

A 3D rendered image of a complex mechanical assembly, possibly a turbine or engine component, featuring various blue, red, and white parts. The assembly is shown in a perspective view, highlighting its intricate design and metallic texture.

Danilo Petrašinović
Aleksandar Grbović
Mirko Dinulović
Miloš Petrašinović

STAJNI TRAP LETELICA

Univerzitet u Beogradu
Mašinski fakultet



UNIVERZITET U BEOGRADU
MAŠINSKI FAKULTET

STAJNI TRAP LETELICA

*Danilo Petrašinović, Aleksandar Grbović,
Mirko Dinulović, Miloš Petrašinović*

BEOGRAD, 2018

dr Danilo Petrašinić, dipl.inž.maš., vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet

dr Aleksandar Grbović, dipl.inž.maš., vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet

dr Mirko Dinulović, dipl.inž.maš., vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet

Miloš Petrašinić, mast.inž.maš.
Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet

STAJNI TRAP LETELICA

I izdanje

Recenzenti:

dr Boško Rašuo, dipl.inž.maš., redovni profesor u penziji
Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet

dr Zlatko Petrović, dipl.inž.maš., redovni profesor u penziji
Univerzitet u Beogradu Mašinski fakultet

Izdavač:

Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
ul. Kraljice Marije 16, 11120 Beograd 35
tel. (011) 3370-760, fax (011) 3370 364

Za izdavača:

prof. dr Radivoje Mitrović, dekan

Glavni i odgovorni urednik:

prof. dr Milan Lečić

Dizajn korica i grafička priprema:

Miloš i Tijana Petrašinić

*Odobreno za štampu odlukom Dekana Mašinskog fakulteta u Beogradu
br. 23/2017 od 12.10.2017. godine*

Tiraž: 200 primeraka

ISBN: 978-86-7083-957-1

Štampa:

PLANETA - print, Ruzveltova 10, Beograd, tel/fax: (011) 3088-129

Zabranjeno preštampavanje i fotokopiranje. Sva prava zadržava izdavač i autori.

Našim najmilijima

Sadržaj

Sadržaj	v
Predgovor	ix
Listing slika	xi
Listing tabela	xix
Listing oznaka i skraćenica	xxi
Listing programa	xxvii
1 Uvod	1
1.1 Istorijat	3
1.2 Konstruktivne koncepcije	5
2 Proces projektovanja	13
2.1 Faza idejnog rešenja	13
2.2 Faza preliminarnog rešenja	15
2.3 Faza detaljnog rešenja	17
2.4 Serijska proizvodnja	19
3 Delovi stajnog trapa	21
3.1 Amortizer	21
3.1.1 Gumeni tip	28
3.1.2 Mehanički opružni tip	29
3.1.3 Vazdušni (pneumatski) tip	30
3.1.4 Uljni tip	31
3.1.5 Kombinovani tip opruga-ulje	31

3.1.6	Kombinovani tip vazduh-ulje	32
3.2	Točak	35
3.2.1	Guma	35
3.2.2	Felna	48
3.2.3	Kočnica	50
3.3	Konstrukcija	53
4	Opšti zahtevi i propisi	57
4.1	Vazduhoplovni propisi	57
4.2	Raspored točkova	59
4.3	Upravljanje letelicom po podlozi	61
4.4	Uvlačenje	63
5	Eksperimentalno ispitivanje	65
5.1	Ispitivanje čvrstoće	66
5.2	Ispitivanje sistema	68
5.3	Ispitivanje vrludanja	74
5.4	Ispitivanje na sredinu	74
5.5	Ispitivanje točkova i kočnica	75
6	Primer energetskog proračuna	77
6.1	Postavka projektnog zadatka	77
6.2	Osnovni podaci o avionu	78
6.3	Kinetička energija i sile	82
6.4	Izbor gume	85
6.5	Rad i hod amortizera	92
6.5.1	Sila amortizera	92
6.5.2	Trenje u amortizeru	106
6.5.3	Politropa vazduha	108
6.5.4	Sila ulja i oblik igle	111
6.5.5	Prikaz toka proračuna	116
7	Primer proračuna čvrstoće	127
7.1	Postavka projektnog zadatka	127
7.2	Merodavno opterećenje	128
7.3	Poprečni preseci	131
7.4	Osovina točka	133
7.5	Poluviljuška	140
7.6	Klipnjača amortizera	141

7.7	Cilindar amortizera	147
7.8	Crtež amortizera	154
7.9	Crtanje statičkih dijagram	155
7.10	Metod konačnih elemenata	161
8	Parametarsko 3D modeliranje	179
8.1	Uvod u parametarsko modeliranje	181
8.2	Osovina i spojnica	186
8.3	Felna i guma točka	189
8.4	Klipnjača amortizera	190
8.5	Igla amortizera	192
8.6	Cilindar amortizera	196
8.7	Sklop stajnog trapa	198
9	Procena mase	201
10	Mehanizam za uvlačenje stajnog trapa	207
	Prilozi	241
A	Proračun krutosti opruge	241
B	Digitalizacija dijagrama	245
C	Primer kataloga guma	255
D	Primer kataloga cevi	257
E	Proračun amortizera program	259
F	Proračun čvrstoće program	265
G	Catia makro za iglu	273
	Literatura	279
	Indeks	283

Predgovor

Cilj ove knjige je da olakša razumevanje procesa projektovanja i proračuna stajnog trapa studentima modula Vazduhoplovstvo na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Studenti nakon završetka kursa koji je obuhvaćen u ovoj knjizi poseduju znanja neophodna za uspešno rešavanje projektnog zadatka. I pored toga što u svetu postoji veoma dobra literatura koja se bavi ovom temom izvesno je da postoji nedostatak ovakvih izdanja u domaćoj stručnoj literaturi.

Autori ovu knjigu preporučuju ne samo studentima tehničkih fakulteta na kojima se obrađuje oblast vazduhoplovstva već i svim inženjerima koji započinju svoje upoznavanje sa stajnim trapovima letelica i ovu knjigu mogu koristiti kao teorijski uvod u tu oblast sa praktičnim primerima. Nakon više decenijskog rada sa studentima autori su uočili šta je potrebno obraditi i koje su to suštinske stvari koje treba objasniti kako bi studente osposobili da samostalno reše njima postavljeni zadatak i kasnije u praksi dodatno unaprede svoje znanje.

Često se kaže da je stajni trap suštinski posrednik između aviona i katastrofe. Još od samog početka, pre više od jednog veka, projektovanje ovog mašinskog sklopa sa sobom je nosilo veliku odgovornost. Danas je projektovanje stajnog trapa samo moguće ubrzati korišćenjem novih tehnologija, najčešće računara, ali inženjerski posao, u smislu rešavanja početnog problema apsorpcije velike količine energije i ublažavanja udara i dalje nije jednostavan.

Na početku knjige, u prvim poglavljima, čitaocu je predstavljeno najpre šta je stajni trap i čemu služi, zatim istorija njegovog razvoja zajedno sa prikazom niza različitih mogućih rešenja koja su se do sada koristila kao i prikaz kako teče proces projektovanja. Od detaljnog prikaza svih pojedinačnih delova koji čine sklop stajnog trapa preko zahteva i svih propisa vezanih za projektovanje i eksploataciju sve do eksperimentalnog

ispitivanja. U ovom delu su autori težili da na što jednostavniji način bez želje da se studenti zaplaše kompleksnošću samih delova objasne šta je sve potrebno uraditi i koje propise treba ispoštovati.

Kao i za svaki deo koji se koristi u vazduhoplovnoj industriji jedan od najbitnijih parametara je njegova masa, prikazane su metode koje se koriste za procenu i materijali od kojih se delovi izrađuju.

U drugom delu knjige su prikazani primeri energetskog proračuna stajnog trapa i proračuna njegove čvrstoće. Pod energetskim proračunom se podrazumeva određivanje rada i hoda gume i amortizera. Cilj primera je da se na što jednostavniji način čitaocu prikaže prva iteracija koja bi odgovarala brzom idejnom rešenju. Nakon klasičnog pristupa objašnjene su metode kojima je moguće unaprediti proračune u nekim od kasnijih faza projektovanja.

Čitaoc stiče osnovna praktična znanja koja su mu potrebna kako bi na kraju umeo da samostalno primeni metod konačnih elemenata u cilju proračuna neke strukture, parametarski modelira 3D objekat i simulira kompleksne fizičke mehanizme. Ovo je kranji cilj i smisao knjige s obzirom da omogućava čitaocu da u tehničkom smislu ostane u korak sa vremenom u kome živi i radi.

Ova knjiga ne bi mogla da se realizuje bez velike i nesebične podrške Mr Miroljuba Maksimovića dipl.inž.maš. koji je pomogao svojim znanjem i višedecenijskim iskustvom i ovim putem autori žele da izraze duboku zahvalnost. Knjiga je upotpunjena priložima iz PPT Namenska iz Trstenika i Muzeja vazduhoplovstva u Beogradu kojima se zahvaljujemo na prijemu.

