



DOI: <https://doi.org/10.5592/CO/ZT.2021.13>

IDENTIFICIRANJE PROMJENA U ARHITEKTONSKOME PROJEKTIRANJU I URBANIZMU UZROKOVANIH ELEKTRIČNIM AVIONIMA

IDENTIFICATION OF CHANGES IN ARCHITECTURAL DESIGN AND URBANISM CAUSED BY ELECTRIC PLANES

Samantha Pavić

(1) Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Matice hrvatske 15, Split, R. Hrvatska, spavic@gradst.hr

Sažetak

Tehnološki napredak avionske industrije i prateća promjena pogonske i tehnološke paradigme, to jest prijelaz na električne letjelice, neminovno će dovesti i do ključnih promjena u arhitekturi, prvenstveno u aspektu pristupa projektiranju aerodroma i redefiniciji za to relevantnih projektantskih parametra, ali i dalje, u načinu mišljenja i funkcioniranja samoga grada. Naime, promjena avionske tehnologije i paradigme prometa nužno će polučiti promjene u cjelokupnoj prometnoj infrastrukturi i načinu prometovanja u gradu, a time i u načinu projektiranja i promišljanja te arhitekture i urbanizma grada. U istraživanju koriste se Le Corbusierove metode analize zrakoplova koje se primjenjuju na dva tipa električnih letjelica: eVTOL i električni avion. Cilj rada jest naglasiti važnost odnosa između promjene u tehnologiji pogona aviona i arhitektonskoga projektiranja te istražiti kako će se razvoj električne letjelice reflektirati ne samo na koncept i projektiranje aerodroma nego i na cjelokupnu budućnost prometne organizacije i funkcioniranja grada.

Ključne riječi: električni avion, eVTOL, arhitektonsko projektiranje, urbanizam

Abstract

Technological advancement of the aircraft industry followed by the development of electric propulsion and technological paradigm towards the transition to electric aircraft will inevitably lead to key changes in architecture, primarily in terms of approach to airport design and redefinition of relevant design parameters, but also in the way of redefining the city and its functioning. Therefore, the advancement of aircraft technology and the transportation paradigm will result in shifts within the transportation infrastructure and significant updates regarding the traffic in the city. Overall the changes will lead to the redefinition of the design approach applied to the city and its urbanism. Le Corbusier's aircraft analyses are used in the research as study methods and are applied to two types of electric aircraft: eVTOL and electric airplanes. This paper aims to emphasize the importance of the relationship between changes in aircraft propulsion technology and architectural design. In addition, the goal is to explore how the development of electric aircraft will reflect not only on the concept and design of the airport but also on the overall future of transport organization and city functioning.

Keywords: electrical airplane, eVTOL, architecture, urbanism

1. Uvod

U razdoblju od 1920. do 1935. godine Le Corbusier temelji svoj teorijski rad upravo na zapažanju promjena i redefiniciji arhitekture gledajući kroz prizmu napretka tehnologije. Njegove analize izuma koriste se kao model u svrhu sagledavanja dalekosežnosti posljedica promjene paradigme u avionskoj industriji u pogledu projektiranja aerodroma, a i cjelokupnoga grada, u smislu promijenjene prometne infrastrukture i načina prometovanja u gradu. Svoju temeljnu misao *Eyes which do not see* [1] Le Corbusier različito definira kroz prizmu analiziranja i povezivanja triju transportnih izuma (brod, avion, automobil) s arhitekturom te donosi zaključke o definiranju standarda u odnosu na modernu arhitekturu i njezinu definiciju. Uvidjevši promjene u urbanizmu uzrokovane transportnim izumima, Le Corbusier analogno postavlja arhitektonsku analizu kriterija projektiranja i detektira urbanističke promjene. Stoga se njegove metode komparacije i analize primjenjuju za identifikaciju i vrjednovanje arhitektonsko-urbanističkih kriterija uzrokovanih napretkom tehnologije električnih aviona.

