

# МЕТОДОЛОГИЈА ИСПИТИВАЊА ПАДОБРАНА

Потпуковник *Саша* Тирнанић, дипл. инж.,  
Капетан *Ђорђе* Јанкулоски, дипл. инж.



**П**роцес испитивања падобрана (или његових компоненти) проводи се према одређеној методологији која је дефинисана стандардима. Сврха испитивања је доношење оцене о испитиваном средству, на основу компарације установљених карактеристика падобрана и карактеристика прописаних релевантним захтевима, прописима или стандардима. За мерење одређених карактеристика падобрана користи се специфична мерна опрема која се користи и при испитивању других врста средстава, али и мерна опрема која је прилагођена само за ту намену. Испитивање појединих перформанси захтева специфичне атмосферске услове.

\*Аутори раде у Техничком опитном центру

**П**адобрани су најједноставније направе за успоравање људи, терета или ваздухоплова још од њихове прве употребе крајем 18. века. Њихова конструкција се, уопштено, састоји од платна и носећих конопца и много је једноставнија од конструкције ваздухоплова. Међутим, та једноставност чини њихову аеродинамику компликованијом од аеродинамике ваздухоплова. Ваздухоплови су крута тела која у свом крета-

њу отклањају ваздушну струју око себе. Падобран у процесу отварања не само да отклања струју ваздуха већ и поприма разне компликоване облике који се континуално мењају, а диктирани су струјом коју сами стварају. Сам процес је нестационаран и представља стохастичку појаву. Силе у отварању падобрана могу бити тако велике да доводе до цепања падобрана и повреда људи или оштећења терета. Сложеност појаве и немогућност довољно





Слика 1. Испитивање школско-борбеног падобрана УМ-1 са торбом за терет. Падобранац је опремљен дигиталним аквизиционим системом.

поуздане теоријске анализе императивно захтевају испитивање падобрана ради одређивања његових перформанси.

Процес испитивања падобрана (или његових компоненти) спроводи се према одређеној методологији која је дефинисана стандардима. Методологија, као и стандарди, зависи од намене падобрана, према чему се они могу поделити на људске, теретне и специјалне. У овом раду описана је општа методологија испитивања људских падобрана.

Људски падобрани састоје се од компоненти које представљају скуп основних и осталих компоненти падобрана. Основне компоненте падобрана су главна купола, резервна купола, ранац главне и резервне куполе са системом веза падобрана и слободни крајеви

система веза. Остале компоненте падобрана су: клизајућа марамица, навлака куполе, контејнер куполе, ручице за активирање главне и резервне куполе, мекани пилот падобранчић и пилот падобранчић са опругом, ручица за одбацавање главне куполе, уже – гуртна за принудно активирање главне куполе и гуртна за аутоматско отварање резервне куполе. Слободни крајеви система веза падобрана су гуртне за чији један крај се повезују носећи конопци главне или резервне куполе, а други крај чини спој са системом веза.

## СТАНДАРДИ

Постоји неколико стандарда који се користе за испитивање људских падобрана. Ваздухопловне власти земаља Европске уније (САА), САД (FAA), као и Републике Србије (Директорат цивилног ваздухопловства) прописују да се падобрани (и њихове компоненте) могу користити само ако су произведени по техничким стандардима JTSO-C23 (Европска унија), односно TSO-C23 (САД). Наведени технички стандарди прописују да се испитивање падобрана мора извршити према стандарду SAE AS8015B из 1992. године, који се односи само на резервне падобране и падобране за спасавање. Испитивање главних падобрана није дефинисано посебним стандардом. Падобрани намењени војсци САД испитивани су према стандарду MIL-STD-858, а по његовом укидању 1995. године, испитивање се врши према спецификацији MIL-DTL-6645. У Војсци Србије користе се стандард СНО 4418 и прописи о квалитету производа (ПКП) за конкретне типове падобрана домаће производње.

