

**ŠOLA ZA ČASTNIKE
20. GENERACIJA
SPECIALIZACIJA LETALSTVO**

ZAKLJUČNA NALOGA

DRUŽINA RAKET HYDRA 70 NA LETALU PILATUS PC-9M



Kandidat-slušatelj: ndes., Klemen Štirn

Mentor: npor., Gregor Virant



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OBRAMBO
Slovenska vojska

Poveljstvo za doktrino, razvoj,
izobraževanje in usposabljanje
Šola za častnike

Številka:

Datum:

ZAKLJUČNA NALOGA

DRUŽINA RAKET HYDRA 70 NA LETALU PILATUS PC-9M

Kandidat-slušatelj: ndes., Klemen Štirn

Mentor: npor., Gregor Virant

Maribor, september 2009

Engelsova ulica 15, 2111 Maribor
Telefon: 02 332 2227, fax: 02 332 1035, e-pošta: pdriu@mors.si
Identifikacijska št. za DDV: (SI) 47978457, MŠ: 5268923, TRR: 01100-63701911

POVZETEK

Delo obravnava nevodljive rakete kalibra 70 mm na letalu Pilatus PC-9M. Začne se z zgodovinskim pregledom nevodljivih raket v letalstvu, ki so bile sprva mišljene kot rakete zrak-zrak, danes pa so prvenstveno namenjene za napade na površinske cilje. Predstavljeni so tipi raketnih motorjev in principi delovanja ter osnovni pojmi, ki se uporabljajo za karakteriziranje in preračun zmogljivosti raketnih motorjev. V nadaljevanju so predstavljene rakete kalibra 70 mm v uporabi v Slovenski vojski. Te temeljijo na raketnem motorju CAT-70, ki je kompatibilen z motorji tipa MK 40. Podrobnejše so obdelani sestavni deli rakete s poudarkom na teoretični obdelavi pogonskega dela raket. Sledi opis uporabe teh raket na letalu Pilatus PC-9M »Hudournik«, ki se uporablja za nadaljevalno šolanje pilotov v Letalski šoli. V zadnjem delu je povzetek možnih nadgradenj raket v prihodnje. Ta zajema zamenjavo raketnih motorjev za zmogljivejše motorje tipa MK 66, uvedbo novih bojnih glav za izboljšanje učinka in protioklepni boj ter predstavitev projektov razvoja modulov, s katerimi se obstoječe rakete lahko spremenijo v natančno vodeno orožje.

Ključne besede:

Raketni motor, raketni motor na trdno gorivo, trdno gorivo, pogonska zmes, oblika pogonske zmesi, nevodljive rakete, Hydra 70, bojna glava, vžigalnik, Pilatus PC-9M, Hudournik, MK 40, MK 66, lasersko vodene rakete.

SUMMARY

The work studies 70 mm unguided rockets on the Pilatus PC-9M aircraft. It starts with a historical background on the development of folding fin areal rockets (FFAR), that initially were considered air-to-air weapons, but later employed as a cost-effective aerial weapon for a variety of air-to-ground missions. The work briefly describes principles of rocket propulsion and basic performance parameters used in rocket technology. Furthermore, the work studies Spanish-made CAT-70 rocket motor-based FFAR used in the Slovene armed forces, with emphasis on the solid rocket motor and propellant grain geometry. The next chapter describes employment of the rockets on the Pilatus PC-9M »Swift« aircraft operated by the armed forces as an advanced pilot trainer. The last part presents several possible future upgrades to the rockets, including the improved MK 66 wraparound fin solid rocket motor, new warheads that improve the rocket's efficiency against soft and armored targets, and a number of ongoing projects to provide pinpoint accuracy for the existing 70mm rockets, making them a low-cost alternative to combat-proven, yet pricey, weapons such as the Hellfire laser-guided missile.

Keywords:

Rocket motor, solid rocket motor, solid fuel, propellant, grain geometry, unguided rockets, Hydra 70, warhead, igniter, Pilatus PC-9M, Swift, MK 40, MK 66, laser-guided rockets.
Raketni motor, raketni motor na trdno gorivo, trdno gorivo, pogonska zmes, oblika pogonske

KAZALO

POVZETEK.....	iii
SUMMARY.....	iv
KAZALO.....	v
1. UVOD.....	1
1.1 IZHODIŠČE ZAKLJUČNE NALOGE	1
1.2 NAMEN IN CILJI RAZISKAVE	2
1.3 METODE DE LA	2
1.4 STRUKTURA ZAKLJUČNE NALOGE.....	2
2. ZGODOVINSKI PREGLED	3
3. PREGLED RAKETNIH MOTORJEV.....	5
2.1 RAKETNI MOTORJI NA TRDNO GORIVO	5
2.2 RAKETNI MOTORJI NA TEKOČE GORIVO	6
2.3 HIBRIDNI RAKETNI MOTORJI.....	7
2.4 DRUGE VRSTE RAKETNIH MOTORJEV.....	7
4. OSNOVNI POJMI.....	8
4.1 POTISK.....	8
4.2 TOTALNI IMPULZ.....	9
4.3 SPECIFIČNI IMPULZ	9
4.4 HITROST IZPUŠNIH PLINOV.....	10
5. RAKETE KALIBRA 70 mm V SLOVENSKI VOJSKI	12
5.1 RAKETNI MOTOR CAT-70 Mod 1 (MK 40 Mod 3).....	13
5.1.1 Ohišje.....	13
5.1.2 Polnitev (pogonska zmes)	13
5.1.3 Izpušna šoba.....	18
5.1.4 Vžigalnik goriva.....	18
5.2 BOJNA GLAVA CRHE-70 (M151).....	18
5.3 VŽIGALNIK B-70 (M427).....	19
6. RAKETE 70 mm NA LETALU PILATUS PC-9M HUDOURNIK.....	21

6.1	SPLOŠNO O LETALU PC-9M HUDOURNIK	21
6.2	UPORABA NEVODLJIVIH RAKET KALIBRA 70 mm	23
6.2.1	Postopki oboroževanja letal.....	24
6.2.2	Uporaba raket	25
7.	MOŽNOSTI NADGRANJE OBSTOJEČIH SISTEMOV	27
7.1	RAKETNI MOTOR MK 66	27
7.2	DRUGE VRSTE BOJNIH GLAV	28
7.2.1	M229	28
7.2.2	Bojne glave z neeksplozivnim podkaliberskim strelivom.....	28
7.3	VODLJIVE RAKETE 70 mm.....	29
7.3.1	APKWS I/II	29
7.3.2	DAGR	31
7.3.3	LOGIR.....	32
7.3.4	CRV7-PG	33
7.3.5	Drugi projekti po svetu.....	34
8.	ZAKLJUČEK	35
	LITERATURA.....	37
	SEZNAM SLIK IN TABEL.....	39
	IZJAVA O AVTORSTVU.....	40

1. UVOD

V obdobju hladne vojne je bilo načrtovanje in izvajanje vojaških akcij bistveno drugačno, kot danes. Sovražnik je bil namreč jasno definiran; vsak trenutek se je vedelo, kdo sovražnik je, kakšno oborožitev ima, v kolikšnih količinah in kje se nahaja. Po koncu hladne vojne so se razmere povsem spremenile. Operacije se načrtujejo in izvajajo na globalni ravni v posameznih žariščih po svetu, večkrat daleč od lastnih meja. V teh spopadih se uveljavlja gverilski način bojevanja, kjer je sovražnik navzoč tudi v gosto naseljenih območjih in pomešan s civilnim prebivalstvom.

Za sodobne spopade je značilno nesimetrično bojevanje, kjer imamo zagotovljeno številčno in tehnično premoč. Veliko vlogo v teh operacijah ima prav letalstvo, ki je zmožno v vsakem trenutku izkoristiti premoč v zraku ter nuditi neposredno ognjeno podporo enotam na tleh. Varnostna razdalja, do katere letalstvo še lahko nudi neposredno ognjeno podporo, se z leti manjša zahvaljujoč razvoju sodobnih lasersko in GPS vodenih orožij, ki omogočajo precizne napade z velikih višin. Pa vendar težke bombe in drage rakete niso vselej primerna izbira.

Velik poudarek v sodobnih spopadih je namenjen podpori lokalnega prebivalstva. Porušitev okoliških stavb, ker je bil med njimi upravičen cilj, ki smo ga uničili z 227 kg težko bombo, ni sprejemljiva. Stranska škoda (tako imenovana »collateral damage«) med civilnim prebivalstvom zelo negativno vpliva na dojetje tako vzrokov kot ciljev in namena mednarodnih operacij. Posledično operacijam pada podpora lokalnega prebivalstva, sovražnik pa lahko vsako napako izkoristi v svoj prid in še okrepi svoje vrste.

Tu prav pridejo orožja manjših kalibrov. Nevodljive rakete so se izkazale kot učinkovito, preprosto, zanesljivo in tudi cenovno ugodno orožje. Zaradi relativno majhnega kalibra in posledično manjše mase od klasičnih letalskih bomb omogočajo, s pomočjo večcevni podkrilnih lanserjev, učinkovito izrabo prostora na letalih, helikopterjih in brezpilotnih plovilih, kjer sta prostor in teža vedno izredno pomembna dejavnika. Če njihov omejen ubojni radij združimo s sistemi za precizno vodenje, dobimo orožje kot nalašč za napade na posamezne cilje v območjih, kjer je velika nevarnost stranske škode.

1.1 IZHODIŠČE ZAKLJUČNE NALOGE

V Slovenski vojski se za oborožitev letal Pilatus PC-9m Hudournik, pa tudi helikopterjev Bell-412, uporabljajo med drugim tudi nevodljive rakete kalibra 70 mm. Namenjene so raznovrstnim nalogam zrak-zemlja, od neposredne zračne podpore kopenskim enotam, napadu na točkaste cilje, do ognjene priprave izvenletaliških pristajalnih mest za helikopterske desante.

Šolanje posadk letal in letalsko-tehničnega osebja za uporabo nevodljivih raket se izvaja izključno s pomočjo tuje literature, saj primernih prevodov in povzetkov v slovenskem jeziku ni. Prav tako je vsa tehnična in druga dokumentacija večinoma na voljo le v angleškem jeziku.

Kot vsa orožja, so tudi nevodljive rakete kalibra 70 mm deležne nenehnega razvoja in izboljšav. Novejši raketni motorji zagotavljajo stabilnejši let rakete in posledično večjo preciznost, izboljšajo pa tudi doseg orožja. Motorji tipa MK 66 so povsem kompatibilni z obstoječimi lanserji in bojnimi glavami, prvotno zasnovanimi za starejše modele raketnih motorjev tipa MK 40. Prav slednji so v uporabi tudi v Slovenski vojski.

1.2 NAMEN IN CILJI RAZISKAVE

Namen diplomske naloge je zbrati osnovno teorijo o raketnih motorjih tipa CAT-70 (MK 40) in nevodljivih raketah kalibra 70 mm ter jo predstaviti v slovenskem jeziku. Cilj je najti, preučiti in predstaviti možnosti za nadgradnjo, s katero bi povečali zmogljivost, natančnost in bojno moč obstoječih sistemov.

1.3 METODE DELA

Za izdelavo zaključne naloge sem uporabil deskriptivno metodo, ki temelji na poznavanju domače in tuje strokovne literature. Skoraj izključno sem uporabljal tujo literaturo in internetne vire, ker ustreznih virov v slovenskem jeziku s področja raketne tehnike ni.

1.4 STRUKTURA ZAKLJUČNE NALOGE

Zaključna naloga je sestavljena iz treh vsebinsko sklenjenih sklopov, in sicer iz teoretičnega, analitičnega ter perspektivnega.

V teoretičnem delu sem na kratko predstavil zgodovino razvoja nevodljivih raket v letalstvu, sledi ji pregled raketnih motorjev in razlaga osnovnih pojmov, ki se uporabljajo v raketni tehniki.

Analitični del obsega podrobnejši opis nevodljivih raket kalibra 70 mm, katerih osnova je raketni motor CAT-70 in so trenutno v uporabi v Slovenski vojski. Predstavljena je uporaba raket na letalu Pilatus PC-9m Hudournik.

V perspektivnem delu sem preučil možnosti nadgradnje obstoječih sistemov v prihodnje. Te obsegajo zamenjavo raketnih motorjev z zmogljivejšimi, uvedbo novih bojnih glav in modulov, s katerimi rakete spremenimo v vodljivo orožje.

