

UNIVERZITET U BEOGRADU
SAOBRAĆAJNI FAKULTET

Branimir STOJILJKOVIĆ • Ljubiša VASOV

MEHANIKA LETA

– praktikum

BEOGRAD
2021.

Branimir Stojiljković, Ljubiša Vasov
МЕХАНИКА ЛЕТА – практикум
I izdanje

Recenzenti: dr Olja Čokorilo
Za izdavača: dr Nebojša Bojović, dekan
Glavni i odgovorni urednik: dr Marijana Petrović
Tehnički urednik: Gordana Marjanović
Korice: Predrag S. Zdravković
Izdavač: Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet,
Vojvode Stepe 305; telefon: 3976-017;
fax: 3096-704; <http://www.sf.bg.ac.rs>
Priprema: Izdavačka delatnost Saobraćajnog fakulteta
telefon: 3091-344; e-mail: izdavacka_delatnost@sf.bg.ac.rs
Štampa: Pekograf d.o.o., 11080 Zemun, Vojni put 258/d
telefon/fax: 3149-166; e-mail: pekograf@sbb.rs
<http://www.pekograf.com>
Tiraž: 120 primeraka
ISBN 978-86-7395-440-0

Na osnovu odluke Uređivačkog odbora Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu broj 538/2 od 27. maja 2021. godine, odobrava se za upotrebu u nastavi kao pomoćni udžbenik za predmet "Mehanika leta" na osnovnim studijama.

CIP – КАТАЛОГИЗАЦИЈА У ПУБЛИКАЦИЈИ
Народна библиотека Србије, Београд

533.6.013/.04(075.8)(076)
629.7.016/.017(075.8)(076)
532.5(075.8)(076)

СТОЈИЉКОВИЋ, Бранимир, 1976-

Mehanika leta : praktikum / Branimir Stojiljković, Ljubiša Vasov. - 1. izd. - Beograd : Univerzitet, Saobraćajni fakultet, 2021 (Zemun : Pekograf). - 136 str. : ilustr. ; 25 cm

Slike autora. - Tiraž 120. - Beleška o autorima: str. 135-136. - Bibliografija: str. 133-134.

ISBN 978-86-7395-440-0

1. Васов, Љубиша, 1961- [аутор]

а) Механика лета - Вежбе б) Летелице - Динамика - Вежбе с) Механика флуида - Вежбе

COBISS.SR-ID 40983817

Izdavač zadržava sva prava. Reprodukција pojedinih delova ili celine ove publikacije nije dozvoljena

SADRŽAJ

Predgovor	7
Spisak skraćenica	9
1. KONVERZIJA JEDINICA	11
1.1. Međunarodni sistem jedinica (SI).....	12
1.1.1. Definicije jedinica SI sistema	12
1.1.2. Prefiksi jedinica SI sistema	14
1.2. Faktori konverzije mernih jedinica	15
2. STANDARDNA ATMOSFERA.....	19
2.1. Međunarodna standardna atmosfera	19
2.1.1. Troposfera.....	22
2.1.2. Stratosfera (donji deo stratosfere – od 11 km do 20 km).....	25
2.2. Modeliranje odstupanja od ISA uslova u troposferi	28
2.2.1. Određivanje visine po pritisku i visine po gustini u nestandardnim uslovima	30
3. JEDNODIMENZIONALNO STIŠLJIVO STRUJANJE FLUIDA.....	35
3.1. Stišljivost, brzina zvuka i Machov broj	36
3.2. Jednačina kontinuiteta	38
3.3. Bernoullijeva jednačina	39
3.3.1. Bernoullijeva jednačina za nestišljivo strujanje	39
3.3.2. Bernoullijeva jednačina za izentropsko stišljivo strujanje	40
3.3.3. Veza između totalnih i statičkih gasodinamičkih parametara	41
3.3.4. Kritične vrednosti gasodinamičkih parametara.....	42
3.4. Strujanje kroz konvergentno-divergentni mlaznik	43

