

UNIVERZITET U BEOGRADU

VAZDUHOPLOVNI PROPULZORI

PRAKTIKUM

Vasko Fotev

MAŠINSKI FAKULTET

UNIVERZITET U BEOGRADU

**VAZDUHOPLOVNI
PROPULZORI**

- PRAKTIKUM-

VASKO FOTEV

MAŠINSKI FAKULTET

Beograd, 2011.

Univerzitet u Beogradu
Mašinski fakultet

Vazduhoplovni Propulzori

dr. Vasko Fotev vanredni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Recenzenti:

dr. Miroljub Adžić profesor emeritus Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

dr. Slobodan Stupar redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Izdavač:

Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
Kraljice Marije 16, Beograd, Srbija

Za izdavača:

dr. Milorad Milovančević redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Urednik izdanja:

dr. Aleksandar Obradović redovni profesor

Odobreno za štampu odlukom dekana Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu
br. 168/10 od 16.9.2010. godine.

Štampa:

Planeta Print
Beograd, Ruzveltova 10

Crteži, tekst i slog: dr. Vasko Fotev

Dizajn korica: dr. Vasko Fotev

Tiraž: 200

ISBN 978-86-7083-705-8

PREDGOVOR

- Sadržaj knjige obuhvata materijal dovoljan vazduhoplovnim inženjerima koji se ne bave propulzijom, a za one koji će se njome baviti predstavlja uvod.
- Izloženi materijal je invarijantan u odnosu na sve vrste lokalnih i globalnih administrativnih transformacija.

ZAHVALNOST

- Zahvaljujem mojim bivšim, sadašnjim i budućim studentima na njihovoj inspirativnosti.
- Zahvaljujem korporaciji Suhoi, koja mi je dozvolila da koristim njen informativni materijal za: 8.6 i 8.7.
- Zahvaljujem Laboratoriji za mlaznu propulziju Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, čiji sam jedan od osnivača, na pruženoj mogućnosti da radim sa ljudima sa kojima je sve bilo moguće.

GREŠKE

- Unapred se izvinjavam zbog grešaka u knjizi; kojih, bez obzira na revnost recenzenata, sigurno ima, jer su one, u samostalnom radu, neizbežne. Molim sve one koji ih uoče da mi na njih ukažu kako bi usledile ispravke.
- Ovo nije ni prva ni poslednja knjiga sa greškama. Greške, same po sebi nisu problem, već je problem ako ne postoji volja da se one isprave. A ima i takvih štiva, kao što je – recimo, mit o Dedalu i Ikaru. Svakome je danas jasno da se vosak Ikarovih krila, na velikoj visini, nije mogao istopiti, jer se pri porastu visine temperatura vazduha snižava. Ovu, vekovima otpornu grešku, niko ne ispravlja kako bi se poruka i dalje prenosila sa kolena na koleno. Poruka je jasna: ne letite više od svojih očeva. Poruka ove knjige je suprotna: letite i dalje i više – ako to umete i ako vas to raduje.

OGRANIČENJE

- Znanje sadržano u ovoj knjizi obavezuje njegove korisnike na:
 - očuvanje života i okoline,
 - poštovanje sebe, i svega oko sebe.

Autor, Beograd 2011.

OZNAKE, DEFINICIJE I SKRAĆENICE KOJE VAŽE KROZ CELU KNJIGU

DEFINICIJE:

GASOGENERATOR je skup elemenata koji generiše gas visoke entalpije.

MOTOR je tehnička naprava koja toplotnu energiju pretvara u mehaničku.

PROPULZOR je pokretač. Sastoji se iz motora i pokretačkih elemenata kao što su mlaznik, elisa, rotor helikoptera.

NAPOMENA: u praksi se veoma često izjednačuju termini motor i propulzor.