2. ZGODOVINSKI PREGLED

Prvi model raket kalibra 70 mm, imenovan FFAR (Folding Fin Areal Rocket; zračna raketa z zložljivimi krilci), so razvili za potrebe mornarice ZDA konec štiridesetih letih prejšnjega stoletja v NOTS-u (Naval Ordnance Test Station, China Lake, ZDA). Kot osnova za razvoj so služile rakete R4M (rakete 4 kg Minenkopf), s katerimi so bili v 2. svetovni vojni oborožena letala Me-262 nemškega vojnega letalstva (Luftwaffe).

FFAR je bila v osnovi razvita kot orožje zrak-zrak za uporabo na prestreznikih proti težkim bombnikom. Salvo raket so smatrali za učinkovitejšo kot strujo topovskih izstrelkov kalibra 20 do 30 mm. Zadetek v kateri koli del bombnika z eno samo raketo bi bilo dovolj za njegovo sestrelitev, učinkovite pa bi bile tudi za razbijanje tesnih bombniških formacij na posamezne, za prestreznike lažje obvladljive tarče.

Originalni model je nosil oznako MK 4, poimenovan tudi »Mighty Mouse« (Mogočni mišek). To je bila raketa, stabilizirana z vrtenjem okoli vzdolžne osi in s štirimi krilci, nameščenimi okoli šobe motorja, ter opremljena z 2,7-kilogramsko bojno glavo z brizantnim (rušilnim) razstrelivom HBX (mešanica RDX, TNT, aluminija, lecitina in voska). S temi raketami so bili med drugimi opremljeni prestrezniki F-86D »Sabre«, F-89J »Scorpion«, F-94C »Starfire« in F-102 »Delta Dagger«. Dolžina rakete je bila 1,2 m, tehtala je 8,4 kg, največji dolet je bil okoli 6.000 m, učinkovit dolet pa okoli 3.400 m. Slabost raket MK 4 je bila nenatančnost, saj sta bili njena potovalna hitrost in hitrost vzdolžnega vrtenja premajhni, da bi uspešno izničili učinke gravitacije, bočnega vetra in razpršitve.

Slika 1: Letalo F-86D v letu strelja rakete Mighty Mouse



Vir: National Museum of the US Air Force

Rakete kalibra 70 mm so kmalu prilagodili za naloge zrak-zemlja, za kar so razvili pisan izbor bojnih glav, od rušilnih in razpršnih do raznih dimnih bojnih glav za označevanje tarč ter zažigalni učinek. V uporabo so jih prevzeli tudi drugi rodovi ameriške vojske kot primarno oborožitev helikopterjev. Za izboljšanje zmogljivosti raket pri izstrelitvi iz počasnih helikopterjev so razvili nov motor z oznako MK 40. Ta ima spremenjeno izpušno šobo, ki omogoča večjo hitrost vrtenja in posledično izboljšano natančnost.

Izboljšane rakete so bile uporabljene v Korejski in Vietnamski vojni za širok spekter nalog zrak-zemlja, z njimi pa je bilo oboroženih preko dvajset različnih tipov letal in helikopterjev. Izstreljenih je bilo na milijone nevodljivih raket 70 mm, katerih glavne naloge so bile neposredna podpora kopenskim enotam, uničevanje utrjenih sovražnikovih položajev in ognjena priprava izvenletaliških pristajalnih mest.

Slika 2: Salvo 70 mm raket iz F-100D na sovražne položaje (Južni Vietnam, 1967)



Vir: Wikimedia.org

Trenutno v oboroženih silah ZDA uporabljajo izpeljanke z raketnim motorjem MK 66, ki je bil za potrebe vojske razvit kot zamenjava za modele MK 4 in MK 40, tako za letala kot helikopterje. Prav za rakete s tem izboljšanim motorjem se je uveljavilo ime Hydra 70.

Rakete Hydra 70 so se kot učinkovito, zanesljivo in poceni orožje izkazale tudi v sodobnih vojaških operacijah od Paname (1989) in prve Zalivske vojne (1990) do vojne v Afganistanu (2001) ter Iraku (2003), kjer se uporabljajo kot standardna oborožitev predvsem bojnih helikopterjev.

3. PREGLED RAKETNIH MOTORJEV

Raketne motorje lahko razvrstimo v več razredov glede na vir energije (kemična, jedrska, sončna), osnovno funkcijo (vzletni, pospeševalni, krmilni, motorji za vzdrževanje orbite, ...), tip vozila (letalska raketa, vesoljsko plovilo, ...), velikost, tip pogonskega sredstva, vrste konstrukcije ali število pogonskih enot v vozilu.

Danes se kot vir energije največ uporablja kemična energija, ostale tehnologije večinoma še niso dovolj raziskane, razvite ali zmožljive, da bi bile primerne za praktično uporabo. Vrste raketnih motorjev na kemično energijo so na kratko predstavljene v tem poglavju.

2.1 RAKETNI MOTORJI NA TRDNO GORIVO

Eden največkrat uporabljenih raketnih pogonskih sistemov je raketni motor na trdno gorivo (Solid Rocket Motor; SRM). Kitajci so razvili in uporabljali raketne izstrelke na trdno gorivo že več kot 800 let nazaj, v vojaške namene pa so jih uporabljali tudi drugod v osemnajstem in devetnajstem stoletju.

Prednosti raketnih motorjev na trdno gorivo so relativno preprosta izdelava, skladiščenje in vzdrževanje, kar je pomembno tudi s finančnega vidika. So namreč brez gibljivih delov in ne potrebujejo dovoda goriva, ventilov ali drugih podobnih sistemov.

Širok spekter uporabe raketnih motorjev na trdno gorivo zajema:

- začetne pospeševalne motorje (boosters) za vesoljska plovila,
- pogon višjih stopenj orbitnih vozil,
- sisteme za obračanje vesoljskih plovil,
- pogon strateških in taktičnih vojaških raket,
- generatorje plina za vžig raketnih motorjev na tekoče gorivo,
- manjše raketne motorje (ognjemeti, modelarske rakete).

Polnitev (propellant grain), kot pravimo pogonski zmesi, oblikovani v geometrijsko telo, je vstavljena v zgorevalno komoro in vsebuje vse kemične elemente, potrebne za popolno zgorevanje. Po vžigu pogonska zmes gori z vnaprej znano hitrostjo na vseh izpostavljenih površinah. Vroči plini zapustijo komoro prek nadzvočne šobe in ustvarjajo potisk. Gorenja običajno ne moremo zaustaviti in poteka, vse dokler razpoložljiva pogonska zmes ne izgori. Prav to pa je glavna slabost teh motorjev; ko jih enkrat prižgemo, ne moremo ustaviti gorenja, spreminjati potiska ali drugih parametrov.

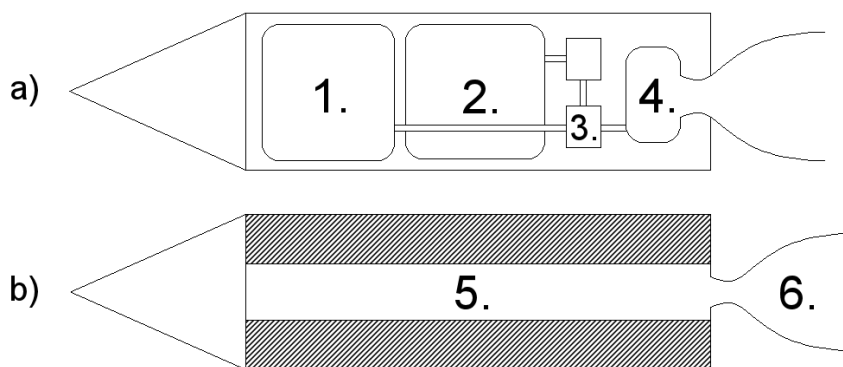
2.2 RAKETNI MOTORJI NA TEKOČE GORIVO

Raketni motorji na tekoče gorivo (Liquid Rocket Propulsion Systems/Engines; LRPS) so primerna izbira, kadar potrebujemo visok specifični impulz in nivo potiska. Njihova priljubljenost je spodbujala razvoj do te mere, da imamo danes na voljo zanesljive in zmogljive tehnologije.

Raketni motorji na tekoče gorivo, kot že ime pove, uporabljajo utekočinjeno gorivo, ki se ga pod tlakom dovaja v zgorevalno komoro iz rezervoarjev. Potreben tlak zagotovimo s pomožnim plinom pod visokim tlakom ali pa s pomočjo tlačnih črpalk. Slednje uporabljamo v sistemih z večjo količino goriva in višjim potiskom, na primer v vesoljskih raketah.

V nasprotju s trdnim gorivom lahko pri raketnih motorjih na tekoče gorivo med obratovanjem nadziramo in po potrebi prilagajamo potisk s primernim tlakom dovoda goriva v zgorevalno komoro. Nekatere lahko celo med letom ugasnemo in ponovno prižgemo, večje motorje pa lahko (po temeljitem pregledu in testiranju) ponovno uporabimo. Raketni motorji na tekoče gorivo za delovanje tako zahtevajo kompleksen sistem dovoda goriva z več natančnimi ventili, črpalkami, turbinami in relativno zapleteno zgorevalno komoro.

Slika 3: Shema dveh najpogostejših tipov raketnih motorjev



Avtor: Klemen Štirn

Shematska primerjava glavnih dveh vrst raketnih motorjev je prikazana na sliki 1. Pri raketnem motorju na tekoče gorivo (a) imamo ločeno shranjeno gorivo (1.), oksidant (2.), sistem ventilov in črpalk (3.) ter zgorevalno komoro z izpušno šobo (4.). Pri raketnem motorju na trdno gorivo (b) pa imamo pogonsko zmes (5.), ki vsebuje gorivo in oksidant v trdem stanju. Kot zgorevalna komora deluje ohišje samo, izpušni plini pa se pospešijo prek šobe (6.)

2.3 HIBRIDNI RAKETNI MOTORJI

Hibridni motorji so nekakšna mešanica motorjev na trdno in tekoče gorivo. Oksidant je običajno tekoč in shranjen v posebnem tanku, gorivo pa je v trdnem stanju. Omogočajo spreminjanje potiska (spreminjamo dotok oksidanta), prekinitvev in ponovni vžig motorja. Poleg tega so varni za rokovanje in uporabo, saj sta gorivo in oksidant fizično ločena.

Navkljub nekaterim prednostim pa hibridni motorji niso bili deležni razvoja v enaki meri kot motorji na tekoče in trdno gorivo. V praktični uporabi jih redko najdemo, mnogi zgodnji hibridni motorji so bili namenjeni letečim tarčam za potrebe ameriške vojske. V zadnjih letih se razvoj osredotoča na prototipe pospeševalnih motorjev (boosters) za vesoljske aplikacije.

2.4 DRUGE VRSTE RAKETNIH MOTORJEV

Obstaja še več vrst raketnih motorjev (nekateri zgolj na papirju), ki za ustvarjanje potiska ne izkoriščajo kemične energije. Mednje spadajo:

- **Električni pogon** deluje na principu pospeševanja majhnih mas na zelo visoke hitrosti (na primer plazma ioniziranih plinov). Dobra lastnost teh sistemov je visok specifičen impulz, slaba pa izjemno majhen potisk (0,0001—20 N). Da dosežemo večje hitrosti, mora motor pospeševati tedne, celo mesece. Uporablja se na nekaterih vesoljskih sondah.
- **Jedrski pogon** izkorišča jedrsko energijo za segrevanje pogonskega plina, ki nato zapusti motor prek izpušne šobe. Razvili bi lahko visoke potiske, vendar ostajajo zaradi politične neprivlačnosti, možnih radioaktivnih izpuhov in visoke cene zgolj v teoretičnih študijah.
- **Hladen plin** (N_2 , H_2), shranjen pod visokim tlakom in speljan prek izpušne šobe, se lahko prav tako uporablja kot pogonsko sredstvo. Prednosti predstavljajo preprostost, varnost in čistost do okolja, žal pa razvijejo le majhne potisne sile.

4. OSNOVNI POJMI

V tem poglavju bom na kratko predstavil osnovni princip delovanja raketnega motorja in nekaj definicij, ki se uporabljajo v raketni tehniki ter so potrebne za razumevanje nadaljnjih poglavij.

