

Razvoj eksperimentalnog dizajna letjelica

Peraić, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:920014>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-01**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Josip Peraić

**RAZVOJ EKSPERIMENTALNOG DIZAJNA
LETJELICA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**RAZVOJ EKSPERIMENTALNOG DIZAJNA LETJELICA
DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL AIRCRAFT DESIGN**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Andrija Vidović

Student: Josip Peraić

JMBAG: 0135227489

Zagreb, rujan 2017.

RAZVOJ EKSPERIMENTALNOG DIZAJNA LETJELICA

SAŽETAK

Eksperimentalne letjelice su letjelice na kojima se vrše testiranja i istraživanja u svrhu poboljšanja nedostataka i razvoja dizajna zrakoplova. Na temelju istraživanja usvajaju se nova rješenja i zaključci koji su od velike koristi za razvijanje zrakoplovstva. Svaka eksperimentalna letjelica se razlikuje po konstrukcijskim značajkama. Razvoj eksperimentalnih ekološki prihvatljivih zrakoplova s fiksnim krilom buduće generacije te zrakoplova s vertikalnim polijetanjem i slijetanjem je sve veći zbog ubrzanog rasta u međunarodnom zračnom prometu i sve veće potražnje za ekološki prihvatljivim zrakoplovima.

KLJUČNE RIJEČI: eksperimentalne letjelice; istraživanja; konstrukcijske značajke; vertikalno polijetanje i slijetanje

SUMMARY

Experimental aircraft are the subject of testing and research to improve the deficiencies and development of aircraft design. New solutions and conclusions are adopted based on researches, which are of great benefit for the development of aviation. Each experimental aircraft is distinguished by its constructional features. The development of experimental environmentally friendly aircraft with a fixed wing and future generations aircraft with vertical takeoff and landing is increasing due to the rapid growth in international air traffic and the increasing demand for environmentally friendly aircraft.

KEY WORDS: experimental aircraft; research; construction characteristics; vertical take-off and landing

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. KONCEPCIJE EKSPERIMENTALNIH LETJELICA..... | 2 |
| 2.1. VTOL letjelice..... | 4 |
| 2.1.1. Helikopteri | 5 |
| 2.1.2. Konvertiplan | 6 |
| 2.1.3. Mlazni pogon na kracima rotora | 12 |
| 2.2. Zrakoplovi s eksperimentalnim oblicima krila i trupa | 13 |
| 2.2.1. Leteće krilo | 14 |
| 2.2.2. BWB dizajn zrakoplova | 16 |
| 3. NOVI RAZVOJNI PROGRAMI EKSPERIMENTALNIH LETJELICA..... | 18 |
| 3.1. AAVP program | 18 |
| 3.1.1. RVLT projekt | 18 |
| 3.1.2. Projekt komercijalne nadzvučne tehnologije (Commercial Supersonic Technology - CST) | 20 |
| 3.1.3. Projekt napredne tehnologije zračnog transporta (Advanced Air Transport Technology Project - AATT)..... | 21 |
| 3.1.4. Projekt naprednih kompozita (Advanced Composites Project – AC) | 21 |
| 3.2. Airlander 10..... | 22 |
| 4. MOGUĆNOST PRIMJENE EKSPERIMENTALNIH LETJELICA..... | 26 |
| 4.1. Vojne svrhe..... | 26 |
| 4.2. Civilne svrhe | 28 |
| 5. ZAKLJUČAK..... | 32 |
| Popis literature | 33 |
| Popis slika | 35 |
| Popis tablica | 36 |

1. UVOD

Istraživanja koja se provode na eksperimentalnim letjelicama igraju važnu ulogu u zrakoplovstvu stvarajući potencijalne promjene u inovaciji i razvoju novih tehnologija. Nove tehnologije dobivene istraživanjima poboljšavaju učinkovitost, sigurnost zrakoplova i općenito omogućavaju sigurnije odvijanje zračnog prometa.

Ekološki prihvatljivi zrakoplovi s fiksnim krilima buduće generacije te zrakoplovi s vertikalnim polijetanjem jedan su od smjerova kojim bi trebao ići daljnji razvoj dizajna letjelica.

Cilj ovog završnog rada je definirati pojam eksperimentalnih letjelica i prikazati u kojem smjeru ide njihov razvoj, dati primjer recentnih programa koji se bave razvojem eksperimentalnih letjelica i mogućih namjena eksperimentalnih letjelica.

Završni rad se sastoji od pet poglavlja, kako slijedi:

1. Uvod
2. Konceptije eksperimentalnih letjelica
3. Novi razvojni programi eksperimentalnih letjelica
4. Mogućnost primjene eksperimentalnih letjelica
5. Zaključak

Nakon početnog uvodnog dijela u kojem su definirani predmet istraživanja i cilj istraživanja, u drugom poglavlju je objašnjen pojam konvencionalnih zrakoplova i eksperimentalnih letjelica. Nadalje, u poglavlju je ukazano na specifičnosti eksperimentalnog dizajna na primjeru nekoliko koncepcija eksperimentalnih letjelica.

U trećem poglavlju su opisana dva programa razvoja novih eksperimentalnih letjelica. Prvi opisuje američki program za razvoj naprednih eksperimentalnih zrakoplova s ciljem dolaska do novih spoznaja u zrakoplovstvu. Drugi program se odnosi na razvijanje najveće letjelice na svijetu, hibrida između helikoptera i aviona.

U četvrtom poglavlju su opisane mogućnosti buduće primjene i svrhe nekih eksperimentalnih letjelica u vojnom i civilnom zrakoplovstvu.

U zaključnom dijelu se iznosi cjelokupna sinteza završnog rada prema naprijed nabrojanim poglavljima.

2. KONCEPCIJE EKSPERIMENTALNIH LETJELICA

Sve letjelice dijele se u dvije osnovne skupine: svemirske letjelice, letjelice što lete unutar Zemljine atmosfere. Kako je u osnovi medij Zemljine atmosfere zrak, potonja skupina letjelica se naziva zrakoplovima¹.

Pojam zrakoplova obuhvaća sve letjelice koje imaju svojstva letjeti ili ploviti u plinovitom mediju koji se naziva zrak. Razmatrajući općenito, zrakoplov (aircraft) je sredstvo konstruirano tako da se održava u atmosferi iznad Zemljine površine. Dakle, zrakoplov je svaka naprava (ili stroj) koja je u stanju da se svojim vlastitim pogonom samostalno održava u zraku, lebdi ili leti². Prema Zakonu o zračnom prometu Republike Hrvatske, definicija zrakoplova glasi: „Zrakoplov je svaka naprava koja se održava u atmosferi zbog reakcije zraka, osim reakcije zraka u odnosu na Zemljinu površinu“.

Prema potrebnoj duljini staze za uzlijetanje i slijetanje, zrakoplovi komercijalne namjene dijele se na zrakoplove za³:

1. CTOL (Conventional Take Off and Landing) aerodrome, tj. aerodrome za konvencionalno odnosno uobičajno polijetanje i slijetanje; duljina USS je 1800 m i više
2. RTOL (Reduced Take Off and Landing) aerodrome, tj. aerodrome za reducirano polijetanje i slijetanje; duljina USS je oko 1200m
3. STOL (Short Take Off and Landing) aerodrome, tj. aerodrome za kratko polijetanje i slijetanje; duljina USS je do 900 m
4. VTOL (Vertical Take Off and Landing) aerodrome, tj. aerodrome za polijetanje i slijetanje s ultrakratkom USS.

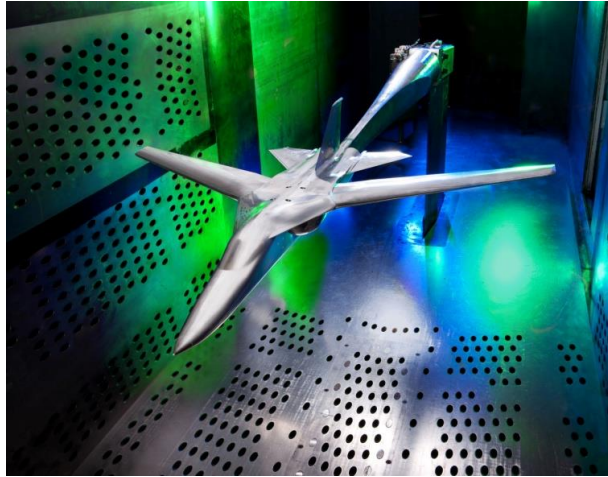
Eksperimentalne letjelice su letjelice čija je osnovna primjena provođenje istraživanja i testiranja s ciljem donošenja novih spoznaja u aeronautici. Na temelju provedenih testova usvajaju se rješenja i zaključci kako bi se poboljšali nedostaci.

Aeronautička istraživanja (slika 1) igraju važnu ulogu u zrakoplovstvu stvarajući potencijalne promjene u inovaciji i razvoju. Dobiveni alati i tehnologije povećavaju kapacitet te poboljšavaju učinkovitost, sigurnost te okolišnu kompatibilnost zrakoplovnog transportnog sustava neke zemlje.

¹ Steiner, S., Vidović, A., Bajor, I., Pita, O., Štimac, I.: *Zrakoplovna prijevozna sredstva*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008., str. 9.

² Ibid.

³ Radačić, Ž., Suić, I., Škurla Babić, R.: *Tehnologija zračnog prometa I*; Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008., str. 51.



Slika 1. Istraživanja u zračnom tunelu

Izvor: URL:<http://www.aeronautics.nasa.gov/aavp/images/process-improvement-gallery2.jpg> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

Istraživački i eksperimentalni znanstveni zrakoplovi mogu se graditi⁴:

- prema vlastitom projektu, crtežima i proračunima, uz korištenje sirovog materijala, poluproizvoda, uređaja i opreme te dijelova postojećih zrakoplova,
- izmjenama postojećih zrakoplova prema vlastitom projektu, crtežima i proračunima.

