Mr Miroslav Savanović,
potpukovnik, dipl. inž.

VEK UPOTREBE VOĐENIH RAKETA KoV I POUZDANOST UGRAĐENIH ELEMENATA

Rezime:

Analizirane su protivoklopne i protivavionske vođene rakete KoV i utvrđena korelacija između starosti raketa, uslova čuvanja i broja registrovanih neispravnih raketa, i uticaj grupa ugrađenih elemenata na ukupnu pouzdanost rakete. Rezultati su pokazali da je starosna struktura raketa nepovoljna, postupci ispitivanja neadekvatni i nesveobuhvatni, i da je neophodno sprovođenje verifikacionih ispitivanja raketa.

Ključne reči: vođene rakete KoV, starosna struktura, laboračna serija, pouzdanost ugrađenih elemenata.

UTILIZATION LIFE SPAN OF ARMY GUIDED ROCKETS AND RELIABILITY OF INBUILT ELEMENTS

Summary:

In the article are analysed Army anti-armour and anti-aircraft guided rockets and the correlation between the age of rockets, conditions for their storage, and the number of registered malfunctioning rockets is established. Also the impact of the inbuilt elements to the overall reliability of rockets is considered. Results have shown that the age structure of the rockets is not favourable, that the procedures of their testing are not adequate and comprehensive, and that the verification testing of rockets is necessary.

Key words: Army guided rockets, age structure, laboration series, reliability of inbuilt elements.

Uvod

Raketno naoružanje, zbog svoje preciznosti, velikog dometa i udarne moći, predstavlja važan faktor vatrene moći svake moderno opremljene i organizovane vojske. Vođene i samonavođene rakete svih vrsta (z-z, z-v, v-v, v-z) predstavljaju najsloženija operativna ubojna sredstva (UbS), a uzmu li se u obzir i lansirna oruđa, sistemi vođenja, odgovarajući radari, sredstva veze, računari, navigaciona oprema i ostali prateći uređaji, raketni sistemi predstav-

ljaju najviši dostignuti nivo integracije znanja iz svih oblasti tehničkih nauka i odgovarajućih tehnologija (elektro, mašinska, hemijska, informatička).

Značajne specifičnosti vođenih raketa, u osnovi, proizilaze iz činjenica da su najčešće u vrlo malim fizičkim dimenzijama integrisani najosetljiviji uređaji navedenih tehnologija; i po pravilu, radi se o sistemima za jednokratnu upotrebu, koji se odlikuju relativno dugim prosečnim vekom čuvanja pre upotrebe.

Prva činjenica određuje brojne specifičnosti u radu sklopova i uređaja kao što su: velika dinamička napreznja izazvana radnom okolinom i potrebom za postizanjem vrlo velikih brzina i ubrzanja (savremene PA rakete i do 4 Maha); velika temperaturna napreznja zbog potrebe rada u širokom dijapazonu temperatura okoline; visoka radna opterećenja ugrađenih elemenata zbog problema nedostatka prostora pri dimenzionisanju elemenata. Upravo nabrojani faktori dominantno utiču na pouzdanost ugrađenih elemenata, tj. na rad same rakete u toku leta.

Jednokratnost upotrebe određuje specifičnosti u proveru i ispitivanju gotovih raketa, jer je, prvenstveno zbog ugrađenih pirotehničkih elemenata, nemoguće ispitati rad kompletne rakete, već se to obavlja parcijalno i praktično se svodi samo na ispitivanje elektro i mašinskih elemenata.

Prosečno dug vek čuvanja zahteva od vođenih raketa da uprkos prisutnosti različitih tehnologija mora biti obezbeđena pouzdanost tj. visoka vremenska stabilnost karakteristika ugrađenih elemenata.

Verifikaciona ispitivanja raketa koje se nalaze na čuvanju, radi produženja veka upotrebe, predstavljaju važan segment praćenja stanja UbS i njihovog održavanja, kojem u dosadašnjoj praksi nije posvećivana potrebna pažnja.

Starosna struktura vođenih i samonavodenih raketa KoV

Proces modernizacije naoružanja kod nas, tj. uvođenje raketnih sistema u KoV-u, započeo je 1968. godine i može se pratiti u oblastima PO raketnih sistema i PA raketnih sistema.

