobilne tekuće trake na električni pogon. Ostala vozila su testirana, ali zbog relativno skromnog kapaciteta ne smatraju se dovoljno fleksibilnim za operacije na velikim zrakoplovima.

Kada su u pitanju ostala vozila u zoni zračnih luka, malo je utjecaja njihove zamjene u smislu alternativnih pogonskih goriva jer je njihov utjecaj na kvalitetu zraka prilično ograničen. Mali je broj vozila izvan vlastitog voznog parka na koje zračna luka može imati utjecaj. Međutim, provođenjem određenih strategija poput strukturirane naplate parkinga i licenciranja taksi prijevoznika, može ohrabriti širu uporabu alternativnih goriva kod cestovnih vozila [15].

4.2. Primjer ekološki prihvatljive zračne luke – Zračna luka Franjo Tuđman

U svim zračnim lukama, bez obzira na njihovu veličinu i opterećenost, odvijaju se brojne i složene aktivnosti u operacijama prijvata i otpreme zrakoplova. U funkciji besprijekornog izvođenja ovih aktivnosti angažiran je veliki broj specijaliziranih vozila i opreme bez kojih provođenje ove aktivnosti ne bi bilo moguće. Vozila i oprema u prijvatu i otpremi zrakoplova pretežno koriste dizel ili benzin kao osnovno pogonsko gorivo, dokazane zagađivače okoliša i čimbenike koji doprinose globalnom zatopljenju i negativnim klimatskim promjenama. Zračne luke se iz navedenih razloga sve češće odlučuju za strateški fokus prelaska s dizela i benzina na električni pogon.

U istraživačkom radu, na primjeru Zračne luke Franjo Tuđman dokazat će se ispravnost ovakve odluke, odnosno u kojoj mjeri primjena električne energije za pogon određenih vrsta vozila i opreme može dati rezultate u smanjenju negativnih učinaka na okoliš i poboljšanju ekonomske učinkovitosti zračne luke. Na primjeru Zračne luke Franjo Tuđman vidljiva je mogućnost uspostavljanja ekološki prihvatljivih operacija prijvata i otpreme zrakoplova.

S ciljem izrade preciznih izračuna i usporedbe, kreirana je lista vozila i opreme koja je angažirana na prijvatu i otpremi zrakoplova s potrebnim tehničkim karakteristikama, kao i vrijeme angažiranja vozila i opreme u konkretnim operacijama. Usporedba je rađena na primjeru uporabe

dizela i benzina kao pogonskog goriva u vozilima te njegove zamjene električnom energijom. Navedena vozila su izabrana za usporedbu jer imaju isti kapacitet te su podatci o utrošku energije usporedivi, i predložena su kao zamjenska za postojeća vozila. Izračuni su rađeni na primjeru dva poslovna modela zračnih prijevoznika, odnosno tradicionalnog i niskotarifnog modela zračnog prijevoza, zbog specifičnosti operacija prihvata i otpreme zrakoplova koja se kod ovih modela bitno razlikuje [10].

U tablici 5. prikazana su vozila za priхват i otpremu zrakoplova u zračnoj luci, s detaljnom specifikacijom motora s unutarnjim izgaranjem i potrošnjom dizel i benzin goriva. Usporedno su prikazana vozila s istom namjenom, ali na električni pogon te njihove karakteristike i utrošak goriva po radnom satu. Jedini izuzetak su autobusi za prijevoz putnika od zrakoplova do/od terminala u verziji na električni pogon, gdje se zamjenski model na električni pogon razlikuje u kapacitetu, odnosno manji je za 50% u odnosu na konvencionalni model. Ovo će biti uzeto u obzir pri izračunu ekonomske i ekološke učinkovitosti zamjene modela na način da se računa dvostruka putanja prijevoza putnika električnim modelom autobusa u odnosu na konvencionalni model [10].

Tablica 5. Lista vozila i opreme za prihvat i otpremu zrakoplova predloženih za zamjenu pogonskog goriva

Tip vozila	Model konvenc.	Gorivo	Utrošak (l/h)	Karakteristike	Model el.	Gorivo	Kapacitet baterije (kWh)	Snaga motora (kW)	Karakteristike
Transportna traka	Mulag dizel Orbiter 9D	dizel	0,94	Maksimalna visina prednje platforme: 4800 mm Raspoređeno opterećenje: 150 kg/m Maksimalna težina a po jedinici tereta: 400 kg	Mulag Orbiter 9E	Elekt. energija	40	12	Maksimalna visina prednje platforme: 4930 mm Raspoređeno opterećenje: 135 kg/m Maksimalna težina po jedinici tereta: 400 kg
Stepenice za ukrcaj	Hunert 427-03 D	Dizel	2,51	Kapacitet nosivosti po stepenici do 150 kg; visina platforme maksimalno: 5800 mm; minimalno: 2450 mm	JBT UES-2	Elekt. energija	40	13	Kapacitet nosivosti po stepenici do 280 kg; Visina platforme maksimalno: 5730 mm; minimalno: 2450 mm
Tegljač za prtljagu	Mulag Comet V-1	Dizel	2,63	Vučna sila: 20 kN	Mulag Comet 3E	Elekt. energija	49,6	12	Vučna sila: 20 kN
Cargo transporter									
Sanitarno vozilo	Schrader (Šasija Iveco ML75)	Dizel	2,41		CLT 200E	Elekt. energija	40	30	
Vozilo za opskrbu vodom	Schrader (Šasija Iveco ML75)	dizel	2,05		CWT 300E	Elekt. energija	40	30	
			Utrošak (l/km)						
Vozilo za čišćenje	VW Transporter	Benzin	0,2627	Korisna nosivost 900 kg	Mercedes Vito E-Cell	Elekt. energija	36	60	Korisna nosivost: 900 kg

Catering vozilo	MAN	Dizel	0,2147		Smith Newton - hladnjača	Elekt, energija	84	120	
Vozilo "Slijedime"	VW Polo 1,6 TDI	Dizel	0,034	Maksimalna brzina 170 km/h; ubrzanje 0 -100 km/h za 14 sekundi; dimenzije: 397 x 168,2 x 148,5 cm	Mitsubishi MiEV	Elekt, energija	16	49	Maksimalna brzina 130 km/h; 0-100 km/h za 15.9 sekundi; dimenzije: 347,5 x 147,5 x 161,0 cm
Vozilo tehničkog osoblja									
Vozilo upravitelja postaje									
Autobus	COBUS 3000	Dizel	0,665	Kapacitet do 112 putnika i 14 sjedećih mjesta	COBUS 2500e	Elekt, energija	150	134	Kapacitet do 66 putnika i 24 sjedećih mjesta

Izvor: [10]

Vozila i oprema za prihvat i otpremu zrakoplova angažirana u operacijama prihvata i otpreme zrakoplova tradicionalnih i niskotarifnih prijevoznika značajno se razlikuju, kao i trajanje samih operacija kod pojedinačnih vozila i opreme koja se angažira u oba modela, napravljen je poseban izračun za tradicionalni i niskotarifni model zračnog prijevoza.

4.2.1. Ekonomska učinkovitost zamjene goriva

Ekonomska učinkovitost zamjene pogonskog goriva kod vozila za prihvat i otpremu zrakoplova će se računati na temelju adekvatnih podataka o utrošku goriva za svaki model vozila i opreme te vremena trajanja operacija, posebice za svako vozilo i opremu koja se koristi i kod tradicionalnog i niskotarifnog modela zračnog prijevoza. Niskotarifni zračni prijevoznici procedure prihvata i otpreme zrakoplova provode u svega 25 – 30 minuta, dok ta procedura kod tradicionalnih zračnih prijevoznika traje 45 minuta. Kratko vrijeme prihvata i otpreme zrakoplova kod niskotarifnih prijevoznika se temelji na većoj razini iskorištenosti zrakoplova, skromnoj opremljenosti unutrašnjosti zrakoplova, čišćenje obavlja osoblje, a opskrba gorivom se odvija na sekundarnim zračnim lukama. S obzirom da vozila i oprema za prihvat i otpremu zrakoplova niskotarifnih prijevoznika rijetko obavljaju opskrbu zrakoplova gorivom u drugim zračnim lukama izvan *hub-a*, moguće je završiti cjelovitu proceduru prihvata i otpreme uporabom vozila i opreme na električni pogon čime bi se postigli višestruki učinci u ekonomskom i ekološkom smislu. Pri izračunu ekonomskih učinaka i smanjenja emisija CO₂ na temelju zamjene pogonskog goriva, korišteni su aktualni podaci o cijenama goriva iz svibnja 2022. predstavljeni u Tablici 6.

Tablica 6. Cijena goriva i količine emisije CO₂

Gorivo	Tip	Cijena goriva (EUR)	Emisija CO ₂ iz ispušnih cijevi (kg)	Emisija CO ₂ iz proizvodnje električne energije (kg)
Dizel	INA Eurodizel BS	1,727	2,6817	0
Benzin	INA Eurosuper 95 BS	1,774	2,3533	0
Električna energija	Niža (noćna) tarifa	0,0675	0	0,305

Izvori: [24] i [25]

Ekonomski učinci zamjene pogonskog goriva kalkulirani su na primjeru operacija prihvata i otpreme zrakoplova Airbus A319/A320, na parkirnoj poziciji stajanke i uključuju nekoliko operativnih postupaka koji se odvijaju vozilima kod tradicionalnih i niskotarifnih zračnih prijevoznika. Pri izračunu utroška energije kod transportnih traka, stepenica za ukrcaj, vozila za prijevoz prtljage i robe, vozila za opskrbu pitkom vodom i sanitarnih vozila, pretpostavlja se da rade deklariranom snagom tijekom angažmana u operacijama prihvata i otpreme zrakoplova. Kod izračuna utroška energije vozila za čišćenje i *catering*, autobusa, vozilo upravitelja postaje, vozilo tehničkog osoblja i *follow me* vozilo, uzete su u obzir udaljenosti koje oni prelaze u operacijama prihvata i otpreme zrakoplova [10].

Ekonomski učinci zamjene pogonskog goriva kod vozila/opreme za prihvata i otpremu zrakoplova Airbus A319/A320 kod tradicionalnog zračnog prijevoznika mogu se vidjeti u Tablici 7. Navedeno je trajanje angažmana opreme i vozila za prihvata i otpremu zrakoplova (tradicionalni model) u minutama te utrošak goriva u količinama i vrijednosti u Eurima kod uporabe konvencionalnih i alternativnih goriva (električne energije).