Tijekom gradnje eksperimentalnih zrakoplova u njih se mogu ugraditi certificirani dijelovi zrakoplova, uređaja i opreme bez obzira na to da li su ono novi ili već korišteni, te da li imaju propisanu potvrdu o otpuštanju i uporabu. U zrakoplov se mogu ugraditi i necertificirani zrakoplovni dijelovi, uređaji i oprema te druga oprema po potrebi prilagođena uporabi na zrakoplovu. Za te komponente koje nisu certificirane potrebno je dokazati prikladnost za namjernu uporabu⁵.

U svrhu izdavanja Dopuštenja za letenje eksperimentalnom zrakoplovu potrebno je obaviti ispitivanja čvrstoće, položaja težišta, te ispitivanja na tlu. Ispitivanjima se mora dokazati sukladnost zrakoplova sa primjenjivim zahtjevima za plovidbenost. Program ispitivanja mora izraditi ili ovjeriti ovlaštena organizacija ili zrakoplovni stručnjak, a voditelj gradnje zrakoplova podnosi ga nadležnoj agenciji na prihvaćanje⁶.

Prototip je primjerak predserijske letjelice namijenjen za ispitivanja i testiranja tijekom kojih se na temelju dobivenih rezultata vrše modifikacije. Nakon što rezultati testiranja prototipa budu zadovoljavajući, može se pristupiti proizvodnji.

Neposredno prije serijske proizvodnje, regulatorne procedure koje se primjenjuju prilikom testiranja moraju biti u skladu sa svim specifikacijama zrakoplova. Prije same

⁴ Pravilnik o projektiranju, prihvaćanju, gradnji i održavanju zrakoplova koji nisu u nadležnosti europske agencije za sigurnost zračnog prometa (EASA), NN 40/2012.

⁵ Ibid.

⁶ Ibid.

proizvodnje se moraju zadovoljiti tri glavne stavke: testiranje zrakoplova na tlu, testiranje zrakoplova u letu i testiranje komponenti koje su integrirane u strukturu aviona.

Danas postoji veliki broj zaljubljenika u zrakoplovstvo koji sami izrađuju letjelice u svojim kućama. Letjelice kućne izrade se izrađuju pojedinačno i u Sjedinjenim Američkim Državama. Kalifornijski inovator Burt Rutan je proizveo neobičnu laku letjelicu od fibreglassa (Slika 2.) koju kupac (u većini slučaja amater) sam sastavlja kod svoje kuće. Takve letjelice su certificirane od federalne agencije za zrakoplovnu administraciju (Federal Aviation Administration - FAA) kao amaterska eksperimentalna letjelica⁷.



Slika 2. Letjelica kućne izrade Rutan VariEze

Izvor:URL: http://www.aviastar.org/air/usa/rutan_varieze.php (pristupljeno: lipanj 2016.)

Da bi se dobio certifikat o plovidbenosti letjelice kućne izrade (engl. Airworthiness Certification for Amateur-Built Aircraft) mora se dokazati da je više od pedeset posto letjelice proizvedeno i sastavljeno od individualca ili od grupe individualaca i da projekt služi samo za edukacijske i rekreacijske svrhe⁸.

2.1. VTOL letjelice

U proteklih 60 godina s razvojem vertikalnog polijetanja i slijetanja poglavito kod helikoptera se doprinijelo manevriranju u svima mogućim smjerovima, kao što je lebdjenje iznad površine, slijetanje na bilo kakvu ravnu podlogu, a najviše prilikom primjena u vojne svrhe.

Zrakoplovi za okomito polijetanje i slijetanje (VTOL), a u koje prema nekim klasifikacijama pripadaju i helikopteri, za sada se zbog svojih nepovoljnih ekonomskih učinaka ne primjenjuju mnogo u civilnom zrakoplovstvu. Zbog svoje cijene i operativnih

⁷ URL:http://www.faa.gov/aircraft/gen_av/ultralights/amateur_built (pristupljeno: kolovoz 2016.)

⁸ URL:http://www.faa.gov/aircraft/gen_av/ultralights/amateur_built/aw (pristupljeno: kolovoz 2016.)

troškova helikopter se može koristiti samo onda kad ni jedan drugi način prijevoza nije moguć.

Vojska je prva prepoznala tehničko-tehnološke karakteristike VTOL zrakoplova, jer ako bi neprijatelj uništio USS-e u zrakoplovnim bazama, jedino bi VTOL zrakoplovi mogli polijetati i djelovati. Do danas se operativno koristilo nekoliko dozvučnih VTOL konstrukcija kao što su Harrier i Yak-36.

Još jedan nedostatak helikoptera je relativno mala brzina i taj nedostatak se pokušava riješiti konvertiplanom. Zrakoplovom koji može letjeti kao avion s fiksnim krilima, a polijetjeti i sletjeti kao helikopter. U horizontalnom letu se koristi čvrstim krilima, a za vrijeme okomitog polijetanj i slijetanja se koristi rotorima kao helikopter, kanaliziranim propelerima, uzgonskim ventilatorima ili usmjerivanim zračnim mlazom.

Za razliku od konvencionalnog zrakoplova, nekonvencionalni (VTOL) zrakoplovi svojim značajkama reduciraju potrebnu dužinu uzletno-sletne staze, ili je potpuno eliminiraju, pri čemu se razlikuju zrakoplovi tipa žirokopter i helikopter, za vertikalno polijetanje i slijetanje djelovanjem sile potiska vertikalno, te zrakoplove s promjenjivim smjerom djelovanja sile potiska.

2.1.1. Helikopteri

Helikopter je najstarija koncepcija VTOL zrakoplova i on je od svih VTOL zrakoplova najsvestraniji. Može letjeti i unatrag i bočno, te lebdjeti na određenom mjestu duži period. Ostali VTOL zrakoplovi lebdenje koriste samo kao prijelazni režim leta i primjenjuju ga samo pri polijetanju i slijetanju.

Specifičnost helikoptera je u tome, što mu glavni rotor uz uzgonsku, ostvaruje i vučnu silu, a obavlja također i funkciju kormila visine i komandu nagiba, te tako osigurava stabilnost. Zbog toga je rotor helikoptera jedan od najsloženijih sklopova.

Glavna prednost helikoptera je njegova sposobnost da uzlet s mjesta, a pristajanje na zemlju ostvaruje se bez progresivne brzine i velikom točnošću. Ako ne može sletjeti, helikopter se može zaustaviti na nekoliko centimetara od tla i lebdjeti, te tako omogućiti posadi da iskrca ili ukrca teret, ljudstvu da se ukrca ili iskrca, zatim ponovno poletjeti.

Nedostaci helikoptera⁹:

- Relativno visok stupanj mehaničke složenosti i povećanih zahtjeva u održavanju.
- Mnogobrojni dijelovi u rotaciji dovode do vibracija i bučnosti (postoji razmak između centra elastičnosti i hvatišta rezultirajućeg uzgona).
- Neproporcionalan odnos doleta i nosivosti.
- Relativno mala putna brzina (oko 350 km/h) ograničena samim rotorom. Lopatice rotora pri povećanju brzine dolaze u područje nadzvučnog strujanja (stlačivanje zraka)

⁹ Jurešić, I.: *Performanse modela nekonvencionalnog zrakoplova za višenamjensku operativu*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2002., str. 18.

i povećanja štetnog otpora, pa i najsavršenije konstrukcije imaju granicu kod brzine od ~ 500 km/h.

Maksimalnu brzinu horizontalnog leta helikoptera ograničava pojava odvajanja strujnica s lopatica rotora i dosezanje nadzvučnih brzina strujanja na krajevima lopatica nosivog rotora. Maksimalna brzina helikoptera može se povećati ako se on opremi dodatnim „izvorima“ uzgona, što se može postići ugradnjom bočnih krilca, a što opet ima negativan utjecaj u lebdenju i na maksimalnu težinu na polijetanju¹⁰.

Helikopteri se obično koriste za:

- Za povezivanje dvaju aerodroma istog velikog aerodromskog centra, radi prevoženja putnika koji slete na jedan, a nastavljaju putovanje s drugog aerodroma.
- Za povezivanje aerodroma velikih gradova sa središtima grada.
- Za povezivanje nepristupačnih i prometno nedostatno ili nepogodno povezanih mjesta (otoci s kopnom, platforme za istraživanje i ekipe na kopnu i sl.).
- Za posebne namjene (hitna pomoć, traganje i spašavanje sl.)

2.1.2. Konvertiplan

Konvertiplan je letjelica koja uspješno objedinjuje značajke helikoptera i zrakoplova (HATOL¹¹). Koristi uzijetanje i slijetanje (VTOL) helikoptera, veliku brzinu, dolet, nosivost i ekonomičnost zrakoplova s fiksnim krilom. To postiže dvostrukom upotrebom rotora. U fazi polijetanja, lebdenja i slijetanja oni obavljaju ulogu nosivog rotora, a u horizontalnom letu ostvaruju potrebnu vučnu silu, dok se sila uzgona realizira krilima.

Postoje dvije koncepcije konvertiplana:

1. zakretanje krila zajedno s rotorom – TILTWING koncepcija
2. zakretanje rotora odnosno motora – TILTROTOR koncepcija

Vojska je prva prepoznala prednost vertikalnog polijetanja i slijetanja. Jer USS-e su velike i laki cilj kojeg neprijatelj prve napada. Zbog toga se razvila potreba za zrakoplovom koji uspješno kombinira prednost helikoptera i zrakoplova s fiksnim krilom.

Tiltwing koncepcija je nakon par pokušaja bila odbačena zbog poteškoća pri konvertiranju iz vertikalnog u horizontalni način leta, dok se tiltrotor nastavila razvijati. Kod tiltrotora zrakoplov polijeće vertikalno, a leti kao pravi turboprop zrakoplov. Takav koncept je zbog svojih prednosti (kao što su: povećan dolet, bolja ekonomičnost, veća brzina) pogodan za vojsku, spasilačku službu, gorsku službu, vatrogasnu službu i za medicinsku evakuaciju.