U PO raketnim sistemima KoV proces je započeo uvođenjem u naoružanje raketa 3M6 ŠMELJ prve generacije, te preko rakete 9M14M prve generacije i 9M14P1 druge generacije iz

sistema MALJUTKA i domaće licencne proizvodnje došlo se do rakete 9M111M iz sistema FAGOT druge generacije sa prenosnim sistemom vođenja. Danas, s izuzetkom sistema ŠMELJ, koji je u potpunosti izbačen iz VJ, kod ostalih raketa starosna struktura prikazana je u tabeli 1 [6].

U PA raketnim sistemima KoV proces modernizacije je započeo uvođenjem u naoružanje PARS STRELA 1M i rakete 9M31M 1976. godine, te preko rakete 9M32M iz PARS STRELA 2M i raketom 9M37M iz PARS STRELA 10M proces je trajao do 1991. godine (tabela 1).

Tabela 1

Starosna struktura vođenih i samonavodenih PO i PA raketa KoV

Tip rakete	Broj laboračnih serija	Ukupan broj godina proizvodnje raketa	U kolekciji
PO rakete			
9M14M	88	12	DA
9M14P1	49	10	DA
9M14P1 (s)	15	2	NE
9M111M (s)	3	3	NE
PA rakete			
9M31M (s)	6	3	NE
9M32M/A	1	1	DA
9M32M	61	11	DA
9M32M (s)	4	3	NE
9M37M (s)	2	2	NE
UKUPNO	241	—	—

U tabeli je prikazan i broj laboračnih serija, zbog toga što, sa stanovišta proizvodnje raketnih goriva i pirotehničkih smesa, samo laboračna serija,

tj. partija proizvodnje i broj šarže, može garantovati istovetnost karakteristika raketnog goriva i pirotehničkih elemenata ugrađenih u raketu. Za precizno praćenje stanja UbS, pa i PO i PA raketa, osnovni entitet bi morala biti laboračna serija, a ne godina proizvodnje koja, u smislu uniformnosti karakteristika ili reprezentativnosti, nema potrebnu stabilnost. Iz poređenja broja laboračnih serija i broja godina tokom kojih su rakete proizvedene, vidi se da veći broj laboračnih serija predstavlja i precizniji kriterijum za praćenje stanja UbS. U tabeli 1 je prikazan samo ukupan broj godina u kojima su raspoložive rakete proizvedene. U Kolekciji za praćenje stanja UbS kolekcionirani su samo uzorci raketnih goriva raketa proizvedeni u Jugoslaviji, što se, sa stanovišta potrebe praćenja stanja svih raspoloživih raketa, ne može prihvatiti. Pored raketnih goriva koji se čuvaju u Kolekciji, deo pirotehničkih elemenata (upaljači, traseri, usporači, elektrodetonatori i upaljačke glavice) čuva se u fabrici — finalizatoru i njihov status u normativnom i tehnološkom smislu nije sasvim definisan i jasan.

Većina raketa KoV ima verifikacioni vek 10 godina [3]. Uporede li se godine proizvodnje iz tabele 1 i verifikacioni vek iz tabele 2, može se zaključiti da je jednom broju raketa vek upotrebe istekao, a izvesnom broju raketa istekao je čak i dvostruki verifikacioni vek. Ako bi se striktno pridržavali propisa o radu sa UbS, upotreba ovih raketa morala bi biti zabranjena dok se ne izvrše relevantna verifikaciona ispitivanja prema odgovarajućem Propisu o kvalitetu proizvoda i na odgovarajućem uzorku raketa saglasno JUS № 029. Da bi pitanje upotrebe ipak bilo regulisano, za korisnike, rok upotrebe ovih raketa je na preporuku proizvođača administrativno produžavan čak i dva puta. Međutim, pitanje upotrebe ovih raketa i njihov kvalitet nemoguće je pouzdano oceniti bez izvođenja odgovarajućih verifikacionih ispitivanja.