4. KONVERZIJA BRZINA	47
4.1. Definicije brzina	48
4.1.1. Indicirana brzina	49
4.1.2. Kalibrisana brzina	49
4.1.3. Ekvivalentna brzina	50
4.1.4. Stvarna brzina	51
4.1.5. Machov broj	51
4.2. Analitički izrazi za konverziju brzina	51
4.2.1. Veza stvarne i ekvivalentne brzine	52
4.2.2. Veza ekvivalentne i kalibrisane brzine	54
4.2.3. Veza stvarne i kalibrisane brzine	55
4.2.4. Veza Machovog broja i stvarne brzine	58
4.2.5. Veza Machovog broja i ekvivalentne brzine	60
4.2.6. Veza Machovog broja i kalibrisane brzine	60
4.2.7. Faktor korekcije Δv_c	61
5. AEROPROFILI	65
5.1. Serija NACA aeroprofila sa četvorocifrenom oznakom	66
5.1.1. Obeležavanje	67
5.1.2. Srednja linija	68
5.1.3. Raspodela debljine oko srednje linije	69
5.1.4. Radijus zaobljenja napadne ivice	71
5.1.5. Koordinate gornjake i donjake	71
5.2. Serija NACA aeroprofila sa petocifrenom oznakom	74
5.2.1. Obeležavanje	74
5.2.2. Srednja linija	75
5.3. NACA 6-serija aeroprofila	76
5.3.1. Obeležavanje	77
5.3.2. Srednja linija	79
5.3.3. Raspodela debljine oko srednje linije	79
6. RASPODELA KOEFICIJENTA PRITISKA OKO AEROPROFILA	81
6.1. Koeficijent pritiska	82
6.1.1. Koeficijent pritiska za slučaj nestišljivog strujanja	83
6.2. Reynoldsov broj	83
6.3. Određivanje raspodele koeficijenta pritiska oko aeroprofila primenom DesignFOIL softvera	84
7. AERODINAMIČKE KARAKTERISTIKE AEROPROFILA	91
7.1. Aerodinamički koeficijenti aeroprofila	92

7.2. Određivanje vrednosti aerodinamičkih koeficijenata aeroprofila primenom DesignFOIL softvera.....	95
8. UTICAJ VITKOSTI NA AERODINAMIČKE KARAKTERISTIKE KRILA.....	99
8.1. Geometrijske karakteristike krila.....	100
8.2. Određivanje vrednosti aerodinamičkih koeficijenata krila primenom DesignFOIL softvera.....	105
8.2.1. Unos parametara geometrije krila u DesignFOIL softver.....	105
8.2.2. Unos parametara strujanja u DesignFOIL softver	108
8.2.3. Analiza strujanja u DesignFOIL softveru	110
9. UTICAJ ZAKRILACA NA AERODINAMIČKE KARAKTERISTIKE KRILA.....	113
9.1. Određivanje aerodinamičkih karakteristika krila sa otklonjenim zakrilcima primenom DesignFOIL softvera.....	114
9.1.1. Proračun osnovnih geometrijskih parametara krila.....	115
9.1.2. Simuliranje aeroprofila sa običnim zakrilcem u DesignFOIL softveru	116
9.1.3. Unos geometrijskih parametara krila u DesignFOIL softver	118
9.1.4. Unos parametara strujanja u DesignFOIL softver	120
9.1.5. Analiza opstrujavanja krila u DesignFOIL softveru	121
10. KRITIČNI MACHOV BROJ	125
10.1. Koeficijent pritiska za slučaj izentropskog stišljivog strujanja	126
10.1.1. Kritični koeficijent pritiska.....	127
10.2. Korekcije stišljivosti.....	127
10.3. Kritični Machov broj aeroprofila.....	129
10.3.1. Određivanje približne vrednosti kritičnog Machovog broja aeroprofila primenom grafičke metode.....	129
LITERATURA	133
BELEŠKA O AUTORIMA.....	135

PREDGOVOR

Prvo izdanje pomoćnog udžbenika „Mehanika leta - praktikum“ je pre svega namenjeno studentima osnovnih akademskih studija Odseka za vazdušni saobraćaj i transport, Saobraćajnog fakulteta, Univerziteta u Beogradu. Pored toga, ovaj praktikum može biti od koristi diplomiranim inženjerima vazdušnog saobraćaja i vazduhoplovstva za praktično rešavanje elementarnih problema iz oblasti aerodinamike.

Sadržaj ovog praktikuma je usaglašen sa nastavnim planom i programom predmeta *Mehanika leta* i obuhvata prvi deo nastavnog programa, koji tretira problematiku aerodinamike. Praktikum je napisan na bazi predavanja i vežbi koje se drže na Katedri za vazduhoplovna sredstva, Saobraćajnog fakulteta. Koncipiran je tako da kroz kratak izvod iz teorijskog dela gradiva, sa pratećim nizom numeričkih primera, prati redosled izlaganja materije na predavanjima i vežbama i omogućiti studentima samostalnu izradu semestralnog projektnog zadatka.