¹⁰ Steiner, S., Vidović, A., Bajor, I., Pita, O., Štimac, I.: *Zrakoplovna prijevozna sredstva*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008., str.174.

¹¹ HATOL- *Horizontal Attitude Take Off and Landing*, zrakoplov koji polijeće i slijeće u horizontalnom položaju.

2.1.2.1. Zakretanje krila zajedno s motorima TILTWING

Tiltwing koncepcija je složenija varijanta tiltrotor koncepcije, gdje se zakreću i krila i motori na njima, što je s konstruktivnog stajališta znatno složenije, a ima i aerodinamički negativne efekte pri prijelazu u horizontalni let. Za vrijeme vertikalnog uzlijetanja krila se zaokreću okomito u odnosu na zemljinu površinu nakon čega se zaokreću horizontalno i letjelica može krstariti poput konvencionalnog zrakoplova. Ta koncepcija s vremenom bila napuštena sve dok 2014. NASA (engl. National Aeronautics and Space Administration) nije predstavila GL-10 Greased Lightning¹².

Kod tiltwing konfiguracije zrakoplova, motori, i propeleri s njima, čvrsto su montirani na krila i cijeli sustav se zakreće između vertikalnog i horizontalnog položaja. Propulziju osiguravaju propeleri, a ne proprotori, i kružna kontrola kuta lopatica se ne koristi u vertikalnom načinu leta. Zbog problema vezanih za slom uzgona krila tijekom konverzije, dijagram sigurnih kutova za različite brzine strujanja zraka je veoma mali. Tiltwing dobro leti kao avion, ali je veoma neučinkovit kao helikopter. Tiltwing obično ne lebdi dugo vremena zbog velike potrošnje goriva tijekom lebdenja.

GL-10 Greased Lightning (slika 3) je prototip VTOL bespilotne letjelice. Pogoni ga 10 električnih motora od koji se osam motora nalaze na krilima i dva se nalaze na horizontalnom stabilizatoru.



Slika 3. GL-10 Greased Lightning

Izvor:URL: <http://www.popsci.com/article/technology/nasa-greased-lightning-tests-vertical-takeoff>
(pristupljeno: lipanj 2016.)

¹² URL:<http://www.popsci.com/article/technology/nasa-greased-lightning-tests-vertical-takeoff> (pristupljeno: lipanj 2016.)

XC-142A (slika 4) prototip letjelice koji je prvi korišten za potrebe izučavanja vertikalnog polijetanja i slijetanja upotrebom krila koja mijenjaju nagib (engl. tilt-wing) iz vertikalnog u horizontalni položaj i obratno.



Slika 4. XC-142A

Izvor:URL: <http://scalepublications.freeyellow.com/XC-142A.html> (pristupljeno: lipanj 2016.)

Letjelica je dizajnirana za nošenje značajnog tereta. Teretni odjel je 9,15 metara dug, visina i širina mu je 2,1 metar. To znači da bi mogao prevesti 32 potpuno opremljena vojnika, odnosno četiri tone tereta. Osim tih sposobnosti imao je mogućnost nošenja dodatnih 370 litara goriva. To je mogao ostvariti pomoću dodatnih spremnika s kojim bi se značajno povećao dolet.

Pogonski sustav se sastoji od četiri General Electric T-64-GE-1 motora, od 3.080 konjskih snaga, koji su bili umreženi. Imao je Hamilton-Standard propelere od fiberglasa, dužine 4,7 metara. Četvrti motor je također pokretao i peti propeler koji se nalazio u repu, a služio je za kontrolu nagiba. Repni propeler se rotira u horizontalnoj ravnini te je zakočen i isključen za vrijeme horizontalnog leta.

Tijekom eksperimentalnih letova svih pet prototipa je bilo oštećeno tijekom slijetanja. Upravljanje letjelicom je bilo pravi izazov zbog velikih vibracija i buke u kokpitu i velikim radnim opterećenjem pilota. Tehničke značajke o letjelici se mogu vidjeti u tablici 1.

Tablica 1. Tehničke značajke XC-142A.

| | | | |
|---------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Posada | 2 | Površina krila | 49,7 m ² |
| Putnici | 22-44 | Masa praznog zrakoplova | 10.250 kg |
| Motori | 4 x General Electric T-64 | Maksimalna brzina | 667 km/h |
| Snaga | 2.095 kw | Maksimalna visina leta | 7.620 m |
| Razmah krila | 20,6 m | Dolet | 756 km |
| Dužina | 17,8 m | Dolet sa maksimalnim teretom | 370 km |
| Visina | 8,0 m | | |

Izvor: URL: http://www.aviastar.org/helicopters_eng/ling_xc-142.php (pristupljeno: kolovoz 2026.)

2.1.2.2. Zakretanje rotora odnosno motora - TILTROTOR

Tiltrotor zrakoplov polijeće i slijeće vertikalno sa rotorima (motorima) usmjerenim vertikalno nagore. Za progresivni let, rotori koji su smješteni na krajevima krila, polako se okreću prema naprijed i tako konvertiraju zrakoplov u turboprop avion. U ovakvom načinu leta, tiltrotor je u mogućnosti dostići znatno veću putnu brzinu od helikoptera. Na ovaj način tiltrotor objedinjuje prednosti helikoptera i turboprop aviona. Iz razloga što rotori tiltrotora ne mogu biti veliki kao kod helikoptera, efikasnost lebdenja tiltrotora je manja.

Ovakvom koncepcijom letjelice se može upravljati kao helikopterom, ali koja ima mogućnost promjene u fiksno krilo za razliku od helikoptera. Na turboshaft motorima, nagibi lopatica rotora su regulirane da se ponašaju i variraju prema željenoj razini potisne sile.

U većini faza leta leta, tiltrotor funkcionira kao obični avion. U progresivnom letu, tiltrotor se održava na krilima. Brzina se održava pomoću turboprop motora koji pokreću proprotore. Njegove kontrole su krilca, kormilo visine i kormilo smjera, čija je funkcija kao u konvencionalnog aviona. Međutim, za malu brzinu ili lebđenje, tiltrotor može rotirati kućišta motora (smjer potiska) iz horizontalnog u vertikalni položaj – nešto što avioni nikako ne mogu izvesti. I na kraju, proprotori tiltrotora su puno veći nego propeleri aviona, stoga proprotori mogu generirati istu količinu potiska kao avion na mnogo manjem broju okretaja. Manja brzina okretanja proprotora čini tiltrotor veoma tihim zrakoplovom, čak i na većim brzinama leta

Tiltrotor postiže svoj uzgon i kontrolu u lebdenju na isti način kao i helikopter. Što mu daje izvrsnu stabilnost u lebdećem i sporom letu. Međutim, tiltrotor može svoje rotore

zakrenuti iz vertikalnog u horizontalni položaj, proizvodeći potisak dok se oslanja na svoja krila koja daju uzgon i na taj način nadmašuje brojne slabosti helikoptera¹³:

- Veliki otpor rotorskog sustava
- Visoka potrošnja goriva pri većim brzinama
- Slom uzgona povratne lopatice
- Visoke vibracije.

Tiltrotor ima karakteristike neuobičajne za konvencionalne jedno-rotorske i tandem helikoptere, ili konvencionalne avione. Slijede važnije¹⁴:

- Rotori koji se okreću u suprotnim smjerovima eliminiraju zakretni moment koji je dobro poznat kod jedno-rotorskih helikoptera.
- Križna vratila automatski prenose snagu na oba rotora ako se desi kvar na jednom od motora, eliminirajući na taj način asimetričan potisak (ako bi radio samo jedan rotor).

Helikopteri i tiltrotor letjelice omogućavaju mnoge krucijalne usluge, no doživljavaju složene aeromehaničke fenomene koji je teško točno predvidjeti. Ovi fenomeni uključuju predviđanje aerodinamičkog učinka i buke, vrtloga proizvedenih od okrećućih oštrica te vibraciju i fleksibilnost oštrica rotora.

Interakcija vrtloga oštrica (engl. Blade Vortex Interaction – BVI) također se pojavljuje kada se rotor susreće s (i u nekim slučajevima kroz) vrtlozima proizvedenih od drugih rotirajućih oštrica. To ne samo da utječe na aerodinamičku izvedbu letjelice, već je odgovorno i za buku stvorenu od oštrica rotora. Mnogi od ovih fenomena su slabo shvaćeni i teški za točno predviđanje.

U serijsku proizvodnju krenuo je samo jedan konvertiplan, Bell-Boeing V-22 Osprey (slika 5). Njegove značajke su smanjena vibracija i bučnost u odnosu na helikopter, a u horizontalnom letu ima značajke kao i bilo koji turboprop konvencionalni zrakoplov¹⁵. U tablici 2. se nalaze tehničke značajke Bell-Boeing V-22 Osprey.

¹³Jurešić, I.: *Performanse modela nekonvencionalnog zrakoplova za višenamjensku operativu*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2002., str. 33.

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Jurešić, I.: *Performanse modela nekonvencionalnog zrakoplova za višenamjensku operativu*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2002., str. 24.

Tablica 2. Tehničke značajke Bell-Boeing V-22 Osprey.

| | | | |
|---------------------|---------------------------------|--|---------------------------|
| Posada | 4 | Brzina | 446 km/h |
| Motor | 2 x Rolls Royce-Allison AE1107C | Maksimalna visina leta | 7.620 m |
| Snaga | 2 x 4623,34 kw | Maksimalna težina tijekom vertikalnog polijetanja | 23.443 kg |
| Raspon krila | 25,8 m | MTOW | 27.443 kg |
| Dužina | 17,4 m | Dolet | 926 km |
| Visina | 6,73 m | Korisni teret | 24-32 vojnika 4.536 kg |

Izvor: URL: <http://www.af.mil/AboutUs/FactSheets/Display/tabid/224/Article/104531/cv-22-osprey.aspx> (pristupljeno: kolovoz 2016.)