Tabela 2

Pregled stanja vođenih raketa KoV

Vrsta raketa	Uslovno skladišteno (%)	Transport na duže relacije (%)	Neispravno (promila)	Verifikacioni vek (god.)
9M14M	90	25	3	10
9M14P1	90	27	0,9	10
9M111M	70	12	0	10
9M32M	84	30	0,9	10
9M31M	100	23	15	10
9M37M	100	59	0	7

U analizi podataka prikupljenih iz jedinica, a prikazanih u tabeli 2, nameće se potreba za ispitivanjem korelacije između broja registrovanih neispravnih raketa i njihove starosti, broja neuslovno skladištenih raketa i broja raketa transportovanih na duže relacije [1]. Međutim, provedena regresiona analiza ne pokazuje korelaciju između ovih podataka, što nije očekivan rezultat.

Ispitivanja su provedena za sve navedene vrste raketa. Kao primer na slici su prikazani dobijeni rezultati za raketu 9M32M, gde je prikazan broj neispravnih raketa po godinama proizvodnje registrovanih prilikom izvođenja

Broj neispravnih raketa u korelaciji sa godinama proizvodnje

tehničkih pregleda, i regresiona prava koja pokazuje korelaciju između godišne proizvodnje (starosti raketa) i broja neispravnih raketa. Iz nagiba regresione prave vidi se da ovi podaci nisu u korelaciji.

Objašnjenje se može tražiti u činjenici da se vrlo mali procenat uskladištenih raketa pregleda i da njihov broj opada zbog manjka kapaciteta za održavanje, kao i zbog činjenice da se prilikom tehničkih pregleda raketa ispituju samo neke funkcije i, uglavnom, električne karakteristike, dok se funkcije svih pirotehničkih elemenata u pirotehničkom lancu, zbog jedнократности upotrebe, uopšte ne ispituju [2].

Pouzdanost ugrađenih elemenata

Analizu pouzdanosti raketa, kao složenih tehničkih sistema, čini složenijom činjenica da su primenjene različite tehnologije (elektro, mašinska,

hemijska), i postojanje velikog broja ugrađenih nestandardnih elemenata za koje ne postoje poznati intenziteti otkaza, već ih proizvođač mora u toku konstruisanja definisati, ali i proveriti nakon ugradnje. Međutim, ovi podaci najčešće nisu dostupni, naročito ako se radi o uvoznim uređajima.

Pouzdanost elektronskih elemenata

Poznato je da se po pitanju pouzdanosti i ispitivanja intenziteta otkaza najdalje otišlo u tehnologiji proizvodnje standardnih elektronskih elemenata. Ovi elementi se, po pravilu, proizvode u velikim serijama i po standardizovanim tehnologijama i tipovima. Velike serije omogućile su kvalitetna statistička ispitivanja na dovoljnim uzorcima, kao i izgradnju različitih analitičkih modela za proračun intenziteta otkaza koji su empirijski provereni. Jedan od

Tabela 3

Korekcionni faktori

Uslovi okoline	Vrednost faktora	Odnos radnog i nominal. opter.	Vrednost faktora	Temperatura (°C)	Vrednost faktora
Idealni, statički uslovi	0,1	1,4	4,0	0	1,0
Kontrolisani uslovi bez vibracija	0,5	1,2	2,0	20	1,0
Opšta primena na zemlji	1	1,0	1,0	40	1,3
Brodovi	2	0,8	0,6	60	2,0
Vozila na zemlji	3	0,6	0,3	80	4,0
Železnica	4	0,4	0,2	100	10,0
Letelice (avioni, helikopteri)	10	0,2	0,1	120	30,0
Rakete	100	—	—	—	—

Vrednosti intenziteta otkaza za milion časova rada za neke karakteristične elemente (prema MIL STD 217 B)

Sastavni element	Lab. uslovi	Stac. uslovi	Brodski	Prevozni	Avionski	Na raketi
Kondenzator keramički	0,1	0,11	0,8	1,7	3,0	10,0
Kondenzator elektrolitski	0,15	0,165	1,2	2,55	4,5	15,0
Magnetron	100	110	800	1 700	3 000	10 000
Klistron	3,0	3,3	24	51	90	300
Sinhroni motor	0,15	0,165	1,2	2,55	4,5	15
Kristal kvarca	0,1	0,11	0,8	1,7	3,0	10,0
Releji opšti	0,25	0,275	2,0	4,25	7,5	25,0
Otpornik slojni	0,026	0,029	0,209	0,442	0,78	2,6
Otpornik promenljivi	5,0	5,5	40,0	85,0	150,0	500
Dioda silicijumska	0,1	0,11	0,8	1,7	3,0	10,0
Tranzistor germanijumski	0,6	0,66	4,8	10,2	18,0	60,0
Tranzistor silicijumski	0,2	0,22	1,6	3,4	6,0	20,0
Preklopnik opšti	0,5	0,55	4,0	8,5	15,0	50,0
Preklopnik mikro	0,1	0,11	0,8	1,7	3,0	10,0

najjednostavnijih analitičkih modela dat je izrazom [6]:

$$\lambda = \lambda_0 K_1 K_2 K_3 \quad (\text{otkaza/h})$$

gde je:

- λ — intenzitet otkaza elemenata u stvarnoj okolini,
- λ_0 — osnovni intenzitet otkaza,
- K_1 — faktor sredine u kojoj element funkcioniše,
- K_2 — faktor opterećenja elementa,
- K_3 — faktor temperature elementa u radu.

Pregled korekcionih faktora dat je u tabeli 3. Vidi se da su uslovi rada na raketama opisani najvećim faktorom čija je vrednost 100, što dovoljno govori o zahtevima koji se postavljaju pred elemente ugrađene u raketama.

Sušтина drugih modela je ista, a to je korekcija osnovnog intenziteta otkaza

za u zavisnosti od sredine u kojoj uređaj funkcioniše, složenosti uređaja, radne temperature, kvaliteta, itd. Najrasprostranjeniji je model primenjen u standardima američke vojske MIL — HDBK — 217 B, C, D, E. Ovi standardi se stalno ažuriraju i izdaju nove verzije sa pojavom novih elemenata.

U tabeli 4 dat je pregled prosečnih vrednosti intenziteta otkaza nekih elektronskih i električnih elemenata, izraženih u broju otkaza na milion časova rada, koji se često sreću u raketama.

Pouzdanost mašinskih elemenata

Na polju proračuna intenziteta otkaza mašinskih elemenata, delova konstrukcije i uređaja na raketi situacija je složenija. Zbog relativno manjeg broja standardnih mašinskih elemenata, ugrađenih u konstrukciju rakete, i složenosti njihovih ispitivanja, teže ih je

sistematizovati, izdati odgovarajuće preglede intenziteta otkaza ili proračunati analitičkim metodama. Kod mašinskih elemenata znatan je uticaj trošenja, zamora materijala, povećanja naprezanja i drugih fenomena koji ruše koncept konstantnosti intenziteta otkaza tokom veka upotrebe koji važi kod elektronskih elemenata, zbog čega je otežan proračun intenziteta otkaza, što rezultira prisutnošću većeg broja složenijih funkcija raspodele intenziteta otkaza. Zbog toga su u prvom planu ispitivanja proizvođača. Zbog dugog vremena čuvanja kritični mogu biti elementi skloni koroziji i delovi konstrukcije od raznih sintetičkih masa, zaptivni gumeni materijali i sl., čije karakteristike mogu biti narušene.

Pouzdanost pirotehničkih elemenata

Na polju proračuna pouzdanosti pirotehničkih elemenata stanje je najteže. Za ove potpuno nestandardne elemente uopšte se ne primenjuju koncepti poznati kod elektronskih i mašinskih komponenata. Zbog toga i ne postoje odgovarajući pregledi sa podacima o intenzitetima otkaza kao što su prikazani u tabeli 4, jer se radi o elementima za jednokratnu upotrebu. Kod sistema za jednokratnu upotrebu otkazi ne zavise od vremena njihovog rada, pa je u analizi primerenije koristiti koncept verovatnoće uspeha misije.

Kvalitet ovih elemenata umnogome zavisi od sastava, tehnologije proizvodnje, vremena i uslova čuvanja. Pitanje vremena čuvanja naročito je problematično zbog narušavanja pirotehničkih elemenata.

Za ilustraciju može se izvesti kratka i dosta gruba ali indikativna računica. Ako se uzme u obzir da vreme čuvanja rakete traje nekoliko godina (red veličine 10), a vreme upotrebe nekoliko sekundi (red veličine 10), onda je odnos ovih vremena $3 \cdot 10^7$ [5]. Iako je intenzitet

procesa degradacije parametara i karakteristika elemenata u toku upotrebe (leta) rakete 100 puta veći od intenziteta degradacije u zemaljskim uslovima (tabela 3), zbog $3 \cdot 10^7$ puta dužeg vremena čuvanja od vremena upotrebe, može se zaključiti da na pad ukupne pouzdanosti dominantno utiču fizički procesi starenja. Upravo ovi fizički procesi starenja najsvojstveniji su pirotehničkim elementima.

