

UPOREDNA ANALIZA REZULTATA MERENJA PERFORMANSI PADOBRANA

Saša Tirnanić, Veljko Rakonjac, Vazduhoplovni opitni centar, Beograd

Sadržaj - U radu je prikazana komparacija rezultata merenja relevantnih parametara potrebnih za određivanje performansi padobrana u letu. Merenje je izvršeno sa tri merna sistema. Cilj komparacije je bio da se odredi optimalan merni sistem za pojedinačne parametre.

1. UVOD

Na osnovu dugogodišnjeg iskustva Vazduhoplovno opitnog centra u ispitivanju ljudskih padobrana i korišćenja više sistema za merenje parametara, uradili smo analizu opravdanosti korišćenja mernih sistema za merenje odgovarajućih performansi.

Za ispitivanje performansi ljudskih padobrana koriste se analogni akvizicioni sistemi, kao i zemaljski optoteodolitski sistem. Analogni akvizicioni sistem može da se integriše ili na lutku ili na padobranca, dok zemaljski optoteodolitski akvizicioni sistem omogućava spoljna trajektografska merenja koordinata u prostoru.

Za obavljanje ispitivanja neophodni su sledeći parametri:

- intenzitet ubrzanja u pravcu osa koordinatnog sistema - ax, ay, az
- pritisak - p
- koordinate x, y, z
- vremenska baza - t
- ugao između ose padobrana i vertikalne ose

Na osnovu snimljenih parametara leta izračunavaju se performanse padobrana.

2. KONFIGURACIJA MERNOG SISTEMA

Za merenje performansi padobrana koriste se tri sistema:

1. Analogni akvizicioni sistem sa foto-registratorom A-2203;
2. Analogni akvizicioni sistem sa foto-registratorom A-276;
3. Zemaljski optoteodolitski akvizicioni sistem za merenje koordinata padobrana u vazдушnom prostoru.

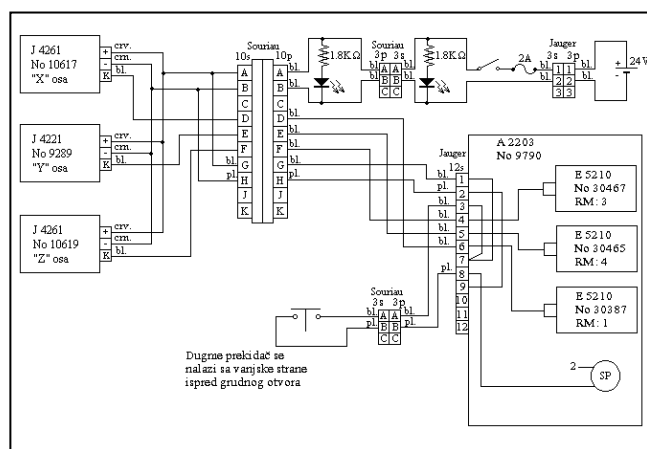
2.1. Analogni akvizicioni sistem sa fotoregistratorom A-2203

Konfiguraciju analognog akvizicionog sistema čini fotoregistrator A-2203 i merni pretvarači. Fotoregistrator u sebi sadrži stalni izvor svetlosti, mogućnost zapisa vremenske baze, karakterističnih momenata ispitivanja i kasetu fotoosetljivog papira, širine 59 mm, sa brzinom zapisa pri maloj brzini od 5 mm/s, a pri velikoj brzini od 25 mm/s. Električni signal iz mernih pretvarača, čiji nivo odgovara promeni mernih neelektričnih veličina, vodi se na odgovarajuće galvanometre kod kojih su na istoj osi sa skretim kalemom integrisana minijaturna ogledala od kojih se reflektuje svetlosni snop stalnog izvora svetlosti na foto-

osetljivi film. Veličina otklona kalema galvanometra je proporcionalna dolazećem mernom signalu, a on je ekvivalentan hod su svetlosnog mlaza na filmu. Rezolucija merenja je veća ukoliko je širina filma veća. Merni pretvarači za merenje ubrzanja u tri ose i statičkog pritiska su posredstvom krute veze integrisani u padobransku opremu. Oni su namenjeni za ispitivanja vazduhoplova u letu i u potpunosti ispunjavaju MIL standarde po pitanju pouzdanosti i tačnosti pokazivanja u ekstremnim temperaturnim uslovima kao i u uslovima vibracija. Funkcionalna zavisnost izlaznog napona akcelerometara od ubrzanja je linearna.