Slika 5. Bell-Boeing V-22 Osprey

Izvor: URL: http://www.military-today.com/helicopters/bellboeing_v_22_osprey.htm (pristupljeno: lipanj 2016.)

Zrakopov V-22 zbog svog dizajna se može adaptirati za više vrsta misija kao što su¹⁶:

- Traženje i spašavanje (Search and rescue - SAR)
Mogućnost letenja na veliku udaljenost, na maloj visini u nepovoljnim vremenskim uvjetima te zatim lebdjeti iznad jedne točke, osobine su koje su potrebne za zrakoplova za traženje i spašavanje.
- Medicinska evakuacija (MEDEVAC)
MV-22 je inačica namijenjena za medicinsku evakuaciju. Pomoću instaliranih nosila, Osprey može evakuirati do 12 pacijenata. Velika brzina zrakoplova

¹⁶Jurešić, I.: *Performanse modela nekonvencionalnog zrakoplova za višenamjensku operativu*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2002., str. 35.

znači da će pacijenti prije doći od mjesta nesreće do bolnice, prije nego bilo kojim drugim zrakoplovom.

- Zračni tanker
Sa modifikacijama kabine i dodatnih rezervoara za gorivo, V-22 postaje zračni tanker, kako za zrakoplove s fiksnim krilima tako i za one s rotirajućim krilima.
- VIP transport
Veličina, brzina, dolet Osprey-a i mogućnost sletanja na prikrivenim malim mjestima (npr. vrh zgrade), znače pravu revoluciju u VIP prijevozu.

2.1.3. Mlazni pogon na kracima rotora

Helikopter stvara uzgon vrtnjom velikog glavnog rotora. Rotor se obično pokreće pomoću motora koji se nalazi u trupu helikoptera. Motor stvara mehaničku energiju gibanja koja se preko mijenjača prenosi na rotor. Dok motor vrti glavni rotor u jednom smjeru, stvara se jednak i suprotan okretni moment koji vrti trup helikoptera u drugom smjeru. Taj problem se rješava repnim rotorom. Mali rotor se nalazi na kraju repa i proizvodi silu koja sprječava vrtnju trupa helikoptera.

Međutim kad se motor umjesto u trup zrakoplova postavi na rotor, više ne postoji mehanička interakcija između rotora i trupa, tako da nema više utjecaja okretnog momenta. Jedan od najranijih primjera ovog dizajna je Hiller HJ-1 Hornet (slika 7). Na vrhu rotora se nalazi mlazni motor koji stvara mehaničku energiju gibanja koja vrti rotor. Ovaj dizajn se često naziva „tip-jet“.



Slika 6. Hiller HJ-1 Hornet tip-jet helikopter.

Izvor: URL: <http://www.aerospaceweb.org/question/helicopters/q0141.shtml> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

Hornet je imao svoje nedostatke, kao što su velika buka u kabini i kratki dolet. Koncept je na kraju napušten, ne zbog svojih nedostataka nego zato što je Hiller (tvrtka koja je proizvela Hornet) sve potrebne resurse usmjerila na proizvodnju vojnih helikoptera za potrebe korejskog rata.

Helikopter s mlaznim pogonom na kracima rotora ima trup s repnim površinama i jednim rotorom na trupu. Mlazni motori postavljeni su na kraju svakoga kraka. Dovod goriva provodi se iz trupa kroz osovinu i krakove rotora. S obzirom na to da su motori ugrađeni izravno na kracima rotora, nema okretnog momenta kao kod sličnog tipa s konvencionalnim pogonom, što znatno smanjuje težinu i složenost transmisije.

Dobre osobine tog helikoptera su¹⁷:

- manja težina konstrukcije
- jednostavnija transmisija zbog odsutnosti repnog motora
- nema okretnog momenta i pored postojanja samo jednog rotora.

Nedostaci bi bili¹⁸:

- pogoršani uvjeti rada rotora zbog toga što se na njegovim kracima nalaze motori
- veća potrošnja goriva zbog upotrebe mlaznih motora, prema tome i potreba za nošenjem veće količine goriva
- kompliciranije opskrbljivanje motora gorivom.

2.2. Zrakoplovi s eksperimentalnim oblicima krila i trupa

Bitna razlika između konvencionalnih i nekonvencionalnih zrakoplova s tehničko-tehnološkog aspekta sastoji se u načinu realizacije uzgonske sile, koja održava zrakoplov u zraku te rješenja za upravljanje i stabiliziranje zrakoplova u letu.

S obzirom na funkciju krila, a to je stvaranje aerodinamičke sile uzgona, može se reći da je krilo glavni organ zrakoplova. Krila su oblikovana glatkim površinama. Postoji zakrivljenost na krilima koja pomaže tjerati zrak preko gornjake¹⁹ puno brže nego što zrak ide

¹⁷ Steiner, S., Vidović, A., Bajor, I., Pita, O., Štimac, I.: *Zrakoplovna prijevozna sredstva 1*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008., str. 173.

¹⁸ Ibid.

¹⁹ Gornjaka – gornja površina krila.

preko donjake²⁰. Kako se krilo kreće, zrak koji struji preko gornjake ima dulji put za preći i zato se mora kretati brže nego zrak koji prelazi preko donjake. Prema Bernoullijevom zakonu²¹, tlak zraka iznad krila je manji nego tlak ispod krila. Ova razlika u tlakovima proizvodi vertikalni uzgon. Oblik krila određuje kako brzo i visoko avion može letjeti. Oblik krila naziva se aeroprofil.

2.2.1. Leteće krilo

Leteće krilo je dizajn letjelice bez uobičajnog trupa i repne površine. Trup je jako spljošten, praktično reduciran, a njegovu ulogu igra krilo. Takav dizajn omogućuje da zrakoplov može ponjeti više tereta i goriva zbog većeg unutarnjeg prostornog volumena.

Povjest ovog dizajna seže do drugog svjetskog rata kad se na nebu Njemačke pojavio Horten Ho-229 kojeg su dizajnirala braća Horten. Napravljena su samo tri primjerka koja nisu borbena dijelovali. Nakon rata saveznici su preuzeli letjelice i nacrtali ih dodali istraživanjima koje su oni već provodili i napravili neke nove letjelice.

Leteće krilo se smatra jednim od aerodinamički najučinkovitijih dizajna zrakoplova s fiksnim krilima. Budući da nema vertikalnih stabilizatora ovaj dizajn zrakoplova je jako nestabilan i teško ga je kontrolirati. Iz tih razloga ovaj dizajn zrakoplova se ne koristi u komercijalne svrhe.

Kod letećeg krila uzgon i težina mogu se svesti na istu poziciju. Kod takvog koncepta minimaliziran je poprečni presjek i „mokra površina“ trupa, što rezultira najmanjim aerodinamičkim otporom, a time i manjom zahtijevanom snagom pogonske grupe.

Ovaj dizajn letjelica do sad se samo koristio u vojne svrhe. Najpoznatiji zrakoplov je bombarder B-2 Spirit (slika 7) koji se od 1997. nalazi u službi Američkog ratnog zrakoplovstva.

²⁰ Donjaka – donja površina krila.

²¹ Daniel Bernoulli znanstvenik i fizičar (1700.-1782.) istraživao je kretanja fluida i došao do zaključka kako su brzina fluida i statički tlak povezani – porastom brzine fluida smanjuje se statički a raste dinamički tlak; statički tlak + dinamički = ukupni = const. (uz neke restrikcije – zrak je nestlačiv, neviskozan, nema izmjene topline i sa zanemarljivo malom promjenom visine).



Slika 7. B-2 Spirit

Izvor: URL: <http://www.airforceworld.com/bomber/eng/B2-spirit-stealth-bomber-usaf-1.htm> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

Revolucionarno spajanje tehnologija niske vidljivosti za radare s aerodinamičkim učinkovitostima letjećeg krila i velikog tereta daju ovoj letjelici veliku prednost u odnosu postojeću konkurenciju bombadera. Njegova slaba vidljivost na radarima daje mu veću slobodu djelovanja na velikim visinama, čime povećava svoj asortiman i vidno polje za svoje senzore.

Slaboj vidljivosti na radarima je rezultat smanjenog infracrvenog, zvučnog, elektromagnetskog, vizualnog i radarskog potpisa. Zbog toga sofisticirani obrambeni sustavi nisu u mogućnosti detektirati, locirati i srušiti B-2. Mnogi aspekti njegove nevidljivosti ostaju klasificirani, međutim kompozitni materijali, specijalni premazi i dizajn letjećeg krila doprinose njegovoj nevidljivosti za radare. Njegove tehničke značajke su prikazane u tablici 3.

Tablica 3. Tehničke značajke B-2 Spirit.

| | | | |
|---------------------|----------------------------------|--------------------------|------------|
| Posada | 2 | MTOW | 152 634 kg |
| Motor | 4 x General Electric F118-GE-100 | Kapacitet goriva | 75.750 kg |
| Raspon krila | 52,12 m | Korisni teret | 18.144 kg |
| Dužina | 20,9 m | Dolet | 9.600 km |
| Visina | 5,1 m | Maksimalna visina | 15.240 km |
| Težina | 72.575 kg | | |

Izvor: URL: <http://www.af.mil/AboutUs/FactSheets/Display/tabid/224/Article/104482/b-2-spirit.aspx> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

2.2.2. BWB dizajn zrakoplova

BWB (Blended Wing Body ili Hybrid Wing Body, HWB) je zrakoplov s fiksnim krilom koji nema jasnu granicu između krila i trupa letjelice. Letjelica ima spljošteni aerodinamički oblik tijela koji proizvodi većinu uzgona i minimalizira otpor. Takav oblik smanjiva potrošnju goriva i stvara veći teretni prostor u središnjem dijelu zrakoplova.

