

Polumodel putničkog aviona srednjeg doleta

Nebojša Miladinović, dipl.inž.¹⁾

Opisan je proces projektovanja i proizvodnje polumodela putničkog aviona srednjeg doleta koji je urađen u Vojnotehničkom institutu VJ. Polumodel je namenjen za aerotunelska ispitivanja u aerotunelima ONERA, Francuska. Definisana je projektni zahtev koji uključuje osnovne funkcije modela, modelska opterećenja, uslove prihvata u aerotunelu. Dat je i konstrukcijski koncept pojedinih osnovnih delova polumodela. Predstavljene su i tehnike proizvodnje i kontrole tokom proizvodnje polumodela.

Ključne reči: Aerotunel, aerotunelsko ispitivanje, aerotunelski model, putnički avion.

Korišćene oznake i simboli

HLD	– uređaji za povećanje uzgona
TPS	– simulator turbine
TFN	– motorska gondola sa slobodnim protokom
HTP	– horizontalni rep
UTS	– zatezna čvrstoća pri kidanju
M	– Mahov broj
Cl	– koeficijent uzgona
Cd	– koeficijent otpora
Cm	– koeficijent momenta
α	– napadni ugao
PSI	– skener pritiska
OML	– spoljna kontura modela
CAD	– projektovanje pomoću računara
CAM	– proizvodnja pomoću računara
CNC	– numerički kontrolisana mašina

Uvod

IZRAĐENI polumodel omogućava više vrsta aerotunelskih ispitivanja: ispitivanja na malim i velikim brzinama, pri velikom Reynoldsovom broju, s uticajem pogonske grupe, s uređajima za povećanje uzgona, merenjem raspodele pritiska po polumodelu. U cilju smanjenja cene koštanja modela, bilo je neophodno da polumodel podrži više funkcija, tj. ispitivanje polumodela na uređajima za povećanje uzgona (HLD) i njihova optimizacija, ispitivanje "čiste" konfiguracije polumodela pri malim i velikim brzinama, kao i "power on" testiranje uz upotrebu turbinskog simulatora (TPS).

Da bi se podržale sve navedene funkcije, polumodel je veoma složen sistem sa mnogo izmenljivih sklopova i delova koji omogućavaju promenu konfiguracije za HLD testove, izmene komandno-kontrolnih površina i ispitivanje sa i bez simulacije pogonske grupe korišćenjem TPS/TFN motorske gondole i odgovarajuće instrumentacije.

Polumodel ima instalaciju za merenje raspodele pritiska na blizu 500 mernih mesta raspoređenih po krilu, uređajima za povećanje uzgona, horizontalnom repu, trupu i TFN gondoli.

Projektni zahtev

Opterećenja polumodela

Model je projektovan i proizveden da zadovolji stepen sigurnosti od najmanje 3 u odnosu na UTS (zatezna čvrstoća pri kidanju) pri aerodinamičkom opterećenju u aero-tunelu pod pritiskom od 4 bara. Pretpostavljena maksimalna opterećenja su:

maksimalni stagnacioni pritisak 4 bara za $M=0.2$

maksimalni dinamički pritisak 30kPa za $M=0.8$

Cl max = 3.0 za $M=0.2$, bez pogonske grupe

Cl max = 0.77 za $M=0.8$

Cd max = 0.5

Cm (25%) = 1.5

opseg napadnog ugla: $-8^\circ < \alpha < 30^\circ$

Prihvata polumodela

Polumodel je projektovan i izrađen za ispitivanje u dva aerotunela; ONERA F1 (ispitivanje na malim brzinama, ispitivanje i optimizacija uređaja za povećanje uzgona) i ONERA S1 (ispitivanje na velikim brzinama, ispitivanje "čiste" konfiguracije).

U skladu s tim zahtevom, projektovan je i izrađen adapter krilo-aerovaga. Ovaj zahtev je još više usložio i inače veoma složen projekat. Adapter omogućava prihvata polumodela na aerovage, prolaz instrumentacije i prolaz pneumatske instalacije za napajanje pogonske grupe u oba aerotunela.

Razmera polumodela

Razmera polumodela je 1:7.89 i definisana je veličinom turbinskog simulatora (TPS) koji je predviđen za ugradnju u motorsku gondolu polumodela. Dimenzija simulatora 7.1" je reprezentant realnog motora od 56".