Zahvaljujemo se recenzentima, prof. dr Rašuo Bošku i prof. dr Petrović Zlatku, na njihovim sugestijama zbog kojih je ova knjiga podignuta na viši nivo.

Beograd, avgust 2017.

Autori

Listing slika

1.1	<i>Stajni trap aviona Boeing 777-300</i>	2
1.2	<i>Stajni trap aviona Antonov An-225</i>	2
1.3	<i>Avion "Sarić br. 1" u Muzeju vazduhoplovstva u Beogradu</i> . .	3
1.4	<i>Stajni trap vazduhoplova Sarić br. 1</i>	4
1.5	<i>Stajni trap vazduhoplova Ikarus 451MM Stršljen II</i>	5
1.6	<i>Primer kategorija stajnih trapova</i>	6
1.7	<i>Stajni trap sa repnim točkom na avionu Meseršmit BF-109 G-2</i>	7
1.8	<i>Stajni trap tipa tricikl na avionu Soko J-22 Orao</i>	9
1.9	<i>Koncepcije neuvlačivih stajnih trapova</i>	11
1.10	<i>Primer modela uvlačivog stajnog trapa</i>	12
2.1	<i>Mogući tok u fazi idejnog rešenja</i>	14
2.2	<i>Algoritam za projektovanje stajnog trapa</i>	16
2.3	<i>Mogući tok u fazi detaljnog rešenja</i>	18
2.4	<i>Deo stajnog trapa aviona Utva Lasta 95 u toku proizvodnje</i> .	19
3.1	<i>Varijante položaja amortizera</i>	21
3.2	<i>Presek amortizera stajnog trapa</i>	22
3.3	<i>Razlaganje brzine letelice</i>	23
3.4	<i>Opšti oblik radnog dijagrama amortizera</i>	25
3.5	<i>Radni dijagram amortizera gumenog tipa</i>	28
3.6	<i>Radni dijagram amortizera opružnog tipa</i>	29
3.7	<i>Radni dijagram amortizera vazdušnog tipa</i>	30
3.8	<i>Radni dijagram amortizera tipa opruga-ulje</i>	32
3.9	<i>Radni dijagram amortizera tipa vazduh-ulje</i>	33
3.10	<i>Šema rada amortizera tipa vazduh-ulje</i>	34
3.11	<i>Igla i ostali delovi amortizera</i>	35

3.12	<i>Razni tipovi avionskih guma</i>	35
3.13	<i>Konstrukcija avionske gume</i>	36
3.14	<i>Model sistema stajnog trapa</i>	37
3.15	<i>Hod udarne sile</i>	38
3.16	<i>Primer dijagrama zavisnosti F_t od hoda gume</i>	38
3.17	<i>Primer dijagrama za digitalizaciju</i>	39
3.18	<i>Izgled grafika nakon digitalizacije</i>	39
3.19	<i>Dimenzije gume</i>	41
3.20	<i>Dijagram za određivanje koeficijenta ξ</i>	42
3.21	<i>Dijagram za određivanje koeficijenta κ</i>	42
3.22	<i>Dijagram za određivanje koeficijenta ψ</i>	43
3.23	<i>Sile na točkovima</i>	43
3.24	<i>Koeficijent trenja u zavisnosti od brzine za različita stanja piste</i>	46
3.25	<i>Određivanje prečnika točka</i>	47
3.26	<i>Poprečni presek točka aviona Utva 75</i>	48
3.27	<i>Gotove felne spremne za isporuku</i>	49
3.28	<i>Felne na remontu</i>	49
3.29	<i>Gotov sklop kočnice</i>	50
3.30	<i>Delovi kočnice</i>	51
3.31	<i>Zavisnost broj kočenja od kinetičke energije po masi kočnice</i>	52
3.32	<i>Delovi rastavljene kočnice</i>	53
3.33	<i>Poluviljuška noge stajnog trapa</i>	54
3.34	<i>Cela konstrukcija noge stajnog trapa</i>	55
3.35	<i>Delovi konstrukcije stajnih trapova</i>	56
4.1	<i>Opterećenje stajnog trapa</i>	58
4.2	<i>Karakteristični dimenzije za poletanje i sletanje</i>	59
4.3	<i>Poluprečnik skretanja</i>	61
4.4	<i>Karakteristične dimenzije u vertikalnoj ravni pri skretanju</i>	62
4.5	<i>Karakteristične dimenzije u horizontalnoj ravni pri skretanju</i>	62
4.6	<i>Prostor za smeštanje stajnog trapa</i>	63
4.7	<i>Mehanizmi za uvlačenje noge stajnog trapa</i>	64
5.1	<i>Određivanje napona na osnovu reflektovane svetlosti</i>	66
5.2	<i>Korišćenje merne trake prilikom ispitivanja</i>	67
5.3	<i>Toranj za ispitivanje bacanjem</i>	68
5.4	<i>Noga stajnog trapa pre i posle bacanja</i>	69

5.5	<i>Zavisnost vertikalne sile od hoda udarne sile</i>	70
5.6	<i>Promena hoda udarne sile u vremenu</i>	70
5.7	<i>Promena vertikalne sile u vremenu</i>	71
5.8	<i>Promena horizontalne sile u vremenu</i>	71
5.9	<i>Zavisnost vertikalne sile od hoda udarne sile za različite točkove</i>	72
5.10	<i>Promena hoda udarne sile u vremenue za različite točkove . .</i>	72
5.11	<i>Promena vertikalne sile u vremenue za različite točkove . . .</i>	73
5.12	<i>Promena horizontalne sile u vremenue za različite točkove . .</i>	73
5.13	<i>Oprema za ispitivanje točkova i kočnica</i>	75
6.1	<i>Avion J-22 ORAO</i>	78
6.2	<i>Tri projekcije aviona J-22 ORAO</i>	79
6.3	<i>Glavna noga stajnog trapa aviona J-22 ORAO</i>	80
6.4	<i>Nosna noga stajnog trapa aviona J-22 ORAO</i>	81
6.5	<i>Potrebne geometrijske karakteristike</i>	82
6.6	<i>Odreden koeficijent ξ</i>	85
6.7	<i>Odreden koeficijent κ</i>	86
6.8	<i>Odreden koeficijent ψ</i>	86
6.9	<i>Dijagram zavisnosti F_t od h_g</i>	92
6.10	<i>Sile i hod teleskopskog amortizera</i>	93
6.11	<i>Sile i hod zglobno vezanog amortizera</i>	94
6.12	<i>Dijagram zavisnosti F_t od h_g</i>	98
6.13	<i>Sila kao polinomijalna funkcija trećeg reda</i>	102
6.14	<i>Zbir trapeza i polinomijalne funkcije trećeg reda</i>	103
6.15	<i>Reakcije na osnovu kojih se određuje sila trenja</i>	106
6.16	<i>Rad sile trenja</i>	107
6.17	<i>Sabijanje gasa u cilindru</i>	108
6.18	<i>Dijagrami p-V (levo) i T-s (desno) politrope</i>	109
6.19	<i>Rad sile vazduha</i>	110
6.20	<i>Rad sile ulja</i>	112
6.21	<i>Isticanje ulja kroz otvor na plužeru</i>	112
6.22	<i>Karakteristični prečnici i brzine amortizera</i>	113
6.23	<i>Vrednost koeficijenta isticanja</i>	114
6.24	<i>Dijagram zavisnosti Q_{am} od h_{am}</i>	123
6.25	<i>Zavisnost hoda gume h_g od h_{am}</i>	123
6.26	<i>Zavisnost priraštaja $\frac{dh_g}{dh_{am}}$ od h_{am}</i>	124
6.27	<i>Zavisnost brzine amortizera V_{am} od h_{am}</i>	124
6.28	<i>Konačni dijagram rada amortizera</i>	125