1.1. Brod

Izum broda Le Corbusier uspoređuje s kućom, gdje brod, osim što je prijevozno sredstvo, ima jedinstvo u materijalnosti i grupirane konstrukcijske elemente. Kao rezultat, brod ima lakšu konstrukciju, lišen je pojma stilova, s bitno većim otvorima i upadom prirodnoga svjetla [1]. Metodom komparacije broda i kuće Le Corbusier dolazi do zaključka o jednostavnosti postavke broda te detektira kvalitetnije stupnjeve performansi broda u odnosu na kuću (svjetlost, prirodni materijali, ventilacija). Iz Le Corbusierove studije broda zaključuje se kako brod nije samo izum koji funkcionira u svrhu prijevoza, nego je tvornički produkt s testiranim performansama koje bi trebalo implementirati u arhitektonsko projektiranje radi postizanja kvalitete življenja u prostoru. Ključni metodološki kriteriji su: jednostavnost postavki, vrjednovanje performansi, efektivna materijalnost i održivost.

1.2. Avion

U aspektu arhitekture lekciju o avionu Le Corbusier temelji na učinkovitosti definiranja problema i pronalasku rješenja [1]. Kada je riječ o avionu, definicija problema po Le Corbusieru nije bila u rješavanju propulzije avionskoga motora, nego u pretpostavci kako će u manje od deset godina cijeli svijet letjeti [1]. Avion je prijevozno sredstvo ljudi, robe, ali istovremeno Le Corbusier naglašava kako ljudi njegova vremena nisu mogli pojmiti vlastite povlastice koje su postignute komercijalizacijom zračnih linija. Smatra kako u arhitekturi problem nije jasno definiran, stoga on navodi smjernice s kojima bi, logikom pristupa avionu, definirao standardizaciju projektiranja koja je lišena nepotrebnih karakteristika radi funkcionalnosti.

Kroz urbanističku perspektivu avion za Le Corbusiera otvara novi standard mjerenja te mogućnost sagledavanja i analize pogrešaka u projektiranju kao i mogućnost budućega planiranja uzimajući u obzir zračnu perspektivu. U ovoj lekciji Le Corbusier zaključuje kako pojedina gradska naselja moraju biti srušena te novi gradovi moraju biti izgrađeni uvažavajući kriterije i greške koje omogućuje *doba zrakoplova*, odnosno vožnja avionom [2]. Le Corbusier smatra kako je čovječanstvo gradilo gradove temeljene na stvaranju novca i zaradi, zanemarujući kvalitetu življenja i principe urbanizma te naglašavajući omjer zelenih površina u odnosu na izgrađenost grada [2]. Ključni metodološki kriteriji su: nova percepcija, redefinicija urbanizma i arhitektonskoga projektiranja.

1.3. Automobil

Le Corbusier definira automobil kao objekt s jednostavnom funkcijom (putovanje) i kompliciranim ciljevima (komfor, otpornost, pojavnost), što je dovelo industriju do apsolutne potrebe za standardizacijom [1]. Standardizacija je, stoga, evoluirala s dva različita cilja: brzina i komfor. U oba slučaja Le Corbusier navodi kako to nije u svezi s antičkom sporom kočijom, odnosno smatra kako izum otvara nove mogućnosti te je potrebna prilagodba. Prema Le Corbusieru *standard je stvar logike, analize i precizne studije: baziran na problemu koji je jasno definiran. Standard je definitivno temeljen na eksperimentu* [1]. Le Corbusier stoga jasno koncipira standardizaciju kao ključan čimbenik za automobil, temeljen na analizi i eksperimentu, te odlazi korak dalje uvođenjem razine perfekcije. U ovome pojmu jasno daje do znanja kako je prvo potrebno postaviti standard kako bi se postigla razina savršenstva, koja je dohvatljiva ako je problem jasno definiran [1]. Stoga je i arhitektura vođena standardizacijom. Ekstrahiraju se metodološke faze: definicija problema, analiza, eksperiment, standardizacija, perfekcija (razina komfora i brzine).

2. Primjena metodologije i identifikacija promjena u odnosu na električnu letjelicu

Brod: (metodološki kriterij)

1. jednostavnost postavki
2. vrjednovanje performansi
3. efektivna materijalnost i održivost.

Avion: (metodološki kriterij)

1. nova percepcija
2. redefinicija urbanizma i arhitektonskoga projektiranja.

