

MOMENTY BEZWŁADNOŚCI ARTYLERYJSKIEGO POCISKU KASETOWEGO

Przy pomocy programu AutoCAD i Inventor określono momenty bezwładności pocisku kasetowego, które także potwierdzono doświadczalnie. Przedstawiono czynniki wpływające na powstanie niewyważenia artyleryjskiego pocisku kasetowego.

1. Wstęp

Amunicja kasetowa, ze względu wymaganą do prawidłowej stabilizacji dużą liczbę obrotów [1] na torze lotu, powinna posiadać masę równomiernie rozłożoną wzdłuż osi głównej przechodzącej przez oś symetrii pocisku.

Zagadnienie niewyważenia ze względu na minimalną wartość, nie występuje przy amunicji odłamkowo-burzącej. Dlatego w światowej literaturze nie można znaleźć publikacji na powyższy temat. W przypadku amunicji kasetowej, gdzie do elaboracji używane są nie tylko podpociski (granaty kumulacyjno-odłamkowe - GKO), a także inne elementy np. listwy (nie tylko w polskim pocisku kasetowym HESYT-1), niewyważenie może okazać się przyczyną powodującą niedoloty pocisków (np. zmiana współczynnika C_{spin} powoduje niedoloty i zboczenie rzędu 50 m – [1]).

2. Zasady konstrukcji i wymagania

Pociski kasetowe posiadają opierścieniony stalowy kadłub wypełniony wewnątrz podpociskami (GKO – granatami kumulacyjno-odłamkowymi). Wewnątrz kadłuba pocisku umieszczanych jest możliwie maksymalnie dużo podpocisków, a celem optymalnego wykorzystania objętości użytkowej pocisku stosuje się jak najmniejszą grubość skorupy, tj. stosunek grubości ścianki skorupy do kalibru lufy powinien być mniejszy od 0,05 [2] (dla pocisku HESYT-1 : max – 0,0697 i min – 0,0639).

Dlatego w pociskach kasetowych stosowane są dodatkowe zewnętrzne listwy, aby zwiększyć moment bezwładności pocisku względem głównej osi symetrii. Dodatkowo listwy zostają wprowadzane także celem zmniejszenia stosunku momentów bezwładności (zgodnie z [3], aby pocisk prawidłowo stabilizował się na torze lotu, stosunek momentu bezwładności względem osi poprzecznej do momentu bezwładności względem osi symetrii nie powinien przekraczać 12).

Jednak w tabeli 53 [3] można już znaleźć wyjątki :

- 37 mm pocisk odłamkowy czechosłowacki $I_y / I_x = 12,3$;
- 45 mm pocisk odłamkowy charakteryzujący się stosunkiem $I_y / I_x = 15,7$;
- 105 mm pocisk odłamkowo-burzący japoński $I_y / I_x = 12$.

Artyleryjskie pociski kasetowe posiadają jedną listwę z klinem (wypustem, karbem, występem) zabezpieczającą przed przemieszczaniem się podpocisków - elementów wewnętrznych pocisku. Zgodnie z [2] listwy są dzielone (składają się z kilku elementów). W ww. patencie wyraźnie zastrzeżono, że w pobliżu środka ciężkości listwy (elementy wypełniające) wykonane są z wolframu, a pozostałe (z obu ich zewnętrznych stron) są stalowe.

Drugim niezbędnym warunkiem zapewniającym stabilizację żyroskopową na torze lotu pocisku kasetowego jest jego prędkość obrotowa ([4] „należy w miarę możliwości zwiększać prędkość kątową własnego obrotu pocisku i zmniejszać wartość stosunku momentów I_y / I_x ” oraz spełnić warunek, aby prędkość kątowa precesji była średnio 20 razy mniejsza od prędkości kątowej obrotu pocisku dookoła jego osi głównej).

Po przekształceniu wzoru Zabudskiego określającego niezbędne pochylenie gwintu działa otrzymuje się wzór na współczynnik stabilizacji żyroskopowej (wzór 36 z [3]) :

$$\sigma_o = \sqrt{1 - \frac{\eta^2 Z I_y}{\rho C_q I_x} \frac{4}{\Pi^2} K_M(v_o)} \quad (1)$$

gdzie :

η - wymagany dla stabilizacji skok gwintu działa w kalibrach,

I_y / I_x – stosunek momentów bezwładności pocisku,

$\rho = \frac{4I_x g}{qd^2}$ - współczynnik bezwładności pocisku,

$C_q = \frac{q}{d^3}$ - względna masa pocisku,

$Z = L_1 + 0,57 L_g - 0,16$ (wzór Gobara - str. 257 [4]) - odległość pomiędzy środkiem masy pocisku a punktem zaczepienia siły oporu powietrza w kalibrach, którą można określić zgodnie z rys. 2 [5]. Wielkość ta wg [4] dla współczesnych pocisków jest bliska 1,5 ,

$K_M(v_o)$ – funkcja charakteryzująca zależność momentu siły oporu powietrza od prędkości pocisku, której przebieg pokazano na rys. 3 [5].

