

## Kritéria hodnocení zbraňových systémů

*V souvislosti s programováním obranného výzkumu, výběru vhodných programů výzkumných a vývojových prací a účelových programů výzkumu zaměřených do oblasti zvýšení účinnosti zbraní (zbraňových systémů), jejich spolehlivosti a snižování nákladů považujeme za účelné věnovat se kritériím hodnocení zbraňových systémů. Předem upozorňujeme na to, že zde nebudou rozebírány ryze technické otázky spojené s projektováním či konstrukcí. Je však třeba poznamenat, že i tyto otázky nelze zcela vyloučit.*

\* \* \*

Náš příspěvek je zaměřen na raketový zbraňový systém malého dosahu ve struktuře protivzdušné obrany [1], [2], může být však obecně použit pro libovolný zbraňový systém. Pro objasnění předpokládáme raketový zbraňový systém (RZS) tvořený třemi základními prvky, ale se schopností působení jak proti bodovým, tak i proti plošným cílům.

Hlavními kritérii možného hodnocení jsou:

- a) bojová účinnost;
- b) náklady na vývoj, výrobu a zavedení RZS do výzbroje.

Bojová účinnost RZS znamená použitelnost daného systému pro splnění stanoveného úkolu. Pro ocenění účinnosti RZS je třeba zvažovat dva možné případy úkolů, které má daný RZS splnit:

- 1) Provedení  $N_1$  nezávislých startů protiletadlových raket na jeden cíl.
- 2) Provedení  $N$  startů raket proti  $L$  cílům.

V prvním případě je kritériem účinnosti pravděpodobnost splnění stanoveného bojového úkolu při provedení  $N_1$  startů [3]; [4], tzn.:

$$E = 1 - (1 - \eta_p \cdot E_1)^{N_1},$$

kde:

- $\eta_p$  je celková spolehlivost protiletadlové (ale i jakékoli jiné) rakety, zahrnující pravděpodobnost spolehlivé činnosti bojové hlavice (BH), pravděpodobnost malého rozptylu účinku BH, pravděpodobnost vysoké spolehlivosti za letu, pravděpodobnost vysoké spolehlivosti překonání odolnosti prostředků protivníka, pravděpodobnost vysoké bojové pohotovosti RZS, ale i pravděpodobnost spolehlivé ochrany před působením protivníka. Pro naše úvahy předpokládáme, že pro nový RZS je  $\eta_p$  účelné volit v rozmezí  $0,8 \div 1,0$ .
- $E_1$  je kritérium bojové účinnosti, tj. splnění úkolu jedinou raketou při  $\eta_p = 1,0$ . Veličina  $E_1$  při střelbě na bodové cíle je pravděpodobností zasažení cíle. Při střelbě

na plošné cíle je  $E_1$  pravděpodobností zasažení části plošného cíle (např. části letecké formace apod.). Určení  $E_1$  je možné při splnění následujících předpokladů:

- hustota rozložení odchylky místa výbuchu BH od záměrného bodu je normální s matematickou nadějí rovnou nule a střední kvadratickou odchylkou  $\sigma$ ;
- cíl je dán kruhem o poloměru  $R_c = 2 \cdot \sigma$ ;
- hustota rozložení cíle je rovnoměrná;
- mohutnost výbuchů BH je stejná.

Za těchto předpokladů je [3]:

$$E_1 = 1 - \exp \left[ - \frac{R_z^2}{2 \cdot \sigma^2 + 0,5 \cdot R_c^2} \right],$$

kde  $R_z$  je poloměr ničení BH rakety (mimo jiné závislý na odolnosti cíle a množství použité trhaviny).

Při střelbě na plošné cíle, tj. při  $N$  startech proti  $r$  cílům, je kritériem účinnosti matematická naděje  $M$  počtu zasažených cílů. Protože nejčastěji je  $N \geq r$  (obvykle s chybou do 4 %), potom  $M$  je [3]:

$$M = r \cdot [1 - (1 - \eta_p \cdot E_1)^{N/r}].$$

Z uvedeného je zřejmé, že při  $N=r$  je  $M=E$ .