SKRAĆENICE:

OPŠTE

CV	kontrolna zapremina
CFD	Computational Fluid Dynamic
FMM	fizičko-matematički model
GDF	gasodinamičke funkcije (bez posebnog imenovanja svake ponaosob)
NFMM	nivo fizičko-matematičkog modela
TDC	termodinamički ciklus

MOTOR, PROPULZOR I PROPULZIVNO KOLO

HSM	hipersonični motor; HSP (propulzor)
MT	motor
NMM	nabojno mlazni motor; NMP (propulzor)
DTMM RS	dvostrujni turboblazni motor sa razdvojenim izlaznim strujama; DTMP RS (propulzor)
DTMM ZS	dvostrujni turboblazni motor sa zajedničkom izlaznom strujom; DTMP ZS (propulzor)
DTMM ZS D	dvostrujni turboblazni motor sa zajedničkom izlaznom strujom i dogrevnom komorom; DTMP ZS D
PAM	pomoćni agregatni motor; APU (auxiliary power unit)
PDM	pulzo-detonacioni motor; PDP (propulzor)
PR	propulzor
TEM	turboelisni motor; TEP (propulzor)
TMM	turboblazni motor; TMP (propulzor)
TMM D	turboblazni motor sa dogrevnom komorom; TMP D (propulzor)
TMS	turbomotor snage; TPS

ENERGETSKI ELEMENTI PROPULZIVNIH KOLA I RADNA MATERIJIA

DK	dogrevna komora (komora dopunskog sagorevanja)
E	elisa
ISA	internacionalna standardna atmosfera
K	kompresor
KS	osnovna komora sagorevanja
M	mlaznik
ME	mešač
MP	multiplikator
RD	reduktor
RM	radna materija
RT	regenerator toplote
T	turbina
U	uvodnik
V	ventilator
VR	vratilo

OPŠTE OZNAKE:

STRUJNO-TERMODINAMIČKE VELIČINE

a	lokalna brzina zvuka
c	apsolutna brzina strujanja
C_p	specifična toplota materije pri konstantnom pritisku
C_v	specifična toplota materije pri konstantnoj zapremini
h	specifična entalpija
M	Mahov broj
m	masa
\dot{m}	maseni protok materije
P	pritisak gasa
R	gasna konstanta
R_e	Rejnoldsov broj
s	specifična entropija
T	temperatura (apsolutna)
u	obimna brzina; komponenta brzine strujanja
v	specifična zapremina; komponenta brzine strujanja; brzina leta
q	razmenjena količina topote po kilogramu materije
w	razmenjen rad po kilogramu materije; relativna brzina strujanja; komponenta brzine strujanja
κ	eksponent izentrope
λ	Lavalov broj
ρ	gustina materije
π	odnos pritisaka
τ	odnos entalpija (za $C_p = \text{const}$ jednak je odnosu temperatura)
ε	odnos gustina

MEHANIČKE VELIČINE

F	sila
M	moment
n	brzina obrtanja («broj obrtaja»)
N	snaga
t	vreme

VELIČINE KOJE OPISUJU FORMU I POLOŽAJ

A	površina; površina poprečnog preseka strujanja
D	prečnik
H	visina; visina leta
L	dužina; dolet
$\alpha, \beta, \gamma, \delta, i$	uglovi: napadni, povijanja,...

VELIČINE IZ OBLASTI SAGOREVANJA

H_d	donja toplotna moć goriva
q	odnos mešanja (odnos masenog protoka goriva prema masenom protoku vazduha) = koeficijent mešanja
α	koeficijent viška vazduha
θ	maksimalan stepen zagrevanja

VELIČINE KOJE OPISUJU KVALITET I EFIKASNOST FUNKCIONISANJA

σ	koeficijent pada, obnove ili procentualne ne iskorišćenosti neke veličine
φ	koeficijent isticanja (brzinski)
μ	koeficijent protoka (maseni)
η	stepen korisnosti, dobrote, efikasnosti

INDEKSI:

	bez indeksa je radna materija
a	atmosfera (ISA uslovi)
nom	nominalna veličina (projektna, za koju je element optimisan)
∞	ne poremećena atmosfera
0	ulazni presek motora; parametri leta letelice
u	na ulazu energetske komponente
i	na izlazu energetske komponente
kr	kritični uslovi
v	vazduh
g	gorivo
r	redukovana veličina
*	totalna veličina stanja

OZNAKE KARAKTERISTIKA PROPULZORA:

F_{sp}	specifičan potisak.
N_{sp}	specifična snaga.
C_{sp}	specifična potrošnja goriva.
I_{sp}	specifičan impuls.
π_{Σ}	sumarni stepen sabijanja u motoru.
τ_{Σ}	sumarni stepen zagrevanja u motoru (usled sumarnog sabijanja u motoru).
θ	(maksimalan) stepen zagrevanja motora (usled sabijanja i dovođenja toplote sagorevanjem).
\bar{P}	$\bar{P} = \{F, F_{sp}, C_{sp}, \dots\}$ performanse (karakteristike) propulzora su skup veličina koje izražavaju veličinu propulzora, njegov kvalitet i koje imaju uticaj na performanse letelice koju propulzor pogoni. $\bar{P} \subset \bar{X}_s$ za zadato \bar{X}_u .
$\bar{P}(M_0)$	brzinske performanse propulzora zavise od Mahovog broja leta; $\bar{X}_u = \overline{\text{var}} = \begin{cases} M_0 = \text{var} \\ \bar{X}_u \setminus \{M_0\} = \overline{\text{const}} \end{cases}$.
$\bar{P}(H_0)$	visinske performanse propulzora zavise od visine leta; $\bar{X}_u = \overline{\text{var}} = \begin{cases} H_0 = \text{var} \\ \bar{X}_u \setminus \{H_0\} = \overline{\text{const}} \end{cases}$.
$\bar{P}(n)$	prigušne performanse propulzora zavise od broja obrtaja; $\bar{X}_u = \overline{\text{var}} = \begin{cases} n = \text{var} \\ \bar{X}_u \setminus \{n\} = \overline{\text{const}} \end{cases}$.

OZNAKE RADNIH TAČAKA, LINIJA I OBLASTI:

\bar{R}	višedimenziona tačka, skup čiji su članovi različiti parametri (npr. $\{p, v, T, M, \rho, h, \dots\}$).
\bar{R}_{Tki}	i-ta stacionarna radna tačka elementa k, $\bar{R}_{Tki} = \bar{X}_{ski} \setminus \bar{f}_k$.
\bar{R}_{Ti}	i-ta stacionarna (ravnotežna) radna tačka motora u kojoj su svi maseno-energetski bilansi usaglašeni. U njoj motor radi stabilno i stacionarno, $\bar{R}_{Ti} = \bar{X}_{si} \setminus \bar{f}$.
\bar{R}_{Ti}^+	i-ta neravnotežna radna tačka motora. U njoj nisu usaglašeni svi maseno-energetski bilansi pa dolazi do porasta radnog režima motora, ona je element linije ubrzanja.
\bar{R}_{Ti}^-	i-ta neravnotežna radna tačka motora. U njoj nisu usaglašeni svi maseno-energetski bilansi pa dolazi do snižavanja radnog režima, ona je element linije usporavanja.
\bar{R}_L	stacionarna radna linija motora, $\bar{R}_L = \{\bar{R}_{Ti}\}$, skup stacionarnih radnih režime motora.
\bar{R}_{Li}^+	i-ta linija ubrzanja motora, $\bar{R}_{Li}^+ = \{\bar{R}_{Tij}^+\}$.
\bar{R}_{Li}^-	i-ta linija usporavanja motora, $\bar{R}_{Li}^- = \{\bar{R}_{Tij}^-\}$.
\bar{R}_{Tnom}	nominalna radna tačka motora je radni režim motora za koji je on optimisan (da pri datim uslovima leta (H_0, M_0) ima C_{spmin} , ili F_{spmax} , ili ...).
\bar{R}_{Tknom}	nominalna (projektana) radna tačka elementa k.
\bar{L}_{Pi}	i-ta linija saglasnosti rada komponenata po parametru P, npr. po (m, N, p, \dots) .
\bar{G}_{Ti}	i-ta granična tačka radne oblasti motora.
\bar{G}_{Li}	i-ta granična linija radne oblasti motora.
\bar{G}_{Tki}	i-ta granična tačka radne oblasti elementa k.
\bar{G}_{Lki}	i-ta granična linija radne oblasti elementa k (granica pumpanja kompresora \bar{G}_{LK1} , gušenja \bar{G}_{LK2} , ...).
$\text{Lim}_{ki}(P_j)$	i-ti limiter rada elemenata k po parametru P_j .
$\text{Lim}_i(P_j)$	i-ti limiter rada motora po parametru P_j . Uvek potiče od $\text{Lim}_{ki}(P_j)$.
\bar{R}_Ω	radna oblast motora. $\bar{R}_\Omega = \text{in} \{ \{\bar{G}_{Li}\} \setminus \{\bar{G}_{Ti}\} \setminus \{\text{Lim}_i(P_j)\} \}$; unutrašnjost ograničenog prostora.
$\bar{R}_{\Omega k}$	radna oblast komponente k. $\bar{R}_{\Omega k} = \text{in} \{ \{\bar{G}_{Lki}\} \setminus \{\bar{G}_{Tki}\} \setminus \{\text{Lim}_{ki}(P_j)\} \}$.
\bar{G}_{LALi}	i-ta granična linija anvelope leta letelice.
\bar{A}_L	$\bar{A}_L = \text{in} \{ \bar{G}_{LALi} \}$ ili $\bar{A}_L = \{(H_0; M_0)_j\}$ anvelope leta.
\bar{X}_u	skup ulaznih veličina propulzora: uslova leta, ... $\bar{X}_u = \{\bar{A}_L, \alpha_0, \beta_0, \gamma_0, T_{Tu\max}^*, \text{ubrzanje}, \dots\}$.
\bar{X}_s	skup veličina stanja propulzora $\{\bar{X}_u, \bar{f}, \bar{X}_i\} \subset \bar{X}_s$ čine vrednosti svih veličina koje u potpunosti definišu stanje propulzora.
\bar{X}_i	skup izlaznih veličina propulzora.
\bar{X}_{uk}	skup ulaznih veličina elementa k.
\bar{X}_{sk}	skup veličina stanja elementa k $\{\bar{X}_{uk}, \bar{f}_k, \bar{X}_{ik}\} \subset \bar{X}_{sk}$ čine vrednosti svih veličina koje u potpunosti definišu njegovo stanje.
\bar{X}_{ik}	skup izlaznih veličina elementa k.
f	funkcija transformacije: $X_u \xrightarrow{f} X_i, X_{si} \xrightarrow{f} X_{sj}, \dots$