6.29	<i>Zavisnost prečnika igle D_i od h_{am}</i>	125
7.1	<i>Sile koje deluju na stajni trap</i>	128
7.2	<i>Poprečni presek cevi</i>	131
7.3	<i>Pravougaoni poprečni presek</i>	132
7.4	<i>Proračunski model osovine točka</i>	133
7.5	<i>Konvencija o znaku osnovnih statičkih veličina</i>	134
7.6	<i>Proračunski model osovine sa dva točka</i>	135
7.7	<i>Statički dijagrami osovine točka u ravni Oyz</i>	137
7.8	<i>Statički dijagrami osovine točka u ravni Oyx</i>	138
7.9	<i>Proračunski model osovine točka kao grede</i>	139
7.10	<i>Proračunski model poluviljuške</i>	140
7.11	<i>Proračunski model klipnjače amortizera</i>	141
7.12	<i>Promena koordinatnog sistema</i>	142
7.13	<i>Statički dijagrami klipnjače cilindra u ravni Oz_1x_1</i>	144
7.14	<i>Statički dijagrami klipnjače cilindra u ravni Oz_1y</i>	145
7.15	<i>Proračunski model cilindra amortizera</i>	147
7.16	<i>Dejstvo pritiska</i>	149
7.17	<i>Statički dijagrami cevi cilindra u ravni Oz_1x_1</i>	150
7.18	<i>Statički dijagrami cevi cilindra u ravni Oz_1y</i>	151
7.19	<i>Konačni algoritam za rešavanje projektnog zadatka</i>	153
7.20	<i>Crtež amortizera</i>	154
7.21	<i>Okruženje programskog paketa FTOOL 3.00</i>	155
7.22	<i>Podšavanje programa</i>	156
7.23	<i>Unos čvorova</i>	156
7.24	<i>Povezivanje čvorova</i>	157
7.25	<i>Definisanje materijala</i>	157
7.26	<i>Karakteristike materijala</i>	158
7.27	<i>Definisanje poprečnog preseka</i>	158
7.28	<i>Definisanje konturnih uslova</i>	159
7.29	<i>Definisanje spoljašnjeg opterećenja</i>	159
7.30	<i>Iscrtavanje željenih dijagrama</i>	160
7.31	<i>Prikaz dijagrama sa rezultatima</i>	160
7.32	<i>Okruženje programskog paketa Fema/NX Nastran v11.1.2</i>	161
7.33	<i>Crtanje tačaka</i>	162
7.34	<i>Spajanje tačaka linijama</i>	163
7.35	<i>Definisanje materijala</i>	163
7.36	<i>Definisanje tipa elementa i poprečnog preseka</i>	164

7.37	<i>Kontrola veličine elemenata</i>	165
7.38	<i>Pravljenje mreže elemenata</i>	165
7.39	<i>Definisanje konturnih uslova</i>	166
7.40	<i>Definisanje spoljašnjih opterećenja</i>	166
7.41	<i>Provera podudarnosti čvorova</i>	167
7.42	<i>Definisanje analize</i>	167
7.43	<i>Rezultati analize</i>	168
7.44	<i>Izbor prikaza rezultata</i>	168
7.45	<i>Izbor podataka za prikaz</i>	169
7.46	<i>Prikaz dijagrama sa rezultatima</i>	169
7.47	<i>Izbor potrebnih rezultata</i>	170
7.48	<i>Naponi na mestu kritičnog preseka osovine točka</i>	170
7.49	<i>Uvoz CAD modela</i>	170
7.50	<i>Provera dimenzija</i>	171
7.51	<i>Sečenje modela cilindra</i>	171
7.52	<i>Isečen model cilindra</i>	172
7.53	<i>Definisanje tipa elementa cilindra</i>	172
7.54	<i>Kontrola veličine elementa cilindra</i>	173
7.55	<i>Pravljenje mreže 3D elemenata</i>	173
7.56	<i>Konačni elementi cilindra</i>	174
7.57	<i>Definisanje konturnih uslova na površi i opterećenja po krivoj</i>	174
7.58	<i>Opterećenje na mestu tačke C</i>	175
7.59	<i>Opterećenje na mestu tačke D</i>	175
7.60	<i>Prikaz mesta gde su uvedena opterećenja</i>	176
7.61	<i>Definisanje analize sa odgovarajućim izlaznim fajlom</i>	176
7.62	<i>Izbor prikaza rezultata</i>	177
7.63	<i>Rezultati analize</i>	177
7.64	<i>Singularitet napona</i>	178
8.1	<i>Okruženje programskog paketa CATIA V5-6R2015</i>	179
8.2	<i>Glavni moduli za pravljenje delova, sklopova i crteža</i>	180
8.3	<i>Definisanje novog dela i pravljenje tačke u koordinatnom početku</i>	181
8.4	<i>Podešavanje prikaza parametara i relacija</i>	182
8.5	<i>Definisanje parametara</i>	183
8.6	<i>Definisanje formula</i>	183
8.7	<i>Spajanje tačaka</i>	184
8.8	<i>Stablo gotovog modela</i>	184

8.9	<i>Definisanje tabele sa parametrima</i>	185
8.10	<i>Provera parametara</i>	185
8.11	<i>Model osovine točka</i>	186
8.12	<i>Definisanje provera</i>	187
8.13	<i>Primer unošenja formule za opciju Pad</i>	187
8.14	<i>Uprošćeni model spojnice osovine točka i klipnjače</i>	188
8.15	<i>Stablo modela osovine točka i spojnice</i>	188
8.16	<i>Uprošćeni model felne točka stajnog trapa</i>	189
8.17	<i>Poprečni presek felne</i>	189
8.18	<i>Model gume stajnog trapa</i>	190
8.19	<i>Model klipnjače amortizera</i>	190
8.20	<i>Poprečni presek klipnjače</i>	191
8.21	<i>Formule koje parametrima potpuno definišu model klipnjače</i>	191
8.22	<i>Model igle amortizera (levo) i crtež od koga se dobija (desno)</i>	192
8.23	<i>Zavisnost poluprečnika igle od h_{am}</i>	194
8.24	<i>Model cilindra amortizera</i>	196
8.25	<i>Poprečni presek cilindra amortizera</i>	197
8.26	<i>Sklop glavne noge stajnog trapa</i>	198
8.27	<i>Presek sklopa glavne noge stajnog trapa</i>	199
8.28	<i>Sklop noge sjtanog trapa sa novim parametrima</i>	200
9.1	<i>Dodeljivanje materijala delovima u sklopu</i>	205
9.2	<i>Karakteristike već definisanih materijala</i>	205
9.3	<i>Određivanje mase modela</i>	206
9.4	<i>Dijagram zavisnosti mase sklopa kočnice od kinetičke energije kočenja</i>	206
10.1	<i>Model mehanizma za uvlačenje noge stajnog trapa</i>	207
10.2	<i>Prevođenje CAD modela za Matlab</i>	208
10.3	<i>Dobijeni blok dijagram mehanizma</i>	209
10.4	<i>Podešavanje parametara modela</i>	210
10.5	<i>Simscape blokovi</i>	210
10.6	<i>Podešavanje gravitacije</i>	211
10.7	<i>Simulink biblioteke blokova</i>	211
10.8	<i>Model mehanizma nakon grupisanja blokova</i>	212
10.9	<i>Podešavanje bloka za formiranje signala</i>	213
10.10	<i>Povezivanje blokova za definisanje kretanja zgloba</i>	213
10.11	<i>Podešavanje blokova</i>	214

10.12	<i>Merenje potrebne sile hidrauličnog cilindra</i>	214
10.13	<i>Podešavanje senzora</i>	215
10.14	<i>Podsystem Dijagrami</i>	215
10.15	<i>Podešavanje bloka Scope</i>	216
10.16	<i>Animacija kretanja noge stajnog trapa</i>	216
10.17	<i>Kretanje mehanizma za uvlačenje</i>	217
10.18	<i>Položaj uški cilindra</i>	217
10.19	<i>Transformacije koordinatnih sistema uški</i>	218
10.20	<i>Podešavanje bloka za transformaciju</i>	218
10.21	<i>Promena potrebne sile hidrauličnog cilindra u vremenu</i>	221
10.22	<i>Promena potrebne dužine hidrauličnog cilindra u vremenu</i>	222
10.23	<i>Promena maksimalne vrednosti sile sa promenom položaja uške</i>	222
10.24	<i>Promena položaja obe uške</i>	223
10.25	<i>Površ kojom se definiše maksimalna sila</i>	223
10.26	<i>Promena potrebnog pritiska u vremenu</i>	226
10.27	<i>Zavisnost maksimalnog pritiska od promene položaja uški</i>	226
10.28	<i>Površ kojom se definiše maksimalni pritisak</i>	227
10.29	<i>Model mehanizma sa hidraulikom</i>	227
10.30	<i>Podsystem Stajni trap</i>	228
10.31	<i>Podešavanje blokova za merenje</i>	228
10.32	<i>Podsystem Mehanizam za uvlačenje</i>	229
10.33	<i>Podešavanje bloka cilindričnog zgloba i multipleksera</i>	229
10.34	<i>Podsystem Hidraulični sistem</i>	230
10.35	<i>Podešavanje blokova pumpe i hidrauličnog ulja</i>	231
10.36	<i>Podešavanje bloka ventila sigurnosti i podsystem za merenje pritiska</i>	231
10.37	<i>Podešavanje bloka razvodnika</i>	232
10.38	<i>Podešavanje bloka hidrauličnog cilindra</i>	232
10.39	<i>Podešavanje bloka translatornog trenja</i>	233
10.40	<i>Podešavanje bloka PID regulatora i zasićenja</i>	234
10.41	<i>Podsystem Dijagrami</i>	234
10.42	<i>Uporedjivanje potrebne sile cilindra</i>	238
10.43	<i>Uporedjivanje potrebne dužine cilindra</i>	238
10.44	<i>Odziv sistema na ulazni signal</i>	239
10.45	<i>Promena položaja kotve razvodnika u vremenu</i>	239
10.46	<i>Potrebni pritisak pumpe i pritisak u komorama A i B</i>	240