2.2. Analogni akvizicioni sistem sa fotoregistratorom A-276

Konfiguraciju ovog analognog akvizicionog sistema čini fotoregistrator A-276 i merni pretvarači. Fotoregistrator u sebi sadrži stalni izvor svetlosti, mogućnost zapisa vremenske baze, karakterističnih momenata ispitivanja i kasetu fotoosetljivog papira, širine 35 mm, sa brzinom zapisa od 28 mm/s. Ovaj sistem je po konstrukciji i načinu rada sličan prethodnom sistemu, ali je manji, lakši i ima skromnije mogućnosti zapisa parametara jer ima samo merni pretvarač za merenje ubrzanja po z osi i pretvarač statičkog pritiska.



Slika 1. Principijelna šema analognog akvizicionog sistema

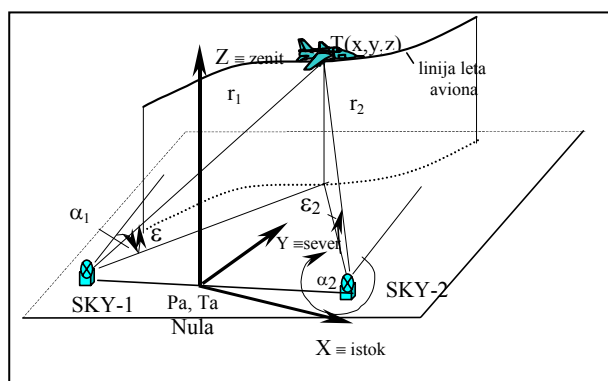
2.3. Zemaljski optoteodolitski akvizicioni sistem

Optoteodolitski sistem Skytrack (Slika 2) je akvizicioni sistem velike tačnosti i služi za merenje koordinata objekata u letu u zavisnosti od vremena. Sistem se sastoji od dve teodolitske stanice koje su postavljene na rastojanju od 2 km. Svaku stanicu čine optički teodolit i upravljačka jedinica. U sklopu jedne teodolitske stanice se nalazi glavna upravljačka stanica preko koje se vrši celokupna hardversko-softverska integracija sistema. Izmereni elementi koordinata zapisuju se na filmske trake brzih kamera, magnetnu traku ili disk računara. Obradom snimljenog materijala dobija se putanja snimanog objekta u koordinatnom sistemu čiji je početak na mestu jednog od teodolita, a ose su orijentisane prema istoku, severu i zenitu.

r/br	Merena veličina		Merni pretvarač			Fotoregistrator
	Oznaka	Naziv	Oznaka	Opseg merenja	Greška merenja	
1	p_s	Statički pritisak	G 2611	(50 – 1050) mbar	1,5%	A 2203
2	p_s	Statički pritisak	G 241	(30 - 1050) mbar	1,5%	A 276
2	a_x	Ubrzanje po x osi	J 4261	- 4 g до + 8 g	1%	A 2203
4	a_y	Ubrzanje po y osi	J 4221	- 4 g до + 4 g	1%	A 2203
5	a_z	Ubrzanje po z osi	J 4261	- 4 g до + 8 g	1%	A 2203
6	a_z	Ubrzanje po z osi	J 164	- 20 g до + 20 g	1,5%	A 276

Tabela 1. Metrološke karakteristike mernih pretvarača analognih akvizicionih sistema

Sekundarnom obradom podataka o putanji preko prve i druge derivacije moguće je dobiti podatke o brzini i ubrzanju snimanog objekta. U uslovima dobre vidljivosti teodolitski sistem ima mogućnost praćenja padobranca do 3 km. Pri tome je greška merenja koordinata metodom triangulacije manja od 0,5 m



Slika 2. Optoteodolitski sistem

3. OBRADA I ANALIZA SNIMLJENOG MATERIJALA

U Tabeli 2 prikazani su uporedni rezultati dobijeni nakon jednog, od više, bacanja padobranske lutke koji ilustruju tipične razlike koje su se javljale tokom uporednih ispitivanja. Za potrebe ispitivanja, ali i uporedne analize rezultata, ceo tok leta lutke od izbacivanja do prizemljenja sniman je teodolitskim sistemom, a oba analogna sistema su bila integrisana na lutku.