SADRŽAJ

1	UVOD	1
1.1	ENERGETSKI ASPEKTI LETENJA	2
1.1.1	AEROSTATSKI PRINCIP LETENJA	2
1.1.2	DINAMIČKI PRINCIP LETENJA	5
1.1.3	NIVO SNAGA NEOPHODNIH ZA KOSMIČKI LET	7
1.2	MOTOR, PROPULZOR, POGONSKA SILA I POTISAK	9
1.3	METODI REALIZACIJE POTISKA	11
1.3.1	IZVOR MASE	11
1.3.2	IZVOR ENERGIJE	11
1.3.3	HEMIJSKI POGON	13
1.4	OSNOVNE PERFORMANSE PROPULZORA	14
1.4.1	KVANTITATIVNI DESKRIPTORI PROPULZORA	14
1.4.2	KVALITATIVNI DESKRIPTORI PROPULZORA	14
1.5	TERMODINAMIČKI CIKLUSI (TDC)	17
1.5.1	TDC ZATVORENE KONTROLNE ZAPREMINE	17
1.5.2	TDC OTVORENE KONTROLNE ZAPREMINE	19
1.5.3	BRAJTONOV TDC	19
1.5.4	BRAJTONOV TDC SA REGENERACIJOM TOPLOTE	27
1.5.5	HUMPHREYEV CIKLUS (V_{CONST})	28
1.6	EFIKASNOST PROPULZORA	30
1.6.1	DOLET AVIONA	30
1.6.2	ENERGETSKI TOKOVI I STEPENI KORISNOSTI PROPULZORA	31
1.7	PROPULZIVNO KOLO	36
1.7.1	STRUKTURA ELEMENATA PROPULZIVNOG KOLA I NIVOI NJIHOVIH FIZIČKO-MATEMATIČKIH MODELA	36
1.7.2	ULAZNE, IZLAZNE, VELIČINE STANJA I PERFORMANSE PROPULZORA	39
1.7.3	HIJERARHIJSKA STRUKTURA PROPULZORA	40
1.7.4	PROPULZIVNO KOLO I NEKI OD USLOVA SAGLASNOSTI NJEGOVOG RADA	41
1.7.5	JEDNOSTRUJNO I DVOSTRUJNO PROPULZIVNO KOLO	42
2	IDEALNI ENERGETSKI ELEMENTI PROPULZIVNIH KOLA - 0.NFMM	45
2.1	RADNI USLOVI I RADNA MATERIJ	46
2.1.1	ATMOSFERA (ISA)	46
2.1.2	RADNA MATERIJ (RM)	46
2.2	STRUJNI ELEMENTI	47
2.2.1	UVODNIK (U)	47
2.2.2	MLAZNIK (M)	48
2.3	STRUJNO-MEHANIČKI ELEMENTI	49
2.3.1	ELISA (E)	49
2.3.2	VENTILATOR (V)	50
2.3.3	KOMPRESOR (K)	50
2.3.4	TURBINA (T)	51
2.4	STRUJNO-TOPLLOTNI ELEMENTI	52
2.4.1	MEŠAČ (ME)	52
2.4.2	REGENERATOR TOPLOTE (RT)	55
2.5	HEMIJSKI IZVORI TOPLOTNE ENERGIJE	56
2.6	STRUJNI HEMIJSKO-TOPLLOTNI ELEMENTI	57
2.6.1	OSNOVNA KOMORA SAGOREVANJA (KS)	57
2.6.2	KOMORA DOPUNSKOG SAGOREVANJA (DOGREVNÁ KOMORA) (DK)	57
2.7	MEHANIČKI I MEHANIČKO-OSTALI ELEMENTI	58
2.7.1	REDUKTOR (RD) – MULTIPLIKATOR (MP)	58
2.7.2	VRATILO (VR)	58
2.7.3	STARTER MOTORA	58
2.7.4	GENERATOR STRUJE	58
2.7.5	PUMPA ZA GORIVO	58
2.7.6	PUMPA ZA ULJE	58
2.7.7	OSTALI POTROŠAČI I GENERATORI MEHANIČKE ENERGIJE	58
3	IDEALNI PROPULZORI U RADNOJ TAČKI - 0.NFMM	59