NASA je počela istraživati BWB koncept zrakoplova za potencijalnu upotrebu u prijevozu tereta u civilne i vojne svrhe. Teret ili putnici se mogu ukrcavati samo na početku (nosu letjelice) ili kraju letjelice.

Zbog svoje učinkovite konfiguracije, BWB letjelica bi trošila 20% manje goriva nego konvencionalni zrakoplov sličnih dimenzija leteći podzvučnom brzinom do udaljenosti od 7.000 Nm. Zrakoplov ovakvog tipa bi imao razmah krila malo veći nego Boeing 747 i mogao bi operirati sa istih zračnih luka²².

Konvencionalni cijevasti trup zrakoplova stvara 12 – 13% ukupnog uzgona zrakoplova dok trup BWB zrakoplova stvara 31 – 43%²³.

Boeing je dizajnirao X-48 (slika 8) bespilotnu eksperimentalnu letjelicu za istraživanje karakteristika BWB letjelica. Cilj programa je naučiti više o upravljanju teretnim BWB zrakoplovom pri malim brzinama leta.



Slika 8. Boeing X-48

Izvor: URL:<https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-090-DFRC.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

²² URL:<http://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/FS-2003-11-81-LaRC.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

²³ URL:<http://aviationweek.com/commercial-aviation/finding-ultra-efficient-designs-smaller-airliners> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

Izrađena su dva prototipa X-48B i X-48C. X-48B služi za ispitivanje letačkih osobina BWB dizajna, a dok je X-48C modificirana verzija s dva motora koja služi za ispitivanje razine buke kod BWB dizajna. Istraživanja su pokazala da je buka, ovisno o konfiguraciji, manja za 22 - 42 dB ispod propisane granice za „Chapter 4“ standart prema ANEX-u 16 ICAO-a (International Civil Aviation Organization)²⁴.

Nedostatak ovog dizajna što bi u slučaju izvanredne situacije bilo otežano provoditi evakuaciju zbog oblika trupa gdje bi sjedišta bila postvljena kao u kazalištu. Takav oblik postavljanja sjedišta limitira broj evakuacijskih izlaza i tako usporava evakuaciju²⁵.

Zbog toga nedostatka se pretpostavlja da će se ovaj dizajn koristit samo za prijevoz tereta i u vojne svrhe.

²⁴ Russell H. Thomas, Casey L. Burley, Erik D. Olson: *Hybrid Wing Body Aircraft System Noise Assessment With Propulsion Airframe Aeroacoustic Experiments*, NASA Langley Research Center, Hampton, 2010.

²⁵E. R. Galea, L. Filippidis, Z. Wang, P. J. Lawrence, J. Ewer: *Evacuation Analysis of 1000+ Seat Blended Wing Body Aircraft Configurations: Computer Simulations and Full-scale Evacuation Experiment*: Boston, 2011.

3. NOVI RAZVOJNI PROGRAMI EKSPERIMENTALNIH LETJELICA

3.1. AAVP program

NASA-in AAVP program (*engl. Advanced Air Vehicle Program*) proučava, procjenjuje i razvija tehnologije i mogućnosti koje mogu biti uklopljene u zrakoplovne sustave kao i istraživanja koncepata iz daleke budućnosti koja obećavaju revolucionarna unapređenja u zračnom putovanju.

Inovativni nacrti koncepata razvijeni od strane AAVP za napredne letjelice sadrže višestruke, istodobne izvedbe letjelica koje se fokusiraju na sagorijevanje goriva, buku, emisiju te unutrašnju sigurnost. Cilj je omogućiti novoj letjelici da leti sigurnije, brže, čišće, tiše te da efektivnije iskorištava gorivo.

AAVP istraživanja osiguravaju protok tehnologija koja omogućavaju kontinuirano vodstvo SAD-a na području aeronautike, gospodarske konkurentnosti te stvaranja novih radnih mjesta. Partneri sa područja industrije, znanstvenih krugova te ostalih državnih agencija i organizacija su priključeni AAVP-u kako bi nastavili sa novim tehnološkim rješenjima u zrakoplovstvu za zajedničku dobrobit i tehnološki napredak²⁶.

3.1.1. RVLT projekt

RVLT projekt (Revolutionary Vertical Lift Technology Project) razvija i potvrđuje alate, tehnologije i koncepte kako bi svladali ključne prepreke pri ekspanziji korištenja ove konfiguracije u zračnom prostoru. Svojstvo letjelica sa vertikalnim uzletom (slika 9) da lebde pruža jedinstvenu mogućnost koja ima ogroman potencijal u civilnom tržištu za prijevoz ljudi i tereta te kao sustav dopreme, promatračkih i nadzornih misija, eksploatacije nafte i plina, pomoći pri elementarnim katastrofama i mnogim drugim kritičnim operacijama.

²⁶ URL:<http://www.aeronautics.nasa.gov/programs-aavp.htm> (pristupljeno: kolovoz 2016.)



Slika 9. Letjelica s VLT mogućnostima

Izvor: URL: <http://www.aeronautics.nasa.gov/aavp/images/vertical-lift-commuter.jpg> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

RVLT istraživanje poboljšava tehnologije koje će povećati brzinu, dolet, korisnu nosivost i sigurnost te smanjiti buku, težinu, emisije i potrošnju goriva. Istraživanje se izvršava kroz napredne računalno bazirane metode predviđanja, zatim uz upotrebu jedinstvenih NASA-inih postrojenja za eksperimentalna istraživanja²⁷.

RVLT obuhvaća trenutne i buduće letjelice s mogućnošću vertikalnog uzleta svih klasa i veličina, raspona od veoma malih struktura pa sve do struktura koje su održive za komercijalni transport u nacionalnom zračnom sustavu.

Civil Tiltrotor (CTR) letjelice imaju jedinstvenu operativnu mogućnost uzleta i slijetanja kao helikopter i krstariti kao konvencionalne letjelice fiksnih krila. CTR koncepcije su sposobne izvesti vertikalni uzlet kao i slijetanje (VTOL) te kratki uzlet i slijetanje (STOL). Ove jedinstvene mogućnosti daju CTR letjelicama fleksibilnost pri djelovanju u različitim operacijama uključujući RIO operacije (RIO = runway-independent operations) koristeći se VTOL i STOL tehnologijom, ili STOL-om na manjim uzletno-sletnim stazama, kako bi prevezli putnike na željenu destinaciju u razumnom vremenu.

Pretpostavka je da CTR letjelice koristeći se RIO tehnikom letnih operacija ili korištenjem slabo iskoristivih uzletno-sletnih staza mogu direktno povećati kapacitet zračnog prometa, ako bi veliki problemi poput cijene novih investicija u infrastrukturu i sigurnost te okolišna pitanja poput buke i emisije bili opravdani vrijednošću takvih operacija. Prošle studije pronašle su potencijal u CTR letovima za povećanje zračnog prometa temeljeći se na jedinstvenim odlikama CTR letjelica. Druge studije koje su istraživale STOL operacije su razmotrile zahtjeve za USS-om, dostupnost te cjenovni faktor za operacije u zračnom prometu. Iz ovih studija vidljive su prednosti CTR programa za razliku od zakoplova s fiksnim krilom ili helikoptera²⁸.

²⁷ URL:<http://www.aeronautics.nasa.gov/aavp/rvlt/index.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

²⁸ William W. Chung, Dennis Linse, Al Paris, Dan Salvano, McLean, Ted Trept, Tom Wood, Dave Miller, Ken Wright, Ray Young, Victor Cheng: *Modeling High-Speed Civil Tiltrotor Transports in the Next Generation Airspace*, Ames Research Center Moffett Field, Kalifornija, 2011.

3.1.2. Projekt komercijalne nadzvučne tehnologije (Commercial Supersonic Technology - CST)

Istraživanja vezana uz nadzvučne letjelice vezana je za razvoj alata, tehnologija i znanja koje bi pomogle ukloniti tehnološke barijere današnjice za što svrsishodniji komercijalni nadzvučni let, problem zvučnog udara, iskoristivosti goriva, aerodromske buke, velike visinske emisije, strukturalne težine i fleksibilnosti, operacija u zračnom prostoru te mogućnosti izrade budućih letjelica na integrirani, multidisciplinarni način.

CST projekt fokusira se na redukcijske metode vezane uz zvučni udar. Cilj projekta uključuje alate za izradu letjelica niskog zvučnog udara (slika 10.) te utvrđivanje tehnika za objektivno pristupanje nivoima prihvatljivosti zvučnog udara za zajednice koje žive u blizini budućih komercijalnih nadzvučnih letova. Znanje i podaci iz ovog projekta nose sa sobom nastojanja nacionalnih i međunarodnih regulatornih organizacija u svrhu standardizacije dizajna budućih nadzvučnih komercijalnih zrakoplova²⁹.



Slika 10. Eksperimentalni zrakoplov s scramjet motorom

Izvor: URL: http://www.aeronautics.nasa.gov/aavp/images/high_speed.jpg (pristupljeno: kolovoz 2016.)

²⁹ URL: <http://www.aeronautics.nasa.gov/aavp/cst/index.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

U svrhu tog cilja, CST istraživanja čine temelj za svladavanje drugih izazova s kojima se komercijalni nadzvučni letovi susreću što uključuje energetska učinkovitost, smanjenje zagađivača ispuštenih u atmosferu te prihvatljive nivoe buke u zrakoplovnim zonama.

3.1.3. Projekt napredne tehnologije zračnog transporta (Advanced Air Transport Technology Project - AATT)

Sveobuhvatni cilj AATT projekta je istraživanje i razvoj tehnologija i ideja za poboljšanu energetska učinkovitost te okolišnu kompatibilnost sa podzvučnim transportom zrakoplovima s fiksnim krilom (slika 11). Znanje dobiveno iz AATT istraživanja, u obliku eksperimenata, podataka, sustavnih studija i analiza, kritično je za u naumu i izradi čisteg, tišeg i efektivnijeg zrakoplovstva. AATT studije fokusirane su na budućnost s pogledom na letjelice koje su tri generacije ispred današnjih letjelica, a koje zahtijevaju zrela tehnološka rješenja u vremenskom rasponu od 2035. do 2045. godine³⁰.