A.1	<i>Tipovi krajeva torziona opruge</i>	241
B.1	<i>Otvaranje dijagrama</i>	249
B.2	<i>Izbor skale za ose</i>	249
B.3	<i>Unos vrednosti koordinata</i>	250
B.4	<i>Označavanje tačaka za mapiranje</i>	250
B.5	<i>Unos tačaka po krivoj</i>	251
B.6	<i>Unos više krivih</i>	251
B.7	<i>Čuvanje promenljivih</i>	252
B.8	<i>Prikaz digitalizovanog dijagrama</i>	252
B.9	<i>Unos novog dijagrama za digitalizaciju</i>	253
G.1	<i>Otvaranje makroa</i>	273
G.2	<i>Unos ulaznih podataka</i>	274
G.3	<i>Rezultat rada makroa</i>	275

Listing tabela

3.1	<i>Stepeni punoće u zavisnosti od tipa amortizera</i>	26
3.2	<i>Koeficijent opterećenja stajnog trapa u zavisnosti od tipa letelice</i>	27
3.3	<i>Statističko određivanje dimenzija gume</i>	44
3.4	<i>Vrednost maksimalnog pritiska u gumi u zavisnosti od podloge</i>	45
6.1	<i>Usvojeni podaci za aerodinamički proračun</i>	79
6.2	<i>Karakteristike glavne noge stajnog trapa</i>	80
6.3	<i>Karakteristike nosne noge stajnog trapa</i>	81
6.4	<i>Usvojene gume za izbor</i>	85
6.5	<i>Određeni koeficijenti</i>	86
6.6	<i>Određivanje rada gume KT28</i>	88
6.7	<i>Određivanje rada gume K163-T</i>	89
6.8	<i>Rezultati proračuna rada gume</i>	91
6.9	<i>Određivanje hoda gume u zavisnosti od h_{am}</i>	117
6.10	<i>Određivanje radova gume i amortizera u zavisnosti od h_{am} . .</i>	118
6.11	<i>Određivanje komponenti sile amortizera u zavisnosti od h_{am} .</i>	120
6.12	<i>Određivanje prečnika igle u zavisnosti od h_{am}</i>	122
9.1	<i>Statističke preporuke za procenu mase</i>	202
A.1	<i>Mehaničke osobine vruće valjanih čelika za opruge</i>	244
A.2	<i>Modul elastičnosti i modul klizanja materijala za opruge . . .</i>	244
C.1	<i>Katalog guma</i>	255
C.2	<i>Odnos mernih jedinica</i>	256
D.1	<i>Standardne dimenzije cevi</i>	257

Listing oznaka i skraćenica

β	Ugao ugradnje teleskopske noge [$^{\circ}$]
δ	Debljina zida cevi [cm]
η	Efikasnost amortizera [$-$]
η_g	Efikasnost gume [$-$]
κ	Poasonov broj [$-$]
λ	Relativni hod gume [$-$]
μ	Koeficijent trenja [$-$]
μ_{ist}	Koeficijent isticanja [$-$]
ν	Poasonov koeficijent [$-$]
ρ_u	Gustina ulja [$\frac{kg}{m^3}$]
σ_T	Granica tečenja [MPa]
σ_{doz}	Dozvoljeni normalni napon [MPa]
σ_e	Ekvivalentni normalni napon [MPa]
τ_{doz}	Dozvoljeni napon smicanja [MPa]
A	Površina poprečnog preseka [cm^2]
a_x	Horizontalna komponenta ubrzanja [$\frac{m}{s^2}$]
b	Širina gume točka [cm]
c_p	Specifični toplotni kapacitet pri stalnom pritisku [$\frac{J}{K}$]

c_v	Specifični toplotni kapacitet pri stalnoj zapremini [$\frac{J}{K}$]
C_x	Aerodinamički koeficijent otpora [—]
C_z	Aerodinamički koeficijent uzgona [—]
D	Prečnik gume točka [cm]
D_s	Spoljašnji prečnik cevi [cm]
D_u	Unutrašnji prečnik cevi [cm]
D_i	Potrebni prečnik igle [cm]
E	Modul elastičnosti [MPa]
E_k	Ukupna kinetička energija letelice [J]
$E_{k,koc}$	Kinetička energija za kočenje [J]
F_H	Bočna sila [N]
F_H	Horizontalna sila [N]
F_V	Vertikalna sila [N]
$F_{g,max}$	Maksimalna dozvoljena sila gume [N]
F_{GN}	Sila na glavnoj nozi [N]
F_{NN}	Sila na nosnoj nozi [N]
$F_{t,max}$	Maksimalna udarna sila [N]
F_{tGN}	Sila na točku glavne noge [N]
F_{tNN}	Sila na točku nosne noge [N]
F_t	Udarne sila [N]
G	Težina aviona [N]
g	Gravitaciono ubrzanja [$\frac{m}{s^2}$]
G_g	Težina na točku [N]
h	Hod udarne sile [cm]
$h_{am,max}$	Maksimalna hod amortizera [cm]

h_{am}	Hod amortizera [cm]
$h_{g,max}$	Maksimalni hod gume [cm]
h_g	Hod gume [cm]
h_t	Hod središta točka [cm]
I_0	Polarni moment inercije [cm^4]
I_x, I_y, I_z	Aksijalni momenti inercije za ose x i y i z [cm^4]
i_y	Poluprečnik inercije za osu y [cm]
j	Stepen sigurnosti [–]
m_r	Redukovana masa [kg]
M_{max}	Maksimalna masa letelice [kg]
m_{pol}	Masa letelice na poletanju [kg]
m_{sl}	Masa letelice na sletanju [kg]
$M_{st,GN}$	Masa glavne noge [kg]
$M_{st,NN}$	Masa nosne noge [kg]
M_{st}	Ukupna masa stajnog trapa [kg]
n	EkspONENT politropske promene stanja idealnog gasa [–]
n_g	Broj guma stajnog trapa [–]
n_{am}	Broj amortizera stajnog trapa [–]
n_{GN}	Broj glavnih nogu [–]
$n_{st,0}$	Statički koeficijent opterećenja stajnog trapa [–]
n_{st}	Koeficijent opterećenja stajnog trapa [–]
n_{tGN}	Broj točkova glavne noge [–]
n_{tNN}	Broj točkova nosne noge [–]
n_t	Broj točkova noge stajnog trapa [–]
p	Pritisak [Pa]

P_0	Nadpritisak vazduha u gumi [Pa]
p_a	Atmosferski pritisak [Pa]
$Q_{am,0}$	Početna sila amortizera [N]
$Q_{am,max}$	Maksimalna sila amortizera [N]
Q_{am}	Sila amortizera [J]
$Q_{tr,0}$	Početna sila trenja amortizera [N]
$Q_{tr,max}$	Maksimalna sila trenja amortizera [N]
Q_{tr}	Sila trenja amortizera [N]
$Q_{u,0}$	Početna sila ulja [N]
$Q_{u,max}$	Maksimalna sila ulja [N]
Q_u	Sila ulja [N]
$Q_{v,0}$	Početna sila vazduha [N]
$Q_{v,max}$	Maksimalna sila vazduha [N]
Q_v	Sila vazduha [N]
R_x	Sila otpora [N]
R_z	Sila uzgona [N]
S	Površina krila [m^2]
S_u	Površina unutrašnjosti poprečnog preseka cevi [cm^2]
S_o	Površina otvora na plunžeru [cm^2]
T	Transverzalna sila [N]
T_p	Vučna sila [N]
v	Specifična zapremina [$\frac{m^3}{kg}$]
V_z	Vertikalna komponenta brzine, brzina propadanja [$\frac{m}{s}$]
V_{am}	Brzina klipnjače amortizera [$\frac{m}{s}$]
V_{stol}	Brzina pri kojoj dolazi do sloma uzgona [$\frac{m}{s}$]

V_u	Brzina isticanja ulja [$\frac{m}{s}$]
W	Kinetička energija koju stajni trap treba da apsorbuje [J]
W_0	Polarni otporni moment inercije [cm^3]
W_g	Kinetička energija koju apsorbuje jedna guma [J]
W_x, W_y, W_z	Otporni momenti inercije za ose x i y i z [cm^3]
W_{am}	Kinetička energija koju apsorbuje jedan amortizer [J]
W_{GN}	Kinetična energija koju apsorbuje glavna noga [J]
W_{NN}	Kinetična energija koju apsorbuje nosna noga [J]
z_{CG}	Koordinata z centra gravitacije [cm]
$S_x^{(1/2)}, S_y^{(1/2)}, S_z^{(1/2)}$	Statički moment polovine površine preseka [cm^3]
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided manufacturing
EASA	European Aviation Safety Agency
FAA	Federal Aviation Administration
FAR	Federal Aviation Regulations
FLOPS	The Flight Optimization System Weights Estimation Method
MKE	Metod Konačnih Elemenata
NASA	The National Aeronautics and Space Administration

Listing programa

3.1	fitKrivu.m	40
6.1	odredjivanjeSile.m	84
6.2	izborGume.m	90
6.3	korigovanjeGume.m	96
6.4	kriva_pol3.m	101
6.5	kriva_trapezp3.m	104
8.1	iglaTabela.m	193
8.2	iglaKoordinate.m	195
10.1	otvaranje_modela.m	209
10.2	ST_uvlacenjeScript.m	219
10.3	ST_pritisak.m	224
10.4	ST_uvlacenjeHidraulikaScirpt.m	235
A.1	oprugaProracun.m	242
B.1	digitDijag.m	245
E.1	proracunAmortizera.m	260
F.1	proracunCvrstoce.m	265
F.2	crtajDijag.m	271
G.1	iglaMakro.catvbs	275

Uvod

“When everything seem to be going against you, remember that the airplane takes off against the wind, not with it...”