## МЕТОДОЛОШКИ ПРИКАЗ ИСПИТИВАЊА

Сврха испитивања је доношење оцене о испитиваном средству, на основу компарације установљених карактеристика падобрана и ка-

рактеристика прописаних релевантним захтевима, прописима или стандардима.

Обим испитивања зависи од врсте испитивања (завршна, верификациона, хомологациона, функционална, трупна), а најобимнија су завршна испитивања прототипа падобрана. Уопштено, поступак испитивања прототипа падобрана састоји се од следећих фаза: *припреме за испитивање, испитивања на земљи, испитивања у лету и израде извештаја о испитивању.*

## ПРИПРЕМА ЗА ИСПИТИВАЊЕ

Фаза припреме за испитивање обухвата:

- упознавање са предметом испитивања,
- израду програма и плана испитивања,
- одабир и уградњу мерне опреме.

Упознавање са предметом испитивања састоји се од утврђивања комплетности достављене документације у складу са захтевима релевантних прописа, као и утврђивања комплетности достављеног средства према техничкој документацији.

Програмом и планом испитивања дефинишу се: циљеви испитивања, критеријуми за

оцену средства, методе испитивања, конфигурације испитиваног средства, услови испитивања, активности, потребна средства за реализацију испитивања, као и носиоци материјалног обезбеђења. Програм и план испитивања израђује инжењер, који води испитивање, у сарадњи са опитним падобранцима, који имају извршну улогу. Након одобравања програма и плана испитивања издају се писани задаци опитним падобранцима.

Одабир мерне опреме врши се у зависности од параметара који су потребни за доношење оцене о испитиваном средству. За добијање података са испитивања у лету користе се аналогни аквизициони систем, који није ПЦ компатибилан, дигитални аквизициони систем и земаљски оптоелектронски систем који омогућава спољна трајектографска мерења, мерењем координата у простору. За сва испитивања падобрана у лету неопходно је обезбедити снимање видео-камером.

## ИСПИТИВАЊЕ НА ЗЕМЉИ

Пре преласка на фазу испитивања у лету неопходно је утврдити да је падобран у потпу-



Снимио И. САЛИНГЕР





Слика 2. Падобранска лутка припремљена за бацање из хеликоптера

ности израђен према достављеној документацији и да конструктивна решења падобрана омогућују безбедно извршење скока. Фаза испитивања на земљи обухвата:

- проверу спољног изгледа и димензија,
- проверу масе,
- паковање падобрана,
- испитивање погодности падобрана за руковање,
- мерење силе активирања падобрана помоћу ручице за активирање и
- проверу утицаја околине.

Испитивање на земљи отпочиње визуелном провером спољног изгледа и димензија, упоређивањем делова и склопова падобрана са достављеном конструкционом документацијом. Мере се основни делови падобрана и утврђује се да ли измерене вредности одговарају димензијама на техничким цртежима.

Након почетне провере изгледа и димензија падобрана се пакује према достављеном упутству. Паковање падобрана је неопходно не само да би се добила потребна конфигурација за испитивање већ се том приликом могу уочити сви евентуални пропусти конструкције

који могу довести до отказа падобрана (или његовог дела) у фази испитивања у лету. Приликом паковања контролише се и упутство за паковање у смислу прегледности, потпуности и јасноће наведених информација и слика које треба што боље да илуструју процес паковања.

Спакован падобран, припремљен за скок, ставља се на падобранце различитих висина и грађе, који треба да представљају репрезентативну групу корисника, и проверава се могућност подешавања система веза падобрана, као и несметан приступ уређајима за активирање главног и резервног падобрана. Том приликом врши се и мерење силе потребне за активирање главног и резервног падобрана помоћу ручице, тако што се за одговарајућу ручицу прикачи динамометар са записом максималне измерене вредности и ручица повлачи. За сваку ручицу врши се неколико мерења – најмањег и највећег отпора повлачењу ручице. Стандардима су прописане најмање и највеће вредности силе потребне за активирање ручица, како би се избегло самоактивирање падобрана, односно немогућност по-

влачења ручице за активирање услед прекомерне силе.