Střední hodnota matematické naděje  $\bar{M}$  je  $M/r$ , tzn.  $\bar{M}=E$ . Jestliže střední hodnota matematické naděje počtu zasažených cílů je veličinou zadanou, potom počet raket  $N$ , potřebných pro zasažení  $r$  cílů, je [3]:

$$N = \frac{r \cdot \ln(1 - \bar{M})}{\ln \left\{ 1 - \eta_p \cdot \left[ 1 - \exp \left( - \frac{R_z^2}{2 \cdot \sigma^2} \right) \right] \right\}}.$$

Veličina  $N$  je potom kritériem bojové účinnosti daného RZS. Grafické zobrazení kritéria  $N$  při zadaných  $r$  a  $\bar{M}$  je na obr. 1. Z něj je zřejmé, že minimální počty raket  $N$  při zvoleném  $\bar{M}$  a zadané spolehlivosti rakety  $\eta_p$  budou v případě  $r = 1$  (jeden cíl plošného charakteru). Při počtu cílů např.  $r = 5$  budou počty raket minimální při vyšších hodnotách  $\bar{M}$  a nižších hodnotách  $\eta_p$ .

Uvedená kritéria  $E$ ,  $M$ ,  $\bar{M}$ ,  $N$  jsou sice významná z hlediska splnění bojového úkolu (za předpokladu, že RZS byl navržen, vyroben a používán optimálním způsobem), nejsou však rozhodujícími kritérii.

Podstatně obecnějším kritériem hodnocení RZS je kritérium charakterizující cenové náklady na vytvoření, zavedení a provoz RZS schopného zasáhnout  $r$  cílů. Tímto kritériem (ekonomickým) je veličina  $C_\Sigma$ .  $C_\Sigma$  je součtem nákladů na zpracování projektu RZS -  $C_{PR}$ , nákladů na zkoušky částí a celého RZS -  $C_E$ , nákladů na výrobu a zavedení

RZS do výzbroje -  $C_V$  a nákladů na provoz  $N$  kompletů v průběhu doby  $T_{EX}$  roků -  $C_{EX}$ , tj.:

$$C_{\Sigma} = C_{PR} + C_E + C_V + C_{EX}.$$

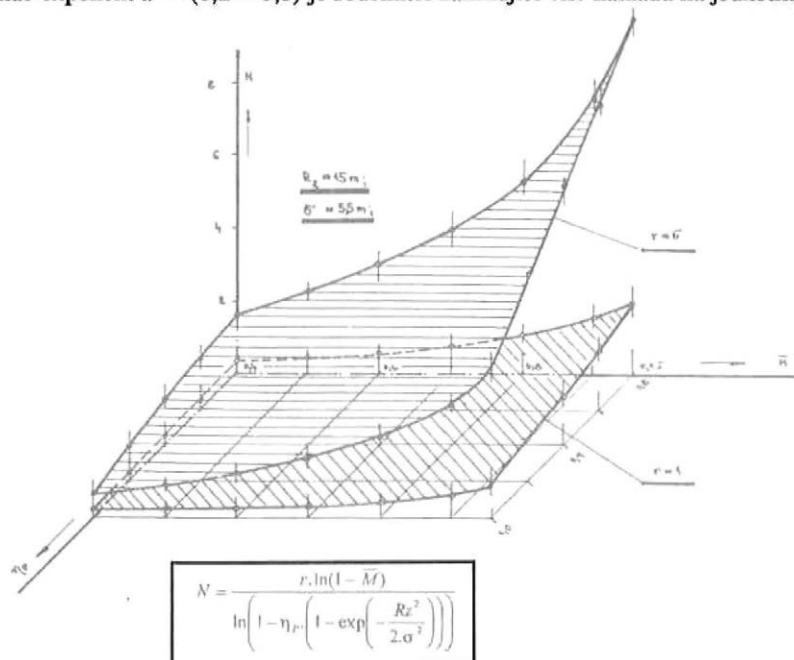
Náklady na výrobu a zavedení RZS do výzbroje (rozuměj prvního kompletu RZS) -  $C_{IV}$  se skládají z nákladů na výrobu raketového nosiče  $C_{IR}$ , nákladů na výrobu BH -  $C_{IBH}$  a nákladů na výrobu dalších prvků RZS (odpalovací zařízení, další části systému včetně prostředků spojení) -  $C_{IK}$ , tedy:

$$C_{IV} = C_{IR} + C_{IBH} + C_{IK}.$$

Náklady na výrobu  $C_V$  v závislosti na počtu kompletů RZS lze určit závislostí [3]:

$$C_V = C_{IV} \cdot \sum_{j=1}^N j^{-a},$$

kde exponent  $a = (0,2 \div 0,3)$  je součinitel zahrnující vliv nákladů na jednotku produkce.