Tablica 7. Ekonomski učinci zamjene goriva kod prihvata i otpreme zrakoplova Airbus A319/A320 - tradicionalni model zračnog prijevoza

Količina	Tip vozila	Trajanje angažmana (minuta)	Konvencionalna goriva		Električni pogon		Ušteda na zamjeni goriva (EUR)
			Utrošak goriva (l)	Trošak goriva (EUR)	Utrošak elekt. energije (kWh)	Trošak elekt. energije (EUR)	
2	Transportna traka	16,50	0,517	0,917	6,600	0,445	0,472
2	Stepenice za ukrcaj	10,20	0,853	1,473	4,420	0,298	1,175
1	Tegljač prtljaga	10,00	0,438	0,756	3,333	0,224	0,532
1	Cargo transporter	8,00	0,351	0,606	2,667	0,180	0,426
1	Vozilo za opskrbu vodom	3,00	0,103	0,177	1,500	0,101	0,076
1	Sanitarno vozilo	5,00	0,201	0,347	2,500	0,168	0,179
		Udaljenost prijeđena (km)					
1	Vozilo upravitelja postaje	0,80	0,027	0,046	0,108	0,007	0,039
1	Vozilo tehničkog osoblja	2,20	0,075	0,129	0,297	0,020	0,109
1	Vozilo „Slijedi me“	1,40	0,048	0,083	0,189	0,012	0,071
2	Autobus	1,40	1,064	1,837	5,600	0,378	1,459
1	Vozilo čistač	0,75	0,263	0,466	0,208	0,014	0,452
1	Catering vozilo	0,50	0,215	0,371	0,261	0,017	0,354

Izvor: [10]

Usporedbom utroška između konvencionalnog goriva i električne energije dolazi se do uštede koja iznosi 5,34 EUR po operaciji prihvata i otpreme zrakoplova. Zračna luka u Zagrebu dnevno

provede šesnaest operacija prihvata i otpreme zrakoplova Airbus A319/A320. U slučaju zamjene pogonskog goriva dnevne uštede iznose 85,44 EUR te 31.185,60 EUR godišnje [10].

Ekonomski učinci zamjene pogonskog goriva kod vozila/opreme za prihvat i otpremu zrakoplova Airbus A319/A320 kod niskotarifnih zračnih prijevoznika predstavljeni su u Tablici 8. Navedeno je trajanje angažmana opreme i vozila za prihvat i otpremu zrakoplova (niskotarifni model) u minutama te utrošak goriva u količinama i vrijednosti u Eurima kod uporabe konvencionalnih i alternativnih goriva (električne energije).

Tablica 8. Ekonomski učinci zamjene goriva kod prihvata i otpreme zrakoplova Airbus A319/A320 - niskotarifni model zračnog prijevoza

Količina	Tip vozila	Trajanje angažmana (minuta)	Konvencionalna goriva		Električni pogon		Ušteda na zamjeni goriva (EUR)
			Utrošak goriva (l)	Trošak goriva (EUR)	Utrošak električne energije (kWh)	Trošak električne energije (EUR)	
2	Transportna traka	16,20	0,254	0,438	3,240	0,218	0,220
2	Stepenice za ukrcaj	5,40	0,452	0,780	2,340	0,157	0,623
1	Tegljač prtljaga	10,00	0,438	0,756	3,333	0,224	0,532
		Udaljenost prijeđena (km)					
1	Vozilo tehničkog osoblja	2,20	0,075	0,129	0,297	0,020	0,109
1	Vozilo „Slijedi me“	1,40	0,048	0,082	0,189	0,012	0,070
2	Autobus	1,40	1,064	1,837	5,600	0,378	1,459

Izvor: [10]

Usporedbom utroška između konvencionalnog goriva i električne energije prema prethodnom izračunu dolazi se do uštede od 3,01 EUR po operaciji prihvata i otpreme zrakoplova Airbus A319/A320 za niskotarifne zračne prijevoznike [10].

Iz tablica i izračuna je vidljivo da se zamjenom dizel/benzin pogonskog goriva kod vozila i opreme za prihvat i otpremu zrakoplova postižu dobri ekonomski učinci. Na temelju izračuna ušteda na gorivu kao rezultat zamjene pogonskog goriva, za predviđeni dnevni broj operacija prihvata i otpreme zrakoplova u Zračnoj luci Franjo Tuđman moguće su godišnje uštede od 31.185,60 EUR kod tradicionalnih zračnih prijevoznika i 3.300,00 EUR kod niskotarifnih zračnih prijevoznika. Većim intenzitetom prometa u zračnoj luci i većim brojem operacija na dnevnoj osnovi, raste i mogući iznos ušteda u prihvat i otpremi zrakoplova.

Dokaz ekonomske učinkovitosti primjene vozila za prihvat i otpremu zrakoplova na električni pogon vidljiv je i na primjeru Zračne luke Split. Zračna luka Split posjeduje pet električnih tegljača za prtljagu proizvođača Mulag u izvedbi Comet 3E, te električne tegljače za prtljagu proizvođača

Končar Termotehnika u izvedbi VET17KN. Navedeni električni tegljači se koriste za odvoz kolica sa predanom prtljagom sa zrakoplova prema trakama dolazeće prtljage, te za odvoz kolica sa predanom prtljagom iz sortirnice prema zrakoplovu koji se otprema za odlazak.

Električni tegljači za prtljagu oba proizvođača imaju slične karakteristike elektropogona i baterija. Tijekom noći baterije tegljača se napune, te se zatim ujutro nadopune sa destiliranom vodom koja se nalazi u posebnim spremnicima na pozicijama za električno punjenje. Na temelju višegodišnjeg iskustva, nakon noćnog punjenja električni tegljači imaju dovoljno električnog kapaciteta za cjelovit prosječan sezonski radni dan, odnosno jutarnju i popodnevu smjenu, bez potrebe za dnevnom nadopunom električnom energijom. Za usporedbu, tegljač prtljage s dizel pogonskim motorom koji troši približno 3 litre goriva po radnom satu za vrijeme prosječnog sezonskog radnog dana (efektivnih 7 radnih sati), utroši približno 21 litru goriva, odnosno približno 210 HRK po radnom danu. Dnevni utrošak goriva za pogon električnog tegljača prtljage, s obzirom da se punjenje odvija tijekom noći po povoljnijoj tarifi, sukladno ugovoru sa dobavljačem električne energije, višestruko je manji od utroška goriva za pogon dizel tegljača.

Na temelju višegodišnjeg iskustva, dokazano je da je primjena tegljača prtljage sa elektropogonom su Zračnoj luci Split doprinijela smanjenju štetnih emisija i povećala kvalitetu rada u posebnim operativnim prostorima, kao što je sortirnica predane prtljage.

4.2.2. Ekološka učinkovitost zamjene goriva

Dobrobiti zamjene fosilnog pogonskog goriva električnom energijom, kao i ekonomski učinci, kalkulirani su za operacije kod tradicionalnog i niskotarifnog poslovnog modela.

U Tablici 9. predstavljena su moguća smanjenja emisija CO₂ kao rezultat zamjene goriva u operacijama prihvata i otpreme zrakoplova pri jednom punjenju baterije u slučaju tradicionalnog poslovnog modela, a u Tablici 10. kod niskotarifnog modela. Iz rezultata je vidljivo da zamjena pogonskog goriva s konvencionalnog električnom energijom ne rezultira u svim slučajevima smanjenjem emisija CO₂ [10].

Tablica 9. Ekološki učinci zamjene goriva kod prihvata i otpreme zrakoplova Airbus A319/A320 - tradicionalni model zračnog prijevoza

Količina	Tip vozila	Broj operacija	Konvencionalna goriva	Električni pogon		Smanjenje emisija zamjenom (kg)
			Emisija ispušnog CO ₂ (kg)	Emisija ispušnog CO ₂ (kg)	Emisija CO ₂ iz proizvodnje (kg)	
2	Stepenice za ukrcaj	18	41,42	0,00	24,40	17,02
1	Tegljač prtljaga	15	17,49	0,00	15,13	2,36
1	Cargo transporter	19	17,49	0,00	15,13	2,36
1	Vozilo upravitelja postaje	148	10,81	0,00	4,88	5,93
1	Vozilo tehničkog osoblja	54	10,81	0,00	4,88	5,93

1	Vozilo „Slijedi me“	85	10,81	0,00	4,88	5,93
2	Autobus	54	201,13	0,00	91,50	109,63
1	Vozilo čistač	173	107,14	0,00	10,98	96,16
1	Catering vozilo	322	185,37	0,00	25,62	159,75

Izvor: [10]

Smanjenje emisija CO₂ kao rezultat zamjene pogonskog goriva kod vozila u prihvat i otpremi zrakoplova u tradicionalnom poslovnim modelu, iznosi 3,64 kg za sve operacije po zrakoplovu. Međunarodna zračna luka u Zagrebu obavi približno šesnaest operacija prihvat i otpreme zrakoplova Airbus A319/A320 dnevno. Smanjenje emisija CO₂ kao rezultat zamjene pogonskog goriva iznosi 58,24 kg dnevno i 21.257,60 kg godišnje.

Tablica 10. Ekološki učinci zamjene goriva kod prihvat i otpreme zrakoplova Airbus A319/A320 - niskotarifni model zračnog prijevoza

Količina	Tip vozila	Broj operacija	Konvencionalna goriva	Električni pogon		Smanjenje emisija zamjenom (kg)
			Emisija ispušnog CO ₂ (kg)	Emisija ispušnog CO ₂ (kg)	Emisija CO ₂ iz proizvodnje (kg)	
2	Stepenice za ukrcaj	34	41,24	0,00	24,40	17,02
1	Tegljač prtljaga	15	17,49	0,00	15,13	2,36
1	Vozilo tehničkog osoblja	54	10,81	0,00	4,88	5,93
1	Vozilo „Slijedi me“	85	10,81	0,00	4,88	5,93
2	Autobus	54	201,13	0,00	91,50	109,63

Izvor: [10]

Smanjenje emisija CO₂ koje se postiže zamjenom pogonskog goriva kod vozila za prihvat i otpremu zrakoplova u niskotarifnom poslovnim modelu iznosi 1,98 kg po zrakoplovu. Međunarodna zračna luka Zagreb obavi približno tri operacije prihvat i otpreme zrakoplova Airbus A319/A320 niskotarifnih zračnih prijevoznika dnevno. Smanjenje emisija CO₂ kao rezultat zamjene pogonskog goriva iznosi 5,95 kg dnevno i 2.170,34 kg godišnje [10].

Ukupni izračun smanjenja emisija CO₂ kojim rezultira zamjena pogonskog goriva kod operacija prihvat i otpreme šesnaest zrakoplova Airbus A319/A320 tradicionalnih zračnih prijevoznika i tri zrakoplova niskotarifnih zračnih prijevoznika iznosi 64,18 kg dnevno. Ukupno smanjenje emisija CO₂ na godišnjoj razini iznosi 23.427,94 kg.