Провера утицаја околине врши се у термокомори и састоји се од активирања падобрана након његовог излагања екстремним температурама у одређеним временским периодима, који су прописани стандардима.

По успешном завршетку фазе испитивања на земљи прелази се на фазу испитивања у лету.

### ИСПИТИВАЊЕ У ЛЕТУ

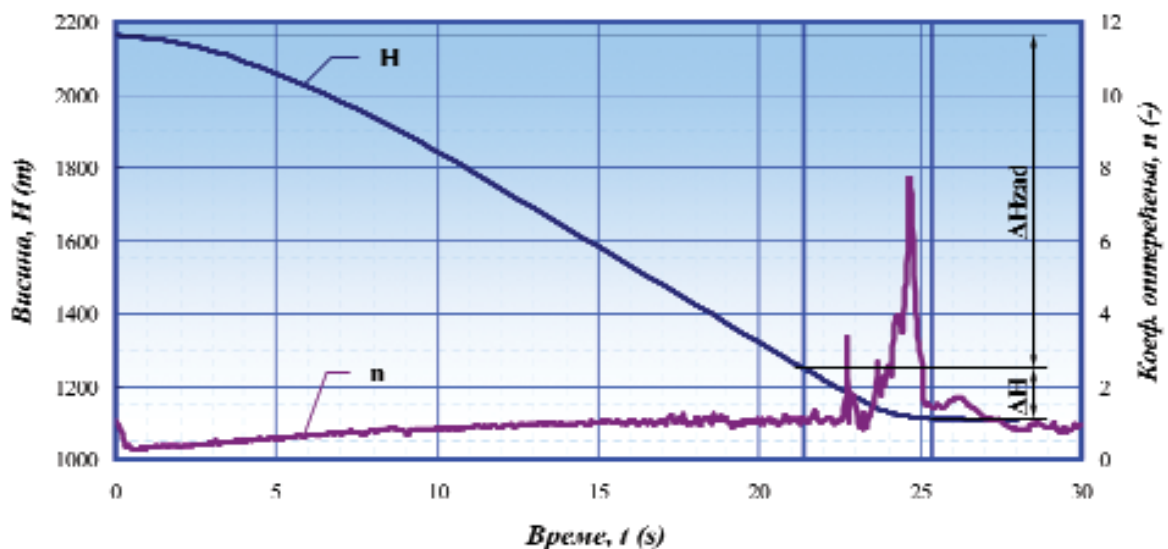
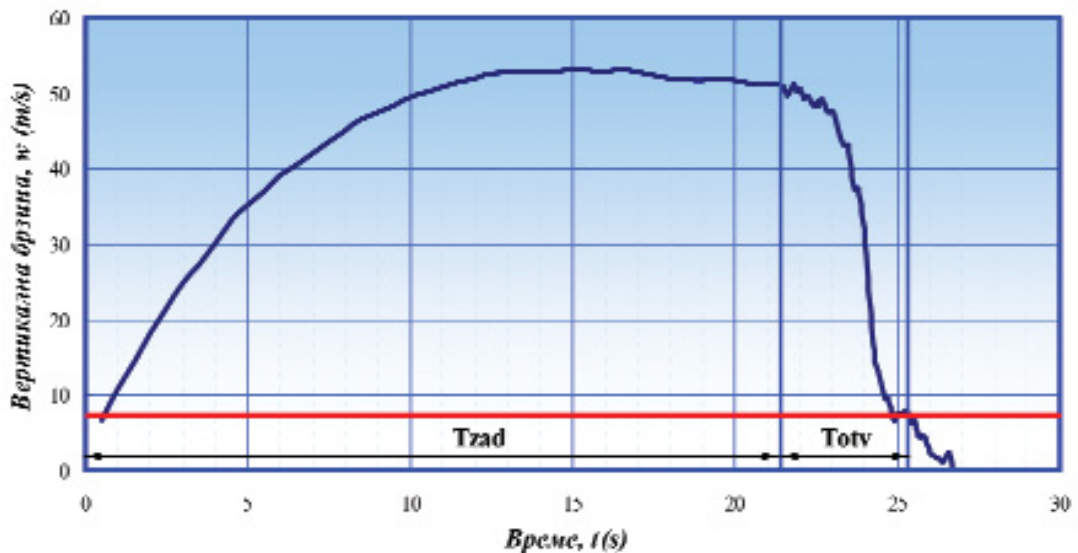
Испитивање у лету обухвата:

- испитивање функционалности,

- испитивање чврстоће падобрана и
- испитивање перформанси.