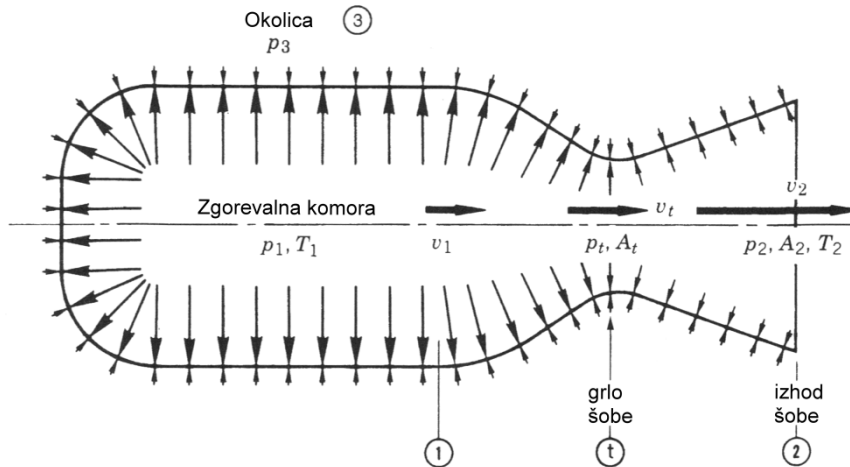
4.1 POTISK

Potisk je sila, ki jo generira raketni motor in deluje na vozilo (raketo). Relativno majhne mase, shranjene v notranjosti motorja, z veliko hitrostjo zapustijo motor preko izpušne šobe, kot reakcija pa se pojavi potisna sila.

Kadar je tlak na izhodu potisne šobe enak tlaku okolice, celotno potisno silo zapišemo kot:

$$F = \frac{dm}{dt} v_2 = \dot{m} v_2$$

Slika 4: Razporeditev tlaka po notranjosti raketnega motorja



Avtor: Klemen Štirn

Tlačne razmere v raketnem motorju so shematsko prikazane na sliki 2. Ker je geometrija šobe fiksna, tlak okolice pa se spreminja, pride do razlike med tlakom v okolici p_3 in na izhodu iz šobe p_2 . Zato je potisna sila gibajoče se rakete enaka:

$$F = \dot{m} v_2 + (p_2 - p_3) A_2$$

Prvi del enačbe imenujemo **potisk gibalne količine**, drugi pa **tlačni potisk**. Če je p_2 manjši od p_3 je tlačni potisk negativen in zmanjšuje celoten potisk raketnega motorja. To je seveda

nezaželeno, zato so izpušne šobe navadno oblikovane tako, da je izhodni tlak enak (t. i. **optimalno ekspanzijsko razmerje**) ali malo večji od okoliškega.

4.2 TOTALNI IMPULZ

Totalni impulz I_t je potisna sila F (ta se s časom lahko spreminja), integrirana prek časa gorenja t_b :

$$I_t = \int_0^{t_b} F dt$$

V primeru konstantnega potiska in zanemarljivih odstopanj pri začetku ter koncu izgorevanja, lahko enačbo zapišemo preprosto kot:

$$I_t = Ft_b$$

I_t je proporcionalen celotni sproščeni energiji vsega pogonskega sredstva v sistemu.

4.3 SPECIFIČNI IMPULZ

V pogonskih sistemih se pogosto uporablja zmogljivostni parameter **specifični impulz** I_{sp} . Je pomembna karakteristika zmogljivosti raketnega motorja, konceptualno podobna porabi goriva v litrih na 100 km pri avtomobilih. I_{sp} primerja potisno silo z masnim pretokom pogonskega sredstva:

$$I_{sp} = \frac{F}{\dot{m}g_0} ,$$

kjer je I_{sp} = specifični impulz (s),

F = potisna sila (N),

\dot{m} = masni pretok pogonskega sredstva (kg/s),

g_0 = težnostni pospešek $g_0 = 9,807 \text{ m/s}^2$.

Enačba se lahko zapiše tudi brez težnostnega pospeška g_0 ; ta je dodan kot pomoč pri okrajšavi enot, da se ista vrednost za I_{sp} lahko uporablja tako v SI merskem sistemu kot tudi v anglo-saškem.

Večji I_{sp} pomeni večji potisk na dano maso goriva. Pri raketnih motorjih težimo k čim večji potisni sili, hkrati pa želimo čim manjšo maso goriva (in s tem motorja). Tipične vrednosti I_{sp} za različne tehnologije raketnih motorjev so prikazane v tabeli 1.

Tabela 1: Zmogljivosti ključnih tehnologij

<i>Tehnologija</i>	<i>I_{sp} (s)</i>	<i>Potisk (N)</i>	<i>Prednosti</i>	<i>Slabosti</i>
Hladen plin <i>N₂</i> <i>H₂</i>	60 250	0,1–50	- preprost, - varen - majhno onesnaževanje	- majhen <i>I_{sp}</i>
Kemična goriva Tekoča goriva Monopropellant Bipropellant Trdna goriva Hibridi	140–235 320–460 260–300 290–350	0,1 do 12.000.000	- visok potisk	- srednje zmogljivosti - težave z izgorevanjem - varnostni zadržki
Jedrski pogon Trda sredica Tekoča sredica Plinska sredica	800–1100 3000 6000	do 12.000.000	- visok <i>I_{sp}</i>	- nepreizkušen - politična neprivlačnosti - drag - slabo razmerje potisk/masa
Električni pogon Elektrotermični Elektromagnetni Elektrostatični	500–1000 1000–7000 2000–7000	0,0001–20		

Vir: Rocket propulsion elements, seventh edition (New York, 2001)

4.4 HITROST IZPUŠNIH PLINOV

V šobi hitrost izpušnih plinov ni enakomerna po celotni izhodni površini. Profil izhodne hitrosti je težko natančno izmeriti, zato iz praktičnih razlogov poenostavimo, da je hitrost izpuha enakomerna v aksialni smeri. Povprečno hitrost, s katero izpušni plini zapustijo šobo, imenujemo **efektivna hitrost izpušnih plinov**:

$$c = I_{sp} g_0 = \frac{F}{\dot{m}}$$

Ker se c in I_{sp} razlikujeta le za konstanto g_0 lahko katerega koli od njiju uporabimo za merljivost zmogljivosti raketnega motorja. V ruski literaturi običajno najdemo c , v zahodni pa I_{sp} .

Karakteristična hitrost izpušnih plinov c^* se prav tako pogosto uporablja v raketni tehniki, saj nam omogoča vpogled v zmogljivosti pogonske zmesi in zgorevalne komore neodvisno od oblike šobe.

$$c^* = \frac{p_1 A_t}{\dot{m}}$$

Enačba velja ob predpostavkah, da gre za enodimenzionalen, enakomeren adiabaten tok idealnega plina.

5. RAKETE KALIBRA 70 mm V SLOVENSKI VOJSKI

Hydra 70 je splošna oznaka za družino nevodljivih raket kalibra 70 mm (2,75 inča), ki so v uporabi v mnogih oboroženih silah po svetu. Raznovrstne izpeljanke različnih proizvajalcev, ki so med seboj večinoma kompatibilne, se v prvi vrsti uporabljajo na helikopterjih in letalih kot orožje za vrsto misij zrak-zemlja. Učinkovite so proti sovražnikovi živi sili, oklepu (lahka in težka oklepna vozila), parkiranim letalom in helikopterjem, transportnim vozilom (tovornjaki, vlaki), radarskim inštalacijam, komunikacijskim antenam, položajem artilerije in raketnih sistemov, industrijskim objektom in drugim, tako imenovanim »mehkim« tarčam.

Zanimivo je, da letalske rakete kalibra 70 mm nimajo formalnih oznak. Navadno se te rakete identificira glede na uporabljen raketni motor, saj je to glavni del rakete, ki vsebuje tudi izpušno šobo in stabilizacijska krilca. Različne kombinacije bojnih glav in vžigalnikov se lahko montirajo na razpoložljive tipe raketnih motorjev kalibra 70 mm pred samo misijo (tudi na terenu), zato ni bilo potrebe po formalnih oznakah za vse mogoče kombinacije sestavljanja.

V Slovenski vojski so trenutno v uporabi rakete španskega proizvajalca Explosivos Alaveses, S.A., krajše Expal. Z njimi so oborožena letala Pilatus PC-9M »Hudournik«, namestijo pa se lahko tudi na helikopterje tipa Bell 412. Rakete temeljijo na motorju CAT-70, ki je v vseh pogledih kompatibilen z motorjem MK 40 Mod 3. Nanje se namestijo bojne glave CRHE-70 (kompatibilna z M151) ter trenutno-udarni vžigalniki B-70 (kompatibilni z M427). Posamezne komponente bom podrobneje predstavil v tem poglavju.

Slika 5: Sestavljene nevodljive rakete kalibra 70 mm v uporabi v SV



Avtor: Klemen Štirn

5.1 RAKETNI MOTOR CAT-70 Mod 1 (MK 40 Mod 3)

Motor, ki poganja raketo, je nameščen za bojno glavo. Sestavljajo ga štirje osnovni deli.

- ohišje,
- polnitev,
- izpušna šoba,
- vžigalnik goriva.

5.1.1 Ohišje

Ohišje deluje kot tlačna posoda, ki zadržuje visokotlačne procese zgorevanja v notranjosti motorja. Na obliko vplivajo zahteve motorja (količina in oblika goriva, delovni tlak, temperatura ...), dimenzije celotne rakete (ohišje motorja velikokrat služi tudi kot primarna struktura za nošenje drugih delov rakete) in zahteve proizvodnje. Notranjost ohišja, kjer poteka zgorevanje pogonske zmesi, imenujemo **zgorevalna komora**. Za izdelavo ohišij se uporabljajo tri vrste materialov: kovine, kompoziti in kombinacija obojih (kovinska notranjost, obložena s kompoziti).

Raketni motor CAT-70 ima ohišje izdelano pretežno iz aluminijeve zlitine, določeni predeli pa so okrepljeni z jeklom. Kovinska ohišja imajo kar nekaj prednosti pred kompozitnimi: so robustna in prenesejo dokaj grobo ravnanje (kar je zlasti pomembno za vojaške rakete), so dobro kovna, deformirajo se, preden popustijo, lahko jih segrejemo na relativno visoke temperature (od 700 do 1.000 °C) in zato potrebujejo manj toplotne izolacije. Zaradi tega in večje gostote, kot pri kompozitih, kovinska ohišja zavzamejo manj volumna in lahko pri enakih zunanjih dimenzijah nosijo več pogonske zmesi kot kompozitna ohišja.

5.1.2 Polnitev (pogonska zmes)

5.1.2.1 Kemična sestava pogonske zmesi

Pogonske zmesi za rakete na trdno gorivo ločimo na *dvobazne* in *kompozitne*. Dvobazne so homogene spojine, navadno eksplozivi na osnovi nitroceluloze, ki imajo v svoji molekularni strukturi tako gorivo kot oksidant (kisik). Učinkovitost teh goriv lahko povečamo z dodatki na osnovi gume, zanje pa je značilen skoraj brezdimni izpuh.

Drug tip pogonskih sredstev raketnih motorjev na trdno gorivo so kompozitne zmesi, pri katerih gre za heterogeno zmes goriva, oksidanta in veziva. Kot gorivo se največ uporabljajo kovine v prahu. Oksidanti so tipično kristalne snovi, medtem ko so veziva navadno materiali na osnovi gume. Med zgorevanjem tudi veziva sodelujejo v kemičnih reakcijah kot gorivo in oksidirajo. Raketni motorji, ki iz taktičnih razlogov proizvajajo malo vidnega dima, vsebujejo zelo malo (če sploh) kovinskih praškov.

V motorjih CAT-70 se uporablja dvobazna pogonska zmes z oznako GDB-615, katere tipična sestava je prikazana v tabeli 2. Gostota pogonske zmesi znaša od 1,55 do 1,60 g/cm³, sežigna toplota pa od 3,5 do 3,6 kJ/g.

Tabela 2: Kemična sestava polnitve GDB-615

Sestavina	Delež in dovoljeno odstopanje v %
Nitroceluloza	50,00 (+2,00/-1,50)
Nitroglicerin	34,90 (+/-2,00)
Dietil ftalat [C ₁₂ H ₁₄ O ₄]	10,50 (+/-2,00)
2-nitrodifenilamin	2,00 (+/-0,50)
Svinčev salicilat	1,20 (+/-0,40)
Svinčev 2-etilheksoat	1,20 (+/-0,40)
Vlaga	od 0 do 0,80
Kandelilski vosek	0,20 (+/-0,05)

Vir: Analiza laboratorija Expal (2006)

5.1.2.2 Oblika polnitve

Izjemen vpliv na zmogljivosti raketnih motorjev na trdno gorivo ima oblika pogonske zmesi (pogonsko zmes oblikovano v geometrijsko telo imenujemo tudi gorivni naboj). Ta namreč določa površino, izpostavljeno gorenju, s tem pa neposredno vpliva na masni pretok produktov zgorevanja, tlak v zgorevalni komori in potisno silo. Če površina gorenja ni konstantna skozi celoten čas gorenja pogonske zmesi, se temu primerno spreminjata tudi tlak v zgorevalni komori in potisk.