Zgodnie z [3] współczynnik ten powinien spełnić warunek $\sigma_o \geq 0,6$.

Tabela 1

Parametr Typ pocisku	Masa [kg]	Środek masy (od dna pocisku) [mm]	Prędkość początkowa [m/s]	Stosunek momentów bezwładności	Moment bezwładności wzdłuż osi głównej [kgm ²]	Współczynnik stabilizacji żyroskopowej	Uwagi
OF-462	21,76	211,4	687	8,74	0,04719	0,76	
Hesyt-1	22,51	197	665	7,89	0,04631	0,62	prototyp I
	21,76	194	-	7,47	0,04642	0,63	p. próbna

Dla konkretnego pocisku (o znanej masie i kalibrze), wystrzeliwanego z określonego dział (posiadającego znany skok gwintu), aby spełnić powyższy warunek należy :

- minimalizować stosunek momentów bezwładności pocisku I_y / I_x ,
- zwiększać moment bezwładności pocisku wzdłuż osi symetrii I_x ,
- minimalizować odległość pomiędzy środkiem masy pocisku, a punktem przyłożenia siły oporu powietrza

oraz spełnić warunek, aby środek masy leżał na osi głównej pocisku.

3. Pocisk kasetowy HESYT-1

W czasie przygotowania do strzelań pocisków kasetowych HESYT-1 (I partia prototypowa) zwracano uwagę na umieszczanie w skorupach podpocisków o prawie jednakowej masie (różniły się między sobą maksymalnie o 3 g), a pominięto dobór pozostałych elementów, a przede wszystkim listew. W tabeli 2 przedstawiono masy oraz odchylenia standardowe mas podstawowych elementów składowych pocisku kasetowego HESYT-1 (prototyp I i II).

Tabela 2

Lp. szt.	skorupa	czepiec	dno	listwa	listwa	GKO	tłok	łącznik	[g]	detale
	a			I	II					nazwa
	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]		
1	7 149	1 525	2 308	655	657	35x282	240	556		
2	7 211	1 530	2 306	2x668	657	41x281	240	559		
3	7 238	1 511	2 310	7x669	662	9x280	238	555		
4	7 232	1 539	2 300	2x673	658	16x284	237	554	11	kołek
5	7 248	1 539	2 308	4x674	659	14x285	239	556	29	klin
6	7 258	1 535	2 311	2x671	662	20x283	239	555	8	wkręt tłoka
7	7 282	1 537	2 303	2x670	660	9x279	239	555	1,7	wkręt M5
8	7 135	1 533	2 308	3x672	662	11x286	239	555	17,5	talerzyk
9	7 254	1 533	2 303	8x675	668	8x287	239	548	1,6	sprężyna
10	7 199	1 533	2 307	10x676	657	6x278	238	556	112	podsyпка z prochem
11	7 278	1 525	2 309	5x677	655	2x288	238	555	350	zapalnik
12	7 293	1 539	2 312	5x678	656	290	239	556	6	nakrętka
13	7 260	1 533	2 314	3x679	661	3x288	237	556		
14	7 258	1 535	2 316	3x680	662	287	238	553		
15	7 279	1 517	2 309	4x684	651	5x300	240	556		
6	7 254	1 540	2 312	692	659	13x298	239	554		
17	7 266	1 534	2 312	4x681	663	9x296	238	556		
18	7 278	1 534	2 304	2x682	658	285	239	555		
19	7 253	1 534	2 311	9x685	657	3x301	239	555		
20	7 272	1 534	2 309	7x686	659	7x299	238	554		
21	7 248	1 508	2 312	3x683	655	9x297	238	555		
22	7 248	1 537	2 301	2x687	660	6x295	238	554		
23	7 281	1 540	2 295	2x688	655	14x272	238	556		
24	7 272	1 538	2 303	2x690	659	34x273	238	554		
25	7 265	1 535	2 302	2x694	655	58x274	238	548		
26	7 255	1 536	2 298	691	653	45x275	238	555		
27	7 238	1 509	2 307	689	662	55x276	239	554		