– Henry Ford¹

Stajni trap je komponenta letelice čija je svrha da omogući sletanje letelice, odnosno da efikasno apsorbuje određenu količinu energije prilikom sletanja letelice i da pritom ne ošteti površinu na koju je sletela, da omogući dobro upravljanje letelicom po podlozi kao i da tokom poletanja i sletanja nijedan drugi deo letelice ne dolazi u kontakt sa podlogom. Na osnovu prethodno postavljenih zahteva koje stajni trap treba da ispuni se definišu njegovi delovi kao što su amortizer, gume i kočnice kao i broj, dimenzije i raspored točkova.

Stajni trap je vezan za primarne delove strukture letelice i njegov tip zavisi od dizajna cele letelice i njene misije. Ovo je jedan od retkih delova letelice koji nije redundantan, njegov otkaz, u najvećem broju slučajeva, je fatalan po letelicu.

Letelica mora da bude stabilna za vreme dejstva maksimalne sile kočenja, bočnog vetra i velike brzine kretanja po podlozi. Sve to zahteva da konstrukcija bude veoma složena i njeno projektovanje zbog teških konstruktivnih uslova, mora biti vrlo savesno i zahteva široku i obuhvatnu analizu kako u dinamičkom, tako i u statičkom i kinematskom pogledu.

¹Henri Ford (eng. *Henry Ford*, 30. jul 1863 - 7. april 1947) je bio američki preduzetnik, osnivač *Ford Motor Kompanije*. Između ostalog je ostao upamćen po omogućavanju masovne serijske proizvodnje automobila zahvaljujući uvođenju proizvodne trake i zamenskih delova.

Proces dizajna i integracije obuhvata brojne inženjerske discipline kao što su procena težine, strukturalna analiza, projektovanje poletno-sletne staze i ekonomija.



Slika 1.1 - Stajni trap aviona Boeing 777-300



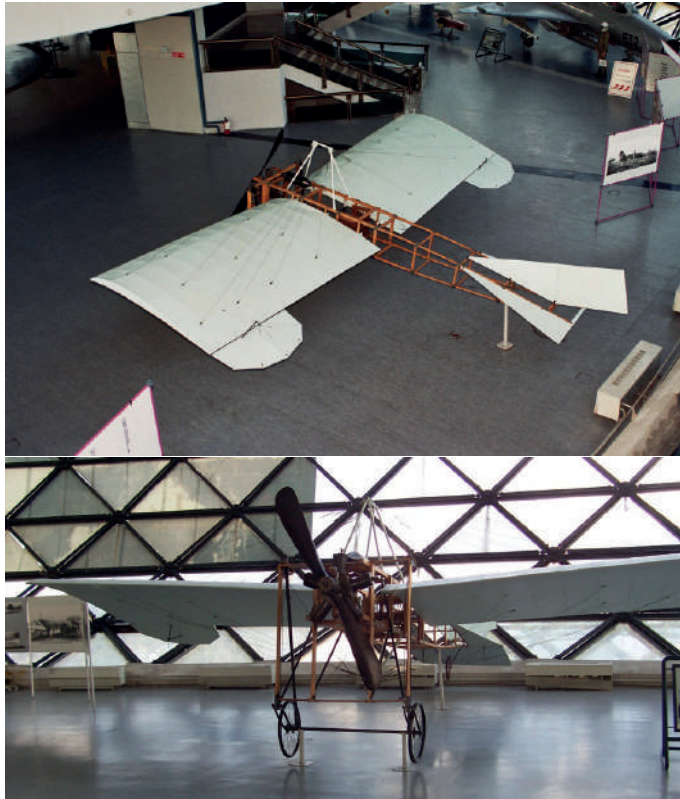
Slika 1.2 - Stajni trap aviona Antonov An-225

Kao primer teških radnih uslova data je slika 1.2 na kojoj je prikazan stajni trap najvećeg aviona na svetu *Antonov An-225*² koji ima ukupno sedam amortizera i trideset i dva točka.

²Antonov An-225 je najveći avion na svetu, koristi se u svrhe komercijalnog prevoza tereta dok mu je prvobitna svrha za koju je razvijan bila transport letelice *Buran* koja mu se vezivala za trup. Proizveden je u Ukrajni i njegova maksimalna masa pri poletanju je 640 tona.

1.1 Istorijat

Prvi stajni trapovi sa točkovima su se pojavili ubrzo nakon prvog kontrolisanog leta motornim vazduhoplovom težim od vazduha koji su izveli braća *Rajt (Wright)* decembra 1903. godine. Brazilski pionir vazduhoplovstva *Alberto Santos-Dumont* je oktobra 1906. godine leteo prvim avionom “*No. 14 bis*” koji je imao točkove, nakon njega sa sličnim dizajnom stajnog trapa leteli su još i *Voisin* (1907), *Delagrang*e (1907), *Farman* (1908), *Bleriot* (1908), *Curtiss* (1908), *Cody* (1908), *Ellehammer* (1908), *McCurdy* (1909), *Roe* (1909) i *Short* (1909).



Slika 1.3 - Avion “*Sarić br. 1*” u Muzeju vazduhoplovstva u Beogradu

Prvi vazduhoplov konstruisan i napravljen na prostoru Jugoslavije je “*Sarić br. 1*” pionira jugoslovenskog vazduhoplovstva *Ivana Sarića*, koji je sa njim izvršio više uspešnih letova u Subotici sredinom juna 1910. godine. Avion je imao stajni trap sa repnim točkom. Sarić je boraveći u Francuskoj upoznao *Luja Bleriota* (fr. *Louis Blériot*) čoveka koji je avionom prvi preleteo Lamanš 1909. godine. Te iste godine, videvši njegov

avion u hangaru na aerodromu pokraj Pariza, veoma se zainteresovao za avijaciju. Na osnovu krišom napravljene fotografije aviona “Blériot XI”, u podrumu svoje kuće u Subotici počeo je sa konstruisanjem sopstvenog aviona. Nakon ovog aviona konstruisao je i “Sarić br. 2”, a u toku Prvog svetskog rata izradio je i model helikoptera.



Slika 1.4 - Stajni trap vazduhoplova Sarić br. 1

Nakon toga dolazi Prvi svetski rat, do kada su se već konfiguracije sa repnim točkom sa prilično krutim nosačima kojim su bili vezani za trup i stajni trapovi koji su imali neki nivo apsorpcije udara pomoću elastičnih užadi ustalili.

Za dvadeset i jednu godinu između Prvog i Drugog svetskog rata, dizajn stajnog trapa se naglo razvio kao i dizajn konstrukcije aviona. Materijali su se promenili od drveta i tkanina do legura aluminijuma. Napravljeni su prvi uvlačivi stajni trapovi i povećana je apsorpcija energije što je postalo neophodno zato što su avioni postajali sve teži i kretali su se sve većim brzinama.

Prvi avion sa uvlačivim stajnim trapom je bio trkački avion *Bristol Jupiter* napravljen krajem 1920. godine, ipak je do Drugog svetskog rata većina aviona imala fiksiran stajni trap.

Prvi avion konstruisan i napravljen na prostoru Jugoslavije sa stajnim trapom tipa tricikl je *Ikarus 451MM Stršljen II* iz 1956. godine. Osnovna ideja celog projekta lakog jurišnog aviona familije Stršljen bila je da se konstruiše laki mlazni jurišni avion malih dimenzija koji bi mogao da poleće sa običnih asfaltnih puteva.



Slika 1.5 - *Stajni trap vazduhoplova Ikarus 451MM Stršljen II*

Od tada je zabeležen veliki napredak materijala koji su korišćeni za gume točkova i za kočnice, otkriveni su čelici visoke čvrstoće i dizajnirani su efikasniji amortizeri. Projektovanje letelice a samim tim i stajnog trapa je postao veoma sofisticiran inženjerski posao.

1.2 Konstruktivne koncepcije

Za stajni trap je moguće reći da je suštinski posrednik između letelice i katastrofe. Kako bi se na vreme izbegla katastrofa, još u fazi idejnog rešenja stajnog trapa, mogu se definisati određeni pokazatelji uspešnosti koncepcije stajnog trapa:

- Stajni trap treba da ima amortizer koji je projektovan tako da može da apsorbuje što veću energiju prilikom sletanja letelice i to u najtežem režimu rada za koji je predviđen. Rešenje amortizera treba da bude što jednostavnije a pritom da bude što je moguće više efikasno.
- Raspored točkova stajnog trapa obezbeđuje stabilnost letelice tokom voženja po podlozi, poletanja i sletanja.