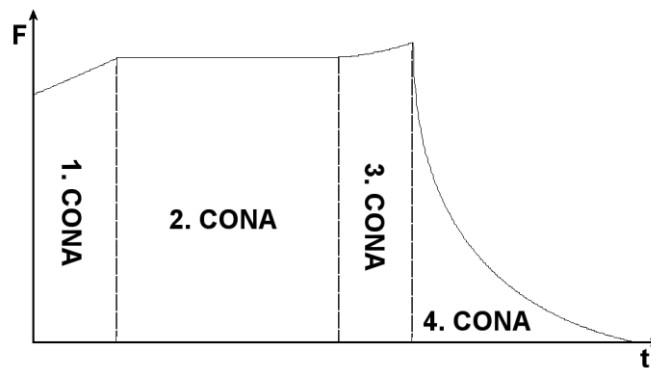
V motorjih CAT-70 (oziroma MK40 Mod 3) je pogonska zmes oblikovana v cilindrično obliko z izrezom osemkrake zvezde (glej sliko 6; šrafirano področje predstavlja pogonsko zmes).

Slika 6: Shematski prikaz raketnega motorja s profilom osemkrake zvezde



Avtor: Klemen Štirn

Slika 8: Cone gorenja zvezde



Avtor: Klemen Štirn

1. CONA

Prva cona je definirana z mejami $0 \leq w_x \leq r_2$. Je tipično progresivna zaradi progresivnega gorenja izseka valja s polmerom r_2 . Pri izdelavi zato težimo k čim manjšemu r_2 , ker želimo čim prej preiti v 2. cono, da dobimo konstanten potisk. Iz trdnostnih razlogov r_2 ne moremo opustiti, saj bi bil ošiljen koren zvezde preveč krhek in občutljiv na mehanske poškodbe.

Obseg zvezde v 1. coni je podan z izrazom:

$$\frac{S_1}{2N} = (R_p - w - w_x) \left(\frac{\pi}{N} - \xi \right) + (r_1 + w_x) \alpha + (R_p - w - r_1) \frac{\sin \xi}{\sin \eta} - (r_1 + r_2) \tan \left(\frac{\pi}{2} - \eta \right) + (r_2 - w_x) \left(\frac{\pi}{2} - \eta \right),$$

kjer je:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \eta + \xi$$

2. CONA

Druga cona je definirana z mejami:

$$r_2 < w_x \leq Y^* = (R_p - w - r_1) \frac{\sin \xi}{\cos \eta} - r_1$$

Obseg zvezde v 2. coni je podan z izrazom:

$$\frac{S_2}{2N} = (R_p - w + w_x) \left(\frac{\pi}{N} - \xi \right) + (r_1 + w_x) \alpha + (R_p - w - r_1) \frac{\sin \xi}{\sin \eta} - (r_1 + r_2),$$

Če želimo doseči nevtralno gorenje v 2. Coni, moramo, glede na dano število krakov zvezde N , doseči takšen kot η :

$$\eta = \frac{\pi}{2} - \left(\frac{\pi}{N} - \eta \right) + \frac{\pi}{2}$$

Rešitve zgornje enačbe so prikazane v tabeli 3. Potrebno je biti pozoren pri izbiri kotov, saj lahko ob izbiri $\eta < \frac{\pi}{2}$ in $\xi < \frac{\pi}{2}$ teoretično pride do prekrivanja krakov zvezde, kar pa je praktično nemogoče. Kot ξ naj bo vedno manjši ali kvečjemu enak $\frac{\pi}{2}$.

Tabela 3: Vrednost kota η v odvisnosti od števila krakov N

N	3	4	5	6	7	8	9
η [°]	24,55	28,22	31,13	33,53	35,56	37,31	38,84
$\pi/2$ [°]	60,00	45,00	36,00	30,00	25,71	22,50	20,00

Avtor: Klemen Štirn

3. CONA

Tretja cona je definirana z mejami $Y \leq w_x \leq w$. Ta cona je vedno progresivna, saj jo sestavljajo krožni loki, katerih polmer se povečuje. Kot α se zmanjšuje z napredovanjem čela plamena. Obseg v tej coni je podan z enačbo:

$$\frac{S_3}{2N} = (R_p - w - w_x) \left(\frac{\pi}{N} - \xi \right) + (r_1 + w_x) \left[\xi + \sin^{-1} \left(\frac{R_p - w - r_1}{r_1 + w_x} \sin \xi \right) \right]$$

4. CONA

Zadnja cona je definirana z mejami $w \leq w_x \leq w_t$, kjer je w_t definiran kot:

$$w_t = \sqrt{[(R_p - w - r_1) \sin \xi]^2 + [R_p - (R_p - w - r_1) \cos \xi]^2} - r_1$$

Potisk v četrti coni je vedno degresiven, saj se obseg plamena zmanjšuje. Ta se izračuna po enačbi:

$$\frac{S_4}{2N} = (r_1 + w_x) \left[\xi + \sin^{-1} \left(\frac{R_p - w - r_1}{r_1 + w_x} \sin \xi \right) - \pi + \cos^{-1} \left(\frac{(r_1 + w_x)^2 + (R_p - w - r_1)^2 - R_p}{2(r_1 + w_x)(R_p - w - r_1)} \sin \xi \right) \right]$$

Da bi raketni motor na trdno gorivo z obliko zvezde še izboljšali, težimo k temu, da čelo plamena čim prej preide v drugo cono in se tam čim dlje zadrži. To dosežemo s čim manjšima parametroma r_1 in r_2 . Teoretično bi bilo, s stališča potiska, najugodnejše, da se znebimo obeh zaokrožitev in uporabimo ostre robove. Takšna konfiguracija pa bi bila zelo neugodna zaradi zarezne učinka. Ostri robovi so še posebej dovzetni za mehanske poškodbe, tako da bi se pogonska zmes zlahka poškodovala med transportom ali rokovanjem z njo.

5.1.3 Izpušna šoba

V raketni tehniki se uporabljajo konvergentno-divergentne (De Lavalove) šobe, katerih naloga je pretvoriti toplotno energijo izpušnih plinov v kinetično energijo (jih pospešiti do visokih hitrosti) in potisk. Ta zgolj s pomočjo oblike pospeši fluid do visokih hitrostih. Oče izuma je Šved Gustaf de Laval (1845-1913), ki jo je uporabljal za pospeševanje pare v vodnih turbinah do nadzvočnih vrednosti. Najvišje hitrosti plinov, temperature in tlačni gradienti so prav v tem delu motorja.

Motor CAT-70 ima štiri manjše šobe nameščene na zadnjem delu motorja. Šobe niso simetrične, temveč imajo ekspanzijski del odrezan pod kotom 35° glede na prečno os motorja. Tako je dosežen odmik rezultante potisne sile od vzdolžne osi motorja, s čimer se zagotovi stabilizacijsko vrtenje rakete okoli vzdolžne osi.

Na zadnjem delu motorja so med šobe vgrajena štiri zložljiva stabilizacijska krilca. Ko raketa zapusti lansirno cev, se ta razprejo s pomočjo vzmeti in centripetalne sile (kot posledica rotacije motorja in s tem celotne rakete) in skrbijo za dodatno stabilizacijo leta ter posledično povišano natančnost raket.

5.1.4 Vžigalnik goriva

Funkcija vžigalnika goriva je zagotoviti zanesljiv in kontroliran vžig raketnega motorja. Njihova masa je majhna (običajno manj kot 1 % mase celotne pogonske zmesi) in gorijo pri nizkih tlakih v komori (majhen I_{sp}), tako da praktično zanemarljivo malo prispevajo k totalnemu impulzu celotnega motorja. Zato težimo k čim manjši masi vžigalnika, ki naj bo prav tako velika, da zagotovi zanesljiv vžig v vseh pogojih obratovanja.

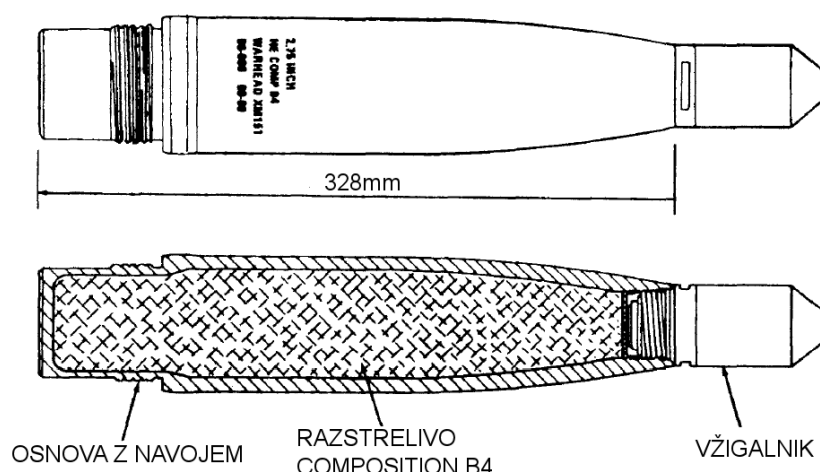
V raketnih motorjih CAT-70 se uporablja vžigalnik goriva z oznako ECAT-70 (ekvivalenten vžigalniku Mk 125 Mod 5). V njem je 10 g vžigalne polnitve, ki je zmes 8 g črnega smodnika (65 do 75 % kalijevega nitrata [KNO_3], 15 do 20 % žvepla [S] in 10 do 15 % oglja [C]) in 2 g magnezija v prahu. Skozi polnitev je izpeljana električna žica iz materiala z veliko upornostjo. Električni tok generira zadostno toploto za vžig zmesi smodnika in magnezija, ta pa vžge pogonsko zmes raketnega motorja. Čas gorenja polnitve vžigalnika goriva je 0,2 s.

5.2 BOJNA GLAVA CRHE-70 (M151)

CRHE-70 (M151) je najpogosteje uporabljena bojna glava za rakete kalibra 70 mm, polnjena z rušilnim razstrelivom. Uporablja se proti sovražnikovi živi sili in mehkim tarčam.

Sestavljena je iz dveh glavnih jeklenih delov, nosu in osnove, zvarjenih skupaj. Nosni del ima vrezano odprtino z vijačnim navojem, kamor se privije vžigalnik. Osnova ima prav tako vrezan navoj, s pomočjo katerega se bojna glava privije na raketni motor. Bojna glava je pobarvana olivno zeleno z rumenimi oznakami.

Slika 9: Shema bojne glave M151



Vir: Technical manual TM 43-0001-30 (Washington, 1981)

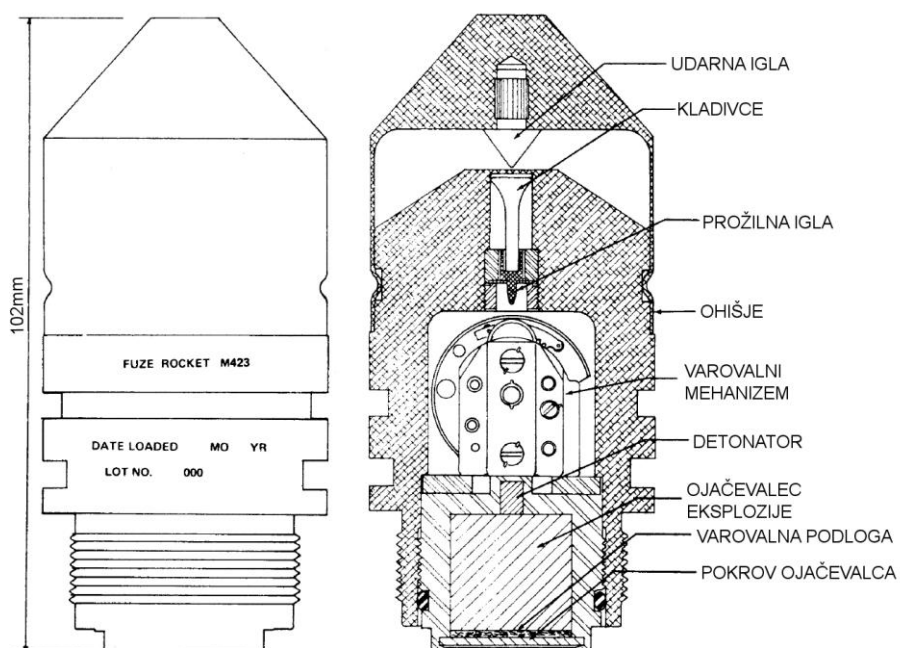
Dolžina glave brez vžigalnika znaša 0,33 m, hrani in uporablja se lahko v temperaturnem območju od -53,35 do +64,90 °C. Celotna bojna glava ima maso okoli 4 kg (možna so manjša odstopanja v teži zaradi razlik v materialih, zvarih, postopku izdelave ipd.), od česar je 1,04 kg eksplozivne polnitve razstreliva Composition B4 (mešanica 60 % RDX, 39,5 % TNT in 0,5 % kalcijevega silikata [Ca_2SiO_4]). Po priletu na cilj primeren vžigalnik detonira glavno polnitev in bojna glava se razleti na tisoče fragmentacijskih delcev z veliko hitrostjo (rušilno-razpršni učinek). Radij rušilne eksplozije je 10 m, vendar je ubojni radij zaradi hitrih fragmentov povečan do preko 50 m.