Slika 11. Koncepti transportnih zrakoplova

Izvor:URL: <http://sacd.larc.nasa.gov/branches/asab/asab-projects/advanced-air-transport-technology-project>
(pristupljeno: kolovoz 2016.)

Vizija AATT-i programa je inicijalni razvoj tehnologija i ideja koje će biti prekretnica u razvoju letjelica s fiksnim krilima i propulzivnih sistema. Dok je cilj razvoj podzvučnog transportnog zrakoplova koji bi imao mogućnost upotrebe u vojne svrhe.

3.1.4. Projekt naprednih kompozita (Advanced Composites Project – AC)

NASA adresira poboljšane metode, alate i protokole kako bi reducirala vremenski period za razvoj i certificiraju za sastavne materijale i strukture. Neizbježno je da će sastavne

³⁰URL: <http://www.aeronautics.nasa.gov/aavp/aatt/index.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

strukture naići na povećanu primjenu zbog pritiska razvoja više učinkovitijih i održivih vozila. Trenutni pristup u razvoju i certificiranju sastavnica se primarno temelji na testiranju.

NASA će se fokusirati na razvoj i primjenu visoko preciznih te čvrstih metoda izračuna, poboljšane protokola testiranja, standardizaciju inspekcijskih tehnika te simulaciju proizvodnog procesa kako bi skratila vremenski period u donošenju inovativnih sastavnih materijala i struktura na tržište. NASA će angažirati ključne igrače iz vlade, industrije i akademskih krugova kako bi dosegla i potvrdila metodologiju da bi osigurala efektivan prijenos na industriju te kako bi omogućila sigurnost. Da bi dosegla taj cilj, a to je skraćivanje trenutnih 5-10 godina razvoja i testiranja za 30%, NASA će³¹:

- Razvijati analitičke metode i alate za brzu izradu kako bi skratila ciklus izrade i testiranja tijekom razvoja,
- Razvijati kvantitativne i praktične inspekcijske metode, metode upravljanja podacima, modelima i alate koji će povećati protok podataka i
- Razvijati modele kojima će predviđati greške koje se pojavljuju u serijskoj, automatiziranoj proizvodnji te poboljšati kontrolu kvalitete kako bi se našle metode popravka i prevencije greški.

3.2. Airlander 10

Tvrtka Hybrid Air Vehicls (HAV) sa sjedištem u Ujedinjenom Kraljestvu je razvila Airlander 10 koja je trenutno najveća letjelica na svijetu - hibrid između aviona i cepelina. Letjelica je duga 92 metara, 18 metara duža od najvećeg putničkog zrakoplova. Njezino razvijanje je započeto za potrebe američke vojske, ali kako je vlada Sjedinjenih Američkih Država smanjila proračun Ministarstva obrane odustalo se od tog projekta. Nakon toga se tvrtka HAV okrenula Europi i kroz donacije Europske Unije, odnosno vlade Velike Britanije osigurala sredstva za razvoj³².

Airlander 10 (slika 12) leti koristeći inovativnu tehnologiju koja kombinira najbolje karakteristike zrakoplova s fiksnim krilom i helikoptera. Unutar njega ne postoji nikakva unutarnja struktura. On svoj oblik održava zbog dijelovanja helija koji se nalazi u trupu letjelice i Vectran materijala koji je 10 puta jači od aluminija³³. Ostali dijelovi letjelice su izgrađeni od karbonskih kompozita zbog njihove snage i manje težine. Tehničke značajke letjelice mogu se vidjeti u tablici 4.

³¹URL: <http://www.aeronautics.nasa.gov/aavp/ac/index.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

³² URL:<http://zimo.dnevnik.hr/clanak/najveci-zrakoplov-na-svijetu-odradio-prvi-pokusni-let---446995.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

³³ URL:<http://www.vectranfiber.com> (Pristupljeno: kolovoz 2016.)



Slika 12. Airlander 10

Izvor: URL: <http://zimo.dnevnik.hr/galerija/najveci-zrakoplov-na-svijetu-odradio-prvi-pokusni-let---446995.html/61261689/446995> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

Tablica 4. Tehničke značajke letjelice Airlander 10

| | | |
|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Volumen | 38.000 m ³ | (1.340.000 ft ³) |
| Dimenzije | | |
| - dužina | 92 m | (302 ft) |
| - širina | 43,5 m | (143 ft) |
| - visina | 26 m | (115 ft) |
| Dimenzije teretnog prostora | | |
| - dužina | 30 m | (98 ft) |
| - širina | 5,6m | (18½ ft) |
| - visina | 4 m | (13 ft) |
| Autonomija | do 5 dana | |
| Visina | do 4.880 m | (16.000 ft) |
| Brzina | 148 km/h | (80 čv.) |
| Ukupna masa | 20.000 kg | (44.100 lbs) |
| Nosivost | 10.000 kg | (22.050 lbs) |

Izvor: URL: <https://www.hybridairvehicles.com/aircraft/airlander-10> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

Trup je ispunjen helijem, a izgrađen je od laminirane tkanine. Zakrivljenog je uzdužnog oblika s eliptičnim presjekom. On omogućuje i do 40% uzgona letjelici. Unutar se zbog sigurnosnih razloga nalazi više odjeljaka u kojima se na krajevima trupa nalaze više balona koji održavaju kontrolu tlaka³⁴.

Sustav za slijetanje se sastoji od profiliranih pneumatskih cijevi koje se nalaze na donjim vanjskim površinama trupa. Letjelica ima i mogućnosti amfibijskog slijetanja. Za serijsku proizvodnju se planira sustav koji se može uvlačiti u trup letjelice³⁵.

Pogonska grupa se sastoji od četiri motora. To su 4 litreni V8 turbo diesel motor s izravnim ubrizgavanjem, snage 325 hp. Dva motora su ugrađena na prednjem dijelu trupa, a dva, koja služe za krstareje, na zadnjem dijelu trupa. Sva četiri motora služe i za vertikalno slijetanje i uzlijetanje³⁶.

Airlander 50 je letjelica, koja se za razliku od Airlander 10, se razvija samo za prijevoz tereta. Ona je još u razvoju i njen prvi let se očekuje do 2020. godine. Imati će mogućnost nositi i do 60 tona tereta u teretnom prostoru volumena 500 m³. Većina tehnologije je ista u obe letjelice.

Airlander 50 nudi nižu cijenu prijevoza tereta zbog manje potrošnje goriva od svih ostalih vrsta prijevoza. Njegova je prednost što mu nije potrebna nikakva dodatna infrastruktura na zemlji, što ga čini idealnim za dostavu tereta do udaljenih zabačenih područja. Tehničke značajke letjelice mogu se vidjeti u tablici 5.

Tablica 5. Tehničke značajke letjelice Airlander 50

| | | |
|------------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Volumen | 103.000 m ³ | (3.640.000 ft ³) |
| Dimenzije | | |
| - dužina | 119 m | (390 ft) |
| - širina | 60 m | (196 ft) |
| - visina | 35 m | (115 ft) |
| Dimenzije teretnog prostora | | |
| - dužina | 30 m | (98 ft) |
| - širina | 5,6m | (18½ ft) |
| - visina | 4 m | (13 ft) |
| Autonomija | do 4 dana | |
| Dolet | 3.500 km | (2.000 Nm) |
| Brzina | 195 km/h | (105 čv.) |
| Ukupna težina | 58.100 kg | (128.100 lbs) |
| Nosivost | 60.000 kg | (132.300 lbs) |

Izvor:URL: <https://www.hybridairvehicles.com/aircraft/airlander-50> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

³⁴URL: <https://www.hybridairvehicles.com/aircraft/airlander-10> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

³⁵ Ibid.

³⁶ Ibid.

Trup je ispunjen helijem, izgrađen je od laminirane tkanine. Zakrivljenog uzdužnog oblika s eliptičnim presjekom. On omogućuje i do 40% uzgona letjelici.

Sustav za slijetanje se sastoji od profiliranih pneumatskih cijevi. Konfigurirani su tako da omogućuju lebdenje iznad svih vrsta terena i vode. Imaju jedinstvenu mogućnost da preokrenu svoj potisak što omogućuje letjelici da se brže spušta i povećava stabilnost prilikom manipulacije teretom. Sustav se može uvlačiti u trup da smanji otpor i potrošnju goriva.

Pogonska grupa se sastoji od četiri motora od 2.350 konjskih snaga. Dva motora su ugrađena na prednjem dijelu trupa, a dva, koja služe za krstareže, na zadnjem dijelu trupa. Sva četiri motora služe i za vertikalno slijetanje i uzlijetanje.

4. MOGUĆNOST PRIMJENE EKSPERIMENTALNIH LETJELICA

4.1. Vojne svrhe

Veliki broj eksperimentalnih letjelica se razvija za vojne svrhe jer su upravo vojske širom svijeta jedni od najvećih ulagača u zrakoplovnu industriju i kroz povijest se može vidjeti kako su upravo istraživanja koja su rađena za vojsku puno pridonijela razvoju zračnog prometa i donošenju novih spoznaja u aeronautici.

Američka i Ruska vojska značajno prednjače u ulaganju u zrakoplovnu industriju pa tako i po broju eksperimentalnih letjelica, što za posljedicu ima veliki broj njihovih letjelica na tržištu vojnih zrakoplova.

Američka obrambena agencija za istraživanje (Defense Advanced Research Projects Agency – DARPA) je započela Transformer (TX) program koji ima cilj razviti prototip i demonstrirati sustav koji bi pružao fleksibilni, logistički transport neovisno o terenu, transport vojnika i taktičku potporu manjim jedinicama. U 2013. je za daljnja istraživanja izabran projekt Aerial Reconfigurable Embedded System (ARES).