Delovi stajnog trapa

3.1 Amortizer

Da bi se ublažio udar točkova o podlogu u okviru sistema stajnog trapa se koriste amortizeri različitih konstruktivnih koncepcija i principa rada. Pored toga postoje i različite varijante položaja amortizera u okviru sistema stajnog trapa, od čega veoma zavise i karakteristike njegovog rada. Sve varijante se mogu svrstati u **teleskopske** ili **zglobno vezane** amortizere, dok postoji niz različitih kinematskih šema obe kategorije.



Teleskopski

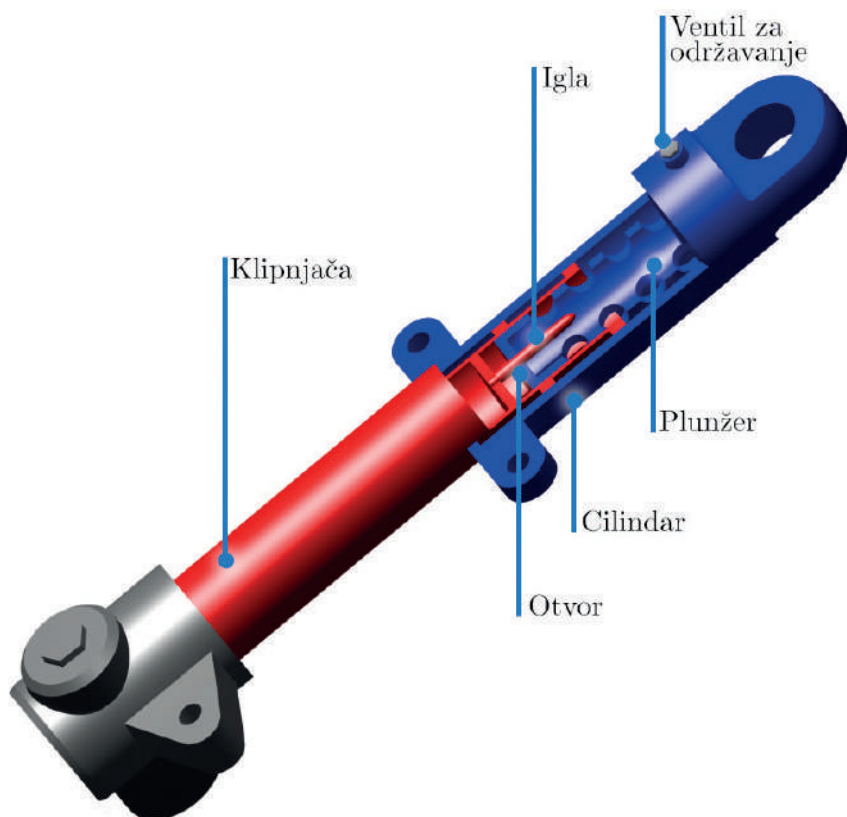
Zglobni

Slika 3.1 - Varijante položaja amortizera

Neki stajni trapovi nemaju gume, felne, kočnice, mehanizme za uvlačenje ili skretanje ali svi imaju neki tip amortizera. Suštinski postoje dva tipa amortizera, oni koji koriste čelične ili gumene opruge i oni koji koriste fluide kao što su vazduh, ulje ili kombinovani.

Prilikom izbora amortizera najčešće se rešenja razmatraju na osnovu jednostavnosti, pouzdanosti, načinu održavanja i ceni. Na osnovu prethodnih parametara za lake letelice se najčešće koriste amortizeri sa čeličnom oprugom ili gumom, dok su ovi tipovi za teže letelice nepogodni zbog velike mase.

Prilikom udara amortizeri apsorbuju određenu količinu kinetičke energije letelice koja se delimično pretvara u potencijalnu energiju elastičnog materijala (vazduha, čelične opruge ili gume), a delimično u toplotnu energiju usled trenja i kinetičke energije koja se predaje ulju. Ulje prilikom proticanja kroz male otvore dobija priličnu kinetičku energiju, koja se ubrzo pretvara u toplotu i na taj način dolazi do disipacije energije.

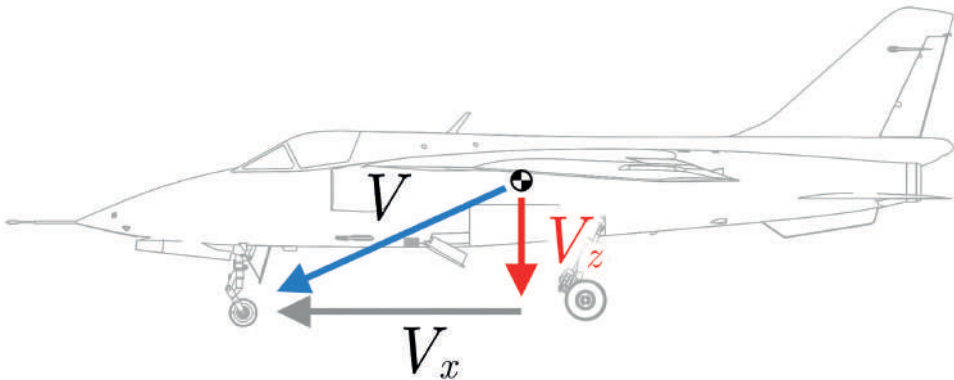


Slika 3.2 - Presek amortizera stajnog trapa

Prilikom izvlačenja amortizera, potencijalna energija elastičnog materijala, akumulisana pri udaru vraća se delimično u kinetičku i potencijanu energiju letelice, a kinetička energija ulja u toplotnu energiju. Pretvaranje kinetičke energije letelice putem amortizera u toplotnu vrši se i prilikom uvlačenja i prilikom izvlačenja amortizera.

Glavni zadatak amortizera stajnog trapa neke letelice je da apsorbuje kinetičku energiju koja odgovara **vertikalnoj komponenti brzine sletanja**, dok vrednosti reakcije podloge ne smeju da pređu određene dozvoljene vrednosti kako ne bi ugrozile strukturni integritet konstrukcije, i da apsorbovanu energiju ponište kako avion ne bi odskočio od podloge.

Ne sme sva apsorbovana energija biti poništena jer se jedan deo mora zadržati u vidu potencijalne energije potrebne za vraćanje amortizera u izvučen ili delimično izvučen položaj kako bi bio u stanju da primi eventualne naredne udare.



Slika 3.3 - Razlaganje brzine letelice

Kako bi se dopustilo vanredno sletanje ubrzo nakon poletanja, prilikom projektovanja amortizera se može usvojiti da je:

$$m_{sl} = (0.8 \div 1.0) m_{pol} \quad (3.1)$$

gde su m_{sl} masa na sletanju i m_{pol} masa letelice na poletanju. Moguće je pretpostaviti da postoji razlika u masama prilikom poletanja i sletanja usled potrošenog goriva i odbačenog dodatnog tereta (u vanrednim situacijama je potrebno što je više moguće smanjiti masu letelice).

Kada se brzina letelice razloži na horizontalnu i vertikalnu komponentu može se napisati sledeći izraz za ukupnu kinetičku energiju letelice.

$$E_k = \frac{1}{2} m_{sl} V^2 = \frac{1}{2} m_{sl} (V_x + V_z)^2 \quad (3.2)$$

Iz prethodne jednačine se može videti da je potrebno odrediti vertikalnu komponentu brzine sletanja kako bi se odredila kinetička energija koja treba da bude apsorbovana amortizerom.

Vertikalna brzina (ili “*brzina propadanja*”) prilikom sletanja je određena u propisima za različite tipove letelica. Za većinu letelica se usvaja da je potrebno da može da sleti sa vertikalnom brzinom od $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ što je znatno više od 1 ili $1.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ prilikom kojih bi putnici putničkog aviona najčešće sletanje ocenili kao loše usled neugodnog osećaja prilikom udara. Za sletanje na nosač aviona se pretpostavlja da je vertikalna brzina $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ili više.

Poslednja faza sletanja se izvodi sa što većim vrednostima koeficijenta uzgona C_z , s tim da zbog sigurnosti ostane ispod vrednosti C_{zmax} i to sa maksimalnim otklonom zakrilaca. Za siguran proračun brzine planiranja i propadanja uzima se obično vrednost leta sa koeficijentom $C_z = 0.9 C_{zmax}$.