5.3 VŽIGALNIK B-70 (M427)

Vžigalnik B-70 se pritrdi na čelo bojne glave, njegov namen pa je zanesljivo proženje glavne polnitve bojne glave ob zadetku (udarcu v cilj ali tla). Sestavljena je iz udarne igle, klavdivca, prožilne igle, varovalno-aktivacijskega mehanizma, detonatorja in ojačevalca eksplozije.

Po vžigu raketnega motorja se zaradi vzdrževanega pospeška vztrajnostna masa v varovalno-aktivacijskem mehanizmu premakne v zadnji položaj. To sprosti neuravnotežen rotor, ki se zaradi rotacije rakete zavrti in v končnem položaju utrdi z vzmetnim zatičem. Po udarcu v cilj se ohišje udarne igle splošči, udarna igla udari po klavdivcu, ta pa preko prožilne igle vžge vžigalno kapico na detonatorju. Energija eksplozije inicialnega razstreliva v detonatorju se preko ojačevalca (9 g tetrila (n-metil-2,4,6-n-tetranitro anilin)) prenese na glavno polnitev v bojni glavi.

Slika 10: Shema vžigalnika M423



Vir: Technical manual TM 43-0001-30 (Washington, 1981)

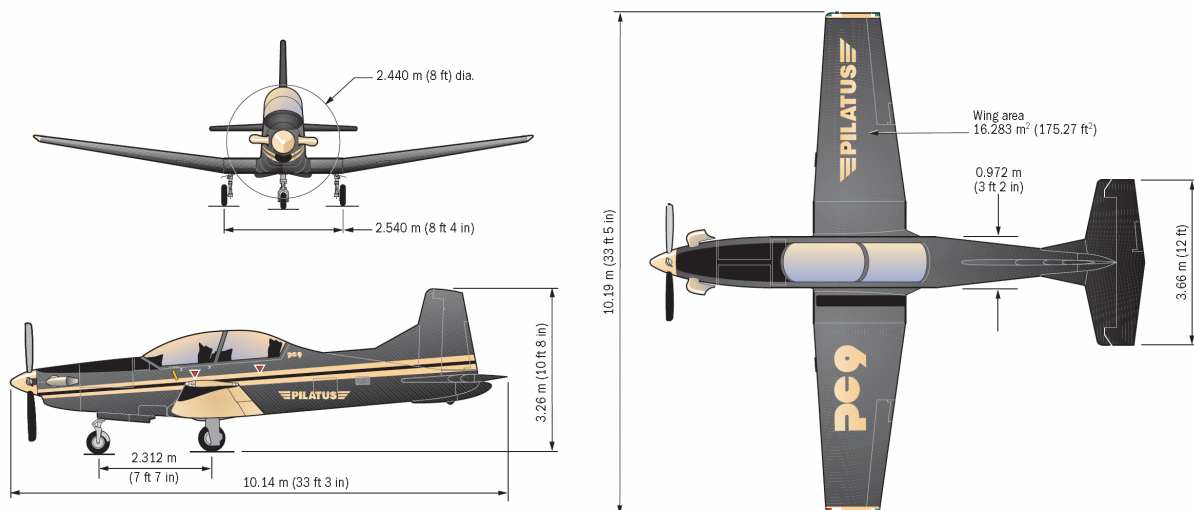
Vžigalnik ima torej dvojno varovalko, saj morata za uspešno aktivacijo (armiranje) biti zagotovljena dva pogoja: dovolj velik in dolgo trajajoč vzdolžni pospešek (pravilno delovanje raketnega motorja) ter dovolj hitro vrtenje rakete okoli lastne osi (aksialni pospešek).

6. RAKETE 70 mm NA LETALU PILATUS PC-9M HUDOURNIK

6.1 SPLOŠNO O LETALU PC-9M HUDOURNIK

Pilatus PC-9M je enomotorno nizkokrilno turbopropellersko šolsko bojno letalo z zaporednima katapultnima sedežema v dvignjeni kabini. Izdelan je v švicarski tovarni letal Pilatus Aircraft. Namenjen je osnovnemu in nadaljevalnemu šolanju pilotov, različica PC-9M Hudournik pa tudi neposredni zračni podpori kopenskimi silam.

Slika 11: Tloris, naris in stranski ris letala PC-9M



Vir: PC-9M Fact Sheet, Pilatus Aircraft

Razvoj letal Pilatus PC-9 se je začel že leta 1982 na osnovi uspešnega predhodnika PC-7 (s katerim pa, razen na prvi pogled podobne zunanosti, nima veliko skupnega). Krstni polet prototipa je bil 7. maja 1984, imel pa je že vso standardno elektroniko in letalske inštrumente, tako da je bil skoraj popolnoma enak kot serijsko letalo. V operativno uporabo je prišel leta 1986. Različica PC-9M je bila predstavljena leta 1997. Ima izboljšano vzdolžno stabilnost, spremenjen karmanov prehod (aerodinamična obloga stika krila s trupom), dodane turbulatorje na sprednji rob krila, nov motor in nov sistem za krmiljenje propelerja.

Trinajst držav po svetu uporablja skupno 250 letal Pilatus PC-9 za šolanje pilotov. Močno modificirano in v ZDA po licenci izdelano različico, poimenovano T-6 Texan II za osnovno šolanje pilotov in navigatorjev, uporabljajo tudi letalske sile in mornarica ZDA (skupaj 435 letal).

Slovenska vojska ima v uporabi dve letali PC-9A (tretje je bilo izgubljeno v nesreči leta 2004) in devet letal PC-9M. Slednja so bila, v sodelovanju z izraelskim proizvajalcem RADOM Aviation, nadgrajena v različico »Hudournik« (Swift). Namen nadgradnje je bil opremiti letala s sodobno avioniko, sistemom za samozaščito (metalec IR in radarskih vab, tako imenovani chaff and flare), oborožitvijo in sistemom za kontrolo orožja.

Tabela 4: Tehnični podatki za letalo Pilatus PC-9M Hudournik

Motor:	Pratt & Whitney PT6A-62 turbopropellerski motor s 4-krakim propelerjem hidravlično vodljivega koraka.
Moč:	1150 HP reduciranih na 950 HP
Premer propelerja:	2,440 m
Največja hitrost:	593 km/h
Dolet:	1.538 km (brez dodatnih rezervoarjev)
Avtonomija:	4 h 30 min (brez dodatnih rezervoarjev)
Plafon leta:	11.580 m
Faktor obremenitve:	Od +7 G do -3,5 G
Razpon kril:	10,19 m
Dolžina:	10,17 m
Višina:	3,26 m
Posadka:	1 ali 2
Največja vzletna masa:	3.200 kg
Koristna masa:	1.475 kg (tovor + gorivo)
Masa tovora pod krili:	1.050 kg

Vir: Pilatus PC-9M Hudournik Airplane Flight Manual (Stans, 1997)

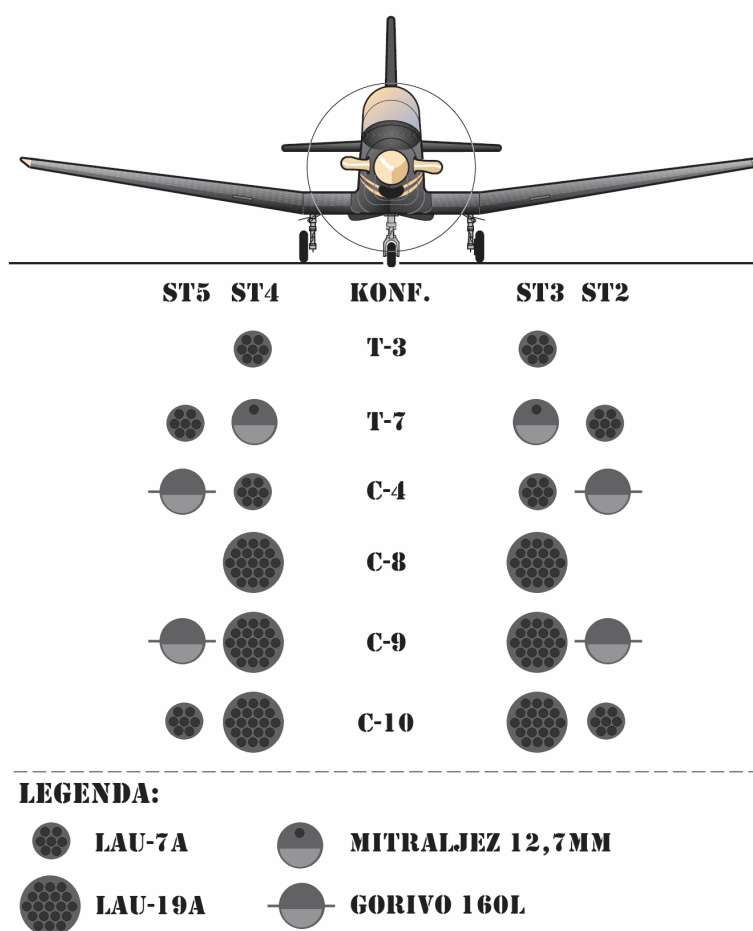
PC-9M Hudournik ima na krilih šest utrjenih točk (tako imenovanih stations), na katere se pritrdijo podkrilni nosilci in nanje namesti do 1.050 kg bojnega in drugega tovora:

- podkrilni gorivni rezervoar (160 l),
- laserski daljinomer,
- metalec IR in radarskih vab,
- protiutež za raketo,
- simulator raket zrak-zrak (z ali brez oddajnika IR sevanja),
- zabojnik z mitraljezom 12,7 mm (250 nabojev),
- večcevni lanser za rakete 70 mm LAU-7A (7 raket),
- večcevni lanser za rakete 70 mm LAU-19A (19 raket),
- nosilec šolskih bomb T-65 (3 bombe IBDU 33 ali 3 bombe BDU 33),
- bomba MK 81 (118 kg),
- bomba MK 82 (240 kg).

6.2 UPORABA NEVODLJIVIH RAKET KALIBRA 70 mm

Nevodljive rakete kalibra 70 mm se namestijo v večcevne lanserje. Ti varujejo rakete pred zunanjimi vplivi in racionalizirajo izrabo prostora. V SV so v uporabi standardni NATO lanserji tipa LAU-7A (sprejme do sedem raket) in LAU-19A (sprejme do 19 raket). Dovoljene konfiguracije raket in drugega (bojnega) tovora so prikazane na sliki 9. V konfiguraciji C-10 lahko letalo PC-9M Hudournik ponese skupno do 52 nevodljivih raket 70 mm v dveh lanserjih LAU-19A na notranjih nosilcih (ST3 in ST4) ter dveh lanserjih LAU-7A na srednjih nosilcih (ST2 in ST5). Tako oboroženo letalo se uporablja za neposredno podporo kopenskim enotam, napade na kolone vozil in utrjene sovražnikove položaje.

Slika 12: Dovoljene konfiguracije v kombinaciji z raketami 70 mm



Vir: PC 9 M Fact Sheet, Pilatus Aircraft (letalo); Klemen Štirn (konfiguracije)

Za šolanje pilotov se največ uporablja konfiguracija T-7. Prostopadajočih bomb (MK 81 in MK 82) se ne kombinira z raketami in mitraljezi, saj se uporabljajo za drugačne tipe misij in druge profile leta.