3.1	METOD ANALIZE	60
3.2	NABOJNO MLAZNI MOTOR: NMM	62
3.2.1	0.NFMM PROPULZIVNOG KOLA	63
3.2.2	SPECIFIČAN POTISAK	64
3.2.3	SPECIFIČNA POTROŠNJA.....	65
3.2.4	STEPENI KORISNOSTI	69
3.2.5	MAKSIMALAN SPECIFIČNI POTISAK.....	70
3.3	TURBOMLAZNI MOTOR: TMM	77
3.3.1	0.NFMM PROPULZIVNOG KOLA	78
3.3.2	SPECIFIČAN POTISAK	81
3.3.3	MAKSIMALNI MAHOV BROJ RADA	81
3.3.4	SPECIFIČNA POTROŠNJA.....	82
3.3.5	STEPENI KORISNOSTI TMMa.....	84
3.3.6	TMM MAKSIMALNOG POTISKA.....	85
3.4	TMM SA DOGREVNOM KOMOROM: TMMD	91
3.4.1	0.NFMM PROPULZIVNOG KOLA	92
3.4.2	SPECIFIČAN POTISAK	94
3.4.3	SPECIFIČNA POTROŠNJA.....	95
3.4.4	STEPENI KORISNOSTI	95
3.4.5	TMMD MAKSIMALNOG SPECIFIČNOG POTISKA	95
3.4.6	TMMD MINIMALNE SPECIFIČNE POTROŠNJE	96
3.5	DVOSTRUJNI TMM SA RAZDVOJENIM STRUJAMA: DTMM RS	97
3.5.1	0.NFMM PROPULZIVNOG KOLA	98
3.5.2	POTISAK I SPECIFIČAN POTISAK.....	98
3.5.3	SPECIFIČNA POTROŠNJA.....	101
3.5.4	MINIMALNA SPECIFIČNA POTROŠNJA PO STEPENU DVOSTRUJNOSTI m	102
3.5.5	STEPENI KORISNOSTI	104
3.6	DVOSTRUJNI TMM SA ZAJEDNIČKOM IZLAZNOM STRUJOM: DTMM ZS	109
3.6.1	0.NFMM PROPULZIVNOG KOLA	110
3.6.2	SPECIFIČAN POTISAK	112
3.6.3	SPECIFIČNA POTROŠNJA.....	112
3.6.4	ODNOS POTISKA DTMM ZS PREMA POTISKU DTMM RS.....	113
3.6.5	ANALIZA KADA JE m ZAVISNO PROMENLJIV PARAMETAR	114
3.6.6	ANALIZA KADA JE m NEZAVISNO PROMENLJIV PARAMETAR.....	116
3.6.7	STEPENI KORISNOSTI	117
3.7	DTMM SA ZAJEDNIČKOM IZLAZNOM STRUJOM I DOGREVNOM KOMOROM: DTMM ZS D	120
3.7.1	0.NFMM PROPULZIVNOG KOLA	122
3.7.2	SPECIFIČAN POTISAK	123
3.7.3	SPECIFIČNA POTROŠNJA.....	124
3.7.4	STEPENI KORISNOSTI	125
3.8	TURBOELISNI MOTOR: TEM	126
3.8.1	0.NFMM PROPULZIVNOG KOLA	127
3.8.2	EKVIVALENTNA SPECIFIČNA SNAGA MOTORA	129
3.8.3	SPECIFIČNA POTROŠNJA.....	130
3.9	HELIKOPTERSKI TURBOMOTOR I TURBOMOTOR SNAGE	131
3.9.1	HELIKOPTERSKI TURBOMOTOR: HTM	131
3.9.2	TURBOMOTOR SNAGE: TMS.....	134
3.10	HIPERSONIČNI MOTOR: HSM	135
3.10.1	0.NFMM PROPULZIVNOG KOLA SA DOVOĐENJEM TOPLOTE PRI $p=CONST$	136
3.10.2	SPECIFIČAN POTISAK HSMA SA DOVOĐENJEM TOPLOTE PRI $p=CONST$	142
3.10.3	SPECIFIČNA POTROŠNJA HSMA SA DOVOĐENJEM TOPLOTE PRI $p=CONST$	143
3.11	OBLASTI UPOTREBE POJEDINIH TIPOVA PROPULZORA	146
4	REALNI ELEMENTI I PROPULZORI U RADNOJ TAČKI - 1.NFMM	149
4.1	OSREDNJENE VELIČINE	150
4.2	RADNA MATERIJ (RM)	152
4.2.1	KARAKTERISTIKE RADNE MATERIJ ZA PRIBLIŽNE PRORAČUNE.....	152
4.2.2	KARAKTERISTIKE RADNE MATERIJ	152
4.3	UVODNIK (U)	154
4.3.1	KOEFICIJENT OBNOVE TOTALNOG PRITISKA σ_{pU}	154
4.4	MLAZNIK (M)	156
4.4.1	KOEFICIJENT ISTICANJA ϕ_M	156
4.4.2	KOEFICIJENT PROTOKA μ_M	157