ARES (slika 13) je koncept u kojem bespilotna letjelica pruža fleksibilan prijevoz tereta. Njezina prednost je što su operativni troškovi manji i vjerojatnost izvršavanja misije je veća. Dva propelera koja imaju mogućnost promjene nagiba omogućuju lebdjenje i slijetanje na nepristupačan teren i brzinu poput aviona. Letjelica bi imala koristan prostor iznad 3.000 lb (≈ 1.360 kg) što je za 40 % veće od bruto težine aviona³⁷.



Slika 13. Aerial Reconfigurable Embedded System (ARES)

Izvor: URL: <http://www.darpa.mil/news-events/2014-02-11> (pristupljeno: lipanj:2016)

³⁷URL: <http://www.darpa.mil/news-events/2014-02-11> (pristupljeno: lipanj 2016.)

Rusija se priprema proizvesti novi supersonični transportni zrakoplov PAK TA (slika 14), pomoću kojeg bi se u najkraćem roku mogli na bilo koju točku na planeti prevesti vojnici i ratna tehnika, uključujući i tenkove s pratećom municijom.



Slika 14. Ruski supersonični transportni zrakoplov PAK TA

Izvor: URL: <http://balkans.aljazeera.net/vijesti/rusija-pravi-supersonicni-transportni-avion> (pristupljeno: lipanj 2016.)

PAK TA letjet će supersoničnom brzinom od oko 2.000 kilometara na sat i moći će prenijeti 200 tona tereta. Letjelica će moći ostati sedam sati u zraku bez dopune goriva, a maksimalni dolet će iznositi 7.000 kilometara³⁸.

Osim prenošenja tenkova, jedan od glavnih zadataka PAK TA transportera bit će i prebacivanje ostalog teškog naoružanja, kao što su razna protivavionska raketna postrojenja, protivtenkovska i ostala laka oklopna vozila. Bit će omogućeno automatsko utovarivanje tereta na više razina. Avion će moći izbacivati teret iz zraka, što će omogućiti vojsci da raspoređuje jedinice po bilo kojem terenu.

Jedan od najpoznatijih ruskih eksperimentalnih zrakoplova je Suhojev Su-47 Berkut (NATO oznaka: Firkin). Berkut (slika 15) je eksperimentalni nadzvučni lovac kojeg je razvila tvrtka Suhoj. Tijekom početnog razvoja je koristio i oznake S-32 i S-37.

³⁸ URL: <http://balkans.aljazeera.net/vijesti/rusija-pravi-supersonicni-transportni-avion> (pristupljeno lipanj 2016.)



Slika 15. Suhojev Su-47 Berkut

Izvor: URL: <http://www.airforce-technology.com/projects/s37/s373.html> (pristupljeno: lipanj 2016.)

Kao i slični američki eksperimentalni zrakoplov Grumman X-29, Berkut se samo koristi za istraživanje moderne tehnologije. Kao što je stealth tehnologija (zrakoplovi nevidljivi radaru) i krila okrenuta prema naprijed.

Berkut je borbrni lovac pete generacije u Rusiji. Izgrađen je od kompozitnih materijala i opremljen naprednim sustavima za upravljanje. Njegova najveća značajka su krila okrenuta prema naprijed (engl. Forward Swept Wings). Ona mu omogućuju poboljšanu upravljivost i djelovanje pri napadnim kutovima 45° i više. Negativna strana takvih krila je što uzrokuju jako uvijanje (divergaciju) čime može doći do rascjepa krila izgrađenih od kompozitnih materijala.

Prednosti zrakoplova s krilima okrenutima prema naprijed³⁹:

- bolja pokretljivost prilikom bliske borbe
- poboljšana stabilnost pri velikim napadnim kutovima
- niža minimalna brzina leta
- kraća staza za polijetanje i slijetanje.

4.2. Civilne svrhe

Nove letjelice sa VTOL i STOL mogućnostima zbog toga što ne zahtjevaju velika ulaganja u zemaljsku infrastrukturu imaju sve veće mogućnosti za upotrebu. Prvi takav zrakoplov koji se razvija za komercijalne svrhe je AgustaWestland AW-609.

Program su započeli Bell i Boeing, ali je Boeing početkom 1998. godine odlučio ostaviti tržište civilnih helikoptera i povukao se iz programa. Tad je Bell tržio novog partnera i potpisan je ugovor sa Augustom. Augusta će ulagati i sudjelovati u razvoju letjelice.

³⁹ URL:<http://www.airforce-technology.com/projects/s37> (pristupljeno: lipanj 2016.)

Proizvoditi će dijelove, kao i vršiti finalno sklapanje zrakoplova isporučenih u Europi i u druge dijelove svijeta.

AW 609 (slika 16) je prvi civilni tiltrotor, kapaciteta šest do devet putničkih sjedala koji kombinira komfor turboprop aviona sa mogućnostima vertikalnog polijetanja i slijetanja helikoptera. Dvostruko većom brzinom od helikoptera usporednog kapaciteta i mogućnošću letenja u ekstremnim klimama, od Artika do pustinje. AW 609 je dizajniran da bude najbolji multi-funkcionalni zrakoplov.



Slika 16. AW 609.

Izvor: URL: <http://airheadsfly.com/tag/aw609> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

Dizajniran od samog početka za niske troškove održavanja i maksimalnu fleksibilnost u operacijama, AW609 će ponuditi operatorima visoku produktivnost, prijevoz od vrata do vrata pri brzinama krstarenja do 275 kt i doletom sve do 750 nm (ovisno o parametrima operacije i atmosferskima uvjetima)⁴⁰.

Osobine zrakoplova⁴¹:

- Iskoristivost – Dva puta brži i dva puta većeg doleta nego helikopter.
- Putnički komfor – Tih interijer, kabina pod tlakom, podobna za sve vremenske uvjete, letenje iznad vremenskih nepravilnosti (oblaka).
- Niski troškovi leta – AW609 leti kao turboprop 98% leta.
- Niska razina buke – Nizak odraz buke na tlo, vertikalni prilaz drastično smanjuje odraz buke na tlo.
- Sigurnost - Integrirana IFR (engl. Instrumental Flight Rules) avionika, mogućnost letenja s jednim neispravnim motorom.

⁴⁰ Jurešić, I.: *Performanse modela nekonvencionalnog zrakoplova za višenamjensku operativu*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2002. , str. 39.

⁴¹ Ibid.

Mogućnosti upotrebe AW609⁴²:

- Korporativne/Privatne – Prijevoz menadžera, direktora i sličnih poslovnih ljudi s jedne lokacije na drugu na udaljenosti između 50 i 500 nautičkih milja.
- Sigurnosne agencije – AW609 je idealna platforma za dalekometne operacije nadzora i kontrole ilegalnih aktivnosti. Sposobnost da djeluje na udaljenosti višoj od 300 nautičkih milja mu omogućuje da sudjeluje u nadzoru nacionalnih voda i širokom rasponu sigurnosnih uloga.
- Traganje i spašavanje – Velika brzina, mogućnost lebdenja i dugi dolet čine ga idealnim za traganje i spašavanje. Vrijeme odgovora smanjuje na najkraće moguće, čak i u izuzetno teškim kriznim situacijama.
- Hitna medicinska pomoć – Već spomenuta brzina i mogućnost slijetanja na nepristupačna područja daju mu prednost nad helikopterom. U punoj opremljenoj medicinskoj kabini mogu stati dva pacijenta na nosilima uz četiri pripadnika medicinskog osoblja.
- Vanobalne operacije - Za velike naftne i plinske kompanije može prevoziti do devet putnika do udaljenih platformi.

AW 609 će biti certificiran za letenje poznatim uvjetima zaleđivanja. Ima kompozitni trup i krila, napredni ekran na dodir u kokpitu i fly-by-wire⁴³ digitalne kontrole. Ove napredne tehnologije će omogućiti nove razine performansi, pouzdanosti i dostupnosti za buduće operatore⁴⁴. Tehničke značajke zrakoplova AW609 su prikazane u tablici 6.

Tablica 6. Tehničke značajke zrakoplova AW609.

| | | | |
|---------------------|--|----------------------|-------------|
| Posada | 1 - 2 | Visina | 4,5 m |
| Putnici | 6 - 9 | MTOM | 7.257,44 kg |
| Motor | 2 x Pratt & Whitney Canada PT6C-67A | Korisni teret | 2.500 kg |
| Duljina | 13,31 m | Visina leta | 7.620 m |
| Širina trupa | 1,76 m | Dolet | 1.850 km |
| Razmah krila | 10 m | Brzina | 509 km/h |

Izvor: URL: <http://www.leonardocompany.com/-/aw609-record> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

Osim prijevoza putnika postoje još mnoge mogućnosti upotrebe VTOL letjelica. GL-10 Greased Lightning sa svojim mogućnostima vertikalnog slijetanja i uzlijetanja i svojim relativno malim dimenzijama ima razne mogućnosti za upotrebu. GL-10 se može koristiti za dostavu malih paketa, dugi nadzor za agrikulturu, snimanje za potrebe kartografije i slično⁴⁵.

Sa novim idejama za upotrebu letjelica u civilne svrhe se pojavio i poznati proizvođač automobila Toyota koja je u srpnju 2015. predstavila vozilo sa krilima skrivenim u krovu, a

⁴² URL: http://www.leonardocompany.com/product-services/elicotteri_helicopters/aw609 (pristupljeno: kolovoz 2016.)

⁴³ Fly-by-wire= sustav koji zamjenjuje konvencionalne ručne kontrole leta zrakoplova s elektroničkim sučelje.

⁴⁴ URL: http://www.leonardocompany.com/product-services/elicotteri_helicopters/aw609 (pristupljeno: kolovoz 2016.)

⁴⁵ URL: <http://www.theverge.com/2015/5/11/8584353/nasa-greased-lightning-prototype-drone> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

koji se aktiviraju pritiskom na tipku. Prototip se zove Terrafugia TF-X (slika 17). Na krilima se nalaze električni motori, dok ispod haube se nalazai motor sa 300 konjskih snaga.