Početak procesa otvaranja (t_1) određen je početkom dejstva uređaja za aktiviranje padobrana koji je označen diskretnim signalom kod analognih sistema i jasno je uočljiv na snimku teodolitskog sistema.

Vreme otvaranja (t_2) računa se od trenutka početka procesa otvaranja do potpuno formirane kupole padobrana i direktno se očitava sa snimka teodolitskog sistema. Analogni sistemi nemaju mogućnost registrovanja trenutka završetka procesa otvaranja (pune kupole), tako da se vreme takođe određuje sa video snimka bacanja (skoka).

Vrednost maksimalnog ubrzanja (a) se na osnovu snimka foto registratora određuje dešifracijom promene ubrzanja po osama lutke u funkciji vremena, odnosno promene ubrzanja po z osi u slučaju sistema na padobrancu. Da bi funkcija promene ubrzanja bila što vernija, potrebno je događaj snimati sa velikom brzinom foto registratora a dešifraciju vršiti sa malim vremenskim korakom, ne većim od 0,05 s. Na osnovu dobijenih diskretnih podataka o ubrzanju crta se grafik promene ubrzanja u funkciji vremena. U slučaju

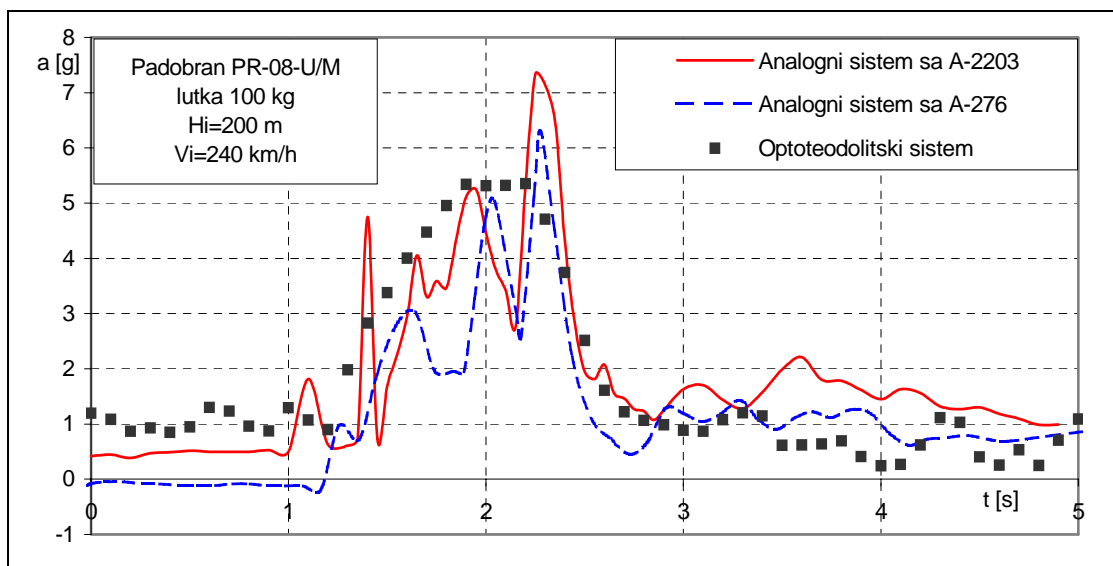
određivanja ubrzanja na osnovu podataka sa teodolita, male greške u utvrđivanju položaja padobranske lutke tokom njenog kretanja na osnovu snimaka teodolitskog sistema, imaju za posledicu malu disperziju vrednosti brzine nakon derivacije puta (dS/dt). Tako dobijeni podaci su validni ukoliko se aproksimiraju odgovarajućom matematičkom funkcijom. Kod određivanja ubrzanja nakon dvostruke derivacije puta (d^2S/dt^2) dolazi do veće disperzije vrednosti i dobija se grafik koji, u komparaciji sa grafikom ubrzanja dobijenog na osnovu analognog sistema, predstavlja njegovu aproksimaciju (Slika 3).