4.4.3	KOEFICIJENT POTISKA C_{MF}	157
4.5	KOMPRESOR (K)	158
4.5.1	IZENTROPSKI KOEFICIJENT KORISNOSTI η_K	158
4.6	TURBINA (T)	159
4.6.1	IZENTROPSKI KOEFICIJENT KORISNOSTI η_T	159
4.7	KOMORA SAGOREVANJA (KS)	160
4.7.1	KOEFICIJENT PADA TOTALNOG PRITISKA σ_{pKS}	160
4.7.2	KOEFICIJENT POTPUNOSTI SAGOREVANJA σ_{gKS}	160
4.8	ELISA (E)	161
4.8.1	KOEFICIJENTI KORISNOSTI	161
4.9	REALAN TMM	164
5	STACIONARAN RAD REALNIH ELEMENATA I PROPULZORA U RADNOJ OBLASTI - 2.NFMM	175
5.1	METOD ANALIZE	176
5.2	REDUKOVANE VELIČINE	178
5.2.1	GEOMETRIJSKA SLIČNOST	178
5.2.2	NEPROMENLJIVOST STEPENA ZAGREVANJA I STEPENA SABIJANJA	178
5.2.3	NEKE REDUKOVANE VELIČINE	179
5.2.4	FAKTORI I FUNKCIJE REDUKOVANJA	180
5.3	UVODNIK (U)	181
5.3.1	ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA	181
5.3.2	UVODNIK ZA SUBSONIČNE I BLAGE SUPERSONIČNE BRZINE LETA ($M_0 < 1,5$)	181
5.3.3	SUPERSONIČNI UVODNIK	184
5.3.4	SEPARATOR GRANIČNOG SLOJA	188
5.3.5	KOEFICIJENT DISTORZIJE IZLAZNOG STRUJNOG POLJA - DC60	189
5.4	MLAZNIK (M)	192
5.4.1	ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA	192
5.4.2	STEPEN EKSPANZIJE MLAZNIKA	193
5.4.3	PROMENA VEKTORA POTISKA	195
5.4.4	PROTOČNA KARAKTERISTIKA	196
5.5	KOMPRESOR (K)	199
5.5.1	PRINCIP FUNKCIONISANJA AKSIJALNOG KOMPRESORA	199
5.5.2	ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA	200
5.5.3	PUMPANJE KOMPRESORA	201
5.5.4	GUŠENJE KOMPRESORA	202
5.5.5	KARAKTERISTIKE KOMPRESORA U RADNOJ OBLASTI	202
5.5.6	UNIVERZALNA KARAKTERISTIKA KOMPRESORA	203
5.6	TURBINA (T)	206
5.6.1	PRINCIP FUNKCIONISANJA AKSIJALNE TURBINE	206
5.6.2	ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA	207
5.6.3	PROTOČNA KARAKTERISTIKA TURBINE	208
5.7	KOMORA SAGOREVANJA (KS)	211
5.7.1	ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA	211
5.7.2	KOEFICIJENT PADA TOTALNOG PRITISKA	211
5.7.3	KOEFICIJENT POTPUNOSTI SAGOREVANJA	211
5.7.4	PARAMETAR TOPLOTNOG OPTEREĆENJA	212
5.7.5	OBLASTI STABILNOG RADA	213
5.7.6	INDEKS NERAVNOMERNOSTI TEMPERATURSKOG POLJA NA IZLAZU KS	214
5.7.7	KOMORA DOPUNSKOG SAGOREVANJA	214
5.8	ELISA (E)	215
5.8.1	KARAKTERISTIKE	215
5.9	REALAN TURBOMLAZNI MOTOR (TMM)	217
5.9.1	SAGLASNOST BROJEVA OBRTAJA OBRJNIH KOMPONENATA	218
5.9.2	BALANS PROTOKA RADNE MATERIJE	218
5.9.3	BALANS MEHANIČKE ENERGIJE	221
5.9.4	LINIJA SAGLASNOSTI RADA PO PROTOKU MOTORA \bar{L}_m	222
5.9.5	RADNA LINIJA TURBOMOTORA POTISKA \bar{R}_L	223
5.10	REALAN TURBOMOTOR SNAGE (TMS)	224
5.10.1	RADNA LINIJA TURBOMOTORA SNAGE \bar{R}_L	224