Испитивање функционалности врши се сциљем да се утврди да ли конструктивне карактеристике падобрана омогућавају несметану, поуздану и безбедну употребу приликом свих врста скокова и из свих типова ваздухоплова за које је намењен испитивани тип падобрана.

Прве скокове не изводе опитни падобранци већ се за те потребе користи падобранска лутка, која представља људски торзо и која симулира човека масе 80 килограма (слика 2). Приликом десантирања (бацања) лутке мери се време отварања падобрана и



Слике 3 и 4. На сликама је приказан процес отварања куполе падобрана типа „крило“. Обе графике су синхронизоване по времену.

посматра правилност и поузданост процеса отварања и лета падобрана.

Када се установи да се падобран поуздано и правилно отвара на „сцену” ступају опитни падобранци. Они се постепено упознавају са понашањем новог падобрана тако што прве скокове са самосталним активирањем (приликом којег падобранац самостално врши активирање главне куполе помоћу ручице, тзв. слободно дејство) изводе са отварањем падобрана након кратког слободног пада у трајању до 5 секунди (кратке задршке у отварању). Након неколико скокова време проведено у планираном слободном паду продужава се до двадесет секунди (дуга задршка у отварању). За то време падобранац уочава како му ранац падобрана са системом веза „лежи” на телу, односно његово понашање и могућност ограничавања покрета тела.

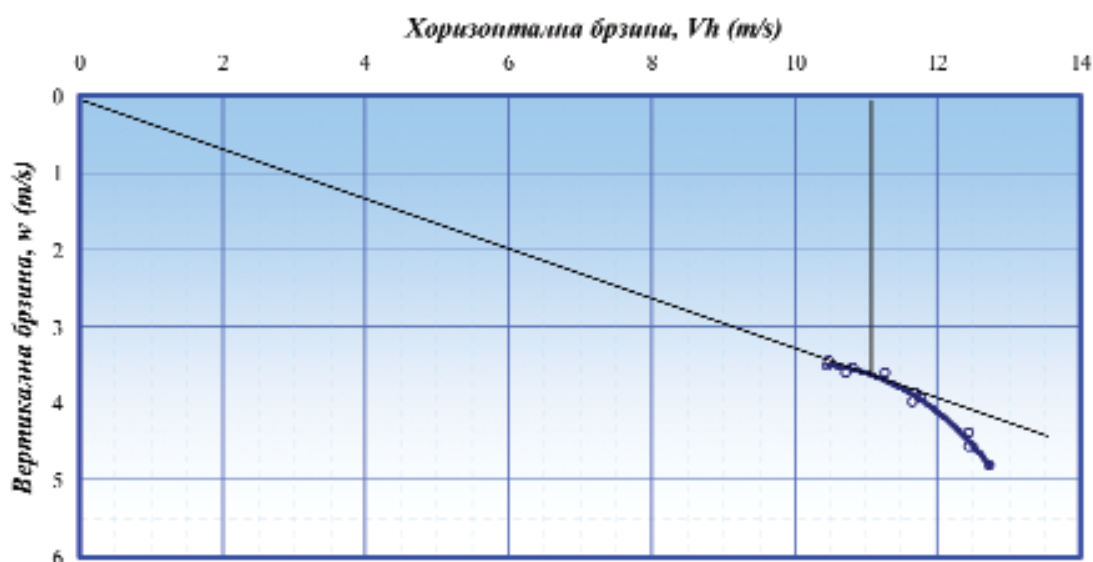
Испитивање чврстоће падобрана врши се тестом преоптерећења. За тај тест користи се иста падобранска лутка као и за испитивање функционалности падобрана с тим да се у лутку додају оловни тегови како би јој се повећала маса. Маса лутке зависи од носивости испитиваног падобрана и стандарда који се користи при испитивању, а већа је за 20% до 50% од предвиђене максималне носивости падобрана. При испитивању чврстоће, поред масе веома је важна и брзина десантирања па-