Geometrijski opis

Polumodel se sastoji od:

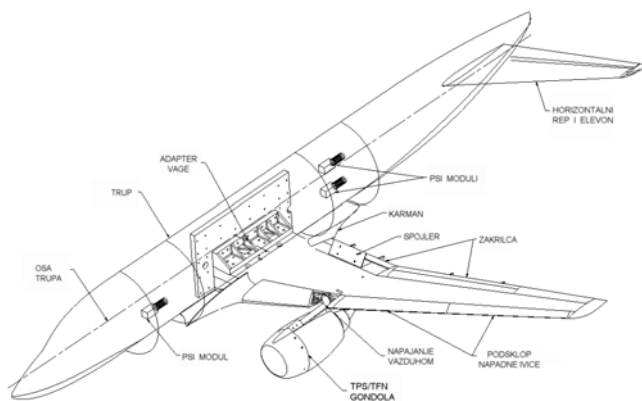
- krila sa zakrilcima i pretkrilcima sa procepom, krilcem, spojlerima i izmenljivom napadnom ivicom za testiranje "čiste" konfiguracije pri velikim brzinama,

¹⁾ Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15

- Otkloni zakrilca: 0° , 20° , 40° ; otkloni pretkrilca: 25° (unutrašnje pretkrilce), 15° (spoljašnje pretkrilce),
- otkloni spojlera: 15° , 60° ,
 - turbinski simulator (TPS) sa neophodnom instrumentacijom,
 - gondola slobodnog protoka (TFN) sa pajlonom,
 - gondola turbinskog simulatora (TPS) sa pajlonom,
 - trup sa karmanima trup/krilo,
 - horizontalni rep sa promenljivim uglom ugradnje i krmilom visine.

Projekat polumodela

Sklop polumodela prikazan je na sl.1. Da bi se ispunili složeni projektni zahtevi, konstrukcija polumodela se sastoji iz određenog broja fiksnih i određenog broja izmenljivih elemenata.



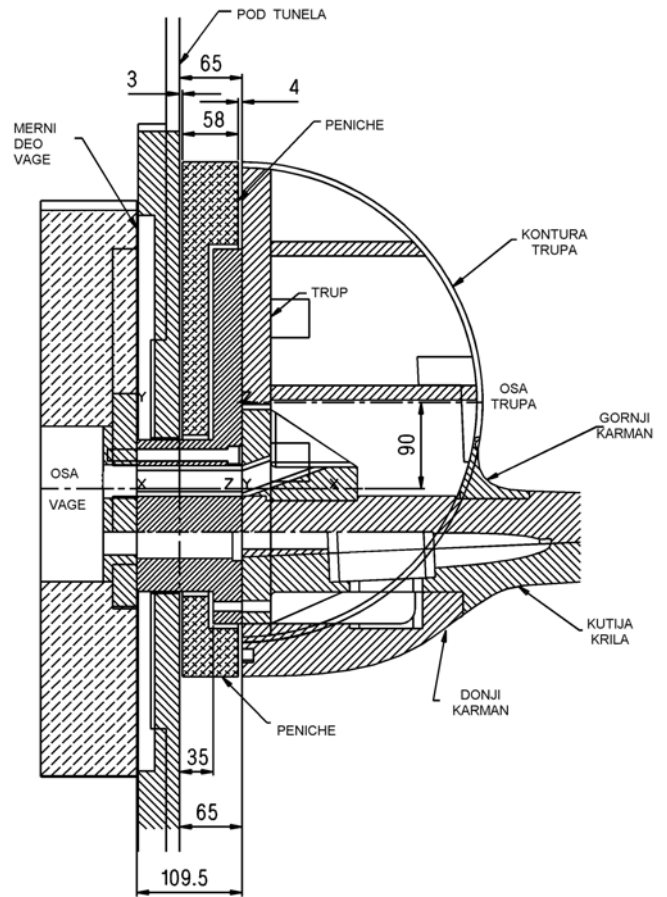
Slika 1. Sklop polumodela

Krilo

Krilo je podeljeno na dva panela duž razmaha: unutrašnji i spoljašnji. Svaki od ovih panela sastoji se od centralne kutije, napadne ivice, kanala zakrilca i zakrilca. Centralna kutija je konstrukcijski podeljena na gornju i donju polovinu. Svaka od ovih polovina je izdubljena sa svoje unutrašnje strane i u šupljine je smeštena neophodna instrumentacija (cevi koje vode od mernih mesta, dovod vazduha za TPS, cevi za uljnu instalaciju, akcelerometri, termoparovi, grejač, itd...).