Električna vozila uopće ne proizvode ispušne plinove, ali emisije CO₂ nastaju u procesu proizvodnje električne energije. Emisije CO₂ nastale od utroška fosilnih goriva u proizvodnji jednog kWh električne energije u elektranama u Hrvatskoj iznosi 305 g. U područjima gdje se za proizvodnju električne energije koriste resursi koji manje zagađuju okoliš, vozila na električni pogon su u prednosti po pitanju emisija CO₂ u odnosu na konvencionalna vozila koja za pogon

koriste benzin ili dizel. U područjima koja su iznimno ovisna o konvencionalnim fosilnim gorivima za proizvodnju električne energije, vozila na električni pogon možda neće proizvesti smanjenje emisije CO₂. Zamjena pogonskog goriva kod transportnih traka oba modela i vozila za opskrbu pitkom vodom i sanitarnog vozila kod tradicionalnog poslovnog modela neće rezultirati smanjenjem emisija CO₂. Navedena vozila nisu veliki potrošači dizel goriva, dok proizvodnja električne energije za punjenje baterija generira znatno veće emisije CO₂ u odnosu na ispušne plinove od sagorijevanja fosilnih goriva. Zamjena pogonskog goriva kod vozila s velikim utroškom fosilnih goriva rezultira značajnim smanjenjem emisija CO₂ [10].

Održivost zračne luke uveliko ovisi o brizi za okoliš i očekuje se da će pred menadžmentom biti veliki izazov ispuniti propisane okolišne zahtjeve. Rezultati ekonomske i okolišne analize koji se postižu zamjenom pogonskog goriva kod vozila u operacijama prihvata i otpreme jednog tipa zrakoplova, ukazuju na činjenicu da što je veća potrošnja fosilnih goriva, veća je i ušteda kao i smanjenje emisija CO₂ koje se postižu zamjenom goriva. U slučaju zamjene vozila za prihvat i otpremu zrakoplova s nižim utroškom fosilnih goriva pogonom na električnu energiju s velikim kapacitetom baterije, ne postiže se smanjenje emisija CO₂ s obzirom da proizvodnja električne energije za punjenje baterija generira veće emisije CO₂ nego ispušni plinovi od sagorijevanja fosilnih goriva.

Zračna luka Franjo Tuđman je u proteklom periodu pokrenula konkretne aktivnosti na dekarbonizaciji operacija prihvata i otpreme zrakoplova uvođenjem novih vozila na električni pogon, odnosno zamjenom vozila na konvencionalni pogon modernim električnim vozilima.

U primjeni je TLD JET-16 električni tegljač za prtljagu koji predstavlja novi standard u sferi tehnoloških rješenja bez emisija CO₂ koja pružaju niz mogućnosti primjene, od prijevoza prtljage u zračnim lukama do uporabe u industriji.



Slika 15. Električni tegljač za prtljagu TLD JET 16 na Zračnoj luci Franjo Tuđman

JET-16 ima kuku sa snagom vuče od 1.600 daN do 2000 daN, AC motor 22kW i bateriju: 80V 620Ah. Sustav izmjenične struje omogućava progresivno ubrzanje, veliku brzinu na dugim udaljenostima i općenito odličnu izvedbu kad je u pitanju vuča. Prostrana i ergonomski izrađena vozačka kabina, odlične sposobnosti manevriranja i učinkovit ovjes osiguravaju udobnost, kao i sigurnost i jednostavnost uporabe za operatere [26].

Uveden je i LEKTRO 88, *push-back* vozilo na električni pogon, koje iziskuje niže troškove održavanja i proizvodi nultu stopu emisije CO₂. Mali radijus okretanja minimizira operativni karbonski otisak i doprinosi maksimalnoj iskorisćenosti hangara. Vozilom upravlja jedan operater čime se smanjuje potreba za dodatnim osobljem. Jednostavan je za uporabu što pojednostavljuje proces obuke [27].



Slika 16. *Push-back* LEKTRO 88 na Zračnoj luci Franjo Tuđman

LEKTRO 88 može gurati zrakoplov pomoću MTOW težine do 54.432 kg, što ih čini idealnim za izguravanje i vuču regionalnih mlaznih i turbopropelerskih zrakoplova. Pogodno je za sve vremenske uvjete te se može koristiti u zatvorenom i na otvorenom prostoru.

Za punjenje vozila električnom energijom uspostavljena je i postaja za punjenje većeg broja vozila. Ovi kompaktni punjači električnom energijom pogodni su za punjenje različitih tipova električnih vozila za prihvat i otpremu zrakoplova koja zahtijevaju brzo punjenje. Osiguravaju dotok električne energije od 10kW u svakom pojedinačnom priključku što je idealno za električne tekuće trake, tegljače za prtljag i ostalu opremu na električni pogon koji su u iznimno velikoj uporabi i zahtijevaju učestalo punjenje [28].



Slika 17. Postaja za punjenje vozila električnom energijom na Zračnoj luci Franjo Tuđman

Integrirani su senzori za preciznu kontrolu voltaže baterije i temperature, čime se postiže dodatna učinkovitost i sigurnost. Također, punjači pohranjuju podatke potrebne za analizu i upravljanje statusom i korištenjem baterija pojedinačnih ili skupine vozila. S obzirom da se postavljaju na otvorenom, važna im je značajka da su otporni na ekstremne vremenske uvjete.

Tijekom 2022. Međunarodna zračna luka Zagreb će u svom voznom parku imati i 3 *Follow me* vozila na električni pogon tipa Renault Twingo, koji će dati dodatni doprinos naporima za smanjenje emisija CO₂, ali i ekonomskoj učinkovitosti operacija prijehata i otpreme zrakoplova. Nova *Follow me* vozila su u pripremi, a punionice za opskrbu električnom energijom su već instalirane i spremne za rad.



Slika 18. Postaja za punjenje električnom energijom *Follow me* vozila - Zračna luka Franjo Tuđman

Niz je primjera zračnih luka diljem Europe koje su modernizirale opremu i vozila za prihvat i otpremu zrakoplova na način da su konvencionalna vozila zamijenjena novim na alternativni pogon.

S ciljem smanjenja emisija CO₂ i karbonskog otiska, tvrtke koje posluju u sklopu grupacije *Baltic Ground Services (BGS)* koja obavlja operacije prijehata i otpreme zrakoplova u 25 zračnih luka na području 10 država, unaprijedila je svoju flotu vozila i opreme za prihvat i otpremu zrakoplova većim brojem modela na električni pogon. U 2020. godini u vozni park u zračnim lukama u Vilniusu, Rigi i Varšavi, uključili su prvi Baltički električni autobus koji je posebno dizajniran za potrebe operacija u zračnoj luci. Radi se o tri metra širokom i trinaest metara dugačkom autobusu kapaciteta za prijevoz 100 putnika [29].



Slika 19. Baltički električni autobus - Zračna luka Vilnius
Izvor: [29]

Budući planovi grupacije uključuju daljnje unapređenje voznog parka novim električnim vozilima i opremom za prihvat i otpremu zrakoplova koji će zamijeniti konvencionalna vozila. Do 2025. godine tvrtka će zamijeniti 80 autobusa u 17 zračnih luka novim električnim autobusima.

Airpro je prva tvrtka koja je u operacijama prijehata i otpreme zrakoplova ponudila usluge odleđivanja zrakoplova na električni pogon. Tako je zračna luka u Helsinkiju prva u Skandinaviji i četvrta u svijetu koja primjenjuje električne odleđivače. U suradnji sa danskom tvrtkom Vestergaard, Airpro je nabavio četiri odleđivača tipa *Elephant e-BETA*, u vrijednosti od 4 milijuna Eura. To je još jedna od investicija u „zelene“ operacije prijehata i otpreme zrakoplova u Finskoj. Moderna tehnologija odleđivača *Elephant e-BETA* smanjuje emisije stakleničkih plinova i razinu buke te poboljšava radne uvjete za osoblje [30].



Slika 20. Električni odleđivač *Elephant e-BETA* u zračnoj luci Helsinki
Izvor: [30]

Sukladno nastojanjima za dostizanjem ciljeva vezanim uz zaštitu okoliša koji će rezultirati CO₂ neutralnim operacijama u Zračnoj luci Stuttgart do 2040. godine, u 2021. godini je testiran *Elephant e-BETA* odleđivač zrakoplova i naručene su još dvije jedinice. U Zračnoj luci Stuttgart, u uporabi je 6 *Elephant e-BETA* odleđivača na konvencionalni pogon od 2012. godine. Nova električna verzija e-BETA funkcionira po identičnom principu kao i prethodne konvencionalne verzije te je potreba za dodatnom obukom svedena na minimum, a rukovatelj može bez većih problema i brzo prijeći na *e-BETA* model. Pojačanje flote na električni pogon u Zračnoj luci Stuttgart će biti električno Vestergaard vozilo za opskrbu pitkom vodom tijekom ljeta 2022. godine [31].



Slika 21. Odleđivač *Elephant e-BETA* u Zračnoj luci u Stuttgartu

Izvor: [31]

Zračna luka Schiphol, u suradnji sa tvrtkom KLM Equipment Services, testira električne agregate 7400 e-GPU kod velikih širokotrupnih zrakoplova, koji će zamijeniti dizel modele agregata i osiguravati opskrbu zrakoplova električnom energijom na stajanci. Tri testne jedinice, koje je razvila tvrtka ITW, će se primjenjivati najprije kod teretnih zrakoplova, a u sljedećoj fazi na putničkim zrakoplovima. Njihova primjena bi trebala rezultirati eliminiranjem CO₂, ultra finih čestica i emisija nitrogena koje proizvode dizel modeli [32].



Slika 22. 7400 e-GPU u Zračnoj luci Schiphol Amsterdam
Izvor: [32]

U Zračnoj luci Amsterdam Schiphol je u primjeni 7 električnih agregata za opskrbu manjih zrakoplova. Međutim, veći zrakoplovi iziskuju više snage u odnosu na postojeće jedinice e-GPU. Stoga su testne jedinice opremljene dvostrukim kapacitetom energije. Grupacija Royal Schiphol ima za cilj upravljati najodrživijim zračnim lukama i CO₂ neutralnim operacijama prijehata i otpreme zrakoplova u svojim zračnim lukama u Nizozemskoj do 2030. godine.

5. TRENDOVI I PERSPEKTIVE UPORABE ALTERNATIVNIH GORIVA U ZRAČNOM PROMETU

Perspektive za uporabu alternativnih goriva u zračnom prijevozu su velike, sve na temelju inovacija i novih tehnoloških rješenja koja su rezultat kontinuiranog istraživanja na polju održivosti i dekarbonizacije. Koncept “Zelenih” zračnih luka predstavlja uspješan model za postizanje održive mobilnosti u sektoru zračnog prijevoza.

5.1. Perspektive uporabe alternativnih goriva u transportu s fokusom na zračni prijevoz

Primjena obnovljive energije u sektoru transporta je uglavnom regulirana različitim vrstama direktiva o uporabi bio-goriva, politikama za smanjenje emisija stakleničkih plinova i poreznim olakšicama kod primjene obnovljivih pogonskih goriva.

U inicijativi „Odredište 2050“ (*Destination 2050*) navodi se da je štetne emisije, koje proizvode zrakoplovi pri kretanju na zemlji i uporaba agregata za opskrbu električnom energijom, moguće smanjiti uvođenjem tegljača na električni pogon i zemaljskog napajanja zrakoplova električnom energijom, gdje bi emisije CO₂ pale za 1,5% do 3% po svakom letu. Kapitalne investicije u dekarbonizaciju zračnog prijevoza i operacija u zračnoj luci neće donijeti samo dobrobit po okoliš, nego i fokus na učinkovitost i iskorištenost vozila i opreme za prihvat i otpremu zrakoplova i rezultirati daljnjim smanjenjem troškova.