добранске лутке, која је такође дефинисана стандардима, а није мања од максималне брзине предвиђене за отварање падобрана (око 280 km/h). Тест је успешан само уколико падобран не претрпи никаква оштећења.

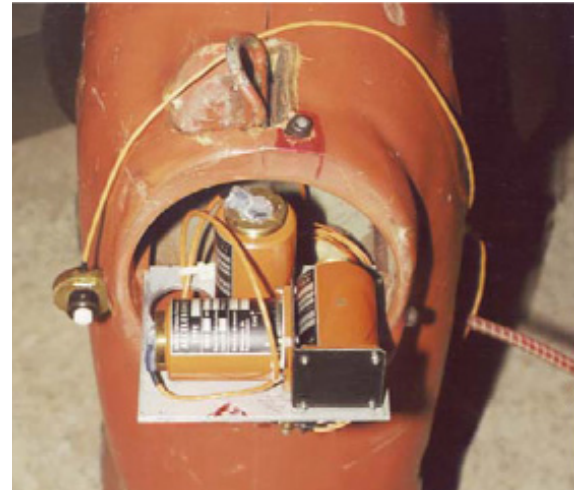
Након извршених функционалних испитивања прелази се на фазу одређивања перформанси главних и резервних купола, а то су:

- време отварања ( $t_{otv}$ ),
- пут отварања ( $\Delta H$ ),
- максимално успорење ( $a$ ),
- вертикална брзина ( $w$ ),
- хоризонтална брзина ( $V$ ),
- финеса ( $f$ ),
- стабилност,
- време заокрета ( $t_z$ ).

Дефиниција времена отварања куполе зависи од примењеног стандарда. Према старијим стандардима време отварања представља време од почетка процеса отварања до потпуно отворене куполе, док према новијим стандардима представља време од почетка процеса отварања до функционално отворене куполе, што значи да је купола довољно отворена да обезбеди вертикалну брзину једнаку или мању од 7,3 m/s. Време отварања добија се директним мерењем времена са видео-снимка или одређивањем брзине помоћу оптодеодолита.



Слика 5. Финеса падобрана типа „крило”



Слике 6 и 7. Компоненте аналогног аквизиционог система, фото-регистратор и мерни претварачи, постављени у падобранску лутку

Пут отварања представља губитак висине у процесу отварања куполе. Добија се одузимањем висине завршетка процеса отварања ( $H_2$ ) од висине почетка процеса отварања ( $H_1$ ):

$$\Delta H = H_2 - H_1 \quad (1)$$

Максимално успорење (динамички удар) у процесу отварања добија се као збир вредности вектора интензитета убрзања за осе координатног система падобранске лутке или падобранца:

$$I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2 + I_z^2} \quad (2)$$

Максимално успорење може се одредити на основу снимка аналогног аквизиционог система, дешифрацијом промене убрзања по осам лутке у функцији времена или директним читавањем записа дигиталног аквизиционог система.

Вертикална брзина одређује се као однос измерене промене висине и потребног времена. Рачуна се просечна вредност за висинску разлику од најмање 30 m, кориговано на стандардне услове атмосфере:

$$w = \Delta H / \Delta t \quad (3)$$

Вертикална брзина може се одредити на основу координата добијених оптодеодолитским аквизиционим системом или на основу записа висине у функцији времена дигиталног аквизиционог система.

Хоризонтална брзина одређује се као однос пређеног хоризонталног растојања и по-

требног времена. Рачуна се просечна вредност за висинску разлику од најмање 30 m, кориговано на стандардне услове атмосфере:

$$V = \Delta S / \Delta t \quad (4)$$

Хоризонтална брзина се може одредити на основу координата добијених оптодеодолитским аквизиционим системом.