Kada se oprema smesti u ovaj prostor, gornji i donji deo centralne kutije i nadstrešnica zakrilca se završno sklapaju i formiraju nerastavljiv spoj. Na napadnoj ivici se nalaze dva izmenljiva kompleta, tzv. "čisti" i "fiksni" komplet. "Čisti" komplet simulira uvučenu poziciju, tj. čistu napadnu ivicu, a "fiksni" komplet simulira ostatak (fiksni deo) napadne ivice pri izvučenom položaju pretkrilaca.

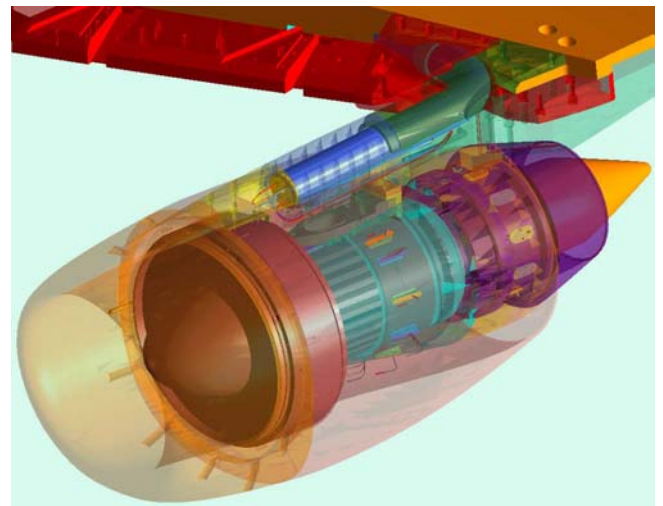
Pretkrilca i centralna kutija su vezani setom fiksnih okova. Zakrilca i centralna kutija su takođe vezani setom fiksnih okova. Postoje tri različita seta okova za tri ugla otklona. Okovi su šuplji i u njih se smeštaju cevi pneumatske instalacije za merenje pritiska koje idu od odgovarajuće HLD površine i sprovode se u šupljinu centralne kutije i dalje do trupa. Na krilu su obezbeđene vezne tačke za karman krilo--trup i za terminizon krila. Krilo je takođe direktno vezano za adapter krilo--vaga, a sam adapter za aerovagu. Na sl.2 prikazana je dispozicija polumodela sa vezom za aerovagu, prostorom za pneumatski vod za napajanje motora vazduhom i ostalom pripadajućom opremom.



Slika 2. Dispozicija polumodela

Trup

Trup je sastavljen iz četiri dela; prednji, međusrednji, srednji i zadnji. Svaki od ovih elemenata sastoji se od zavarene noseće strukture, oplata i okvira preko kojih se vezuju susedni delovi konstrukcije. Zadnji deo trupa ima okove za vezu horizontalnog repa, a srednji i međusrednji deo imaju prostor za vezu sa karmanima. Sve cevi instalacije za merenje pritiska skupljaju se u PSI modulima, koji su pričvršćeni za strukturu trupa. Tipičan presek mernog mesta pritiska prikazan je na sl.3.