28	7 262	1 543	2 311	2x698	660	47x277	239	555		
29	7 264	1 538	2 318	697	658	35x278	239	554		
30	7 251	1 537	2 310	696	655	37x279	247	555		
31	7 261	1 540	2 308		657	25x280	246	555		
32	7 271	1 534	2 308		657	11x281	245	554		
33	7 215	1 534	2 307		660		247	555		
34	7 243	1 533	2 309		663		247	555		
35					666		245			
średnia	7 249	1 532	2 308	679	659	280	240	555		
odchylenie standardowe	33,6	8,7	4,9	7,0	3,5	7,0	3,0	2,0		
minimum	7 135	1 508	2 295	655	651	272	237	548		
maximum	7 293	1 543	2 318	698	668	301	247	559		
zapis w dokumentacji	7200 ±100	1525 ±25	2300 ±30	675 ±25	660 ±10	285±15	240±10	555±10		

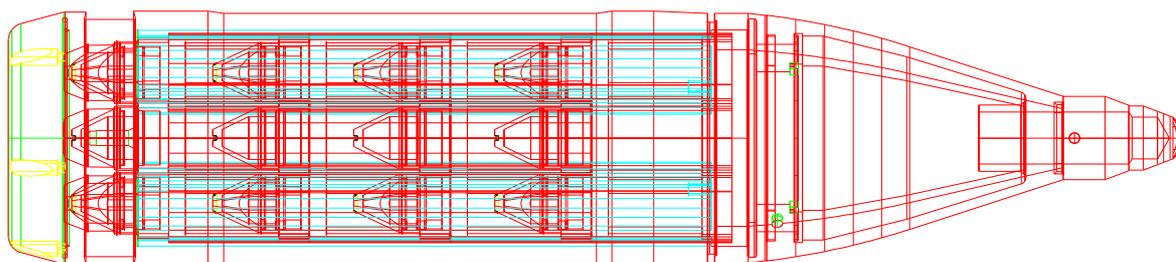
na grubo - I partia prototypowa
na cienko - II partia prototypowa
GKO ćwiczebne z zapalnikiem
GKO makiety
GKO makiety z zapalnikiem

Strzelanie w dniu 27.10.2000 r. (wyniki - tabela 3) oraz późniejsze obliczenia z użyciem programu AutoCAD (rys. 1 i tabela 4 – niewyważenie listew) potwierdziły, że nawet tak mało istotna część jak listwa o masie ok. 3% masy całkowitej pocisku kasetowego, musi być również selekcjonowana i dopiero wtedy umieszczana w jego wnętrzu.

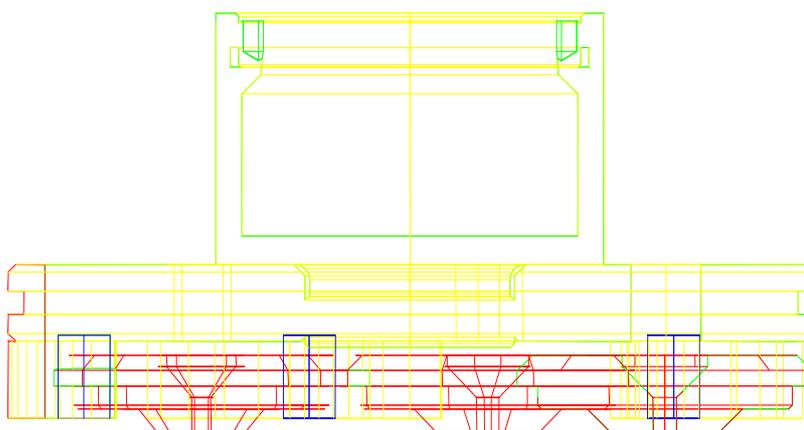
Tabela 3

Nr strzału	Masa pocisku [kg]	Prędkość początkowa [m/s]	Prędkość po 12 s [m/s]	Spadek prędkości na 1000m [m/s]	Donośćność [m]	Uwagi
1	22,490	664,78	289,6	93,77	9 637	Donośćności odpowiadają wymaganiom tylko dla strzału Nr 1 i 4. W pozostałych strzałach przyporządkowano donośćność na podstawie obserwacji.
2	22,558	665,20	-	92,64	9 615	
3	22,575	662,93	-	92,05	9 456	
4	22,441	666,05	285,8	92,92	9 228	
5	22,540	666,04	287,4	93,16	9 369	
6	22,465	666,01	286,8	93,45	9 396	
7	22,511	665,09	286,6	92,48	9 410	
Średnia	22,511	665,16		92,92	9 444	

Do elaboracji pojedynczego pocisku kasetowego używa się 5 listew, które mogą (w zależności od swojej masy i konfiguracji) spowodować przesunięcie środka masy pocisku nawet o ponad 0,1 mm (Tabela 4 [5]), co przy prędkości obrotowej pocisku kasetowego ok. 13 tys. obr/min ma już decydujące znaczenie.



