

**KONCEPCJA KINETYCZNEGO POCISKU FRAGMENTUJĄCEGO (PELE)
KALIBRU 120 MM DO CZOŁGU LEOPARD 2.****CZĘŚĆ 1 – OBLICZENIA ANALITYCZNE****CONCEPTION OF 120 MM KINETIC ENERGY FRAGMENTATING
PROJECTILE (PELE) FOR LEOPARD 2 TANK.****PART 1 – NUMERICAL CALCULATIONS**

Kamil SADOCH, Mariusz MAGIER

Zakład Mechaniki i Technik Uzbrojenia, Instytut Mechaniki i Poligrafii,
Wydział Inżynierii Produkcji, Politechnika Warszawska,
ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa*Department of Mechanics and Armament Technologies, Institute of Mechanics and Printings,
Faculty of Production Engineering, Warsaw University of Technology,
85 Narbutta St., 02-524 Warsaw, Poland**Author's e-mail address: mariusz.magier@pw.edu.pl; ORCID: 0000-0002-4431-9537*

DOI 10.5604/01.3001.0014.9005

Streszczenie: Amunicja współczesnych czołgów służy przede wszystkim do niszczenia i obezwładniania silnie opancerzonych wozów i zgrupowań piechoty. Użycie silnie opancerzonych wozów bojowych w akcjach specjalnych i konfliktach asymetrycznych jest przydatne ze względu na ich odporność na ostrzał piechoty. Efektywne wykorzystanie, m.in. czołgów wymaga optymalizacji amunicji, a często opracowania zupełnie nowych jej wzorów. W pracy przeanalizowano wybrane warianty kinetycznego pocisku fragmentującego (PELE) kalibru 120 mm, który z powodzeniem może być wykorzystywany w terenach silnie zurbanizowanych. Na podstawie źródeł naukowych dokonano analizy możliwości zastosowania kilku typów materiałów do budowy komponentów tego typu pocisków. Skorupę pocisku wykonano ze stali 1045, a do budowy rdzeni zastosowano aluminium 1050 lub poliamid 12.

Słowa kluczowe: pocisk kinetyczny, penetracja, symulacje numeryczne

Abstract: Ammunition used by modern tanks is generally designed to fight strongly armour clad vehicles and concentrated groups of infantry. Deployment of strongly armour clad combat vehicles to special missions and asymmetrical conflicts is useful due to their resistance against firing by the infantry. The optimisation of used ammunition and often the development of completely new types is required for efficient use of tanks. The paper presents some studies on selected options of 120 mm kinetic energy fragmentating projectile (PELE) which can be successfully used in urban areas. A review of accessible scientific data was made to analyse possibilities for using some types of materials as components of these projectiles. Projectile's shell was made of 1045 steel, and the cores were made of aluminium 1050 or polyamide 12.

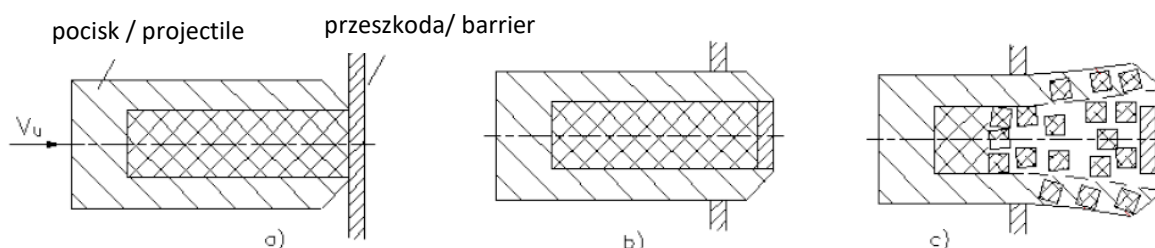
Keywords: kinetic projectile, penetration, numerical simulations

1. Wprowadzenie

Pociski odłamkowo – burzące typu PELE (projectile with enhanced lateral effect) nie posiadają zapalnika i materiału wybuchowego, co sprawia, że są praktycznie niewrażliwe na oddziaływanie bodźców mechanicznych i termicznych. Zasada działania tych pocisków polega na wytworzeniu w momencie uderzenia w cel jak największego ciśnienia przez materiał o mniejszej gęstości, który jest sprężany w wyniku wnikania w cel korpusu pocisku o dużo większej gęstości [1]. Ciśnienie wytworzone poprzez uderzenie w przeszkodę wzrasta w wyniku wciskania korka wybitego z celu (w wyniku oddziaływania naprężeń ścinających) w głąb obudowy i ostatecznie skutkuje fragmentacją pocisku. Dzięki ukierunkowaniu generowanych odłamków pole rażenia jest ograniczane do wymaganego minimum redukując jednocześnie niebezpieczeństwo porażenia innych celów [2].