TF-X nije potrebna pista, već može vertikalno poletjeti s parkirališnog mjesta. Maksimalna brzina leta je 322 km/h, dok je doseg oko 800 kilometara. Vozilo prima četiri putnika, a sam let bi obavljao autopilot⁴⁶.



Slika 17. Terrafugia TF-X

Izvor: URL: <https://adriaticmedianethr.files.wordpress.com/2015/09/toyota-leti2.jpg?quality=90&strip=all>
(pristupljeno: kolovoz 2016.)

⁴⁶ URL: <http://net.hr/auto/vijesti/krila-skrivena-u-krovu-toyota-razvija-leteci-automobil> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

5. ZAKLJUČAK

Povijesno gledajući, najveća postignuća u zrakoplovstvu su se dogodila za vrijeme drugog svjetskog rata za potrebe vojske. Tako i danas velike vojske u svijetu u želji da ostvare superiornost u zraku ulažu značajna sredstva u zrakoplovnu industriju. Međutim, takvih programa je danas sve manje jer da bi se napravio novi zrakoplov (pogotovo borbeni zrakoplovi koji je vrhunac tehnologije) potrebna su velika financijska ulaganja.

Takva ulaganja mogu podnijeti samo velike države sa jakim gospodarstvom, poput gospodarstva SAD-a koje je u suradnji s nekoliko ostalih zemalja potrošilo oko 400 milijardi dolara na zrakoplov F-35 koji je tijekom eksperimentalnih letova pokazao velike nedostatke.

Vojska je razvijala VTOL i STOL letjelice za brzi prijevoz vojnika i opreme do teško pristupačnih prostora. Te letjelice su postale nezamjenjive za operacije traženja i spašavanja, medicinsku evakuaciju i borbenu potporu. Prednost takvih letjelica je što one ne zahtijevaju velika ulaganja u zemaljsku infrastrukturu, a nekima uopće i nije potrebna.

Vidna je i velika mogućnost upotrebe u civilnom sektoru, jer putnici nebi morali više putovati do zračne luke. Time se štedi na vremenu koje se izgubi na putu do zračne luke koje nekad zna biti i duže od putovanja zrakoplovom. Konceptija tehnologije zračnog prometa kao što je TILTROTOR osim što omogućuje transport „od vrata do vrata“, jedina može udovoljiti sve oštrijim zahtjevima maksimalnog racionalnog korištenja zemljišta za prometnu infrastrukturu.

Zbog sve većeg povećanja zračnog prometa došlo je i do velike potražnje za zrakoplovima na tržištu. Traže se uglavnom ekološki prihvatljivi zrakoplovi zbog sve veće zabrinutosti država diljem svijeta za zagađenje okoliša u kojem je zagađenju zračni promet ima veliku ulogu.

Proizvođači zrakoplova odgovaraju na zahtjev tržišta tako da su počeli istraživati nove dizajne letjelica koja će biti prihvatljivija kupcima u smislu manjih troškova eksploatacije i ekološki prihvatljiviji. U svemu tome prednjači NASA koja AAVP programom ne samo da želi razviti novi dizajn letjelica, nego želi i razviti nove motore, materijale i alate koji bi se koristili u daljnoj proizvodnji zrakoplova.

Popis literature

Knjige, znanstveni i stručni članci, ostali izvori

1. Steiner, S., Vidović, A., Bajor, I., Pita, O., Štimac, I.: *Zrakoplovna prijevozna sredstva*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.
2. Radačić, Ž., Suić, I., Škurla Babić, R.: *Tehnologija zračnog prometa I*; Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2008.
3. Pravilnik o projektiranju, prihvaćanju, gradnji i održavanju zrakoplova koji nisu u nadležnosti europske agencije za sigurnost zračnog prometa (EASA), NN 40/2012.
4. Jurešić, I.: *Performanse modela nekonvencionalnog zrakoplova za višenamjensku operativu*, Diplomski rad, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2002.
5. Russell H. Thomas, Casey L. Burley, Erik D. Olson: *Hybrid Wing Body Aircraft System Noise Assessment With Propulsion Airframe Aeroacoustic Experiments*, NASA Langley Research Center, Hampton, 2010.
6. E. R. Galea, L. Filippidis, Z. Wang, P. J. Lawrence, J. Ewer: *Evacuation Analysis of 1000+ Seat Blended Wing Body Aircraft Configurations: Computer Simulations and Full-scale Evacuation Experiment*: Boston, 2011.
7. William W. Chung, Dennis Linse, Al Paris, Dan Salvano, McLean, Ted Trept, Tom Wood, Dave Miller, Ken Wright, Ray Young, Victor Cheng: *Modeling High-Speed Civil Tiltrotor Transports in the Next Generation Airspace*, Ames Research Center Moffett Field, Kalifornija, 2011.

Internet izvori

1. URL: <http://www.aeronautics.nasa.gov/aavp/images/process-improvement-gallery2.jpg> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
2. URL: http://www.faa.gov/aircraft/gen_av/ultralights/amateur_built (pristupljeno: kolovoz 2016.)
3. URL: http://www.aviastar.org/air/usa/rutan_varieze.php (pristupljeno: lipanj 2016.)
4. URL: http://www.faa.gov/aircraft/gen_av/ultralights/amateur_built/aw (pristupljeno: kolovoz 2016.)
5. URL: <http://www.popsci.com/article/technology/nasas-greased-lightning-tests-vertical-takeoff> (pristupljeno: lipanj 2016.)
6. URL: <http://scalepublications.freeyellow.com/XC-142A.html> (pristupljeno: lipanj 2016.)
7. URL: http://www.military-today.com/helicopters/bellboeing_v_22_osprey.htm (pristupljeno: lipanj 2016.)
8. URL: <http://www.airforceworld.com/bomber/eng/B2-spirit-stealth-bomber-usaf-1.htm> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
9. URL: <http://www.aerospaceweb.org/question/helicopters/q0141.shtml> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
10. URL: <http://www.aeronautics.nasa.gov/programs-aavp.htm> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
11. URL: <http://www.aeronautics.nasa.gov/aavp/images/vertical-lift-commuter.jpg> (pristupljeno: kolovoz 2016.)

12. URL: <http://www.aeronautics.nasa.gov/aavp/rvlt/index.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
13. URL: http://rotorcrafterc.nasa.gov/CR-2011-215960_10_26_11_Hi_Res.pdf (pristupljeno: kolovoz 2016.)
14. URL: <http://www.aeronautics.nasa.gov/aavp/cst/index.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
15. URL: <http://www.aeronautics.nasa.gov/aavp/aatt/index.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
16. URL: <http://sacd.larc.nasa.gov/branches/asab/asab-projects/advanced-air-transport-technology-project> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
17. URL: <http://www.aeronautics.nasa.gov/aavp/ac/index.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
18. URL: <http://zimo.dnevnik.hr/clanak/najveci-zrakoplov-na-svijetu-odradio-prvi-pokusni-let---446995.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
19. URL: <http://www.vectranfiber.com> (Pristupljeno: kolovoz 2016.)
20. URL: <https://www.hybridairvehicles.com/aircraft/airlander-10> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
21. URL: <https://www.hybridairvehicles.com/aircraft/airlander-50> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
22. URL: <http://www.darpa.mil/news-events/2014-02-11> (pristupljeno: lipanj 2016.)
23. URL: <http://balkans.aljazeera.net/vijesti/rusija-pravi-supersonicni-transportni-avion> (pristupljeno lipanj 2016.)
24. URL: <http://www.airforce-technology.com/projects/s37> (pristupljeno: lipanj 2016.)
25. URL: <http://www.theverge.com/2015/5/11/8584353/nasa-greased-lightning-prototype-drone> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
26. URL: <http://net.hr/auto/vijesti/krila-skrivena-u-krovu-toyota-razvija-leteci-automobil> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
27. URL: <https://adriaticmedianethr.files.wordpress.com/2015/09/toyota-leti2.jpg?quality=90&strip=all> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
28. URL: http://www.leonardocompany.com/product-services/elicotteri_helicopters/aw609 (pristupljeno: kolovoz 2016.)

Popis slika

| | |
|---|----|
| Slika 1. Istraživanja u zračnom tunelu..... | 3 |
| Slika 2. Letjelica kućne izrade Rutan VariEze..... | 4 |
| Slika 3. GL-10 Greased Lighting..... | 7 |
| Slika 4. XC-142A..... | 8 |
| Slika 5. Bell-Boeing V-22 Osprey..... | 11 |
| Slika 6. Hiller HJ-1 Hornet tip-jet helikopter..... | 12 |
| Slika 7. B-2 Spirit..... | 15 |
| Slika 8. Boeing X-48..... | 16 |
| Slika 9. Letjelica s VLT mogućnostima..... | 19 |
| Slika 10. Eksperimentalni zrakoplov s scramjet motorom..... | 20 |
| Slika 11. Koncepti transportnih zrakoplova..... | 21 |
| Slika 12. Airlander 10..... | 23 |
| Slika 13. Aerial Reconfigurable Embedded System (ARES)..... | 26 |
| Slika 14. Ruski supersonočni transportni zrakoplov PAK TA..... | 27 |
| Slika 15. Suhojev Su-47 Berkut..... | 28 |
| Slika 16. AW 609..... | 29 |
| Slika 17. Terrafugia TF-X..... | 31 |

Popis tablica

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Tehničke značajke XC-142A..... | 9 |
| Tablica 2. Tehničke značajke Bell-Boeing V-22 Osprey..... | 11 |
| Tablica 3. Tehničke značajke B-2 Spirit..... | 15 |
| Tablica 4. Tehničke značajke Airlander 10..... | 23 |
| Tablica 5. Tehničke značajke Airlander 50..... | 24 |
| Tablica 6. Tehničke značajke AW609..... | 30 |