6.2.1 Postopki oboroževanja letal

Za vse oborožitvene sisteme na letalih Hudournik je zadolžen oddelek orožarjev. Ti prevzamejo rakete iz skladišča in jih prenesejo v betonsko zaklonišče. Rakete so navadno pakirane v lesenih zabojih; štiri rakete v zaboju, vsaka raketa v kartonastem tulcu. Rakete imajo lahko že tovarniško nameščeno bojno glavo in vžigalnik ali pa za to poskrbijo orožarji. Rakete so ob odvzemu iz embalaže tehnično pregledane, nato pa naložene v večje zabojnike po 12 raket za transport do letal.

Slika 13: Originalno pakirane rakete (levo) in varnostno pregledane rakete, pripravljene za transport to letala (desno)



Avtor: Klemen Štirn

Oboroževanje letal poteka ob strogih varnostnih merilih. Zagotovljena mora biti zdravstvena oskrba, orožarji pa imajo še zadnji varnostni briefing, na katerem se še enkrat seznanijo z varnostnimi ukrepi in varno cono, kamor bi se posadke umaknile v primeru neposredne nevarnosti ali nesreče. Ko orožarji prevzamejo letalo, sta edina, ki lahko za njimi prideta do letala, samo še pilot in inštruktor.

Pred začetkom oboroževanja se letala ozemljijo. Orožarji vstavijo rakete v lanserje in z njih odstranijo vzmet, ki med transportom preprečuje izskok stabilizacijskih krilc. Poveljujoči preveri, da so rakete pravilno vstavljene in sprost kontaktne ročice na lanserjih. Da je vse v redu, še zadnjič preverita pilot in inštruktor na predpoletnem pregledu.

Orožarji so tudi prvi, ki sprejmejo letalo po zaključeni nalogi. Letalo zaustavijo na ploščadi, ločeni od običajnih parkirnih mest za letala. V kolikor je med letom prišlo do zastojev ali drugih napak, pilot zaustavi motor in zapusti letalo. Orožarji poskrbijo za odpravo zastojev in povrnitev v brezhibno stanje, preden se letalo preda vzdrževalnemu osebju.

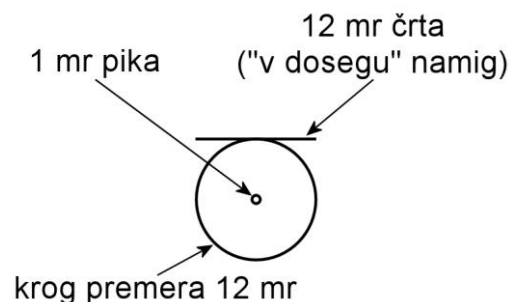
6.2.2 Uporaba raket

Pilot za izbiro orožja uporablja nadzorno ploščo oborožitve (Weapon Control Panel, WCP). Selektor orožja mora biti obrnjen na RKT (rockets; rakete). Možna načina izstrelitve sta SGL (single), pri katerem vsak pritisk na sprožilec izstrelji eno raketo, in RPL (ripple), pri katerem pritisk na sprožilec izstrelji vse (preostale) rakete v izbranih lanserjih v salvo. Poleg raket je na WCP-ju možna še izbira bomb (BOMB) v načinu SGL ali RPL, mitraljezov (GUN) ali izklop nadzorne plošče (OFF).

Da bi izstrelil rakete, mora pilot z manevriranjem celotno letalo usmeriti proti cilju. Grobo namerjanje navadno traja od 1 do 2 sekundi, nato pa ima pilot še od 4 do 6 sekund za fino namerjanje. Merjenje poteka s pomočjo simbologije na polprosojnem elektrooptičnem prikazovalniku (Head-up Display - HUD), ki je nameščen v sprednjem delu pilotske kabine v višini pilotovih oči. Namerilna slika je odvisna od izbranega orožja in načina delovanja. Nevodljive rakete se izstreljujejo v načinu CCIP (Constant Computing Impact Point; neprestan izračun točke zadetka). Računalnik s pomočjo parametrov leta računa balistično krivuljo raket in temu primerno prilagaja položaj CCIP namerilnika na zaslonu.

CCIP namerilnik za rakete je sestavljen iz krožnice premera 12 mr, v centru katere je pika velikosti 1 mr (slika 14). Če je računalniško izračunana točka zadetka znotraj razdalje 24.000 čevljev (7.315 m), se nad večjo krožnico pojavi horizontalna črta dolžine 12 mr. Ta služi pilotu kot namig, da je točka zadetka v dosegu orožja.

Slika 14: Namerilni ris za rakete v načinu CCIP



Vir: Pilot's operating handbook, Section 9, stran 7-56

Če se pilot med raketiranjem preveč približa terenu, se preko zaslona pojavi križ v obliki črke X. Za preračun razdalje do tal računalnik uporabi podatke iz laserskega daljinomera, radijskega višinomera in tlačne višine iz inercialnega navigacijskega sistema. Pilot ima nato 2 sekundi časa, da prekine napad in letalo z obremenitvijo 4 G preusmeri v varno smer.

Slika 15: Salvo nevodljivih raket kalibra 70 mm iz letala Pilatus PC-9M Hudournik



Vir: MORS

V Sloveniji vsa bojna streljanja z letali PC-9M Hudournik potekajo na osrednjem vadbišču Slovenske vojske na Počku. Vsi poleti se snemajo z vgrajeno kamero na polprosojnem elektrooptičnem prikazovalniku ter s kamero na tleh, posnetki pa se uporabijo za podrobno analizo s piloti po streljanju.

Pri začetnem šolanju zrak-zemlja pilot v vsakem napadu izstrelji le eno raketo, da lahko v enem naletu letala kar največkrat ponovi napad in uri postopke prileta, grobega in finega namerjanja, proženja ter odleta. V kasnejših vajah se piloti urijo v streljanju večih raket hkrati (izstrelitev para raket, po eno iz vsakega od dveh lanserjev) in izstrelitvi salva (vseh raket v enem napadu).

7. MOŽNOSTI NADGRANJE OBSTOJEČIH SISTEMOV

Kot vsak oborožitveni sistem, so tudi nevodljive rakete kalibra 70 mm deležne konstantnega razvoja, izboljšav in novih rešitev. V tem poglavju bom predstavil možnosti nadgradnje raket, ki so trenutno v uporabi v Slovenski vojski. Nekatere nadgradnje so že več let v uporabi (na primer raketni motorji MK 66), spet druge so v fazi razvoja in testiranja (lasersko vodenje). V okviru zaključne naloge bom predstavil zgolj tehnične možnosti nadgradnje. V praksi vsak nakup novih oborožitvenih sistemov oziroma nadgradnja obstoječih zahteva natančnejše analize in testiranja, ki zajemajo še veliko drugih dejavnikov in vidikov (operativni, šolanje in usposabljanje, ekonomski, politični itd.).

7.1 RAKETNI MOTOR MK 66

Raketni motor MK 66 je bil razvit kot zamenjava za obstoječe motorje MK 40 na podlagi zahtev po izboljšani natančnosti in s povečanim dometom nevodljivih raket 70 mm. Danes je standardna oborožitev helikopterjev in letal v vseh vejah oboroženih sil ZDA (kopenska vojska, letalstvo in mornarica) in mnogih vojskah po svetu.

Ohišje motorja MK 66 je podaljšano glede na predhodnike (MK 4 in MK 40) in izdelano iz modernejše aluminijeve zlitine. V ohišje je vstavljena nova dvobazna pogonska zmes, ki je praktično brez dimnega izpuha, kar je pomembno pri maskiranju izstrelitvenih platform (sovražnik v boju težje določi lokacijo oziroma smer, od koder so bile rakete izstreljene) in s tem povečanju možnosti za preživetje helikopterjev in letal na bojišču.

MK 66 ima povsem spremenjeno zasnovo šobe in stabilizacijskih krilc, medtem ko sta vžigalnik goriva in stabilizacijska palica ostala nespremenjena. Namesto štirih manjših šob ima eno večjo. Ta ima ob strani vreznine, ki del izpušnih plinov zavrtijo in rezultirajoča sila zagotovi vrtenje rakete okoli vzdolžne osi s hitrostjo 10 vrtljajev na sekundo, kar je 10-krat hitreje kot pri motorju MK 40.

Slika 16: Šoba (levo) in montaža krilc (desno) motorja MK 66



Vir: <http://thedonovan.com/archives/2006/04/16-week/>

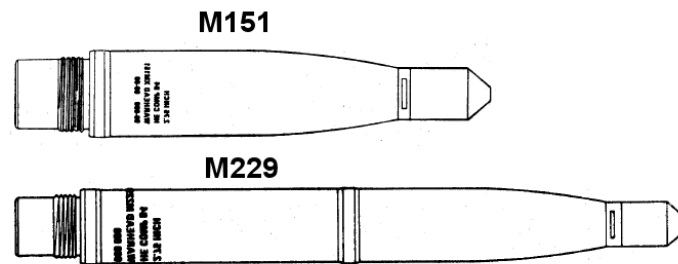
7.2 DRUGE VRSTE BOJNIH GLAV

Rakete kalibra 70 mm so najpogostejše opremljene z večnamensko bojno glavo tipa M151 (CRHE-70 v SV), ki je polnjena z rušilnim eksplozivom (podrobnejše predstavljena v poglavju 5.2). Za raketne motorje MK 40 ali MK 66 je bilo razvitih še veliko drugih namenskih bojnih glav. Z njimi učinek rakete prilagodimo glede na tip misije, za katero bodo uporabljene.

7.2.1 M229

M229 je težja in podaljšana različica bojne glave M151, razvita z namenom izboljšanja učinka raket 70 mm. Sestava bojne glave je podobna kot M151, le telo je podaljšano na 585 mm. M229 tako vsebuje 2,18 kg brizantnega razstreliva B-4 (dvakrat toliko kot M151). Teža bojne glave je 7,44 kg, uporablja pa se skupaj z vžigalniki M423/M427.

Slika 17: Primerjava velikosti bojne glave M151 (zgoraj) in M229 (spodaj)



Vir: povzeto po TM-43-0001, stran 3

Podobno kot M151 ima tudi M229 rušilno-fragmentacijski učinek, le da je ubojni radij povečan za okoli 50 %. Uporablja se za enake naloge in proti enakim tarčam, kot M151.

7.2.2 Bojne glave z neeksplozivnim podkaliberskim strelivom

Da bi povečali možnost zadetka in prebojni učinek na cilju, so bile razvite bojne glave z neeksplozivnim podkaliberskim strelivom. Gre za ostro kovinsko strelivo puščiščate oblike iz materialov z veliko gostoto in trdoto (tako imenovani »flechettes«). Glede na namenskost bojna glava vsebuje lahko večje ali manjše število izstrelkov različnih velikosti.

Po prenehanju delovanja raketnega motorja smodniška polnitev odpre nosilno bojno glavo. Zaradi vrtenja rakete in vztrajnostnih sil se podkaliberski izstrelki ločijo od nosilne konstrukcije. Vsak izstrelak s pomočjo krilc stabilizira let in ga nadaljuje po lastni trajektoriji. Za zeleno

prebojnost in učinek na cilj se izkorišča kinetična energija, pridobljena z raketnim motorjem MK 40/MK 66.

V ameriški vojski je v uporabi bojna glava z oznako WDU-4A/A, ki vsebuje 2.200 jeklenih flešet teže 1,3g. Namenjena je uničevanju žive sile in opreme, je pa potencialno učinkovita tudi proti tarčam v zraku (na primer proti helikopterjem).

Proizvajalca Bristol Aerospace in Magelan Aerospace ponujata na trgu dve različici takšnih bojnih glav z oznakami WDU-5002/B FAT in WDU-5003/B GPF. GPF («General Purpose Flechette») vsebuje 80 izstrelkov iz volframove zlitine. Vsak izstrelak dolžine 13 cm in premera 7,6 mm tehta 20 g. Ob izstrelitvi 19-cevnega lanserja raket opremljenih z bojnimi glavami WDU-5003/B tako zasujemo tarčo s 1.520 izstrelki z visoko kinetično energijo in prebojnostjo. GPF je bila izdelana kot orožje proti lahko in srednje oklepljenim vozilom, po podatkih proizvajalca pa je učinkovita tudi proti zgradbam in helikopterjem. Vsak podkalibrski izstrelak lahko prebije do 38 mm valjastega jeklenega oklepa (RHA).

FAT po drugi strani je namenjena za boj proti srednjim in težkim tankom. Vsaka bojna glava vsebuje pet izstrelkov dolžine 348 mm, premera 12,7 mm in teže 0,7 kg, prav tako iz volframove spojine. Po podatkih proizvajalca izstrelki prebijejo stranski in zadnji oklep glavnih bojnih tankov po standardu NATO Triple Heavy (NATO triplastni težek oklep).