Obr. 1: Počet raket jako funkce celkové spolehlivosti  $\eta_p$ , střední hodnoty matematické naděje a počtu cílů

Náklady na zkoušení částí RZS -  $C_E$  jsou souhrnem nákladů na provedení tzv. stendových zkoušek a letových zkoušek RZS.

Zde je třeba poznamenat, že jak stendové, tak letové zkoušky jsou zkouškami destruktivního typu, proto větší část nákladů na jejich provedení činí náklady na výrobu raket. Dále svoji úlohu hraje i ta skutečnost, že počáteční, ale i průběžné náklady spojené s experimentální činností jsou ovlivňovány objemem výroby speciálního zkušebního zařízení a počtem zkoušených prvků. Proto obecně je:

$$C_E = C_{ES} + C_{EL},$$

kde  $C_{ES}$  jsou náklady na stendové zkoušky a  $C_{EL}$  jsou náklady na letové zkoušky.

Veličina  $C_{ES}$  proto je [3]:

$$C_{ES} = \sum_{Z=1}^k C_{1Z} \cdot \sum_{j=1}^{n_s} j^{-a};$$

veličina  $C_{EL}$  je:

$$C_{EL} = C_{1EL} \cdot \sum_{j=1}^{n_L} j^{-a},$$

kde:

- $k$  je počet elementů rakety (RZS) zkoušených na stendech;
- $C_{1Z}$  je cena první stendové zkoušky;
- $n_s$  je počet stendových zkoušek;
- $C_{1EL}$  je cena první letové zkoušky kompletu RZS;
- $n_L$  je počet letových zkoušek.

Vzhledem k tomu, že při letových zkouškách se většina prvků kompletu RZS s výjimkou rakety používá zpravidla vícekrát, je veličina  $C_{1EL}$  obvykle nižší než  $C_{1V}$ .

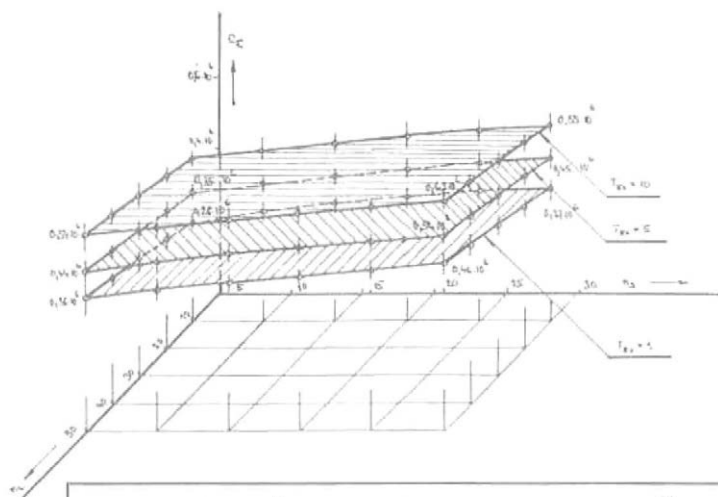
Náklady na provoz RZS jsou zpravidla úměrné výrobní ceně a době provozu.  $C_{EX}$  lze proto vyjádřit

$$C_{EX} = C_{1EX} \cdot C_V \cdot T_{EX},$$

kde  $C_{1EX} = (0,005 \div 0,2)$  je součinitel udávající poměr nákladů na provoz v průběhu jednoho roku a výrobních nákladů. Potom kritérium  $C_\Sigma$  je [3]:

$$C_\Sigma = C_{PR} + \sum_{Z=1}^k C_{1Z} \cdot \sum_{j=1}^{n_s} j^{-a} + C_{1EL} \cdot \sum_{j=1}^{n_L} j^{-a} + C_{1V} \cdot \sum_{j=1}^N j^{-a} \cdot (1 + C_{1EX} \cdot T_{EX}).$$

Pro ilustraci uvedeného rozboru uvedme výsledky výpočtů pro určitý RZS ve tvaru trojrozměrných diagramů (celkové  $C_\Sigma$  je uvedeno v USD). Závislost  $C_\Sigma$  je na obr. 2.



$$C_{\Sigma} = C_{PR} + \sum_{j=1}^{n_z} j^{-a} \cdot \sum_{z=1}^k C_{IZ} + C_{IF} \cdot \sum_{j=1}^n j^{-a} + (C_{IR} + C_{IW} + C_{IK}) \cdot \sum_{j=1}^N j^{-a} \cdot (1 + C_{IEX} \cdot T_{EX})$$

**Obr. 2: Celkové náklady na vývoj, výrobu, zkoušení a provoz raketového zbraňového systému**

### Shrnutí

Předložený způsob určení významných kritérií, tj. veličin  $E$ ,  $N$  při zadání: poloměru ničení  $R_z$  a střední kvadratické odchylky  $\sigma$ , celkové spolehlivosti rakety  $\eta_p$  a počtu cílů  $L$ , určují kvalitu RZS z hlediska jeho kvality, tj. splnění stanoveného bojového úkolu.