Финеса падобрана се одређује као однос хоризонталне и вертикалне брзине:

$$f = V / w \quad (5)$$

Одређивање финесе састоји се у одређивању хоризонталне и вертикалне брзине на начин како је претходно описано.

Стабилност куполе одређује се на основу мерења највећег угла отклона куполе при клаћењу, угла између осе куполе и вертикалне равни. Купола је стабилна уколико је наведени угао мањи од  $15^\circ$ . За испитивање се користи падобранска лутка чија маса треба да одговара половини максималне носивости куполе.

Време заокрета представља време од момента максималног повлачења командног конопца куполе до постизања положаја куполе од  $360^\circ$  у односу на почетни положај. Време се одређује на основу видео-снимка заокрета. Заокрети се раде у леву и десну страну.





Слика 8. Оптотеодолитски систем

#### *Временски услови за испитивање*

Испитивање појединих перформанси падобрана, као што су хоризонтална брзина, финеаса и време заокрета, захтевају специфичне временске услове за добијање валидних резултата. Ти временски услови подразумевају мирну атмосферу са добром видљивошћу, без термичких кретања и са врло slabим константним ветром. Такви услови најчешће се могу остварити у раним јутарњим сатима.

#### АКВИЗИЦИОНИ СИСТЕМИ

У процесу испитивања падобрана користе се следећи аквизициони системи:

- аналогни аквизициони систем,
- дигитални аквизициони систем,
- земаљски оптотеодолитски аквизициони систем.

#### *Аналогни аквизициони систем*

Аналогни аквизициони систем настао је интеграцијом мерне опреме, која се користила за испитивања ваздухоплова у лету, и падобранске лутке. Конфигурацију аналогног аквизиционог система чини фото-регистратор А-2323 и мерни претварачи.

Фото-регистратор постављен је у стомачни део лутке који је предвиђен за уметање оловних тегова за повећање масе лутке. Садржи стални извор светлости, три стално уграђена индикатора, који служе за регистравање временске базе и дискретних сигнала за означавање карактеристичних момената испитивања и касету фото-осетљивог папира. Напајање се врши из засебног акумулатора (батерија).

Мерни претварачи за мерење убрзања у три осе су посредством круте везе интегрисани у падобранску лутку (слике 2 и 3). Намењени су за испитивања ваздухоплова у лету и у потпуности испуњавају MIL стандарде по пи-



тању поузданости и тачности показивања у екстремним температурним условима, као и у условима вибрација. Функционална зависност излазног напона акцелерометара од убрзања је линеарна.

## ОПТОТЕОДОЛИТСКИ АКВИЗИЦИОНИ СИСТЕМ

Оптотеодолитски систем „Skytrack” (слика 8) јесте аквизициони систем велике тачности и



Слика 9. Дигитални аквизициони систем постављен на падобранца

служи за мерење координата објеката у лету. Користи се за испитивање ваздухоплова, убојних средстава и падобрана. Систем се састоји од две теодолитске станице које су постављају на прецизно дефинисаним локацијама, на растојању од 2 до 10 km.

Сваку станицу чине оптички теодолит и управљачка јединица. У склопу једне теодолитске станице налази се главна управљачка станица преко које се врши целокупна хардверско-софтверска интеграција система. У току снимања путање објекта оба теодолита прате објекат. Измерени елементи координата запи-

сују се на филмске траке брзих камера, магнетну траку или диск рачунара. Обработом снимљеног материјала, методом триангулације на основу измерених углова азимута и елевација са обе теодолитске станице, добија се путања сниманог објекта у координатном систему, чији је почетак на месту једног од теодолита, а осе су оријентисане према истоку, северу и зениту.

Софтвер теодолитског система омогућује обраду измерених параметара са различитом каденцом, што обезбеђује прецизнију квалитативну анализу. Секундарном обрадом података о путањи преко прве и друге деривације могуће је добити податке о брзини и убрзању сниманог објекта.