6	STACIONARNE PERFORMANSE REALNIH PROPULZORA – 2.NFMM	227
6.1	PERFORMANSE PROPULZORA U RADNOJ OBLASTI	228
6.2	UTICAJ USLOVA RADA NA KARAKTERISTIKE PROPULZORA	229
6.2.1	ZAVISNOST FAKTORA I FUNKCIJA REDUKOVANJA OD VISINE I BRZINE LETA	231
6.3	VISINSKA KARAKTERISTIKA TMMa $n_r = \text{const}$	233
6.4	BRZINSKA KARAKTERISTIKA TMMa $n_r = \text{const}$	236
6.5	PRIGUŠNA KARAKTERISTIKA TMMa	238
7	NESTACIONARAN RAD REALNIH PROPULZORA – 3.NFMM	241
7.1	PROMENA RADNIH REŽIMA REALNOG TMMa	242
7.1.1	LINIJA PORASTA RADNOG REŽIMA TMMa	242
7.1.2	LINIJA SMANJENJA RADNOG REŽIMA TMMa	243
7.2	PROMENA RADNIH REŽIMA REALNOG TMSa	244
7.2.1	LINIJA PORASTA RADNOG REŽIMA TMSa	244
7.2.2	LINIJA SMANJENJA RADNOG REŽIMA TMSa	245
7.3	STARTOVANJE I ISKLJUČENJE REALNOG TMMa	246
8	ANEKS	247
8.1	1-D STRUJNI PROCESI	248
8.1.1	PRVI ZAKON TERMODINAMIKE PRIMENJEN NA STRUJNE PROCESE	248
8.1.2	INTEGRALNA FORMA ENERGETSKE JEDNAČINE STRUJNOG PROCESA	248
8.1.3	IZOENERGETSKI STRUJNI PROCESI (ISP)	249
8.1.4	VEZA IZMEĐU TOTALNE I STATIČKE TEMPERATURE GASA ZA ISP	249
8.1.5	VEZA IZMEĐU STATIČKIH I TOTALNIH PARAMETARA GASA U FUNKCIJI MAHOVOG BROJA STRUJANJA ZA ISP	250
8.1.6	KRITIČNE VREDNOSTI PARAMETARA GASA	251
8.1.7	VEZA IZMEĐU STATIČKIH I TOTALNIH PARAMETARA GASA U FUNKCIJI LAVALOVOG BROJA STRUJANJA ZA ISP	251
8.1.8	VEZA IZMEĐU LAVALOVOG I MAHOVOG BROJA STRUJANJA	252
8.1.9	GASODINAMIČKA FUNKCIJA $q(\lambda)$	253
8.1.10	MASENI PROTOK GASA U FUNKCIJI GDF $q(\lambda)$	253
8.1.11	TABELARAN PREGLED KARAKTERISTIČNIH VREDNOSTI PARAMETARA STRUJANJA ZA ISP	254
8.1.12	PRIMERI	254
8.2	OSNOVE TURBOMAŠINA	264
8.3	OSNOVE ELISA	268
8.3.1	OSNOVNI ENERGETSKI TOKOVI U RADU ELISE	268
8.3.2	KARAKTERISTIKE ELISE PO TEORIJI AKTUATORA DISKA ELISE -ADE	269
8.3.3	PARAMETRI ELISE NA OSNOVU DIMENZIONE ANALIZE	271
8.4	OSNOVE SAGOREVANJA I NJEGOVE ORGANIZACIJE U KS	274
8.4.1	HEMIJA SAGOREVANJA	274
8.4.2	NEKI TIPOVI SAGOREVANJA	277
8.4.3	NEOPHODNI PROCESI U KOMORI SAGOREVANJA	279
8.4.4	STABILIZACIJA SAGOREVANJA	280
8.4.5	HLAĐENJE ZIDOVA KOMORE SAGOREVANJA	281
8.5	PRIMER MALOG TMSa TM 40	282
8.6	PRIMER DTMM ZS D MALOG STEPENA DVOSTRUJNOSTI	285
8.7	PRIMER DTMM ZS VELIKOG STEPENA DVOSTRUJNOSTI	286

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

629.7.03

ФОТЕВ, Васко, 1957-

Vazduhoplovni propulzori : praktikum /
Vasko Fotev. - Beograd : Mašinski fakultet,
2011 (Beograd : Planeta print). - X, 287 str.
: ilustr. ; 30 cm

Na vrhu nasl. str.: Univerzitet u Beogradu. -
Tiraž 200. - Bibliografija: str. 287.

ISBN 978-86-7083-705-8

а) Авиони - Погонски уређаји

COBISS.SR-ID 186665228