Do 2050. godine, komercijalno zrakoplovstvo očekuje 10 milijardi putnika na letovima od 20 trilijuna kilometara, pri tom emitirajući 2.350 milijuna tona CO₂, čak 2,6 puta veće emisije u odnosu na 2019. godinu. Bez procesa dekarbonizacije, emisije u zračnom prijevozu bi rasle za 3,6 puta u odnosu na 2005. godinu i sektor bi bio odgovoran za 22% ukupnih svjetskih emisija CO₂ do 2050. godine. Neophodno je ubrzati ove procese kako bi se negativna predviđanja za sektor zračnog prijevoza barem djelomično popravila [33].

Ohrabruje činjenica da se prirodni izvori energije sve više koriste, a u 2017. godini preko polovine utrošene obnovljive energije dolazi iz modernih bioloških izvora koji doprinose više od četiri puta u odnosu na solarne izvore i vjetroelektrane zajedno. Većina energije iz ovog izvora se koristi za zagrijavanje i industriju, dok se ostatak primjenjuje u transportnom sektoru. Predviđa se značajan porast potrošnje bioenergenata kao obnovljivog izvora u razdoblju do 2023. godine, velikim dijelom u sektoru transporta [17].

Biogoriva i električna energija su sve više zastupljeni u transportu, i njihova uporaba sve više doprinosi okolišno prihvatljivoj mobilnosti. Iako uporaba električne energije za pogon vozila brzo raste, biogoriva trenutno drže udio od 90% u potrebama transporta za obnovljivom energijom. Ipak, očekuje se da će primjena električne energije u transportu porasti za dvije trećine u skorijoj budućnosti. Električna vozila i autobusi prednjače u uporabi ovog pogonskog goriva pa se tako u protekle četiri godine potrošnja električne energije u transportu utrostručila.

Održivost, razvoj i ulaganja u obnovljive izvore energije u segmentima grijanja, proizvodnje električne energije i transportu se moraju intenzivirati i ubrzati. Prema planiranom napretku, udio obnovljivih izvora u potrošnji energije će se kretati okvirno na 18% do 2040. godine – što je značajno ispod scenarija International Energy Agency (IEA) za održivi razvoj gdje udio iznosi 28%. Predviđa se rast primjene obnovljive energije u transportu od 19% u razdoblju 2018.-2023. godine, dok je nažalost rast udjela potražnje za ovom energijom u transportu minimalan, od 3.4% u 2017. godini do svega 3.8% koliko se očekuje u 2023. godini. Iz ovog se vidi da primjena obnovljive energije transportu najsporije raste u odnosu na preostala dva sektora (grijanje i proizvodnja električne energije) [17].

Biogoriva su imala udio od 92% u u ukupnoj potrošnji obnovljive energije u transportu u 2017. godini, i do kraja 2023. godine očekuje se blagi pad na 89%. Dominantna primjena biogoriva u transportu vezana je uz njihovu kompatibilnost postojećim motorima s unutrašnjim izgaranjem u vozilima te infrastrukturom opskrbe gorivima. Trenutno su biogoriva uglavnom u primjeni u cestovnom prometu, gdje putnička vozila ostvaruju najveću potrošnju. Uporaba biogoriva u zračnom prometu je u početnoj fazi, posebice kad se radi o pogonskom gorivu za zrakoplove, međutim šira primjena bio-goriva je iznimno atraktivna opcija za dekarbonizaciju ovog sektora [17].

Električna energija za pogon vozila u transportnom sektoru očekivano će rasti za 65% u razdoblju 2018.-2023. godine. Porast potrošnje električne energije u transportnom sektoru će morati pratiti i promjenu u sastavu voznog parka te prilagodbu infrastrukture za opskrbu i punjenje. Zbog visine investicije ovaj rast je daleko manji u odnosu na biogoriva, ali još uvijek značajan.

Iako je potražnja za održivim gorivima za zrakoplovstvo neupitna, njegova proizvodnja je još uvijek na niskoj razini: neophodan je pristup dovoljnim količinama bio sirovina i daljnji tehnološki razvoj kako bi se povećao obujam proizvodnje. Bio-goriva za zrakoplove su trenutno skuplja od mlaznog goriva fosilnog podrijetla. Da bi se koristili u zrakoplovstvu, biogoriva moraju biti prilagođena za uporabu u zrakoplovima bez tehničkih modifikacija, biti u cijelosti usklađeni sa standardima, rezultirati sa značajnim smanjenjima emisija CO₂ u odnosu na fosilna goriva i zadovoljiti kriterije održivosti u širem smislu. Održiva goriva za zrakoplove mogu doprinijeti i smanjenju emisija zagađivača zraka poput SO₂ i čestica prašine, poboljšanju kvalitete zraka u okolini zračnih luka [17].

Samo sa unaprijeđenim politikama podrške i poboljšanjem opskrbe gorivom, proizvodnja biogoriva za zrakoplove može dostići 2% potreba zrakoplovstva za gorivom u srednjoročnom razdoblju. Iznimno je važna uporaba održivih goriva za zrakoplove zbog dekarbonizacije sektora zračnog prometa, a u nedostatku značajnog napretka u tehnologiji, miješanje održivih goriva s mlaznim predstavlja glavni način za dostizanje dugoročnih ciljeva dekarbonizacije koje je postavio ICAO, odnosno „CO₂ neutralni“ rast od 2020. godine i smanjenje emisija CO₂ do 2050. godine sa 50% u odnosu na 2005.

Također, IATA je postavila cilj od 1 milijarde putnika na letovima na pogon održivih goriva miješanih s fosilnim gorivima do 2025. godine. Ipak, visoka cijena biogoriva u odnosu na fosilna goriva predstavlja veliku barijeru njegovoj široj primjeni, s obzirom da je trošak goriva najveći

pojedinačni trošak kod zračnih prijevoznika i iznosi do 30% operativnih troškova. Bez konkretnije podrške kroz adekvatne politike na polju financiranja, subvencioniranja i podrške daljnjem tehnološkom razvoju, rast potrošnje održivih goriva u zrakoplovstvu će i dalje biti usporen.

Sektor europskog zračnog prometa je 11.02.2021. godine ozvaničio je vodeću inicijativu održivosti, *Odredište 2050 (Destination 2050)*. Inicijativa *Odredište 2050* je prva europska, sektorska, dugoročna vizija koja se temelji na konkretnim rješenjima složenog izazova smanjenja emisija CO₂ na komercijalnim letovima unutar EU, Velike Britanije i EFTA-e. Inicijativu predvodi pet europskih asocijacija iz sektora zračnog prijevoza: Airports Council International Europe (ACI EUROPE), AeroSpace and Defence Industries Association of Europe (ASD Europe), Airlines for Europe (A4E), Civil Air Navigation Services Organisation (CANSO) i European Regions Airline Association (ERA) [35].

Nastavno na Pariški sporazum i europski Zeleni dogovor, „*Odredište 2050*“ (*Destination 2050*), predviđa da svi letovi koji se odvijaju unutar ili napuštaju područje EU, Velike Britanije i EFTA-e proizvode nulte stope emisija CO₂ do 2050. Ovaj ambiciozni plan uključuje europske zračne prijevoznike, zračne luke, i proizvođače zrakoplova i navigacijskih sustava, s ciljem smanjenja emisija CO₂ u sektoru zračnog prijevoza koji će biti globalno i dugoročno održiv. Plan predviđa provođenje četiri ključne mjere usklađene sa ciljevima EU vezano uz klimu i to: unapređenja u tehnologiji zrakoplova i motora kojim se može postići smanjenje emisija od 37%, uporaba održivih goriva za zrakoplove SAF kojim bi se postiglo smanjenje emisija od 34%, provođenje ekonomskih mjera kojima se može postići smanjenje emisija od 8% i poboljšanja u upravljanju zračnim prometom i operacijama zrakoplova za smanjenje emisija od 6%. *Odredište 2050* podrazumijeva i utjecaj navedenih mjera na potražnju, ipak inicijativa predviđa prosječni rast broja putnika u europskom zračnom prometu od 1,4% godišnje u razdoblju između 2018. i 2050. godine koji neće ugroziti postizanje ciljeva sektora od nulte razine emisija CO₂ do 2050. godine [34].

Alternativna goriva će i dalje imati iznimno važnu ulogu u smanjenju emisija zagađivača zraka u sektoru transporta, posebice jer se očekuje globalno postroženje standarda i usklađenje u skorijoj budućnosti. Njihova veća primjena će doprinijeti dugoročnoj dekarbonizaciji sektora transporta posebice u cestovnom i zračnom prometu.

5.2. Inovacijama do održivog zračnog prijevoza budućnosti

Istraživanja i razvoj novih tehnologija na polju dekarbonizacije u sektoru zračnog prijevoza od iznimne su važnosti za postizanje ciljeva postavljenih u inicijativama „*Odredište 2050*“ (*Destination 2050*) i Zeleni dogovor. S tim ciljem *Advisory Council for Aviation Research and innovation in Europe (ACARE)* – Savjetodavno vijeće za istraživanja i inovacije u zrakoplovstvu u Europi djeluje od 2001. godine kao institucija koja osigurava mrežu za strateško istraživanje u području aeronautike i zračnog prijevoza kojom će sektor zadovoljiti potrebe društva i osigurati globalno liderstvo za Europu. ACARE predstavlja tehnološku platformu za zrakoplovstvo u Europi, priznatu od Europske komisije, pa je tako Agenda o strateškom istraživanju i inovacijama (*Strategic Research and Innovation Agenda - SRIA*) i izvješće „*Zračni put 2050*“ (*Flightpath*

2050), usvojena 2012. godine, strateški dokument kojim ACARE daje smjernice za buduće aktivnosti u okviru programa financiranih javnim i privatnim fondovima tako da su istraživanja adekvatno podržana i financirana [36].

U dokumentu Europska vizija održivog zrakoplovstva iz 2022. godine, ACARE naglašava kao glavni cilj do 2050. godine uspostaviti sustav zračnog prijevoza koji ne šteti okolišu i čije emisije ne doprinose klimatskim promjenama, sustav koji se razvija sukladno principima Zelenog dogovora. ACARE u svojoj viziji 2050. godine vidi europsku flotu sastavljenu od najvećeg udjela održivih zrakoplova u odnosu na ostatak svijeta. Zrakoplovi su visoko učinkoviti u aerodinamičnom smislu, s niskom aerodinamičkom silom otpora koja rezultira smanjenim utroškom energije i nižom razinom buke u odnosu na 2020. godinu. Dizajnirani su i građeni tako da odlično podnose ekstremne vremenske uvjete i osnaženi modernim materijalima i konstrukcijom, lakši su i prilagodljivi različitim uvjetima. S obzirom na različitost u tipovima zrakoplova koji će biti u opticaju, a u ovisnosti o vrstama transporta, pogonskim sustavima i energiji, promjene se neće odraziti isključivo na arhitekturu zrakoplova nego i na zemaljsku infrastrukturu u zračnim lukama i sustave upravljanja zračnim prometom (*Airport Traffic Management - ATM*) [11].