Rys. 1 Przekrój pocisku kasetowego HESYT-1 (prototyp I - części stalowe) otrzymany z programu AutoCAD®-2000.



Rys. 2 Przekrój pocisku kasetowego HESYT-1 (prototyp I - części z duraluminium) otrzymany z programu AutoCAD®-2000.

Obliczenia minimalnej i maksymalnej masy elementów składowych pocisku przy wykorzystaniu programu AutoCAD potwierdziły, że masa listew mogła się różnić nawet o 100 g (tabela 4) i spowodować przesunięcie środka masy pocisku nawet o 0,123 mm.

Tabela 4

Nazwa		Wyniki obliczeń z programu AutoCAD®-2000					Masa		Gęstość właściwa [kg/m ³]
		V	x	I _x	I _y	I _z	obliczo- na	dokumen- tacja	
		mm ³	mm	mm ⁵			[g]		
GKO makieta	nom.	59287,9	53,5	6 770 000	22 600 000		291,2	285	
	4 szt.	237152	158,5	27 100 000	80 038 000		1 165	1 140	
	20 szt.	1185760	158,5	76 973 000	4 336 110 000		5 824	5 700	
zapalnik	nom	44576,2	48,9	10022 580	30 479 854		350,4	350	7 860
łącnik		66275,9	20,7	188362160	101098400	101098521	520,9	555	
czepiec		207498	52,9	422472116	520842842	520113013	1 631	1 525	
korpus		899619	163,3	2837777201	8908685722,8		7 071	7 200	
pierścień		37421	9,41	132281728	67318220,4		334		
dno		313002	32,7	540955425	344772875	343096175	2 460	2 300	7 860

pojemnik		27492,3	19,4	10528831,9	9053763,8		77	111,5	2 800
proch		31 678	10,8	7282974,4	4878155,1		34,8		1 100
talerzyk	min	6 233,1	5,76	924638,75	492400,29		17,45	17,5	2 800
	max	6 688,1	6,02	1001224,07	535685,15		18,73		
łtok	nom	88299,9	13,1	138105173	71142306	71142354	247,2	240	
listwa I	min	80647,9	136,3	6123000,4	499890317	504334534	633,9	675	7 860
	max	92958,0	136,5	8524604,9	578376121	584826001	730,6		
POCISK	stal	2805508	194,9	6075254484	4188132046	4138743825 5	22051	22510	
	dural	142001	6,45	177424984	110459781	108279205	397,6		2 800
	miedz	37532,5	19,1	132326714	68300407	68300407	335,2		8 930
	*		197*	47,19x10⁻³ kgm²	372,19x10⁻³ kgm²		22562		*

* - pociski wystrzelone w czasie badań kwalifikacyjnych w 2003 roku.

W pociskach elaborowanych później sprawdzano, zgodnie z metodą zaproponowaną na str. 304-305 [4] moment bezwładności.

Przed wyznaczeniem momentów określono moment bezwładności tarcz pomiarowych wzdłuż osi głównej :

$$I_t = \left(\frac{t}{2\Pi} \right)^2 \frac{mgR^2}{l} \quad [\text{kgm}^2] \quad (2)$$

gdzie :

t – okres wahań tarczy,

m – masa tarczy,

g – przyspieszenie ziemskie,

R – promień okręgu zamocowań drutów,

L – długość drutów mocujących tarczę.

W tabeli 5 zestawiono masy i momenty bezwładności tarcz pomiarowych wykorzystanych do wyznaczenia momentów bezwładności pocisków obliczone przy pomocy programów AutoCAD®-2000 i Inventor®-10 firmy AutoDESK oraz określone doświadczalnie.