Ukoliko je poznata karakteristika najboljeg penjanja $\frac{C_z^3}{C_x^2}$ dobija se vertikalna komponenta brzine iz sledećeg izraza:

$$V_z = \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \frac{G}{S} \frac{C_x^2}{C_z^3}} = 4 \sqrt{\frac{G}{S} \frac{C_x^2}{C_z^3}} \quad (3.3)$$

Energija koju amortizer treba da apsorbuje je:

- a) za slučaj da rezultanta udarne sile prolazi kroz centar gravitacije letelice:

$$W = \frac{1}{2} m_{sl} V_z^2 \quad (3.4)$$

- b) za slučaj da rezultanta udarne sile ne prolazi kroz centar gravitacije letelice:

$$W = \frac{1}{2} m_r V_z^2 \quad (3.5)$$

Pri tome m_r predstavlja redukovanu masu koja se računa u slučaju sletanja na nosnu nogu ili repni točak i može se odrediti na osnovu jednačine:

Eksperimentalno ispitivanje

“Any design whether it’s for a ship or an airplane, must be done in anticipation of potential failures.”

– Henry Petroski¹

Svaka noga stajnog trapa uključujući i amortizer mora biti dinamički ispitana na posebnim uređajima koji su opremljeni sa sensorima za sile, hodove, pritiske, ubrzanja i druge fizičke veličine od značaja. Prilikom ispitivanja se svi podaci sa konstantnim vremenskim korakom skladište kako bi se nakon završetka ispitivanja dalje analizirali.

Osim eksperimentalnog ispitivanja noge stajnog trapa, potrebno je ispitati i sve hidraulične komponente. Hidraulične komponente stajnog trapa ali i ostatka letelice se podvrgavaju različitim ispitivanjima počev od hermetičnosti i provere čvrstoće do funkcionalnih ispitivanja uz simulaciju adekvatnih spoljašnjih opterećenja i uslova rada. U toku ispitivanja snimaju se hidraulične karakteristike uređaja izražene preko pritiska, protoka i raznih vidova gubitaka.

Nakon obavljenih ispitivanja svaka noga stajnog trapa i svaka hidraulična komponenta treba da dobije odgovarajući overeni sertifikat kojim se potvrđuje da je sve u skladu sa odgovarajućim propisima za projektovanje proizvodnju i ispitivanje stajnih trapova i hidroinstalacija.

Eksperimentalna ispitivanja stajnih trapova su jedna od najzahtevnijih

¹Henri Petroski (eng. *Henry Petroski*, 6. februar 1942) je američki profesor, inženjer i autor specijalizovan za analizu otkaza.

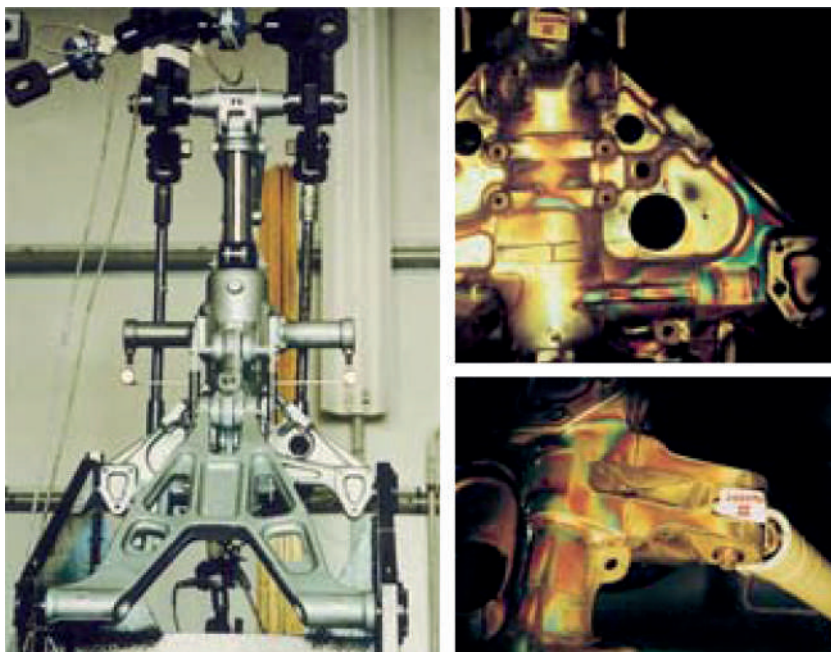
ispitivanja u vazduhoplovstvu, potrebno je mnogo različitih uređaja i alata. Ispitivanja se izvode i tokom i nakon završetka projektovanja i izrade stajnog trapa kako bi se ispitala čvrstoća, procenio radni vek i radne karakteristike.

Sva ispitivanja se mogu svrstati u sledećih pet grupa:

- Ispitivanje čvrstoće,
- Ispitivanje sistema,
- Ispitivanje vrludanja,
- Ispitivanje na sredinu.
- Ispitivanje točkova i kočnica,

5.1 Ispitivanje čvrstoće

Fotoelastičnost (eng. *photoelasticity*) je veoma zastupljena i jedna od najstarijih eksperimentalnih metoda za određivanje raspodele napona u materijalu, pogotovu u oblastima u kojima proračunske metode ne daju dovoljno dobre rezultate.



Slika 5.1 - Određivanje napona na osnovu reflektovane svetlosti

Čim se nacrtaju prvi tehnički crteži izrađuje se prototip od fotoelastične plastike, uvode se odgovarajuća opterećenja nakon čega se osvetljavanjem polarizovanom svetlošću na delu oslikavaju zone različitih boja kojima je predstavljena raspodela napona. Značaj metode je u tome što je moguće otkriti zone u kojima dolazi do koncentracije napona i na vreme, pre izrade alata za serijsku proizvodnju, izvršiti korekciju geometrije.

Nakon što je izrađen stajni trap ispitivanje je moguće ponoviti korišćenjem odgovarajućeg fotoelastičnog premaza. Premaz je takođe osetljiv na deformacije i reflektuje polarizovanu svetlost u skladu sa intenzitetom površinskih napona.

Ova metoda predstavlja odličnu proveru tačnosti proračuna čvrstoće metodom konačnih elemenata. Optičkim sensorima je moguće snimiti zone koje su premazane i osvetljene i zatim analizom u odgovarajućem programu dobiti pravce i vrednosti glavnih napona.

Ispitivanje na zamor je standardna metoda za proveru radnog veka stajnog trapa, kako za komercijalne tako i za vojne letelice. Ispitivanja se vrše za sve slučajeve dugotrajnih periodično promenljivih opterećenja za koje se očekuju da će biti tipični tokom eksploatacije.

Periodično, nakon određenog vremenskog intervala ispitivanja, se noga stajnog trapa rastavlja i proveravaju se pojedinačni delovi da li je došlo do pojave naprsilna, habanja i drugih oštećenja.

Statička ispitivanja čvrstoće se izvode za kritične slučajeve opterećenja noge stajnog trapa, uzimajući u obzir i potrebni stepen sigurnosti. Prave se specijalne skele za vezivanje noge stajnog trapa i hidrauličnih cilindara kojima se najčešće uvode opterećenja.

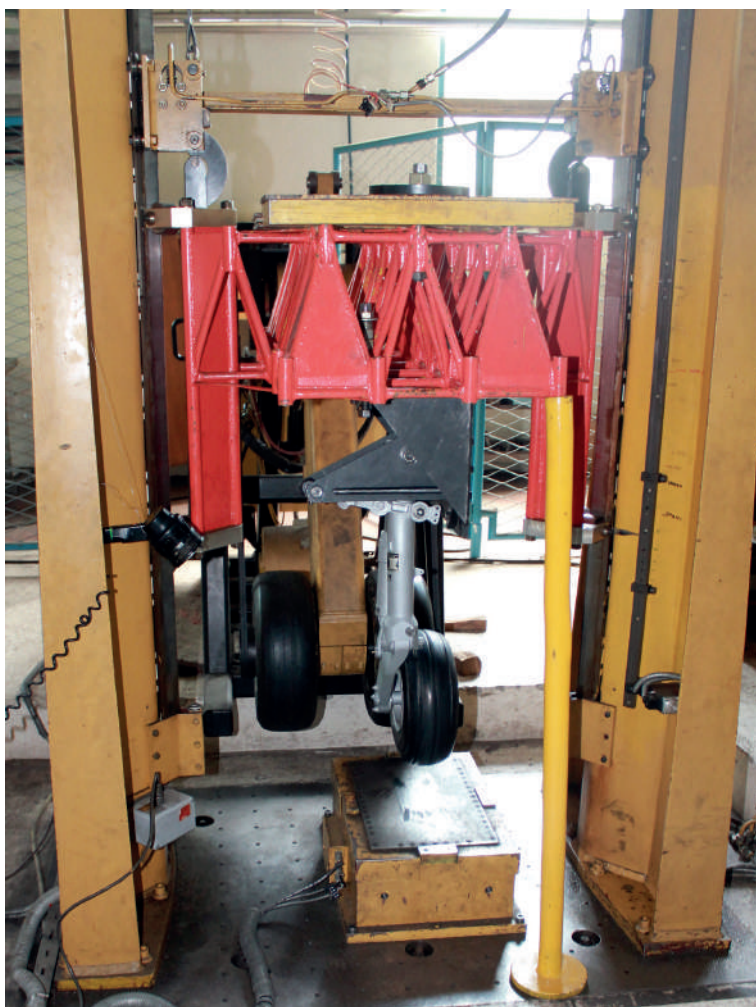


Slika 5.2 - Korišćenje merne trake prilikom ispitivanja

Tokom ispitivanja se za merenje deformacija koriste merne trake, to su otporni pretvarači koji menjaju otpornost u zavisnosti od podužnog istezanja. Kada je poznat *Jangov modul elastičnosti* korišćenjem *Hukovog zakona* je moguće odrediti napon u materijalu.