У условима добре видљивости теодолитски систем има могућност праћења падобранца до 3 km. На основу вишегодишњег искуства и обављеног великог броја мерења у различитим условима, апсолутна грешка мерења за наведено одстојање може се дефинисати као мања од 20 cm.

## ДИГИТАЛНИ АКВИЗИЦИОНИ СИСТЕМ

Дигитални аквизициони систем састоји се од уређаја за прикупљање, обраду и анализу података (Data Logger – Логер) и интегрисаног претварача линеарног убрзања и претварача висине. На уређај се истовремено могу прикључити до 4 претварача која су са њим компатибилна. Поред тога, уређај подржава и 2 претварача температуре и 1 напонски претварач, за које су намењени посебни улази. Логер је ручни уређај, потпуно самосталан у раду, који се напаја сопственом допуњивом батеријом. Ради лакше употребе на њега се, преко USB порта, могу прикључити миш или тастатура. Преко истог порта може се прикључити на рачунар или штампач, а за обраду података може се користити посебан софтвер.

Логер се, за потребе испитивања у лету, поставља у спољни џеп посебно направљеног прслука. У четири унутрашња џепа прслука постављају се мерни претварачи. Посредством прслука систем се поставља на падобранца и он се може користити за испитивање процеса отварања било ког падобрана, као и његове вертикалне брзине (слика 9).

За испитивање резервних купола и сила у слободним крајевима система веза користи се падобрански систем са двоструким одбацивањем (Double Cutaway), који поред главне и резервне куполе поседује грудни резервни падобран (друга резервна купола). На том систему интегрисани су индикатори силе који се посредством посебног конектора спајају са дигиталним аквизиционим системом. Опитни падобранац са овим системом има могућност да приликом испитивања резервне куполе, уколико дође до неправилности у њеном функционисању (отказа), одбаца испитивану куполу и отвори другу, познату и проверену резерву. Такође, падобранац има могућност да безбедно, у лету, провери функционисање гуртне за аутоматско отварање резервне куполе (RSL). Одбацивање главне и активирање резервне куполе раније се изводило искључиво ради спасавања живота, а сада се могу изводити ради испитивања, обуке и тренаже падобранца.

## Закључак

Процес испитивања падобрана (или његових компоненти) спроводи се према одређеној методологији која је дефинисана стандардима.

Сврха испитивања јесте доношење оцене о испитиваном средству, на основу компарације установљених карактеристика падобрана и карактеристика прописаних релевантним захтевима, прописима или стандардима.

Уопштено, поступак испитивања падобрана састоји се од неколико фаза: припреме за испитивање, испитивања на земљи, испитивања у лету и израде извештаја о испитивању.

За мерење одређених карактеристика падобрана користи се специфична мерна опрема која се користи и при испитивању других врста средстава, али и мерна опрема која је прилагођена само за ту намену.

Испитивање појединих перформанси захтева специфичне атмосферске услове.

Методологија испитивања падобрана осмишљена је тако да узима у обзир екстремне услове његове експлоатације ради остваривања високе поузданости рада свих компоненти, али се, и поред тога, у пракси дешавају непредвиђени случајеви и несреће. Стога је потребно пратити сваки тип падобрана током његовог животног века како би се утицај фактора технике свео на минимум и унапредила методологија испитивања.

## Литература

1. Тирнанић С., Јанкулоски, Ђ. „Мерење параметара за одређивање перформанси падобрана у циљу компаративне анализе аквизиционих система,” конгрес ЕТРАП, 2008.
2. *Правилник о падобранству*, Службени гласник РС, бр. 77/2007 од 17. 8. 2007.
3. *Aerospace Standard 8015B, Minimum Performance Standard for Parachute Assemblies and Components*, Personnel, Society of Automotive Engineers, 1992.
4. *MIL-STD-858, Testing Standard for Personnel Parachutes*, Department of Defense, 1969.
5. *MIL-DTL-6645J, Parachutes*, Personnel, General Specification for, Department of Defense, 2001.