1. Introduction

Fragmentating-bursting projectiles of PELE type (Projectile with Enhanced Lateral Effect) are not equipped with any fuse and explosive charge what make them in practice insensitive to action of mechanical or thermal stimulations. This type of projectile operates on the principle of creating a possibly high pressure in the instance of hitting a target due to the compression of low density material effected by a significantly denser shell of projectile at target penetration [1]. The pressure produced at the hitting into a barrier increases as a result of pushing a cork created in the target (due to action of shearing stresses) into the material what finally makes the projectile fragmentate. As the fragments spread directionally the killing zone is limited to minimum and at the same time the risk of hitting other objects is reduced [2].



Rys. 1. Zasada działania kinetycznego pocisku odłamkowo-burzącego (a - pocisk w momencie zetknięcia się z przeszkodą, b - pocisk przebijający przeszkodę, c - fragmentacja pocisku) [1]

Fig. 1. Principle of operation of a fragmenting kinetic energy projectile (a – Projectile at the instant of contacting a barrier, b – Projectile penetrating the barrier, c – Fragmentation of the projectile) [1]

Typowe pociski odłamkowo – burzące PELE składają się z czepca balistycznego, rdzenia, obudowy, wieńca prowadzącego oraz stabilizatora [3].

Ze względu na wyeliminowanie zapalników i materiału wybuchowego amunicja PELE jest uznana za w pełni niewrażliwą (insensitive ammunition). Oznacza to, że nie stwarza zagrożenia dla obsługi w przypadku działania czynników zewnętrznych takich

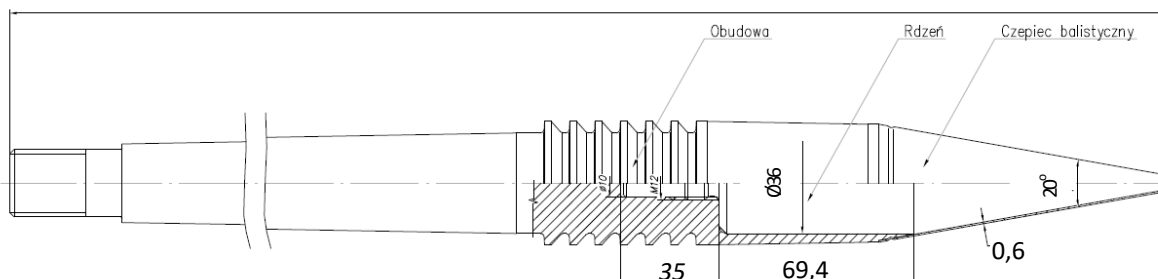
Typical fragmentating-bursting projectiles PELE consist of a ballistic cap, core, shell, leading ring and a stabiliser [3].

Due to the lack of any fuses and explosives the PELE ammunition is admitted to be totally insensitive. It means that it doesn't create any threat for a handling personnel at cases of such external actions as hitting by a projectile or a fragment, high temperature produced by fire, in-

jak: trafienie pociskiem lub odłamkiem, wysokiej temperatury wywołanej pożarem, podwyższonej temperatury w długim okresie działania (tzw. Cook-off), czy upadku z dużej wysokości [4].

creased temperature existed for a prolonged time (so called Cook-off), or any dropping from high altitude [4].