Ciljevi koji su postavljeni pred europski sektor zračnog prijevoza su planski raspoređeni u vremenski okvir do 2030. godine, 2035. i 2050. godine. Europska Unija treba financirati učinkovite projekte istraživanja i inoviranja koji će dovesti do znanstvenog i tehnološkog napretka koji je sektoru zračnog prijevoza neophodan za ostvarenje postavljenih ciljeva. Istraživanje i inovacije vezane uz sektor zračnog prijevoza trebaju uključivati i druge povezane sektore poput transporta i energetike.

Ciljevi koji se odnose na zrakoplove i pogonske sustave prikazani su u Tablici 11. gdje su predstavljeni očekivani rezultati na polju inovacija u sektoru zračnog prijevoza sa vremenskim okvirima za realizaciju ciljeva.

Tablica 11. Ciljevi sektora zračnog prijevoza vezano uz zrakoplove i pogonske sustave (2030. - 2050.)

VREMENSKI OKVIR		
Kratkoročni ciljevi (<2030. godine)	Srednjoročni ciljevi (<2035. godine)	Dugoročni ciljevi (<2050.godine)
Do 2030. godine Europa će predstaviti prvi hidrogenski i hibridno-električni model zrakoplova za regionalne, kratke i srednje letove. Do 2030. godine Europske flote će zahvaljujući istraživanjima i inicijativama ACARE poboljšati učinkovitost i smanjiti emisije CO ₂ prilagođavanjem sredstava novim pogonskim tehnologijama, Svi zrakoplovi će nakon 2030. godine biti certificirani za 100% SAF ili hidrogen.	Do 2035. godine svi zrakoplovi u Europi će biti tehnički spremni za primjenu SAF-a, a 10% njih će redovito koristiti SAF kao pogonsko gorivo. Do 2035. godine ukupna učinkovitost goriva Europske flote će porasti za minimalno 10% u odnosu na 2018. godinu, što će se postići uvođenjem novih tehnoloških rješenja. Do 2035. godine uvodi se prvi komercijalni zrakoplov u svijetu	Do 2050. godine 75% flota za regionalne i kratke do srednje letove raspolaže s novim zrakoplovima uvedenim 2035. godine. Učinkovitost goriva u Europskim flotama je poboljšana za 30% do 50% u odnosu na 2018. godinu. Svi zrakoplovi su po pitanju pogonskog goriva i izvora energije koju koriste, dizajnirani na principu cirkularnosti i zaštite okoliša. Do 2050. godine će lanac opskrbe Europskog sektora zračnog

Do 2030. godine će se dizajnirati i testirati novi zrakoplovi za regionalne i kratke letove, a do 2035. godine će biti uvedeni u promet.	koji je certificiran za hibridno-električni ili hidrogenski pogon.	prijevoza dostići nultu stopu emisija CO ₂ .
--	--	---

Izvor: [11]

Postavljeni su i ciljevi vezani uz integriranje sektora zračnog prijevoza u energetska sustava s aspekta pogonskih goriva. Ciljevi i vremenski okviri vezani uz održivo pogonsko gorivo za zrakoplove su predstavljeni u Tablici 12.

Tablica 12. Ciljevi sektora zračnog prijevoza vezani uz energetska sustava (2030. - 2050.)

VREMENSKI OKVIR		
Kratkoročni ciljevi (<2030. godine)	Srednjoročni ciljevi (<2035. godine)	Dugoročni ciljevi (<2050. godine)
<p>Sektor zračnog prijevoza u Europi je u cijelosti povezan s energetska sektorom čime se osigurava raspoloživost, pristupačnost i sigurnost opskrbe održivim pogonskim gorivima.</p> <p>Do 2030. SAF ima udio od 10% u ukupnom gorivu utrošenom za pogon zrakoplova u Europi.</p> <p>Do 2030. godine održivi hidrogen je na raspolaganju u svim ključnim zračnim lukama u EU za vozila u operacijama prihvaća i otpreme zrakoplova i testiranje zrakoplova.</p> <p>Smanjeni su maksimalni udjeli aromatskih spojeva i sumpora u mlaznim gorivima s ciljem minimiziranja ugljičnih emisija.</p> <p>Uspostavljeni su standardi kvalitete SAF-a i sustavi osiguranja usklađenosti.</p> <p>U svim EU zračnim lukama uspostavljene su postaje za punjenje električnom energijom, hidrogenom i drugim održivim gorivima za sva vozila u zoni zračne luke.</p>	<p>Do 2035. godine 20% konvencionalnog mlaznog goriva za zrakoplove zamijenjeno je održivim gorivom (SAF).</p>	<p>Do 2050. godine preko 80% konvencionalnog mlaznog goriva za zrakoplove zamijenjeno je održivim gorivom (SAF).</p> <p>Hidrogen raspoloživ u svim zračnim lukama u Europi kao pogonsko gorivo za zrakoplove.</p> <p>Transport i lanac opskrbe pogonskim gorivima su uvezani u jedinstven sustav usluga mobilnosti (npr. putnici će se voziti autobusom na hidrogenski pogon do zračne luke opremljene vozilima i opremom na hidrogenski pogon te se ukrcaju u zrakoplov na hidrogenski pogon).</p>

Izvor: [11]

U tijeku su brojni projekti istraživanja i razvoja novih tehnoloških rješenja s ciljem smanjenja emisija stakleničkih plinova u sektoru zračnog prijevoza da bi se postigli učinci planirani Zelenim dogovorom do 2025. godine. Tako je Airbus značajno napredovao u istraživanjima vezano uz primjenu alternativnih održivih goriva za pogon zrakoplova. U partnerstvu sa CFM International, joint venture tvrtkom GE i Safran Aircraft Engines, radi na iznimno važnom programu primjene hidrogenskog goriva. ZEROe koncepti uključuju zrakoplove na hibridno-hidrogenski pogon koje pokreće izgaranje hidrogena u motoru s modificiranom plinskom turbinom, pri čemu se tekući hidrogen primijenjuje kao gorivo za izgaranje sa kisikom.

Dodatno, stanice hidrogenskog goriva proizvode električnu energiju koja dopunjuje plinsku turbinu, što rezultira visoko učinkovitim hibridno-električni pogonskim sustavom. Airbus je u 2022. godini, pilotirao ZEROe demonstrator sa ciljem testiranja tehnologije hidrogenskog izgaranja na multimodalnoj platformi zrakoplova A380. Daljnjim testiranjem na zemlji i letovima, očekuje se spremnost za cjelovitu primjenu tehnologije hidrogenskog pogonskog sustava do 2025. godine [37].

Imajući u vidu da vodik ima manju volumensku gustoću, izgled budućih zrakoplova će se vrlo vjerojatno promijeniti, posebice jer se trebaju uzeti u obzir nova rješenja za spremišta vodika koja će biti veća u odnosu na postojeća spremišta kerozina.



Slika 23. Tri koncepta ZERO-e - Airbus
Izvor: [37]

Hidrogensko gorivo ima veliki potencijal sa specifičnom masom po jedinici energije tri puta višom od tradicionalnog kerozina. U slučaju da se proizvodi iz obnovljivih izvora putem elektrolize, ne stvara emisije CO₂, što omogućava potencijalnu primjenu obnovljivog goriva za pogon velikih zrakoplova na velikim udaljenostima bez negativnih efekata na atmosferu poput emisije CO₂.

Brojni zračni prijevoznici prelaze na održiva goriva za pogon zrakoplova (SAF) sa ciljem smanjenja negativnih utjecaja zrakoplova na okoliš. Na primjer British Airways planira koristiti SAF kod 10% letova do 2030. godine, a United Airlines je prošle godine uspješno izveo prvi let na 100% održivi pogon. Dok Airbus planira primjenjivati vodik koji ima potencijal za smanjenje emisija CO₂ iz zrakoplova do 50%, zrakoplovna tvrtka ZeroAvia razvija zrakoplov sa 19 sjedala koji će operirati na hidrogensko- električni pogon na liniji London - Rotterdam već od 2024. godine [38].

Na polju opreme za prihvat i otpremu zrakoplova također su neophodne inovacije kojim će se smanjiti izvori zagađenja i povećati učinkovitost. *Push-back* vozila na dizel pogon su ozbiljni zagađivači okoliša, uz to blokiraju ceste u sklopu zračne luke, zahtjevni su i skupi po pitanju održavanja, kao i po pitanju procesa opskrbe dizelom. Mototok koji je razvijen i proizvodi se u

Njemačkoj od 2003. godine, je prvi model *push-back* vozila za izguravanje zrakoplova koje radi na električni pogon. Mototok je kontroliran putem radio veze, u cijelosti na električni pogon sa kratkim vremenom punjenja i znatno je manji u odnosu na dizel modele. Kapacitet baterije dovoljan je za 50 operacija izguravanja ili udaljenost od 7 km [39].

Push-back vozilo tipa *SPACER 8600* je licenciran za rad na zrakoplovima tipa 737 i 320 (uskoro i Embarer i Bombardier). Četiri ključne prednosti primjene Mototoka na električni pogon su: ekonomičan, siguran, fleksibilan i jednostavan za uporabu. Zadnjih nekoliko godina Mototok Spacer se uspješno primjenjuje kod otpreme zrakoplova poput Airbusa u Hamburgu, Thomson TUI, Alaska Airlines i mnogih drugih [40].

Push-back proces je sa mototokom u cijelosti hidrauličan, pod nadzorom senzora i u velikoj mjeri automatiziran. Hidraulični sustav omogućava automatiziranu prilagodbu svim promjerima nosnog kotača zrakoplova. Cijeli proces traje svega 15 sekundi i ne postoji brži način povezivanja tegljača sa stajnim trapom zrakoplova. Iznimno snažan motor na električni pogon, s izdržljivim baterijama koje ne treba održavati, reguliran i kontroliran s dva mikroprocesora, osigurava ogromnu pogonsku snagu. Mototok se može priključiti svim tipovima zrakoplova, čak i helikopterima. Zahvaljujući kompaktnim dimenzijama, može se podvući ispod trupa zrakoplova, što ga čini iznimno fleksibilnim u tijesnim prostorima [41].



Slika 24. Mototok *Spacer 8600*

Izvor [41]

British Airways koristi Mototok na terminalu 5A u Heathrow zračnoj luci od Kolovoza 2017. godine. Jedan *Spacer 8600* Mototok se nalazi na svakom od 25 gate-ova, i izvode do 1,100 izguravanja zrakoplova tjedno. *Push-back* vozila se tijekom noći napajaju električnom energijom na samom gate-u, uvijek su na raspolaganju i ne moraju se transportirati na udaljene točke u zoni operacija u zračnoj luci. Operater na Motoku je opremljen bežičnim slušalicama s mikrofonom i sam obavlja cijelu operaciju izguravanja zrakoplova. Bežično daljinsko upravljanje omogućava operateru da radnju obavlja na relativno velikoj udaljenosti od zrakoplova, s otprilike 15 metara, što mu omogućava bolji pregled i bržu reakciju u slučaju opasnosti.