Z uvedeného je zřejmé, že posuzovaný zbraňový systém bude kvalitnější při dosažení minimálních možných hodnot  $N$  (tj. počtu raket, startujících proti danému cíli). Kritérium  $E$  - kritérium bojové účinnosti by naopak mělo dosahovat hodnot blízkých se jedničce.

Zmíněná kritéria hodnocení bojové účinnosti zbraňového systému jsou důležitá, přesto jejich význam může být posuzován až po stanovení ekonomického kritéria  $C_{\Sigma}$ . Proto kritérium ekonomičnosti zbraňového systému  $C_{\Sigma}$  a jeho jednotlivé složky hrají dominantní úlohu v hodnocení libovolného zbraňového systému. Má-li být  $C_{\Sigma}$  minimální, potom musí být minimální i jeho složky.

Jak je patrné z obr. 2, celkové náklady se zvyšují s předpokládanou dobou provozu zbraňového systému a počtem provedených zkoušek (stendových i letových). Z posouzení vlivu výrobních nákladů (jejich procento z celkových nákladů) dosahuje nejvyšších hodnot při minimální předpokládané době provozu a minimálním počtu provedených zkoušek.

Vliv počtu zkoušek na cenu má obdobnou tendenci, pokud se týká doby předpokládaného provozu. Na rozdíl od vlivu výrobních nákladů vliv stendových a letových zkoušek roste s růstem celkového počtu zkoušek. Současným trendem ve světě je zkvalitnit vývojovou etapu, matematicky modelovat předpokládané poruchové stavy zbraňového systému, a tím snížit nutný celkový počet zkoušek na minimum. Vliv doby provozu zbraňového

systému na cenu projektovaného zbraňového systému roste s dobou předpokládaného provozu  $T_{EX}$  a klesá s počtem standových a letových zkoušek.

\* \* \*

Na základě ilustračního příkladu je proto možné konstatovat, že předložený způsob určení nákladů a jejich složek *umožňuje přesněji* formulovat potřeby na vývoj, výrobu, zkoušení a zavedení do výroby libovolného zbraňového systému v porovnání s prostým kvalifikovaným odhadem, který ne vždy je skutečně kvalifikovaným.

Uvedená kritéria ekonomičnosti a bojové účinnosti jsou stejně významná, ne-li významnější, než ryze technické parametry projektovaného (ale i např. modernizovaného) zbraňového systému, i když kvalita projektu, ale zejména počet prvků systému, významně ovlivňují část výrobních nákladů i část nákladů na standové a letové zkoušky prvků zbraňového systému.

#### Použitá literatura

- [1] Hartman, P.: Aspekty koncepce protivzdušné obrany. Vojenské rozhledy, č. 5, GŠ AČR, Praha 1995.
- [2] Eminger, K. - Klíma, L.: Obranný výzkum a jeho programování - II. Vojenské rozhledy, č. 1, Praha 1996.
- [3] Sinjukov, A. M. - Volkov, L. I. - Lvov, A. I. - Šiškevič, A. M.: Ballističeskaja raketa na tvjrdom toplive. VIMO, Moskva 1972.
- [4] Nikolajev, J. M. - Solomonov, J. S.: Inženěroje projektirovanie upravljajemych ballističeskich raket s RMTT. VIMO, Moskva 1979.

*Konflikty v prostoru bývalé Jugoslávie, ale i na mnoha jiných místech, například na Blízkém východě, jasně ukazují, že dnes stále zřetelněji mizí ostrá hranice mezi lokálním ozbrojeným konfliktem a terorismem. Zdá se mi proto, že by Severoatlantická aliance měla přemýšlet také o tom, zda a jak by mohla v budoucnosti čelit i tomuto druhu, který může hrát v nadcházejících letech a desetiletích stále významnější roli.*

*Z projevu Václava Havla, prezidenta ČR,  
na 13. konferenci Severoatlantické aliance  
Lidové noviny 22. 6. 1996.*