Tabela 5

tarcza pomiarowa	masa			moment bezwładności			
	pomiar	AutoCAD	Inventor	pomiar	AutoCAD		Inventor
	10 ⁻³ kg			10 ⁻³ kgm ²		mm ⁵	10 ³ kgmm ²
duża (do pomiaru momentu biegunowego)	8 265	8 271	8 267	25,688	27,944	3555214000	28
mała (do pomiaru momentu równikowego)	435	433	435	2,0039	2,0033	254870200	2,054

Różnica między pomiarem a obliczeniem momentu bezwładności dla dużej tarczy jest do przyjęcia (błąd ok. 8%), a powstała ze względu na krótki pomiar (ilość okresów wahań tarczy - kilka) wynoszący ok. 10 s. Dla małej tarczy wydłużono pomiar czasu wahań do ok. 20 okresów.

Przy pomocy programu AutoCAD można określić tylko masę i momenty bezwładności dla gęstości właściwej 1 g/cm^3 . Niedogodność ta powoduje, że aby określić masę i momenty bezwładności elementów o różnej gęstości w dalszych obliczeniach należy posłużyć się wzorem Huygensa-Steinera [6] :

$$I_i = I_{oi} + m_i R_i^2 \quad [\text{kgm}^2] \quad (3)$$

gdzie:

I_{oi} – moment bezwładności elementu względem osi przechodzącej przez jego środek ciężkości,

m_i – masa elementu,

R_i – odległość między osiami.

Wykorzystanie programów firmy AutoDESK pozwala określić bardzo precyzyjnie momenty bezwładności pocisku już na etapie projektowania, bez konieczności wykonywania modelu.



GKO makieta

z makieta zapalnika
wersja I

z makieta
zapalnika
wersja II

z zapalnikiem
zastępczym

GKO
ćwiczebny

GKO

Rys. 3 Widoki i przekroje GKO (takich jakie znajdują się w pocisku) otrzymane z programu Inventor®-10.

Tabela 6

GKO		moment bezwładności						masa
		I_{xx}		I_{yy}		I_{zz}		
		Inventor	AutoCAD	Inventor	AutoCAD	Inventor	AutoCAD	
		10^{-3} kgm^2						
bojowy		0,2601	0,2515	0,2602	0,2515	0,07733	0,07714	348
ćwiczebny		0,2615	0,2511	0,2618	0,2511	0,07784	0,07185	350
makieta	I	0,2429	0,2423	0,2423	0,2423	0,07991	0,08003	349
	II	0,2427	0,2450	0,2247	0,2450	0,07896	0,0786	347
	zastępczy	0,2454	-	0,2452	-	0,07814	-	348

Nieznaczne różnice wynikają z pominięcia taśmy zespołu stabilizującego uzbrajającego zapalnika do GKO przy obliczeniach z programu AutoCAD.

W dokumentacji do wykonania partii próbnej pocisków HESYT-1 zawężono tolerancję wykonania listew oraz wprowadzono warunek selekcji listew i GKO taki, aby w jednym pocisku kasetowym znalazły się listwy i GKO o masie różniącej się maksymalnie o 5 g oraz zawężono rozrzut masy skorupy (jak dla pocisku OF-462) poprzez korekcję wykonania średnicy zewnętrznej.

4. Podsumowanie

W Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia prowadzone były prace nad amunicją kasetową. Ich efektem było wdrożenie :

- 122 mm pocisków kasetowych : - do minowania narzutowego PLATAN,
- pocisku kasetowego z głowicą HESYT z układem napędowym GRAD i FENIKS,
- 98 mm moździerzowego pocisku kasetowego RAD-2.

Dopiero przy opracowywaniu 122 mm artyleryjskiego pocisku kasetowego HESYT-1, stabilizowanego obrotowo zaobserwowano wpływ niewyważenia. Kolejne rozwiązanie konstrukcyjne doprowadziło do zawężenia tolerancji wykonywania elementów składowych pocisku.

Dzięki obliczeniom z wykorzystaniem programu AutoCAD i Inventor doprowadzono do zmiany masy pocisku kasetowego. Jest identyczna jak pocisku OF-462 (wymóg ZTT).

W roku 2006 wykonywana jest partia próbna 122 mm pocisku kasetowego HESYT-1.

Literatura

1. Problemy Techniki Uzbrojenia” zeszyt 79 (4/2001) – „Wyznaczenie współczynnika momentu przechylającego 122 mm pocisku OF-462 przy pomocy pomiaru radarem”
2. Patent USA 4 793 260 z dnia 27.12.1988 „Stabilizowany obrotowo pocisk kasetowy”
3. G. M. Tretiakow „Amunicja artyleryjska”
4. J. Szapiro „Balistyka zewnętrzna”
5. Problemy Techniki Uzbrojenia” zeszyt 93 (5/2004) – „Niewyważenie artyleryjskiego pocisku kasetowego
6. www.wikipedia.org