7.3 VODLJIVE RAKETE 70 mm

Izkušnje iz prve Zalivske vojne so pokazale potrebo po orožju, ki bi zapolnilo praznino med poceni, a nevodnimi raketami Hydra 70 in precizno, vendar drago lasersko vodeno protitankovsko raketo AGM-114 HELLFIRE. Rakete Hellfire so se v boju izkazale kot nadvse učinkovito in natančno orožje, a njihova cena (po različnih podatkih okoli 58.000 do 70.000 ameriških dolarjev za kos) velikokrat presega vrednost tarče, ki jo uničuje.

Ameriška vojska je tako že leta 1996 objavila potrebo po raketi, ki bi zapolnila vrzel med nizko ceno nevodljivih raket kalibra in preverjenimi zmogljivostmi raket Hellfire. Uporabljala bi se za napade na nezaščitene in lahko oklepljene tarče, zlasti v območjih, kjer je velika možnost lastnih ali civilnih žrtev, na primer v naseljih. Z novimi raketami bi lahko oborožili bojne helikoptere, letala, pa tudi brezpilotna plovila.

Ideja o vodljivih raketah 70 mm, ki bi bile čim bolj kompatibilne z obstoječimi sistemi in tako zmanjšale stroške razvoja, izdelave, vzdrževanja ter šolanja, je padla na plodna tla, saj so se v razvoj podali mnogi velikani obrambne industrije po svetu, vsak s svojo izpeljanko. Da pa je naloga vse prej kot preprosta, priča dejstvo, da je večina teh programov še vedno v fazi razvoja in testiranja. Nekaj projektov bom predstavil v tem delu naloge.

7.3.1 APKWS I/II

APKWS (Advanced Precision Kill Weapon System, znan tudi kot »Hellfire Junior« ali »Mini-Hellfire«) je razvojni program, s katerim bi obstoječe raketne sisteme Hydra 70 nadgradili z laserskim vodenjem.

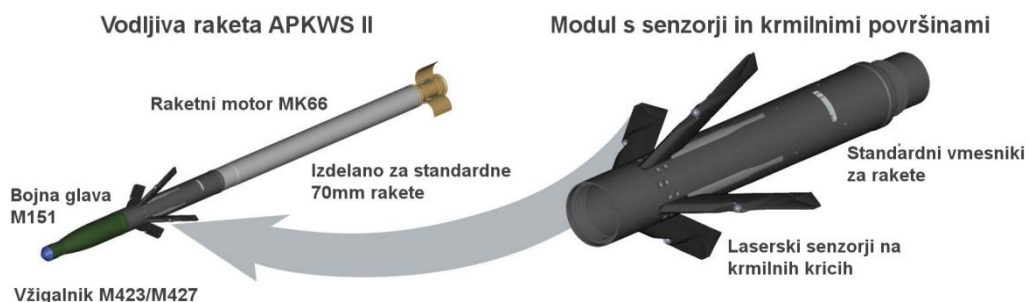
V osnovi so bile rakete APKWS mišljene kot rakete z bojno glavo M151. Aprila 2005 je vojska prekinila program zaradi slabih rezultatov s testiranj, pozneje pa so ga redefinirali pod oznako APKWS II. Pogoj je bil, da sistem bazira na raketah hydra 70 (raketnem motorju MK 66) in je kompatibilen z vsemi vrstami bojnih glav. Na razpisu je zmagala ekipa proizvajalcev BAE Systems, Northrop Grumman in General Dynamics.

APKWS je zasnovan kot modul, ki se namesti med raketni motor MK 66 in bojno glavo z vžigalnikom (slika 10). Na raketah ni potrebnih nobenih drugih adaptacij, potrebne so le minimalne spremembe na oborožitvenih platformah (letalih, helikopterjih), ki že uporabljajo rakete kalibra 70 mm in imajo laserski označevalnik ciljev.

Nov sistem in modularna zasnova prinašata številne prednosti:

- lahko se namesti tovarniško ali pred uporabo na bojišču,
- potrebno je le minimalno dousposabljanje posadk,
- nima vpliva na učinkovitost motorjev MK 66 ali bojnih glav M151,
- ne potrebuje nobenega vzdrževanja,
- kompatibilna z obstoječimi lanserji M260/261 in LAU68/61,
- visoka verjetnost zadetka in uničenja točkovnih ter premičnih lahkoklepljenih tarč,
- relativno nizka cena (predvidoma od 10.000 do 18.000 ameriških dolarjev za celotno raketo, kar je petina cene rakete AGM-114 Hellfire),
- manjša možnost civilnih in lastnih žrtev zaradi večje natančnosti, kar je še zlasti pomembno v operacijah kriznega odzivanja.

Slika 18: Šoba (levo) in montaža krilc (desno) motorja MK 66



Vir: BAE Systems plc

Kot krmilne površine služijo štiri kanardna krilca, ki izskočijo iz modula po izstrelitvi. S krilci raketa kontrolira hitrost vrtenja okoli osi in popravlja let po smeri ter višini. Na prednji rob vsakega krilca je nameščen senzor laserskega sevanja, s pomočjo katerih raketa zaznava tarčo, označeno z laserskim označevalcem, in popravlja svojo trajektorijo za čim natančnejši zadetek. Natančnost rakete na razdalji od 1,5 km do 5 km je 50 % zadetkov v krog polmera 1,5 m.

Nadaljnja usoda APKWS II ni jasna, saj je ameriška vojska zaradi zmanjšanja proračuna in drugih prioritet v letu 2008 prekinila financiranje projekta.

7.3.2 DAGR

DAGR (Direct Attack Guided Rocket) je Lockheed Martinova rešitev, da bi obstoječe rakete kalibra 70 mm opremili s sistemom za lasersko vodenje, ki bi bilo v celoti kompatibilno z obstoječimi nosilci, in sistemi za rakete zemlja-zrak Hellfire II.

DAGR uporablja polaktivno lasersko samovodenje; raketa s pomočjo predkrilc popravlja svojo trajektorijo leta proti tarči, označeni z laserskim označevalcem tarč. Označevallec se nahaja na izstrelitveni platformi sami, lahko pa tudi na tleh, na drugem letalu oziroma helikopterju ali nabrezpilotnem plovilu. Doseg rakete, izstreljene z višine 21.000 čevljev (~6.100 m) v optimalnih pogojih, je 12 km.

Sistem za lasersko vodenje se namesti na bojno glavo rakete Hydra 70. Sestavljajo ga senzor laserskega sevanja, sistem za vodenje, integriran simulator letenja in sistem za elektronske protiukrepe. Raketa se lahko zaklene na cilj pred ali po izstrelitvi. »Namerilni stožec« (območje, v katerem senzor zazna lasersko označeno tarčo in se nanjo lahko zaklene) je omejen s kotom $\pm 15^\circ$, kar je več, kot trenutno premore konkurenca ($\pm 6^\circ$ do $\pm 9^\circ$). DAGR se lahko brez prilagoditev uporabi na kateri koli platformi, ki podpira rakete Hellfire.

Slika 19: Prototipa sistema DAGR proizvajalca Lockheed Martin



Vir: <http://www.lockheedmartin.com>

Učinek rakete DAGR na cilj (neoklepljeno vozilo) je prikazan na sliki 12. S pomočjo preizkušenega sistema za vodenje raketa natančno zadene cilj. Ob uporabi vžigalnika z zapoznelim delovanjem bojna glava M151 detonira v notranjosti vozila. Tako dosežemo maksimalen učinek na cilj z minimalno možnostjo stranske škode.

Slika 20: Učinek rakete DAGR na cilj



Vir: <http://www.lockheedmartin.com>

Financiranje razvoja in testiranja sistema je zagotovil Lockheed Martin sam, zato krčenje proračuna vojske nima neposrednega vpliva nanj. Leta 2007 so objavili sistem DAGR kot v celoti razvit in na voljo za prodajo, še vedno pa potekajo testiranja na platformah. Zadnja uspešna testiranja so bila opravljena marca 2009 na helikopterju AH-64D Apache in junija 2009 na AH-6 Little Bird (slednji se uporablja predvsem v specialnih operacijah). Skupno je bilo do sedaj testiranih 12 raket, izstreljenih z različnih razdalj in pod različnimi koti glede na tarčo ter z različnih platform.

7.3.3 LOGIR

Ameriška mornarica v skupnem projektu z Južno Korejo razvija LOGIR (Low-cost Guided Imaging Rocket). Glavna razlika od ostalih podobnih projektov je v sistemu vodenja. LOGIR bo imel kombinacijo inercialne navigacije v srednji fazi leta in infrardečega iskalca v zaključni fazi. Podobno kot DAGR, se tudi LOGIR namesti na bojno glavo.

Inercialna navigacija temelji na preračunu položaja rakete s pomočjo znanega začetnega položaja in merjenja spremembe položaja v treh prostorskih dimenzijah. Sprememba položaja se določi s pomočjo »pospeškometrov«, ki so navadno nameščeni na žiroskopsko stabilizirano podlago. Problem inercialne navigacije so napake v meritvah treh prostorskih komponent pospeškov in v zagotavljanju dovolj dobre žiroskopske stabilizacije. Ta je še dodatno otežena, saj rakete kalibra 70 mm uporabljajo vrtenje okoli vzdolžne osi za stabilizacijo leta. Napaka pri inercialni navigaciji raste s kvadratom časa.

V zadnji fazi leta raketo vodi IIR iskalec (Imaging Infrared; infrardeča slika). Gre za pasivni sistem vodenja, ki sledi elektromagnetnemu sevanju v infrardečem spektru. Infrardeči spekter se nahaja takoj pod vidnim spektrom svetlobe. Številni predmeti, kot so motorji vozil in letala, oddajajo veliko infrardeče svetlobe v primerjavi z relativno hladno okolico.

Zaradi takšnega načina vodenja bodo rakete LOGIR manj natančne proti premikajočim tarčam kot lasersko vodene rešitve. Še vedno pa bo dosežena zadovoljiva učinkovitost proti takšnim ciljem, še boljša pa proti relativno stacionarnim ciljem, ki zajemajo večino nalog, kjer naj bi se takšno orožje uporabilo (stavbe, parkirana vozila, mitralješka gnezda ...). Gre tudi resnično za orožje tipa »izstrelj in pozabi« (fire and forget), ki po izstrelitvi ne potrebuje nobenega označevanja ali spremljanja tarče, temveč se povsem samostojno usmerja proti cilju do zadetka. S tem se učinkovito zmanjša izpostavljenost helikopterjev in letal

sovražnikovem ognju, saj lahko takoj po izstrelitvi odletijo v kritje. Prav tako bo nadgradnja LOGIR cenejša kot lasersko vodeni sistemi (DAGR, APKWS II in podobni).

7.3.4 CRV7-PG

Kanadsko-norveška naveza Magellan Aerospace in Kongsberg Defence & Aerospace (KDA) je razvila raketo CRV7-PG (Precision Guided). CRV7-PG povezuje nevodljive rakete CRV7 kalibra 70 mm proizvajalca Magellan Aerospace s tehnologijo protiladijskih raket Rb 12 Penguin (Pingvin; ameriška oznaka AGM-119) družbe KDA.

Raketa ima uporaben dolet od 1 do 8 km (oziroma do 12 km, če je izstreljena s tal), oborožijo pa jo lahko z rušilno (HE - Heavy-Explosive) ali kumulativno (AP - Armor Piercing) bojno glavo. Na voljo so trije načini vodenja: polaktivno lasersko, GPS ali protiradarsko. Še zlasti slednje je zanimivo, saj je CRV7-PG edini znan sistem vodenja raket 70 mm, ki jih spremeni v protiradarsko orožje. Nevodljive rakete se nadgradi podobno, kot pri DAGR-u in LOGIR-u.

Rakete CRV7-PG so v kanadski vojski v uporabi tudi na oklepnih vozilih MMEV (Multi-Mission Effects Vehicle). Ta vozila so opremljena z raketnim sistemom ADATS, ki je namenjen tako za cilje v zraku kot tudi protitankovsko bojevanje, dopolnjujejo pa ga cenejše rakete kalibra 70 mm. Vsako vozilo je opremljeno s šestimi lanserji raket ADATS in dvema sedemcevniima lanserjema (skupaj 14 raket) lasersko vodenih raket CRV7-PG.