Bliže je objašnjena problematika: konverzije mernih jedinica, standardne atmosfere i modeliranja odstupanja od standardnih uslova, jednodimenzionalnog stišljivog i nestišljivog strujanja fluida, konverzije brzina, nomenklature i označavanja aeroprofila, određivanja raspodele koeficijenta pritiska oko aeroprofila i aerodinamičkih karakteristika aeroprofila i krila, uticaja vitkosti i zakrilaca na aerodinamičke koeficijente krila i kritičnog *Machovog* broja aeroprofila.

Posebno se zahvaljujemo uvaženoj kolegici prof. dr Olji Čokorilo na korisnim savetima i sugestijama, upućenim tokom recenzije ovog pomoćnog udžbenika. Takođe, zahvalnost dugujemo i Gordani Marjanović na pruženoj pomoći u tehničkoj obradi rukopisa i savetima koji su doprineli kvalitetnijem izgledu praktikuma.

Uprkos uloženom trudu autora i revnosti recenzenta, pojava grešaka u samostalnom radu je često neizbežna. Iz tog razloga, unapred se izvinjavamo čitaocima i zahvaljujemo svima koji nam ukažu na eventualne greške i svojim predlozima i sugestijama pomognu da u sledećim izdanjima poboljšamo kvalitet.

BELEŠKA O AUTORIMA



Dr Branimir Stojilković rođen je u Leskovcu 1976. godine. Osnovnu školu završio je u Grdelici, a gimnaziju u Vlasotincu. Diplomirao je 2002. godine na Mašinskom fakultetu u Beogradu. Na Saobraćajnom fakultetu u Beogradu završio je poslediplomske studije 2010. godine i odbranio doktorsku disertaciju 2016. godine. Na Odseku za vazdušni saobraćaj i transport zaposlen je od 2004. godine. U septembru 2016. godine izabran je u zvanje docenta.

Na osnovnim akademskim studijama drži nastavu na predmetima: *Mehanika leta*, *Pogonske grupe vazduhoplova*, *Instrumenti vazduhoplova*, *Sistemi vazduhoplova*, *Performanse turbinskih motora transportnih vazduhoplova*, *Vazduhoplovstvo i zaštita okruženja* i *Energetska efikasnost transportnih vazduhoplova*, a na master akademskim studijama: *Održavanje i pouzdanost vazduhoplova* i *Upravljanje održavanjem vazduhoplova*.

U svom dosadašnjem radu učestvovao je u realizaciji nekoliko naučnih i stručnih projekata i ekspertiza, bio član za ocenu i odbranu velikog broja završnih, diplomskih i master radova i dve doktorske disertacije. Autor je jedne monografije od nacionalnog značaja i preko trideset publikovanih ili saopštenih radova. Član je Komisije za praćenje i unapređenje kvaliteta nastave na Saobraćajnom Fakultetu Univerziteta u Beogradu.



Dr Ljubiša Vasov, rođen je 1961. godine u Prokuplju. Osnovnu školu i gimnaziju završio je 1979. godine u Dimitrovgradu. Diplomirao je na Mašinskom fakultetu u Beogradu na grupi za Aerokosmotehniku i do 1989. radio u Vazduhoplovnotehničkom institutu u Žarkovu. Od 1989. godine zaposlen je na Saobraćajnom fakultetu na Odseku za vazdušni saobraćaj i transport, na kome je završio poslediplomske studije i 2002. odbranio doktorsku disertaciju. U julu 2013. izabran je u zvanje redovnog profesora.

Na osnovnim akademskim studijama drži nastavu na predmetima: *Mehanika leta, Pogonske grupe vazduhoplova, Instrumenti vazduhoplova, Sistemi vazduhoplova, Performanse turbinskih motora transportnih vazduhoplova, Vazduhoplovstvo i zaštita okruženja i Energetska efikasnost transportnih vazduhoplova*, na master akademskim studijama: *Održavanje i pouzdanost vazduhoplova* i *Upravljanje održavanjem vazduhoplova*, i na doktorskim studijama: *Efektivnost transportnih vazduhoplova*. Na Univerzitetu u Nišu – Mašinskom fakultetu drži nastavu na predmetima *Vazduhoplovna prevozna sredstva* i *Vazduhoplovno inženjerstvo*.

U dosadašnjem radu učestvovao je u realizaciji više projekata, bio mentor preko 30 diplomskih radova, jedne magistarske teze i dve doktorske disertacije. Radio je recenzije više knjiga i stalni je recenzent u nekoliko međunarodnih naučnih časopisa. Autor je jedne knjige i monografije i ima preko 80 publikovanih naučnih radova. Učestvovao je u radu više stručnih organa na Saobraćajnom fakultetu i trenutno obavlja dužnost šefa Katedre za vazduhoplovna prevozna sredstva.