5.2 Ispitivanje sistema

Ispitivanje na bacanje noge stajnog trapa je obavezno ispitivanje kojim se proverava rad amortizera, izvodi se u cilju provere sposobnosti amortizera da apsorbuje određenu količinu energije.



Slika 5.3 - Toranj za ispitivanje bacanjem

Ispitivanje se ponavlja sa varijacijom vrednosti nekoliko parametara, kao što su masa na sletanju, vertikalna komponenta brzine sletanja, brzina obrtanja točka i drugi. Noga stajnog trapa se vezuje za odgovarajuću konstrukciju lifta u okviru tornja za ispitivanje. Konstrukciju lifta je moguće dodatno opteretiti tegovima kako bi se obezbedila potrebna masa lifta. Ispitivanje se izvodi tako što se lift podigne na odgovarajuću visinu (u zavisnosti od potrebne brzine propadanja) i oslobodi, tako da noga stajnog trapa slobodno pada.



Slika 5.4 - Noga stajnog trapa pre i posle bacanja

Noga stajnog trapa pada na specijalnu kalibrisanu platformu koja meri sile koje deluju u trenutku dodira stajnog trapa i podloge. Točak se pre ispitivanja ubrzava kako bi se obezbedila potrebna brzina obrtanja točka.

Ispitivanje na bacanje se koristi i za određivanje preopterećenja koje noga stajnog trapa može da izdrži pre pojave loma.

Na sledećim dijagramima su dati rezultati ispitivanja nosne noge aviona *Soko G-4 Super Galeb*, ispitivanje je urađeno u preduzeću *PPT Namenska* iz Trstenika na osnovu programa za ispitivanje koje je definisao *Vojnotehnički institut (VTI)* iz Beograda.

Indeks

- aerodinamički otpor, 6, 51
- aksijani moment inercije, 130
- Alberto Santos-Dumont, 3
- algoritam, 15, 17, 153, 208
- anglosaksonski, 202, 256
- Antonov An-225, 2
- anvelopa, 204
- apsolutna greška, 259
- armirajuća tkanina, 37
- atmosferski uticaji, 204
- Autodesk Inventor, 208
- automatizacija, 245
- autopilot, 240

- Bernulijeva jednačina, 113
- Blériot XI, 4
- bočni vetar, 1
- braća Rajt, 3
- Bristol Jupiter, 4
- brzina planiranja, 24
- Buran, 2

- CATScript, 273
- centar gravitacije, 7–10, 15, 25, 47, 59–61, 82, 205
- Cody, 3
- Curtiss, 3

- Delagrange, 3
- diferencijalno dejstvo, 50
- diferencijalno pojačanje, 233

- digitalizacija, 39, 40, 245, 249, 251–253
- Dimitri Žuravski, 130
- dinamometar, 74, 75
- disipacija, 22, 106
- disk kočnice, 50
- diskretizovan oblik, 119
- diskretizovana jednačina, 88, 117, 120
- dozvoljena greška, 259
- duktilnost, 204
- Dunlop, 43, 255
- dvoatomski gas, 109

- Edme Mariot, 149
- ekvidistantan, 40
- Ellehammer, 3
- empirijski, 41, 114
- entropija, 109

- Farman, 3
- fit, 40
- fleksione opruge, 241
- FLOPS, 202
- Fon Mizesov napon, 177
- Fon Mizesova hipoteza, 177
- Ford Motor Kompanija, 1
- Formula Žuravskog, 130
- Formula Mišela, 41, 85
- Fortran, 162

- fotoelastična plastika, 67
 fotoelastični premaz, 67
 Fotoelastičnost, 66
 frezovana rebra, 78
 frezovani okvir, 78
 fzero, 90, 259
- gazeća površina, 36, 37
 glatkoća krive, 40
 Goodyear, 43, 255
 granične vrednosti, 14
 granica tečenja, 129
 greška aproksimacije, 117
 gumene smeše, 35
- habanje, 29, 31, 37, 67
 hangar, 4
 Henri Ford, 1
 hermetičnost, 65
 hipoteze o lomu materijala, 141
 histereza, 28, 29, 31, 33
 hod udarne sile, 37, 115
- IBM, 162
 Ikarus 451MM Stršljen II , 4
 integral, 90, 259
 integralno pojačanje, 233
 integrate, 41
 integritet konstrukcije, 23
 interakcija, 11
 interfejs, 245
 intermolekularnog, 29
 Ivan Sarić, 3
- Java, 208
 jednoatomski gas, 109
 jurišni avion, 4
- kapacitet kočnice, 52
 karbonska vlakna, 204
 karkas, 36
 kočni padobran, 78
- koeficijent filtera, 233
 koeficijent isticanja, 114, 115
 koeficijent opterećenja, 27, 95
 koeficijent trenja, 107, 108, 143
 komande leta, 240
 kompozitne konstrukcije, 164
 kompozitni materijali, 204
 kompresibilan, 109
 kontra potisak, 51
 konvencija znaka, 134
 konvencionalno, 8
 korozija, 50, 204
 krmilo pravca, 79
 Kulonov zakon, 108
 kvazistatični, 108
- limena rebra, 78
 lisnate opruge, 29
 Luiz Fernando Martha, 155
 Luj Bleriot, 3
- manevar, 9, 61
 Mariotova formula, 149
 McCurdy, 3
 mehanika kontinuma, 162
 merne trake, 68
 Messerschmitt BF-109 G-2, 7
 metod konačnih elemenata, 161, 162
 Michelin, 43, 255
 misija letelice, 1, 6, 201
 mreža konačnih elemenata, 161, 164, 173
 MuPAD, 208
- najlonska platna, 35
 napadni ugao, 8–10, 51
 NASA, 162, 202
 nestacionaran, 19, 108
 nestišljiv, 111, 113
 No. 14 bis, 3

- noseća oplata, 78
numerička analiza, 162
numerička integracija, 41, 87, 90,
210, 259
numeričko izračunavanje, 208
- ode23t, 210
optorni moment za osu, 130
otporni pretvarači, 68
- parazitni otpor, 10, 11
PID regulator, 233
Pitagorina teorema, 14
plastične fedormacije, 204
Poasonov broj, 109
Poasonov koeficijent, 163
polarni otrponi moment, 130
poletno-sletna staza, 2
polinomijalna funkcija, 98, 100
politropska kriva, 30
politropski proces, 30, 109
poluempirijski, 15, 201, 202
potisni vod, 231, 234
potrebni hod, 26
preglednost, 10, 165, 259, 265
preturanje, 6–8
prevlačenje, 8, 9
prividno ravnotežno, 108
proporcionalni hidraulični razvod-
nik, 230, 232, 233
proporcionalno pojačanje, 233
PTC Creo, 208
pumpa, 224, 230–232, 234
putnički avion, 8, 24
- ramenjača, 78
Raymer, 202
reduantan, 1
repne površine, 79
Roe, 3
Roskam, 202
- Sarić br. 1, 3
Sarić br. 2, 4
shimmy, 74
Short, 3
Siemens, 161
SimMechanics Link, 208
slom uzgona, 51
smoothingspline, 40
Soko J-22 ORAO, 78, 198
SolidWorks, 208
specifična toplota, 52
specifična zapremina, 30, 109
specifični topoltni kapacitet, 109
specifično izduženje, 55
spiralna opruga, 30, 32
srednja aerodinamička tetiva, 15
statički koeficijent opterećenja, 27,
95
stepen sigurnosti, 37, 67, 129
stišljiv, 109
stopa gume, 36
- tarne pločice, 79
termička obrada, 244
tetraedar, 173
toplotna provodljivost, 52
Torenbeek, 202
torzione opruge, 241
trag točkova, 60, 63
trenje klizanja, 108
trikl, 8, 9, 15, 44, 59, 78
trigonometrijske jednačine, 14
turbomlazni motor, 78
tvrđ udar, 55
- udarna čvrstoća, 204
ugao pregiba, 78
ugao strele, 78
uljne komore, 32
UNIX, 273
upravljalnost, 60, 63

uzdužnik, 78

vazduhoplovni propisi, 57, 58

VBScript, 273

ventil sigurnosti, 231

vidljivost, 7, 10

vijčana veza, 49

Viper 632-41, 78

visokokrilač, 78

Visual Basic, 273

Voisin, 3

vreme zaleta, 10

vrludanje, 74, 81

vulkanziran, 28

Windows, 273

zalet motora, 50

zamajac, 74, 75

zamor materijala, 31, 76

zapreminski protok, 115

zapreminski rad, 109

zapreminski tip elemenata, 172,
180

zaptivač, 31

zasićenje, 233

zatezna čvrstoća, 203