Automobil: (metodološke faze)

1. definicija problema
2. analiza
3. eksperiment
4. standardizacija
5. perfekcija (razina komfora i brzine).

Za analizu električne letjelice uzimaju se eVTOL i električni zrakoplov s četiri inačice: suvremeni električni avion, hibridni modeli i budući model. Hibridni su modeli u konceptualnome i prototipnome razvoju. Osim kombinacije goriva i električne propulzije, druga vrsta hibridnoga modela odnosi se na kombinaciju motora na hidrogenski pogon i električnu energiju. Iako je model u potpunosti električan, suvremene baterije zasada nisu kapaciteta pohrane kako bi se budući model mogao primjereno analizirati [3]. Prema podacima iz Tablice 1 može se zaključiti kako je tranzicijska faza s hibridnoga na autonomni električni avion neminovna do 2035. godine, ali se mogu predvidjeti i relacije u odnosu na arhitektonsko projektiranje, redukciju plinova, CO₂, kao i potreba za elektranama, hidrogenskim hubovima i sl. U Tablici 1 prikazane su osnovne informacije električnih letjelica. Prema NASA-inu istraživanju redukcija štetnih plinova za STARC-ABL iznosi 10 %, *Boeing Sugar Volt* – 43,6 % (prosječno, ako se koriste obnovljivi izvori energije za punjenje baterije, redukcija iznosi – 58,9 %), dok redukcija za *Airbusov ZeroE* iznosi 100 % [11]. Razdoblje 2035. smatra se vremenom evolucije električnih aviona, dok se vrijeme nakon 2035. godine smatra revolucionarnim za budućnost avionske industrije [12].

Tablica 1. Usporedba eVTOL-a i električnih aviona

Tip letjelice	Baterija, motor, punjenje	Broj putnika	Maksimalna distanca (domet)	Brzina	Prvi let (godina)
eVTOL [4] (Lilium) [5]	36 x 320 kW Lithium-ion baterija, 80 % u 15 min 100% u 30 min	6 + 1 (pilot)	280 km	300 km/s	2025.
Električni avion Alice (Eviation) [6]	2 x 640 kW magniX 650 motor, 1 sat leta = 30 min punjenja	9 + 2 (piloti)	814 km	407 km/s	2023.
NASA STARC- ABL [7]	2 x Turbofan i generatori + električna propulzija na stražnjem motoru	154 putnika	14,310 km (Boeing 747)	0,8 Mach = 987 km/s	2035.
Hibridni model Boeing Sugar Volt [8]	2 x Turbofan + baterija električna energija održava motor prilikom letenja	150 putnika	6482 km 1666 km na bateriji	0,7 Mach = 864 km/s	2035.
Hibridni Airbus ZeroE turbofan [9]	2 x hidrogen Turbofan + hidrogen ćelija proizvodi električnu energiju	120-200 putnika	3704 + km	0,78 Mach = 963 km	2035.
Električni avion budućnosti [10]	Električna baterija	150 putnika	537 km	-	2035. – 2050.

2.1. eVTOL (electric vertical takeoff and landing)

Identifikacija promjena na temelju metodoloških kriterija:

1. projektiranje i osmišljavanje prostora u odnosu na tehnike punjenja baterije
2. identifikacija tehnika proizvodnje električne energije za snabdijevanje eVTOL-a
3. korištenje obnovljivih izvora energije
4. predviđanje adekvatnih prostora u gradu kao što su uzletno-sletni punktovi
5. zaštita od buke i redefinicija urbanističkih pravila za neposredne blizine vertiportova
6. definicija standarda postavljanja vertiportova u odnosu na jezgru grada, tipologiju naselja (stambeno naselje u odnosu na poslovni dio grada, povijesnu jezgru, rekreacijsku zonu i sl.)
7. redefinicija pročelja novih i postojećih objekata u odnosu na vertiportove u aspektu zaštite od buke i mogućnosti proizvodnje energije kroz održivi fasadni sustav
8. optimizacija korištenja cestovne infrastrukture i sagledavanje parametara prilagodbe s izvorima električne energije
9. omogućavanje više uzletno-sletnih mjesta u gradu
10. fokus na lokalni promet s manjim brojem putnika
11. promišljanje o postojećoj infrastrukturi i njezinim kapacitetima kao potencijalnim parkirnim zonama eVTOL-a, privremenom skladištenju i mjestu napajanja eVTOL-a
12. ukidanje manjih aerodroma implementacijom eVTOL sustava
13. predviđanje i osmišljavanje načina punjenja vertiportova kroz postojeću arhitekturu i buduće planiranje.