Slika 21: 7-cevna lanserja raket CRV7-PG na kanadskem MMEV



Vir: <http://www.quarry.nildram.co.uk/Eurosatory%202006.htm>

7.3.5 Drugi projekti po svetu

Po svetu je aktivnih še kar nekaj programov nadgradnje obstoječih raket 70 mm s sistemi za vodenje. Vsem je skupni cilj izboljšati natančnost obstoječih raket, po možnosti brez sprememb obstoječih sistemov in postopkov.

Julija 2008 sta sodelovanje pri razvoju vodene rakete kalibra 70 mm najavila izraelski Elbit Systems in ameriško podjetje za strelivo ter vodenje Alliant Techsystems (ATK). Rakete pod imenom GATR-L (Guided Advanced Tactical Rocket - Laser) bodo uporabljale polaktivno lasersko vodenje. Prvi uspešni testi so bili izvedeni v Izraelu januarja 2009.

Na sejmu IDEF2007 je podoben projekt pod imenom Cirit predstavil tudi turški proizvajalec Raketstan. Z raketami bodo opremili helikopterje T-129 (v Turčiji izdelani helikopterji po licenci Augusta A-129 »Mangusta«).

Svoje različice za nevodljive rakete kalibra 68 mm razvija še Francija, za rakete kalibra 57 mm in 80 mm pa tudi Rusija. Vsi ti projekti pričajo, da bodo imele vodljive rakete kalibra 70 mm vidno vlogo v prihodnjih vojaških operacijah.

8. ZAKLJUČEK

V zaključni nalogi sem obravnaval nevodljive rakete kalibra 70 mm na letalu Pilatus PC-9m Hudournik. Največ težav sem imel s pridobivanjem literature, sej je ta na voljo večinoma le v angleškem jeziku, veliko podatkov o raketah, ki so v uporabi, pa je težko dostopnih.

Nevodljive rakete so bile za potrebe letalstva razvite že v 2. svetovni vojni, pravo vlogo pa so dobile kot orožje zrak-zemlja v Korejski in Vietnamski vojni. Danes so standardna oborožitev letal in helikopterjev po vsem svetu.

Nevodljive rakete uporabljajo raketne motorje na trdno gorivo, ki so bistveno preprostejši in cenejši od motorjev na tekoče gorivo. Z njimi nimamo nikakršnih stroškov vzdrževanja, le skladiščeni morajo biti primerno. Delujejo na principu izkoriščanja kemičnih reakcij goriva in oksidanta, katerih rezultat so vroči plini in visok tlak v ohišju motorja. Te pline preko šobe pospešimo do visokih hitrosti (pretvorimo v kinetično energijo), kot reakcijo pa dobimo potisno silo.

V Slovenski vojski so trenutno v uporabi rakete španskega proizvajalca Explosivos Alaveses, S.A., ki temeljijo na motorju CAT-70. Ta je po zagotovilih proizvajalca v vseh pogledih kompatibilen z motorjem MK 40 Mod 3. Nanje se namestijo bojne glave CRHE-70 (kompatibilna z M151) ter trenutno udarni vžigalniki B-70 (kompatibilni z M427). Vsi osnovni sestavni deli teh raket so bili podrobneje predstavljene v 5. poglavju.

Na letalo Pilatus PC-9m Hudournik se nevodljive rakete kalibra 70 mm namestijo v večcevne lanserje, ki se pritrdijo na največ štiri podkrilne nosilce. Ti varujejo rakete pred zunanjimi vplivi in racionalizirajo izrabo prostora. V SV so v uporabi standardni NATO lanserji tipa LAU-7A in LAU-19A. Skupaj lahko Hudournik v boj ponese do 52 raket kalibra 70 mm, rakete pa se lahko kombinirajo z mitraljezi kalibra 12,7 mm in zunanjimi gorivnimi rezervoarji.

V prihodnje bi bilo smiselno razmisliti o zamenjavi obstoječih raketnih motorjev z zmogljivejšimi motorji tipa MK 66. Ti so kompatibilni z obstoječimi lanserji, sistemi in postopki, imajo pa bistveno izboljšane karakteristike leta, zaradi česar so tudi rakete, opremljene s temi motorji, preciznejše.

Prav tako je na trgu veliko drugih bojnih glav, namenjenih nevodljivim raketam kalibra 70 mm. V zaključni nalogi sem predstavil bojno glavo z oznako M229, ki je pravzaprav podaljšana različica glave M151. Na cilj deluje z enkrat večjo eksplozivno polnitvijo, ubojni radij zaradi fragmentacijskega učinka pa je povečan za 50 %. Zanimive so tudi bojne glave z neeksplozivnim podkalibrskim strelivom. Jekleni izstrelki manjših kalibrov so namenjeni uničevanju sovražnikove žive sile, večji izstrelki iz volframove zlitine pa imajo veliko prebojno moč in so učinkovito sredstvo za napade na kolone oklepnih vozil iz zraka, saj je zgornja stran vozil praviloma najšibkejše oklepljena, večje število izstrelkov pa pomeni tudi večjo možnost zadetka.

Po svetu je aktivnih veliko projektov, ki s pomočjo vgradnih modulov nevodljive rakete kalibra 70 mm spremenijo v precizno lasersko, GPS ali radarsko vodeno orožje. Takšno orožje bo uporabno v sodobnih spopadih, kjer želimo zaradi velike verjetnosti stranske škode orožje, ki je sposobno zadeti cilj, velik nekaj metrov na razdaljah več kilometrov in ga zanesljivo uničiti z minimalno potrebno količino razstreliva. Vsem projektom je skupen cilj, da so nadgradnje v največji možni meri kompatibilne z obstoječimi zalogami raket, raketnih lanserjev in postopki.

Tudi v klasičnih spopadih je za lažje oklepljene cilje bolj smiselno uporabiti manjše in cenejše orožje. Letalo ali helikopter lahko v boj ponese večje število manjših raket in tako v enem

naletu deluje na večje število ciljev, dražje rakete z večjo bojno glavo pa uporabi za boj proti težko oklepljenim ciljem, kot so glavni bojni tanki, bunkerji in cilji visoke vrednosti, na primer poveljniška vozila. Z uporabo vodljivih raket letalo deluje z večjih razdalj in manj časa potrebuje za namerjanje, saj bodo te zadele cilj, četudi so izstreljene nekaj stopinj iz smeri cilja. To dvoje lahko bistveno prispeva k možnostim za preživetje letala v boju in poveča verjetnost zadetka ter uničenja cilja.

Da bodo imele vodljive rakete kalibra 70 mm vidnejšo vlogo v prihodnjih oboroženih spopadih, pričča prav število razvojnih projektov. Različni proizvajalci si prizadevajo razviti čim učinkovitejši način vodljivosti in integracije, nekateri celo z lastnim financiranjem razvoja in raziskav. Nadaljnja usoda nekaterih projektov, kot je APKWS II, ni znana in je odvisna od financiranja s strani ameriške vojske. Drugi projekti, na primer DAGR, so v celoti razviti in na voljo za prodajo, rakete iz projekta CRV7-PG pa so že v operativni uporabi v kanadski vojski.

Navkljub zunanji podobnosti s tehnologijo izpred šestdesetih let so letalske rakete kalibra 70 mm danes moderno, preizkušeno in učinkovito orožje, ki bo še dolgo omogočalo neposredno zračno podporo kopenskim enotam tam, kjer jo najbolj potrebujejo – v prvih bojnih vrstah.

LITERATURA

1. Samostojne publikacije:

Hill, P., Peterson, C. Mechanics and Thermodynamics of Propulsion, Second Edition. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., New York, 1992.

Humble, R., Henry, G., Larson, W. Space propulsion analysis and design. The McGraw-Hill Companies, Inc., New York, 1995.

Lefebvre, A. Burning analysis of star configuration. Oktober 27, 2000.

PC-9M Airplane Flight manual, Pilot's Operating Handbook. Pilatus Aircraft Limited, 1997.

Pilot's Operating Handbook and MAA approved flight manual supplement for PC-9(M) Slovenia aircraft Swift upgrade. RADOM Aviation Systems LTD, Petach Tikva (Israel), 2000.

Sutton, G., Biblarz, O. Rocket Propulsion Elements, Seventh Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2001.

Terzić, J., Zečević, B., Serdarević-Kadić, S. Model optimizacije raketnog pogonskog punjenja tipa zvijezda. Mašinski fakultet u Sarajevu, Odjeljenje za odbrambene tehnologije, Sarajevo, 2003.

Technical manual TM-43-0001-30: Army ammunition data sheets for rockets, rocket systems, rocket fuzes, rocket motors. Department of Army, Washington, 1981.

2. Viri iz različnih publikacij (prospekti proizvajalcev, poročila):

Advanced Precision Kill Weapon System (APKWS™), Innovative Technology for Transformation. BAE Systems, 2007.

CRV7 Rocket Weapon System. Maggellan Aerospace, Canada, 2007.

CRV7-Precision Guided 2.75 inch (70 mm) Weapon System. Maggellan Aerospace, Canada, 2007.

Employment of the 2.75-Inch Rocket at Saylor Creek Air Force Range. CH2MHILL, 2007.

Flechette Anti-Tank Warhead. Maggellan Aerospace, Canada, 2002.

General Purpose Flechette. Maggellan Aerospace, Canada, 2001.

3. Internetni viri:

<http://www.bristol.ca/CRV7Rocket.html>

<http://www.bristol.ca/Warheads.html>

<http://www.defenseindustrydaily.com/apkws-ii-hellfire-jr-hydra-rockets-enter-sdd-phase-02193/>

<http://www.designation-systems.net/dusrm/app4/275in-rockets.html>

<http://www.fas.org/man/dod-101/sys/missile/hydra-70.htm>

<http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/1-140/CH5.HTM>

<http://www.kongsberg.com/en/KDS/Products/Missile%20Systems/PrecisionGuidedRocket.aspx>

<http://www.lockheedmartin.com>

<http://www.mkek.gov.tr/english/foUrunDetaylari.aspx?iKodUrun=164&iKodUrunKategorisi=112>

<http://www1.mod.go.th/opsd/mefweb/mef/MEF/20mm.html>

<http://www.ordnance.org/rockets.htm>

<http://www.quarry.nildram.co.uk/Eurosatory%202006.htm>

<http://thedonovan.com/archives/2006/04/16-week/>

http://www.tpub.com/content/aviation/14023/css/14023_65.htm

SEZNAM SLIK IN TABEL

Seznam slik:

Slika 1: Letalo F-86D v letu strelja rakete Mighty Mouse	3
Slika 2: Salvo 70 mm raket iz F-100D na sovražne položaje (Južni Vietnam, 1967)	4
Slika 3: Shema dveh najpogostejših tipov raketnih motorjev	6
Slika 4: Razporeditev tlaka po notranjosti raketnega motorja	8
Slika 5: Sestavljene nevodljive rakete kalibra 70 mm v uporabi v SV.....	12
Slika 6: Shematski prikaz raketnega motorja s profilom osemkrake zvezde	14
Slika 7: Definicija geometrije zvezde	15
Slika 8: Cone gorenja zvezde	16
Slika 9: Shema bojne glave M151	19
Slika 10: Shema vžigalnika M423.....	20
Slika 11: Tloris, naris in stranski ris letala PC-9M	21
Slika 12: Dovoljene konfiguracije v kombinaciji z raketami 70 mm.....	23
Slika 13: Originalno pakirane rakete (levo) in varnostno pregledane rakete, pripravljene za transport to letala (desno).....	24
Slika 14: Namerilni ris za rakete v načinu CCIP	25
Slika 15: Salvo nevodljivih raket kalibra 70 mm iz letala Pilatus PC-9M Hudournik.....	26
Slika 16: Šoba (levo) in montaža krilc (desno) motorja MK 66	27
Slika 17: Primerjava velikosti bojne glave M151 (zgoraj) in M229 (spodaj)	28
Slika 18: Šoba (levo) in montaža krilc (desno) motorja MK 66	30
Slika 19: Prototipa sistema DAGR proizvajalca Lockheed Martin	31
Slika 20: Učinek rakete DAGR na cilj.....	32
Slika 21: 7-cevna lanserja raket CRV7-PG na kanadskem MMEV	33

Seznam tabel:

Tabela 1: Zmožljivosti ključnih tehnologij.....	10
Tabela 2: Kemična sestava polnitve GDB-615	14
Tabela 3: Vrednost kota η v odvisnosti od števila krakov N	17
Tabela 4: Tehnični podatki za letalo Pilatus PC-9M Hudournik.....	22

IZJAVA O AVTORSTVU

Zaključno nalogo sem samostojno izdelal pod vodstvom mentorja, npor. Grega Viranta.

ndes., Klemen ŠTIRN

Cerklje ob Krki, 25.08.2009