Parametar		Teodolit	A-2203	A-276
početno vreme	t_0	0	0	0
visina izbacivanja	H_0 [m]	156	184	164
početak otvaranja	t_1 [s]	1.3	1.3	1.3
vreme otvaranja	t_2 [s]	2.8	-	-
max ubrzanje	a [g]	-	7.33	6.2
put otvaranja	ΔH [m]	39	58	42-51
vertikalna brzina	w [m/s]	5.80	6.37	5.3-5.8

Tabela 2. Uporedni rezultati tri akviziciona sistema

Ovo je posledica nedovoljne rezolucije teodolitskog sistema za merenje izrazito dinamičkih pojava, kakvu predstavlja proces otvaranja padobrana. Obzirom na grešku merenja teodolitskog sistema od 0,5 m, sistem nema mogućnost da dovoljno tačno reprodukuje pojave kod kojih se kratke putanje menjaju u vrlo kratkom vremenskom intervalu.

Put otvaranja (ΔH), tj. gubitak visine u otvaranju se kod teodolita dobija merenjem koordinata, koje je dovoljno tačno i pouzdano, a kod analognih sistema se dobija na osnovu kontinualnog zapisa promene pritiska u funkciji vremena. Obzirom da foto registrator nema mogućnost registrovanja trenutka završetka procesa otvaranja (pune kupole), to se za određivanje gubitka visine vrši usklađivanje vremenske baze registratora i vremena sa video snimka. Greška u usklađivanju vremena koja se tom prilikom javlja je reda veličine 0,2 s. Međutim, u ovoj fazi leta padobrana dolazi do izražaja jedan od nedostaka analognih sistema u merenju pritiska, a time i određivanju parametara, koji se



Slika 3. Komparacija ubrzanja u procesu otvaranja padobrana

ogleda u položaju pito-cevi koja je prikazana za lutku. Ona se nalazi u nepovoljnim uslovima (turbulentnom strujanju) i ima promenljiv položaj u odnosu na vektor relativne struje vazduha, tako da pretvarač ne registruje pravi pritisak (Slika 4). Na osnovu toga može se dobiti samo grub podatak o gubitku visine u otvaranju. Kako su dobijene vrednosti uvek veće od onih dobijenih teodolitom (pozitivna greška), one se mogu iskoristiti u početnoj fazi ispitivanja padobrana u letu, ukoliko nisu na granici standardom propisane vrednosti za tip ispitivanog padobrana.