Problem pouzdanosti pirotehničkih elemenata još je interesantniji ako se zna da se ovi elementi u pirotehničkom lancu nalaze u rednoj vezi, i da otkaz bilo kojeg od njih ima za posledicu otkaz čitave rakete.

Na osnovu prethodnog primera za elektronske, pa čak i mašinske delove, može se usvojiti konstantni intenzitet otkaza, tj. eksponencijalna funkcija gustine otkaza. Zbog toga, kao i prisutnosti pirotehničkih elemenata jednokratne upotrebe, u analizi pouzdanosti ovakvih sistema najčešće se primenjuje koncept verovatnoće uspeha misije.

Među raketama u Vojsci Jugoslavije nalaze se i takve kojima je »tajming« i čitav niz drugih funkcija rešen pomoću velikog broja pirotehničkih elemenata, kao što su usporači, pojačavači, brave, razni aktivatori, izvori napajanja i sl. Tipičan predstavnik je PO raketa 9M111M iz sistema FAGOT u koju je ugrađeno oko 20 pirotehničkih elemenata, počevši od raketnog motora, pogona žiroskopa, raznih osiguranja u upaljaču i lansirnoj cevi do izvora napajanja na lansirnoj cevi i samoj raketi.

Prema navedenim činjenicama, na pouzdanost rakete ili verovatnoću misije dominantno utiču vreme čuvanja i uslovi skladištenja, a može se pretpostaviti da od ugrađenih elemenata na pouzdanost dominantno utiče grupa pirotehničkih elemenata. Ovakva pretpostavka može se potvrditi ili opovrgnuti samo studiozno provedenim verifikacionim ispitivanjima.

Zaključak

Starosna struktura analiziranih raketa je nepovoljna s tendencijom pogoršanja, proporcionalno sa vremenom. Za produženje veka upotrebe raketa potrebno je organizovati verifikaciona ispitivanja odgovarajućeg uzorka po sveobuhvatnoj i precizno propisanoj tehnologiji koja je data u propisima o kvalitetu proizvoda.

Za praćenje stanja vođenih raketa, kao i za ostala UbS, neophodno je da osnovni entitet bude laboračna serija.

Iz analize raspoloživih podataka ne vidi se korelacija godina starosti i us-

lova čuvanja sa brojem neispravnih raketa registrovanih na tehničkim pregledima, što nije očekivan rezultat, a objašnjava se nesveobuhvatnošću tehničkih pregleda, tj. činjenicom da pirotehnički elementi nisu obuhvaćeni tehničkim pregledima niti ispitivanjem uzoraka kod proizvođača ili u laboratoriji Kolekcije za praćenje stanja UbS.

Na osnovu analize vremena čuvanja, uslova skladištenja i fizičkih procesa starenja, pretpostavlja se najveći uticaj pirotehničkih elemenata na ukupnu pouzdanost rakete, što se može potvrditi samo redovnim izvođenjem verifikacionih ispitivanja.

Literatura:

- [1] Grupa autora: Analiza stanja i mogućnosti produženja roka upotrebe PO vođenih raketa i PA samonavođenih raketa, Beograd, novembar 1993.
- [2] CPSMRE, Praćenje stanja raketa KoV i trupne PVO — Analiza stanja i predlog mera, Beograd, novembar 1992.
- [3] TU SSNO: Održavanje i remont raketa KoV i trupne PVO — Studija — Analiza, Beograd, 1991.
- [4] TU SSNO: Pregled ubojnih sredstava OS SFRJ, Tom 1 i 2, TU-V, 5001, 5002, 5004, 1988. i 1989.
- [5] Savanović, M.: Statistička analiza utjecaja parametara na kvalitet sistema samovođenja PA rakete, NTP, Vol. XL., 1990. br. 4, Beograd.
- [6] Barković, M.: Tehnologija održavanja telekomunikacijskih uređaja, VVTS, Zagreb, 1988.