Primjer metodološkoga ispitivanja za eVTOL u odnosu na arhitekturu i urbanizam:

1. definicija problema (udaljenost, broj putnika, punjenje, buka u odnosu na grad)
2. analiza (predviđanje lokacija za postavljanje vertiportova)
3. eksperiment (anketa i analiza podataka o vertiportu, *case study* implementacija infrastrukture u gradu, odnosno u određene tipologije naselja)
4. standardizacija (redefinirati infrastrukturne potrebe, uvesti novu infrastrukturu)
5. perfekcija / razina komfora i brzine [reduciran broj putnika, *custom-made* putovanja, emisija plinova snižena u potpunosti, brzina putovanja (ista ili brža od sadašnjega standarda)]

/ manje gužve na aerodromima, zdrav okoliš, reorganizacija lokalnoga prometa, oslobađanje postojeće infrastrukture grada, predviđanje lokacija parkinga aviona i mjesta za punjenje u sklopu vertiporta].

2.2. Zrakoplov s električnim motorom

U usporedbi sa zapaženim promjenama arhitektonskih parametara eVTOL-a, kod električnoga zrakoplova zadržava se ključan infrastrukturni element, uzletno-sletna staza. Međutim, neminovna je supstitucija aerodromskih punktova za uzimanje goriva te popratnih spremnika goriva s izgradnjom sustava i infrastrukture za opskrbu električnom energijom, hidrogenskim hubovima i adekvatnim sustavima napajanja električnom energijom i vodikom. Prema *Airbusovu* istraživanju vodik za istu količinu energije ima samo 1/3 težine kerozina, ali je u izoliranim uvjetima volumenski četiri puta veći u usporedbi s kerozinom [13], što daje jasnu smjernicu za dizajniranje avionskoga spremnika vodika kao i za odgovarajuću infrastrukturu na aerodromu.

Identifikacija promjena na temelju metodoloških kriterija:

1. istražiti važnost izgradnje elektrana za napajanje električnih aviona u neposrednoj blizini aerodroma
2. međuovisnost elektrane i napajanja električnih aviona
3. predviđanje hidrogenskih hubova – koncept spremnika i adekvatno punjenje [14]
4. predviđanje dodatnoga prostora za ciklus punjenja baterije (na temelju primjera električnoga aviona *Alice*, za 30 minuta leta potrebno je 30 minuta punjenja)
5. redefinicija lokalnoga i međunarodnoga prometa u odnosu na kapacitet zrakoplova (broj putnika, maksimalan broj sati leta)
6. organizacija i preusmjeravanje lokalnoga prometa na eVTOL sustav
7. redukcija broja postojećih aerodroma u aspektu režima korištenja po načelu udaljenosti, kapacitetu trajanja leta i maksimalnoga broja putnika
8. broj putnika – isti kao i kod suvremenoga aviona (krajnji cilj standardizacije i komercijalizacije)
9. redukcija štetnih plinova (CO₂) / održivost.

Primjer metodološkoga ispitivanja za električni avion u odnosu na arhitekturu i urbanizam:

1. definicija problema (baterija aviona i dalje nije u potpunosti električna / potrebne su razne kombinacije izvora napajanja za fazu evolucije)
2. analiza (postojeće aerodromske infrastrukture u odnosu na promjenu aviona – hibridni i električni avion)
3. eksperiment (anketa i analiza podataka, *case study* implementacija infrastrukture na terminalu, npr. hidrogenski hub)
4. standardizacija (u prvoj fazi optimizirati kriterije punjenja te detektirati infrastrukturne promjene za hibridni električni model aviona)
5. perfekcija / razina komfora i brzine [optimalan broj putnika, emisija plinova svedena na minimum, brzina putovanja (ista ili brža od sadašnjega standarda) / manje gužve na aerodromima, održiv okoliš].