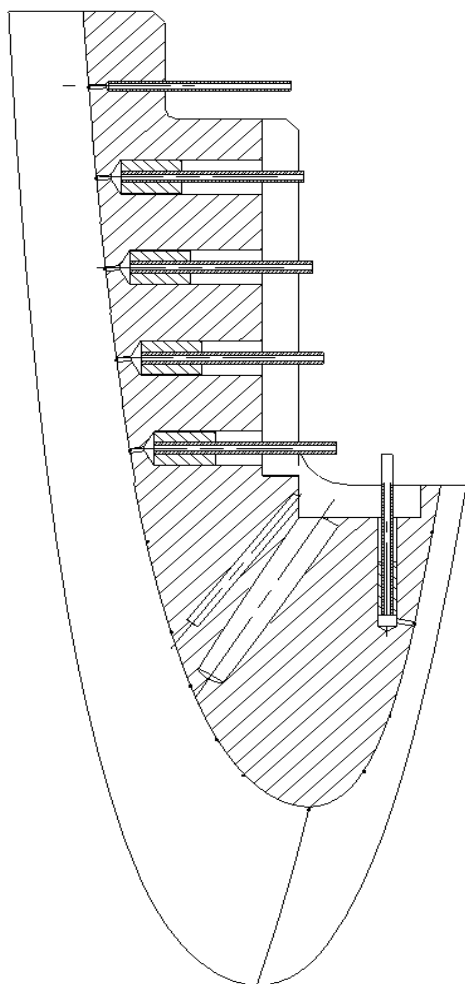


Slika 3. TPS gondola

Gondole

TFN gondola i centralno telo projektovani su kao dvodelni elementi. Kada se trajno spoje, ovi elementi formiraju kružnu šupljinu koja predstavlja smeštajni prostor za cevi za merenje raspodele pritiska. Na TFN gondoli i centralnom telu ima blizu 50 mernih mesta raspoređenih po radijalnim i aksijalnim presecima spoljašnje i unutrašnje konture. TFN pajlon je ključni noseći element, i za gondolu i za centralno telo. Pajlon je šupalj i prima sve cevi sa mernih mesta i ima vezu prema krilu. Šema veze prema krilu ista je i za TFN i za TPS pajlon.

TPS gondola je projektovana kao školjka koja obuhvata TPS. TPS je direktno vezan za TPS pajlon. Pajlon je projektovan tako da može da primi svu neophodnu instrumentaciju (akcelerometre, grejač, sistem za podmazivanje, cevi za merenje pritiska, cev za dovod vazduha do motora i ostalu pripadajuću opremu). Na sl.4 prikazan je transparentni izometrijski pogled na sklopljenu TPS gondolu.



Slika 4. Tipičan presek sa instalacijom za raspodelu pritiska

Proizvodnja polumodela

Ulazni parametri za proizvodnju polumodela dati su kroz standardne CAD reprezentacije, tj. žičane modele, površine i čvrste modele. Ulazna geometrija je obrađena kroz CAM module čime su dobijene putanje alata za CNC glodalice. Svi elementi konstrukcije koji sadrže spoljašnju konturu obrađeni su i ručno, da bi se zadovoljili zahtevi koji se odnose na hrapavost i potrebe montaže. Svi elementi kontrolisani su na CNC koordinatnoj mernoj mašini. Postignute su sledeće tolerancije konture.

- zona napadne ivice krila (10% tetive lokalnog aeroprofila) < 0.075mm
- zona izlazne ivice krila (ostatak tetive lokalnog aeroprofila) < 0.15mm
- razmah, tetiva < 0.75 mm
- ugao strele krila i diedar < 0.05°
- ugao vitoperenja < 0.03°
- položaj centara mernih mesta < 0.75mm
- dimenzije krila u planu < 0.15mm
- postavni ugao uređaja za povećanje uzgona < 0.25° za otklon, < 0.03° za ponovljivost

Komponente polumodela su, zavisno od opterećenja, izrađene od visoko legiranog nerđajućeg čelika ili od duraluminijuma koji se koristi u vazduhoplovstvu. Instalacija za totalni pritisak i češljevi za statički pritisak izrađeni su od mekih, savitljivih cevi od nerđajućeg čelika.

Kontrola postavnog ugla uređaja za povećanje uzgona vrši se pomoću, za tu svrhu, specijalno izrađenih šablona visoke tačnosti (< 0.025mm).

Zaključak

Iako je bio vrlo složen, polumodel je projektovan i izrađen za šest meseci. Primljen je od strane naručioca i uspešno testiran u aerotunelima S1 i F1, ONERA, Francuska u periodu juli-septembar 2000 godine. Nije bilo primedbi na geometrijsku tačnost, funkcionalnost i sigurnost polumodela. Postignuti rezultati u projektovanju i izradi polumodela pokazuju da su dobro sagledane i uspešno sprovedene sve projektantske zamisli i proizvodne procedure. Ovaj rad je imao veoma dobar rezultat, koji je bio potvrđen uspešno izvedenim ispitivanjem u svetski renomiranim aerotunelima i ocenama koje su dobijene od izvršilaca ispitivanja u aerotunelima ONERA.

Literatura

- [1] ONERA, Rules for model design and manufacturing, 1996.
- [2] ĆURČIĆ, D., MILADINOVIĆ, N. *Models for WT testing*. Lecture notes, 1998, Vojnotehnički institut VJ, Beograd.

Rad primljen: 12.2.2001 god.