Prema informacijama British Airwaysa, od trenutka uvođenja Mototoka u operacije otpreme zrakoplova, kašnjenja su smanjena za 70%. Smanjeni su troškovi obuke osoblja za 80% i postignuta je viša razina sigurnosti radi bolje vidljivosti u manevarskom prostoru. Također, lokalne emisije CO₂ i troškovi održavanja su drastično smanjeni zahvaljujući čistom električnom pogonskom izvoru kod Mototoka. Ostale zračne luke su također uvidjele prednosti ovog koncepta i u fazi su moderniziranja njihove flote. Na primjer, Nippon Airways je uspješno testirao Mototok i uskoro planira uvesti veliki broj ovih vozila u zračnim lukama diljem Japana. Iberia je naručila veliki broj Mototok vozila za zračne luke u Madridu i Barceloni. Model *Spacer 8600* se može koristiti za zrakoplove tipa Boeing 737 i Airbus A319/320, kao i zrakoplove kao što su Airbus A220, Embraer E-Jet i Bombardier Dash 8 [39].

Ugljično neutralna goriva, kao alternativa fosilnim gorivima, ključni su čimbenik održivosti zračnog prijevoza, stoga se diljem Europe ulažu iznimni naponi u istraživanja i razvoj novih alternativnih goriva koja se mogu primijeniti u globalnom transportu.

Znanstvenici sa sveučilišta ETH u Zurichu razvili su novo pogonsko gorivo čijom uporabom će letovi zrakoplovima postati ekološki prihvatljiviji i smanjiti svoj ugljični otisak. U pitanju je nova tehnologija kojom se proizvodi alternativno sintetičko gorivo iz sunčeve svjetlosti i zraka. Na krovu objekta u kojem se nalazi laboratorij ETH izgrađen je solarni toranj gdje počinje proces proizvodnje goriva uz uporabu sunčeve energije. Količina CO₂ koja se emitira tijekom izgaranja kerozina u mlaznom motoru jednaka je onoj koja se utroši tijekom proizvodnje u solarnoj elektrani. To znači da je gorivo ugljično neutralno, pogotovo ako se koristi CO₂ izravno iz zraka [42].

Kerozin koji se proizvodi u ovoj mini solarnoj rafineriji bi se mogao bez problema koristiti u zrakoplovstvu, ne zahtijeva posebne uvjete za skladištenje, kao ni prilagodbu postojećih zrakoplova. Za sad ova solarna rafinerija proizvodi oko jednog decilitra sintetičkog kerozina dnevno. No, treba imati na umu da je izgrađena kako bi se dokazao koncept i provela studija. Za proizvesti količine koje su dnevno potrebne u cijelom svijetu, bilo bi potrebno izgraditi veliki broj većih solarnih rafinerija, što se i očekuje ukoliko se ovaj koncept pokaže uspješnim. Sredstvima EU se trenutno financira testni projekt solarnog reaktora na solarnom tornju u blizini Madrida.

5.3. “Zelene” zračne luke za održivu mobilnost

Jasno je opredjeljenje Europske Unije da transport treba drastično smanjiti količinu zagađenja okoliša, a posebice je urgentno smanjenje emisije stakleničkih plinova u zračnom prijevozu. Obzirom da se očekuje dvostruko povećanje kapaciteta zračnog prijevoza do 2050. godine i sektor već emitira 15% ukupnih svjetskih količina stakleničkih plinova koji nastaju iz transporta. Usporedbe radi, vodni prijevoz emitira svega 2,5% svjetskih količina stakleničkih plinova. U ovom kontekstu zračne luke imaju iznimno važnu ulogu, kako kao povezne točke u sastavu transportnih mreža, tako i kao glavna multimodalna čvorišta za daljnje povezivanje s ostalim prijevoznim sustavima. Tako „zelene“ zračne luke predstavljaju temelj održive i pametne mobilnosti s velikim potencijalom za pokretanje trenutne tranzicije ka GHG neutralnom zračnom prijevozu i prije 2025 [14].

U svojoj viziji sektora zračnog prijevoza ACARE predstavlja „zelenu“ zračnu luku u 2050. godini, gdje nova infrastruktura, operacije i usluge u zračnom prijevozu doprinose postizanju cilja cjelovite dekarbonizacije sektora. Zračne luke više nisu samo mjesto slijetanja i uzlijetanja zrakoplova, nego čvorišta nesmetane razmjene između različitih oblika transporta. U zračnim lukama odvija se transfer između zračnog i ostalih oblika prijevoza, poput brze i konvencionalne željeznice, autobusa i autonomnih vozila. Zračne luke su održive i osiguravaju izvore energije za moderne pogonske sustave (npr. SAF, hidrogen, električna energija) zrakoplova i ostalih prijevoznih sredstava. Uspostavljeni su sustavi kojim se minimiziraju negativni utjecaji zračnog prijevoza na klimatske promjene. Kreirana je globalna mreža za praćenje vremenskih uvjeta i utjecaja na okoliš koja funkcionira na principu velikog broja senzora postavljenih na zemlji, u zraku, moru i vozilima na zemlji, u stratosferi i svemiru. Ovi senzori prate i prikupljaju podatke o transportnim mrežama i utjecajima na okoliš, uključujući zagađenje zraka, kondenzacijske tragove zrakoplova, buku itd. Svi letovi se odvijaju po klimatski optimiziranim putanjama, gdje se primjenjuju algoritmi za minimiziranje ili eliminiranje štetnih utjecaja po okoliš, poput emisija CO₂ i buke [11].

U svjetlu navedenog sve su aktualnije inicijative za primjenu koncepta „zelene“ zračne luke koji, između ostalog, uključuje sve faze i segmente transporta koji se odvijaju u i oko zračne luke i to:

- transport na relaciji grad – zračna luka (pristup i multimodalne veze)
- transport na relaciji zračna luka - zrakoplov (zračna strana)
- transport na zemaljskoj strani zračne luke (logistika, operacije na prijemu i otpremi zrakoplova, proizvodnja energije i alternativnih goriva iz obnovljivih izvora)

„Zelene“ zračne luke koriste pogonsku energiju s niskim emisijama stakleničkih plinova (električna energija ili održiva alternativna goriva) za zrakoplove, vozila u prijemu i otpremi zrakoplova, ostala vozila u zračnoj luci, kao i javni prijevoz u krugu zračne luke s postajama za dopunu električnom energijom kao sastavni dio infrastrukture zračne luke.

U primjeni su infrastrukturna rješenja za male i srednje zračne luke, prilagodljiva i za velike zračne luke, koja omogućavaju uporabu održivih alternativnih goriva, a odnose se na distribuciju, logističko upravljanje gorivima i skladištenje.

Primjenjuju inovativna digitalna rješenja poput novih alata i mehanizama za optimizaciju prometa s multimodalnim pristupom, sustava za protok putnika i tereta u i iz zračne luke, olakšanog i reduciranog prometa iz i prema gradu.

Kod odleđivanja i zaštite zrakoplova od zaleđivanja, zelene zračne luke primjenjuju inovativne ekološke procedure i infrastrukturu.

Zelene zračne luke razvijaju kapacitete i infrastrukturu za proizvodnju alternativnih goriva na lokaciji zračne luke (ili u neposrednoj blizini), kako bi omogućile pretvorbu otpada iz zračne luke održiva alternativna goriva i olakšale isporuku goriva u zračnu luku (npr. cjevovod) [14].

Primjer razvoja kapaciteta za proizvodnju električne energije je Zračna luka „Nikola Tesla“ u Beogradu (Vinci Airports) koja će se napajati električnom energijom proizvedenom iz solarne

elektrane snage 1 MW. Postrojenje se sastoji od približno 3.000 fotonaponskih modula raspoređenih na površini od 15.900 m². Solarna elektrana će godišnje proizvoditi oko 1.130.000 kilovat-sati (kWh) zelene električne energije, što je godišnja potrošnja od oko 430 kućanstava. Na ovaj način, zračna luka će smanjiti emisiju CO₂ za 900 tona godišnje. Tvrtka Vinci Airports (upravlja s preko 50 zračnih luka u 10 država) je od 2018. godine smanjila emisije CO₂ za 28%, posebice instaliranjem solarnih elektrana u svojoj mreži zračnih luka. Snaga tih postrojenja je dostigla 30 MW [43].

Kad su terminali u pitanju, “zelene” zračne luke primijenjuju integrirana nova rješenja u domeni operacija, ekološke i pametne logistike i infrastrukture. Prilagođavaju gradnju objekata i procese nabave najnovijim ekološkim standardima. Ogromna pozornost se pridaje energetske učinkovitosti objekata i maksimalno se optimiziraju sustavi rasvjete, zagrijavanja, ventilacije, klimatizacije, i procesi utroška energije i vode. Radi se na obogaćivanju bioraznolikosti, planiranja i korištenja zelenih površina, te unapređenju kružnog gospodarstva i recikliranja.

Posebna pozornost se posvećuje cijelom energetske vrijednosnom lancu od opskrbe do uporabe i to kroz uspostavljanje energetske učinkovitih kapaciteta za proizvodnju obnovljive energije (npr, električna energija, napredna biogoriva, zeleni hidrogen) koja se koristi kao pogonsko gorivo za infrastrukturu, transport i operacije u zračnoj luci. Pokreću se rafinerije za preradu biogoriva proizvedenog iz otpada za generiranje topline, energije ili proizvodnju održivog alternativnog goriva.

Razvojni ciljevi „zelenih“ zračnih luka uključuju:

- Ubrzano uvođenje alternativnih goriva (napredna biogoriva, ekološki hidrogen) i električnih vozila u transportu, kao i modernih sustava skladištenja energije i pogona za proizvodnju toplinske energije iz otpada u zračnim lukama
- Poboľjšani kapaciteti za proizvodnju i distribuciju energije i goriva u zračnim lukama (posebno hidrogena i električne energije) i poboljšana opskrba alternativnih goriva s infrastrukturom za punjenje
- Nulta emisija CO₂ u zračnoj luci do 2030, poboljšana kvaliteta zraka, bioraznolikost i smanjena razina buke na području zračne luke
- Energetske učinkovite operacije u zračnoj luci s pametnim sustavima logistike i integracijom s ostalim ekološki prihvatljivim transportnim modelima
- Smanjene emisije u gradovima i poboljšana integriranost gradova i zračnih luka
- Doprinos Europskom Zelenom dogovoru i poštovanje EU politika vezanih uz transport [14].

“Zelene” zračne luke, kao središta održive i “pametne” mobilnosti, imaju veliki potencijal postati pokretači procesa tranzicije sektora zračnog prijevoza, iz jednog od najvećih zagađivača okoliša, u sektor s nultom emisijom stakleničkih plinova na globalnoj razini.