3. Zaključak

Pregled tehnoloških aspekata novih električnih letjelica i njihovih posljedica za prostor i nužnu infrastrukturu ključan je za sagledavanje nužnosti funkcioniranja odnosno mogućnosti implementacije sustava električnih aviona.

Novo prometovanje imaće potencijalne reperkusije na grad, novu arhitekturu i režim korištenja urbane infrastrukture. Pri tome može se pretpostaviti kako će doći do novih oblika

nove arhitekture ili kombinacije elemenata koje će arhitektura kao takva sadržavati da bi služila kao uzletno-sletna pista i/ili kanal za daljnje uključivanje u gradski promet.

Prema NASA-inu istraživanju eVTOL će trebati novu infrastrukturu kao i sustav funkcioniranja, dok će električni avioni koristiti postojeću infrastrukturu aerodroma. Neupitno je kako će eVTOL dovesti do kompletne promjene oblikovne paradigme nove arhitekture koja se naslućuje prema analiziranim podacima za letjelice poput eVTOL-a i *Alice*, kao i činjenice kako je implementacija sustava vertiportova predviđena za 2025. godinu. Premda će električni avion koristiti postojeću infrastrukturu, neminovno je pitanje reorganizacije korištenja postojeće infrastrukture u aspektu redukcije izgrađenosti i budućega razvoja samoga koncepta nadogradnje aerodroma kao i razvoja novih aerodroma. Također, ključan je cilj i minimiziranje emisije štetnih plinova, što se analizom utvrđenih podataka utvrđuje kao element globalne održive budućnosti. Očekivana je potreba prilagodbe tehnologije električnih letjelica i mogućnosti slijetanja i polijetanja, ali fokus daljnjega istraživanja jest zapažanje na koje će eventualne načine to promijeniti cjelokupnu arhitekturu i grad.

Literatura

- [1] Le Corbusier, *Towards New Architecture*, prvo Dover izdanje, Dover Publications Inc, 1986.
- [2] Le Corbusier, *Aircraft*, prvo izdanje, Trefoil Publications Ltd, 1935.
- [3] Insider, <https://www.businessinsider.com/electric-planes-future-of-aviation-problems-regulations-2020-3>, 05.07.2021.
- [4] Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/EVTOL>, pristupljeno: 01.06.2021.
- [5] Liliium, <https://liliium.com/jet>, pristupljeno: 03.03.2021.
- [6] Eviation, <https://www.eviation.co/aircraft/#Alice-Specifications>, pristupljeno: 03.03.2021.
- [7] NASA STARC-ABL, <https://ntrs.nasa.gov/citations/20170012222> , <https://ntrs.nasa.gov/citations/20170005612> pristupljeno: 09.07.2021.
- [8] Boeing Sugar Volt, <https://newatlas.com/boeing-sugar-volt-hybrid-aircraft/15915/>, pristupljeno: 09.07.2021.
- [9] Airbus Zero E, <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe.html#hydrogen>, <https://www.electrive.com/2020/09/21/airbus-is-planning-h2-commercial-aircraft/>, <https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2020/10/hydrogen-fuel-cell-cross-industry-collaboration-potential-for-aviation.html>, <https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2021/01/hydrogen-most-promising-zero-emission-technology.html>, pristupljeno: 07.07.2021.
- [10] IATA, <https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/technology20roadmap20to20205020no20foreword.pdf>, pristupljeno: 07.07.2021.
- [11] NASA Electric Propulsion System Studies, <https://ntrs.nasa.gov/citations/20160009274>, pristupljeno: 05.07.2021.
- [12] IATA, <https://www.iata.org/contentassets/8d19e716636a47c184e7221c77563c93/technology20roadmap20to20205020no20foreword.pdf>, 12.07.2021.
- [13] Airbus zeroE, <https://www.airbus.com/innovation/zero-emission/hydrogen/zeroe.html>, 13.07.2021.
- [14] Hidrogen hubovi, <https://www.airbus.com/newsroom/news/en/2021/06/tomorrow-airports-future-energy-ecosystems.html>, pristupljeno: 08.07.2021.