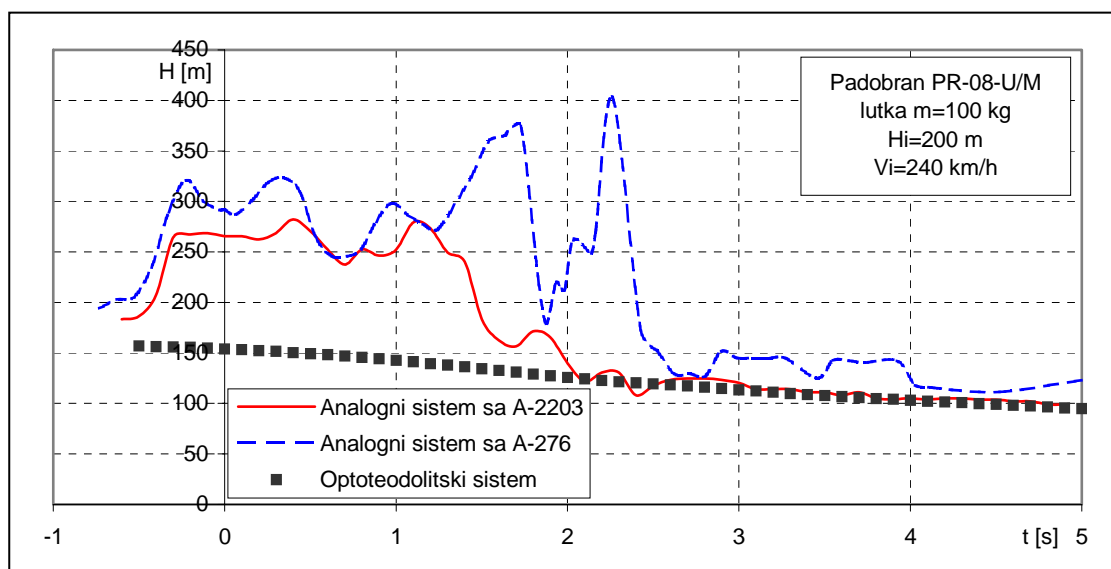
Vertikalna brzina (w) se kod teodolita određuje derivacijom po vremenu trajektorije po z osi ili, ukoliko je kretanje padobrana u zadnjih 30 m stacionarno, kao odnos razlike visina i razlike vremena u datom opsegu ($\Delta H/\Delta t$). U slučaju analognih sistema, vertikalna brzina se određuje kao $\Delta H/\Delta t$. Pri određivanju ovog parametra ispoljava se još jedan nedostatak ovih sistema u merenju pritiska, a time i određivanju tačnih vrednosti i ogleda se u malom iskorišćenju radnog opsega mernog pretvarača. Greška merenja pretvarača pritiska je relativno velika (1,5 %). Kako se vertikalna brzina računa za zadnjih 30 m leta do prizemljenja, to je merena vrednost manja od greške merenja,

tako da dobijene vrednosti brzine odstupaju oko 10 %. Dodatni problem predstavlja nemogućnost preciznog očitavanja podataka sa linije zapisa pritiska. U Tabeli 2 prikazane su po dve vrednosti po jednom parametru za A-276. Zbog male širine fotoosetljivog papira gradijent krive zapisa pritiska je mali tako da male greške u očitavanju rezultuju u većim razlikama u vertikalnoj brzini. Iako sa relativno velikom greškom, izmerene vrednosti se mogu koristiti u početnoj fazi ispitivanja ukoliko nisu na granici standardom propisane vrednosti.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodne analize došli smo do sledećih zaključaka:

- Zemaljski optoteodolitski sistem je najpogodniji za određivanje vremena, puta otvaranja i vertikalne brzine.
- Analogni akvizicioni sistem sa fotoregistratorom A-2203 koristi se za određivanje usporenja u procesu otvaranja padobrana.
- Analogni akvizicioni sistem sa fotoregistratorom A-276 dao je najlošije rezultate.



Slika 4. Komparacija promene visine u procesu otvaranja padobrana

Budućnost ispitivanja padobrana je uvođenje digitalnog, PC kompatibilnog akvizicionog sistema. Ovim sistemom bi se izvršila supstitucija analognih sistema, a isključila upotreba optoteodolitskog sistema, čija je eksploatacija vrlo skupa.

LITERATURA

- [1] Aerospace Standard 8015B, *Minimum Performance Standard for Parachute Assemblies and Components, Personnel*, Society of Automotive Engineers, 1992.
- [2] Z. Živković, G. Mitrović, Z. Filipović, "Merenje koordinata objekata u vazдушnom prostoru lasersko teodolitskom metodom", Simpozijum o merenjima i mernoj opremi, 1998.
- [3] S. Tirnanić, Z. Filipović, "Merenje relevantnih parametara potrebnih za određivanje performansi

padobrana u procesu ispitivanja u letu", Kongres metrologa Jugoslavije 2003

Abstract – This paper presents measurement results comparison of relevant parameters, taken for flight test parachutes performance determination. Measurement have been done with three different systems. Purpose of this comparison was to define optimal measurement system for specific parameters.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PARACHUTE PERFORMANCE MEASUREMENT RESULTS

Saša Tirnanić, Veljko Rakonjac