6. ZAKLJUČAK

Globalno, sektor zračnog prijevoza i dalje je snažan pokretač mobilnosti, gospodarskog rasta, zapošljavanja i trgovinske razmjene. Istovremeno, sektor je jedan od najvećih zagađivača koji kroz emisije CO₂ i NO_x utječe na globalno zagrijavanje i klimatske promjene. U emisijama stakleničkih plinova najveći udjel imaju zrakoplovi, ali u dobroj mjeri i ostala vozila i oprema uključena u operacije u zračnoj luci, prije svega vozila i oprema u funkciji prihvata i otpreme zrakoplova. Zrakoplovi proizvode do 63% ukupnih emisija štetnih čestica u zračnim lukama, dok vozila i oprema za prihvata i otpremu zrakoplova emitiraju i do 37%, što predstavlja značajan udjel.

U svim zračnim lukama, bez obzira na njihovu veličinu i opterećenost, odvijaju se brojne i složene aktivnosti u operacijama prihvata i otpreme zrakoplova. U funkciji besprijeckornog izvođenja ovih aktivnosti angažiran je veliki broj specijaliziranih vozila i opreme bez kojih provođenje procesa prihvata i otpreme zrakoplova ne bi bio moguć. Vozila i oprema u prihvatu i otpremi zrakoplova uglavnom koriste dizel ili benzin kao osnovno pogonsko gorivo, dokazane zagađivače okoliša emisijom velikih količina CO₂ i čimbenike koji doprinose globalnom zagrijavanju i negativnim klimatskim promjenama.

Alternativna goriva se bitno razlikuju od fosilnih, posebice u segmentu zagađenja okoliša i emisije štetnih čestica u atmosferu. Širok je spektar alternativnih i obnovljivih izvora energije koji se u velikoj mjeri mogu primijeniti za pogon većine vozila i opreme u transportu općenito, a samim tim i u procesu prihvata i otpreme zrakoplova u zračnim lukama. Njihova primjena u operacijama u zračnoj luci ima prije svega ekološke, ali i značajne ekonomske učinke u poslovanju zračne luke.

Na primjeru Zračne luke Franjo Tuđman dokazani su ekonomski učinci zamjene konvencionalnog pogonskog goriva kod vozila za prihvata i otpremu zrakoplova A319/A320 tradicionalnih i niskotarifnih zračnih prijevoznika, alternativnim gorivom, odnosno električnom energijom. Ekonomski učinci se vide u uštedama od skoro 35.000 Eura na godišnjem nivou, dok se ekološki učinci mjere smanjenjem emisija CO₂ od skoro 25.000 kg na godišnjoj razini. Pored Međunarodne zračne luke Zagreb, koja je primijenila više vozila angažiranih u procesu prihvata i otpreme zrakoplova na alternativna goriva, uglavnom električnu energiju, brojni su primjeri drugih zračnih luka koje su započele transformaciju voznog parka u smjeru dekarbonizacije i održivosti.

Primjena održivih goriva u sektoru zračnog prijevoza je važan čimbenik u smanjenju emisija i postizanju CO₂ neutralnosti u zračnom prijevozu. Razvoj alternativnih pogonskih tehnologija i proizvodnja održivih goriva predstavljaju najveći potencijal za smanjenje emisija u kratkom vremenskom roku. Diljem svijeta se pokreću održivi projekti i inicijative u sektoru zračnog prijevoza. Alternativna goriva su sve više u primjeni, a Europska Unija kao i druge institucije od važnosti za sektor zračnog prometa podržavaju i potiču ove inicijative i projekte. Istraživanja i razvoj novih inovativnih rješenja za sektor zračnog prijevoza u segmentu zaštite okoliša od iznimne su važnosti na globalnoj razini. Inovacije se u najvećoj mjeri odnose na primjenu alternativnih goriva kod zrakoplova, vozila i opreme za prihvata i otpremu zrakoplova. Tako Airbus razvija novi koncept ZEROe zrakoplova na hidrogenski pogon. Istražuju se novi obnovljivi izvori

energije i razvijaju nova rješenja za pogonska goriva u sektoru zračnog prijevoza kojim će emisije CO₂ i ostalih štetnih utjecaja po okoliš biti svedene na nultu razinu do 2050. godine.

Prisutan je, i od strane regulatora podržan, koncept „zelene“ zračne luke koji definira segmente koje zračna luka treba ispuniti u ekološkom smislu.

Veliki je izazov pred sektorom zračnog prijevoza, prije svega u dostizanju ciljeva dekarbonizacije do 2050. godine, što zahtijeva tehničku i financijsku izvedivost novih tehnoloških rješenja, infrastrukturne izazove, kontinuirano mjerenje okolišnog i ekonomskog učinka ovih inicijativa. Ipak, neupitna je podrška EU i regulatora u vidu projekata i izravnih poticaja za realizaciju projekata dekarbonizacije.

LITERATURA

- [1] Bračić M. Tehnologija prihvata i otpreme zrakoplova. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu. Fakultet prometnih znanosti. 2018. Preuzeto s: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_prihvata_i_otpreme_zrakoplova/Materijali/Literatura_Tehnologija_prihvata_i_otpreme_zrakoplova_.pdf [Pristupljeno: 15. Ožujak 2022.]
- [2] Aviation learnings team. A Guide to Airport Ramp Operations, Ground Handling & Ground Support Equipment (GSE). *Aviation learnings*. Preuzeto s: <https://aviationlearnings.com/ground-handling-ramp-operations-aircraft-ground-support-equipment-gse-machines-that-supplement-the-airplane/> [Pristupljeno: 04. Srpanj 2022.]
- [3] Sumathi N, Parthasarathi A. Analysis of Airport Operations. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science*. 2018; 3(7): 119 – 123. Preuzeto s: <https://www.researchgate.net/publication/324154050> [Pristupljeno: 15. Ožujak 2022.]
- [4] European Air Transport Command. *EATC Ground Operations Manual, Standardized Procedures for Handling Passengers and Cargo*. Versiom 8.0, 2019. Preuzeto s: <https://eatc-mil.com/uploads/2017/Publications/EGOM%202020%209th%20public%20version.pdf> [Pristupljeno: 2. Srpanj 2022.]
- [5] Flyinggroup/ Flyingservice & Palmyra Aviation Advisors. *Ground Operations Manual. Version 4.3.*, 2018. Preuzeto s: <https://hyperion-aviation.com/wp-content/uploads/2018/01/HYP-GOM-Part-A-General-v4.3.pdf> [Pristupljeno: 2. Srpanj 2022.]
- [6] Aviation learnings team. *How Cargo & Baggage is Loaded & Unloaded from an Aircraft – The Role of Aircraft Cargo Loaders, Belt Loaders, Cargo Dollies & ULDs*. Preuzeto s: <https://aviationlearnings.com/how-cargo-is-loaded-and-unloaded-from-an-airplane/> [Pristupljeno: 04. Srpanj 2022.]
- [7] Morrison G, Fields C. *Alternative Fuels in Airport Fleets – A Syntesis of Airport Practice*. Washington, DC: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. National Academies Press. 2017. Preuzeto s: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/24868/alternative-fuels-in-airport-fleets> [Pristupljeno: 04. Svibanj 2022.]
- [8] Bagot K. *Impact of Alternative Fuels Present in Airports on Aircraft Rescue and Firefighting Response*. US Department of Transportation, Federal Aviation Administration. 2014. Preuzeto s: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ang/redac/media/airports/2015/march/TC-1422_Impact%20of%20AltFuels%20Present%20in%20Airports%20on%20ARFR.pdf [Pristupljeno: 20. Svibanj 2022.]

- [9] Pherson J. *Airport Ground Support Equipment (GSE): Emission Reduction Strategies, Inventory, and Tutorial National*. Washington, DC: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. National Academies Press. 2012. Preuzeto s: <http://elibrary.pcu.edu.ph:9000/digi/NA02/2012/22681.pdf> [Pristupljeno: 20. Svibanj 2022.]
- [10] Štimac I, Vince D, Jakšić B. Model of Environment - Friendly Aircraft Handling – Case Study: Zagreb Airport. *16th International Conference on Transport Science*. 2013., Portorož, Slovenia; 401 - 413. Preuzeto s: <https://www.bib.irb.hr/684650> [Pristupljeno: 26. Svibanj 2022.]
- [11] European Commission. *Fly the Green Deal, Europe's Vision for Sustainable Aviation, Report of the Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe (ACARE)*. Directorate General for Research and Innovation. European Union. 2022. Preuzeto s: https://www.acare4europe.org/wp-content/uploads/2022/06/20220815_Fly-the-green-deal_LR.pdf [Pristupljeno: 4. Srpanj 2022.]
- [12] Soone J. *Sustainable Aviation Fuels*. Briefing. European Parliamentary Research Service. European Union. 2020. Preuzeto s: [Sustainable aviation fuels | Think Tank | European Parliament \(europa.eu\)](https://www.parliament.europa.eu/think-tank/sustainable-aviation-fuels) [Pristupljeno: 20. Travanj 2022.]
- [13] Soone J. *Deployment of Alternative Fuels Infrastructure: Fit for 55 Package*. *EU Legislation in Progress*. European Parliamentary Research Service. European Union. 2021. Preuzeto s: [Deployment of alternative fuels infrastructure: Fit for 55 package | Think Tank | European Parliament \(europa.eu\)](https://www.parliament.europa.eu/think-tank/deployment-of-alternative-fuels-infrastructure) [Pristupljeno: 20. Travanj 2022.]
- [14] European Commission. *Green Airports and Ports as Hubs for Sustainable and Smart Mobility* Preuzeto s: [gdc_stakeholder_engagement_topic_05-1_green_airports_and_ports.pdf \(europa.eu\)](https://www.ec.europa.eu/transport/themes/gdc_stakeholder_engagement_topic_05-1_green_airports_and_ports.pdf) [Pristupljeno: 10. Svibanj 2022.]
- [15] Peace H, Fordham D. *Alternative Fuels as a Means to Reduce PM2.5 Emissions at Airports*. Washington, DC: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. National Academies Press 2012. Preuzeto s: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/22763/alternative-fuels-as-a-means-to-reduce-pm25-emissions-at-airports> [Pristupljeno: 4. Svibanj 2022.]
- [16] International Energy Agency. *Are Aviation Biofuels Ready for Take Off*. Preuzeto s: <https://www.iea.org/commentaries/are-aviation-biofuels-ready-for-take-off> [Pristupljeno: 4. Svibanj 2022.]
- [17] Bahar H, Abdelilah Y, Collier U, Daszkiewicz K, Le Feuvre P, Kamitara H, Rinke T. *Market Report Series: Renewables 2018*. Paris: International Energy Agency. 2018. Preuzeto s: <https://www.iea.org/reports/renewables-2018> [Pristupljeno: 4. Lipanj 2022.]
- [18] Blanco S. Orlando airport switches to biodiesel for some vehicles. *Autoblog* Preuzeto s: <https://www.autoblog.com/2006/08/16/orlando-airport-switches-to-biodiesel-for-some-vehicles/> [Pristupljeno: 15. Srpanj 2022.]
- [19] Biodiesel Magazine. Amsterdam Airport's Schiphol, KLM ground fleet runs on biodiesel. *Biodiesel Magazine*. 2011. Preuzeto s:

- <https://biodieselmagazine.com/articles/8023/amsterdam-airports-schiphol-klm-ground-fleet-runs-on-biodiesel> [Pristupljeno: 15. Srpanj 2022.]
- [20] Government Fleet. Denver Airport at ‘Sweet Spot’ for CNG Use. *Government Fleet*. 2014; 72. Preuzeto s: <https://www.government-fleet.com/126984/denver-airport-at-sweet-spot-for-cng-use> [Pristupljeno: 15. Srpanj 2022.]
- [21] Fleuti E. Cleaner, Greener Airports: Making Aviation More Sustainable – Zurich Airport. Making Aviation More Sustainable Series. 2021. *International Airport Review*. Preuzeto s: <https://www.internationalairportreview.com/article/164005/cleaner-greener-airports-aviation-sustainable-zurich-airport/> [Pristupljeno: 14. Srpanj 2022.]
- [22] Airport Technology. Sustainable Aviation Fuel Zurich. 2020. Preuzeto s: <https://www.airport-technology.com/news/sustainable-aviation-fuel-zurich/> [Pristupljeno: 15. Srpanj 2022.]
- [23] International Airport Review. *Swedavia to charge airlines based on CO2 emissions*. 2022. Preuzeto s: <https://www.internationalairportreview.com/news/177672/swedavia-to-charge-airlines-based-on-co2-emissions/> [Pristupljeno: 15. Srpanj 2022.]
- [24] INA Preuzeto s: <https://www.hak.hr/info/cijene-goriva/> [Pristupljeno: 15. Svibanj 2022.]
- [25] Hrvatska elektroprivreda Preuzeto s: <https://www.hep.hr/> [Pristupljeno: 15. Svibanj 2022.]
- [26] TLD. An Alvest Group Company. Baggage tractor JET-16. Preuzeto s: <https://www.tld-group.com/products/baggage-tractors/jet-16/> [Pristupljeno: 12. Srpanj 2022.]
- [27] JBTC. Lektro Tow Vehicles Lektro 88. Preuzeto s: <https://www.jbtc.com/aerotech/products-and-services/ground-support-equipment/lektro-tow-vehicles/lektro-88/> [Pristupljeno: 12. Srpanj 2022.]
- [28] Posicharge. E-GSE Smart Chargers Preuzeto s: <https://www.posicharge.com/airport-ground-support-equipment> [Pristupljeno: 12. Srpanj 2022.]
- [29] Pierobon M. Ground Handlers’ Green Plans. *Ground Support* 2022;30 (2); 23. Preuzeto s: [march2022 \[1\] \(nxtbook.com\)](https://www.nxtbook.com/march2022/1/) [Pristupljeno: 15. Srpanj 2022.]
- [30] Aviationpros. Airpro Invests in Electric Deicers First in the Nordics. Press Release. *Aviationpros*. 2022. Preuzeto s: <https://www.aviationpros.com/gse/deicing-anti-icing-equipment-services/press-release/21264962/vestergaard-company-inc-airpro-invests-in-electric-deicers-first-in-the-nordics> [Pristupljeno: 12. Srpanj 2022.]
- [31] Aviationpros. Ambitious Stuttgart Airport Climate Goals Include Vestergaard Green GSE. Press Release. *Aviationpros*. 2022. <https://www.aviationpros.com/gse/gse-technology/green-alternative-energy-gse/press-release/21256046/vestergaard-company-inc-ambitious-stuttgart-airport-climate-goals-include-vestergaard-green-gse> [Pristupljeno: 12. Srpanj 2022.]
- [32] Aviationpros. Trial with New Electric Ground Equipment at Schiphol. Press Release. *Aviationpros*. 2022. Preuzeto s: <https://www.aviationpros.com/gse/gpus-pcas-power-carts-accessories/press-release/21259986/royal-schiphol-group-trial-with-new-electric-ground-equipment-at-schiphol> [Pristupljeno: 12. Srpanj 2022.]

- [33] Coykendale J., Aijaz H, Shepley S. *Decarbonizing aerospace: A Roadmap for the Industry's Lower-Emissions Future*. Delloite Insights. New York: Delloite Development LLC. 2021. Preuzeto s: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/aerospace-defense/decarbonizing-aerospace.html> [Pristupljeno: 14. Svibanj 2022.]
- [34] Weissenberg P. K. *Europe's aviation sector launches ambitious plan to reach net zero CO2 emissions by 2050*. ASD. 2021. Preuzeto s: <https://asd-europe.org/europe%E2%80%99s-aviation-sector-launches-ambitious-plan-to-reach-net-zero-co2-emissions-by-2050> [Pristupljeno: 14. Srpanj 2022.]
- [35] A4E. ACI-EUROPE. ASD. CANSO. ERA. *Destination 2050. A Route to Net Zero European Aviation*. 2020. Preuzeto s: https://www.destination2050.eu/wp-content/uploads/2021/03/Destination2050_Report.pdf [Pristupljeno: 14. Srpanj 2022.]
- [36] The Advisory Council for Aviation Research and innovation in Europe (ACARE). Preuzeto s: <https://www.asd-europe.org/acare> [Pristupljeno: 14. Srpanj 2022.]
- [37] Airbus. *ZEROe. Towards the world's first zero-emission commercial aircraft*. Preuzeto s: <https://www.airbus.com/en/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe> [Pristupljeno: 6. Srpanj 2022.]
- [38] Hardingham-Gill T. *Airbus to test hydrogen-fueled engine on A380 jet*. CNN. 2022. Preuzeto s: <https://edition.cnn.com/travel/article/airbus-test-hydrogen-fueled-engines-on-a380/index.html> [Pristupljeno: 6. Srpanj 2022.]
- [39] Future Airport. *Mototok - Electric pushback – the future*. Preuzeto s: <https://www.futureairport.com/contractors/airfield-and-runway-safety/mototok/> [Pristupljeno: 6. Srpanj 2022.]
- [40] Mototok International. *Electrify your Ground Handling*. Mototok International. 2017. Preuzeto s: <https://avrogse.com/wp-content/uploads/2017/07/factsheet-spacer-en.pdf> [Pristupljeno: 6. Srpanj 2022.]
- [41] Mototok. *Electrify Your Ground Handling and Pushback Operations*. Preuzeto s: <https://www.mototok.com/> [Pristupljeno: 6. Srpanj 2022.]
- [42] ETH Zurich. *Carbon-neutral fuel made from sunlight and air*. Press Release. ETH Zurich. 2019. Preuzeto s: <https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2019/06/pr-solar-mini-refinery.html> [Pristupljeno: 6. Srpanj 2022.]
- [43] Spasić V. *Beogradski aerodrom Nikola Tesla dobio solarnu elektranu*. Balkan Green Energy News. *Obnovljivi izvori energije*. 2022. <https://balkangreenenergynews.com/rs/beogradski-aerodrom-nikola-tesla-dobio-solarnu-elektranu/> [Pristupljeno: 18. Srpanj 2022.]

POPIS SLIKA

Slika 1. Općeniti prikaz tehnološkog procesa prihvata i otpreme putničkog zrakoplova	3
Slika 2. Zrakoplov A380 i oprema za prihvata i otpremu zrakoplova sa dva zračna mosta	4
Slika 3. Općeniti prikaz tehnološkog procesa prihvata i otpreme teretnog zrakoplova	5
Slika 4. Prikaz pozicioniranja zrakoplova za priključivanje na izvor električne energije.....	7
Slika 5. Istovar prtljage pomoću mobilne tekuće trake	8
Slika 6. Prijevoz tereta pomoću ULD-a	9
Slika 7. Prijevoz prtljage do terminala	9
Slika 8. Postupak odleđivanja zrakoplova.....	11
Slika 9. Primjena biodizela kod vozila u prihvatu i otpremi zrakoplova - Zračna luka Orlando..	33
Slika 10. Punionica biodizelom u Zračnoj luci Schiphol Amsterdam.....	34
Slika 11. LPG punionica.....	35
Slika 12. CNG punionica - Zračna luka Denver.....	35
Slika 13. Solarna postaja za punjenje vozila na električni pogon - Zračna luka Orlando	36
Slika 14. SAF rezervoar - Zračna luka Zurich	37
Slika 15. Električni tegljač za prtljagu TLD JET 16 na Zračnoj luci Franjo Tuđman	45
Slika 16. Push-back LEKTRO 88 na Zračnoj luci Franjo Tuđman	46
Slika 17. Postaja za punjenje vozila električnom energijom na Zračnoj luci Franjo Tuđman	46
Slika 18. Postaja za punjenje električnom energijom <i>Follow me</i> vozila – Zračna luka Franjo Tuđman	47
Slika 19. Baltički električni autobus - Zračna luka Vilnius.....	48
Slika 20. Odleđivač Elephant e-BETA u zračnoj luci Helsinki	48
Slika 21. Odleđivač Elephant e-BETA u Zračnoj luci u Stuttgartu	49
Slika 22. 7400 e-GPU u Zračnoj luci Schiphol Amsterdam	50
Slika 23. Tri koncepta ZERO-e - Airbus.....	56
Slika 24. Mototok Spacer 8600	57

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tipovi i funkcije vozila za prihvat/otpremu i održavanje zrakoplova i zračne luke.....	15
Tablica 2. Vozila/oprema za prihvat i otpremu zrakoplova i pogonska goriva	18
Tablica 3. Vrste alternativnih goriva.....	21
Tablica 4. Kvalitativna usporedba alternativnih goriva kod putničkih vozila, kamioneta i autobusa	28
Tablica 5. Lista vozila i opreme za prihvat i otpremu zrakoplova predloženih za zamjenu pogonskog goriva.....	39
Tablica 6. Cijena goriva i količine emisije CO ₂	40
Tablica 7. Ekonomski učinci zamjene goriva kod prihvata i otpreme zrakoplova Airbus A319/A320 - tradicionalni model zračnog prijevoza.....	41
Tablica 8. Ekonomski učinci zamjene goriva kod prihvata i otpreme zrakoplova Airbus A319/A320 - niskotarifni model zračnog prijevoza	42
Tablica 9. Ekološki učinci zamjene goriva kod prihvata i otpreme zrakoplova Airbus A319/A320 - tradicionalni model zračnog prijevoza.....	43
Tablica 10. Ekološki učinci zamjene goriva kod prihvata i otpreme zrakoplova Airbus A319/A320 - niskotarifni model zračnog prijevoza	44
Tablica 11. Ciljevi sektora zračnog prijevoza vezano uz zrakoplove i pogonske sustave (2030. - 2050.)	54
Tablica 12. Ciljevi sektora zračnog prijevoza vezani uz energetski sustav (2030. - 2050.)	55

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

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

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom PRIMJENA VOZILA NA ALTERNATIVNO GORIVO U PROCESU PRIHVATA I OTPREME ZRAKOPLOVA, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 9.9.2022.

Maida Čizmić, Maida Čizmić
(ime i prezime, potpis)