Inf. 495,4



Rys. 2. Kadłub 125 mm podkalibrowego pocisku kinetycznego o działaniu odłamkowo-burzącym [3]

Fig. 2. Shell of 125 mm kinetic energy projectile with fragmentating-bursting effect [3]

Obudowa – Shell, Rdzeń – Core, Czepiec balistyczny – Ballistic cap

Szczególnie interesujące jest zastosowanie pocisków PELE do wykonywania otworów-przejść dla żołnierzy w budynkach, schronach i murach. Zamieszczone poniżej zdjęcie (rys. 3) przedstawia efekt ostrzału pociskiem DM 33 PELE 20-cm muru żelbetonowego. Wynikiem penetracji celu jest 60-cm otwór, przez który swobodnie może przedostać się żołnierz. Jest to wielce pożądane w przypadku działań w terenie zabudowanym [5].

Pociski PELE można wykonać na bazie innych pocisków, między innymi DM 33A2.

Projectiles of PELE type are especially useful at making passages for troops in buildings, shelters and walls. The picture below (Fig. 3) shows the effect of firing at a 20 cm thick wall of enforced concrete with DM 33 PELE projectile. Penetration of the target leaves a hole of 60 cm which can be easy crossed by soldiers. It is highly desired effect during operations in the urban area [5].

PELE projectiles may be made on the basis of other projectiles, like DM 33A2.



Rys. 3. Efekt penetracji 120 pocisku PELE-FSDS (Fin Stabilised Discarding Sabot) [5]

Fig. 3. Penetrating effect of 120 mm PELE-FSDS (Fin Stabilised Discarding Sabot) projectile [5]

2. Model matematyczny kinetycznego pocisku fragmentującego (PELE) kalibru 120 mm do czołgu Leopard 2

W celu analizy fragmentacji pocisku przyjęto założenia początkowe, które modyfikowano w późniejszym etapie. Przyjęto założenia, że pocisk będzie dostosowany do lufy czołgu Leopard 2A4/5, będącego na wyposażeniu Wojska Polskiego. Aby opracować koncepcję pocisku PELE posłużono się modelem matematycznym opisanym w pozycji [3]. W momencie uderzenia pocisku w przeszkodę energia kinetyczna rdzenia pocisku przekształcana jest w energię odkształcenia postaciowego elementów biorących udział w zderzeniu. Dla określenia naprężeń powstających w rdzeniu przyjęto, że w rdzeń uderza z prędkością pocisku, wycięty krążek przeszkody.

Przekształcana energia kinetyczna wyraża się zależnością:

$$E_K = \frac{1}{2}(m + q_r)V_1^2 \quad (1)$$

gdzie: V_1 – prędkość wspólna rdzenia i przeszkody po zderzeniu, m – masa przeszkody, q_r – masa rdzenia zredukowana

2. Mathematical Model of 120 mm Kinetic Energy Fragmentating Projectile (PELE) for Leopard 2 Tank

In order to investigate the fragmentation of projectile some initial assumptions were made which were later modified. It was assumed that the projectile shall be matched to the barrel of Leopard 2A4/5 tank used by the Polish army. In order to develop a conception of PELE, a mathematical model described in [3] was used. At the instant of hitting a barrier by the projectile the kinetic energy of projectile's core is transformed into a structural deformation of components involved into the effect of impact. In order to express the stresses created in the core it was accepted that the core is hit with the velocity of the projectile by a disc cut off from the barrier.

The kinetic energy being under the transformation is expressed by the relation:

where: V_1 – joint velocity of the core and the barrier after the impact, m – mass of the barrier, q_r – the reduced mass of the core

$$q_r = aq \quad (2)$$

gdzie: a – współczynnik równy $\frac{1}{3}$, q – masa rdzenia.

Energia potencjalna odkształcenia sprężystego rdzenia U określona jest równaniem:

where: a – coefficient equal to $\frac{1}{3}$, q – mass of the core.

Potential energy of the elastic strain of the core U is defined by the equation:

$$U = \frac{\delta_d^2}{2\delta_{st}} mg \quad (3)$$

gdzie: δ_d – odkształcenie dynamiczne, δ_{st} – odkształcenie statyczne.

Energia kinetyczna uderzenia jest równa energii odkształcenia sprężystego rdzenia:

where: δ_d – the dynamic strain, δ_{st} – the static strain.

The kinetic energy of the impact equals to the energy of core elastic strain:

$$E_k = U \quad (4)$$

po wstawieniu:

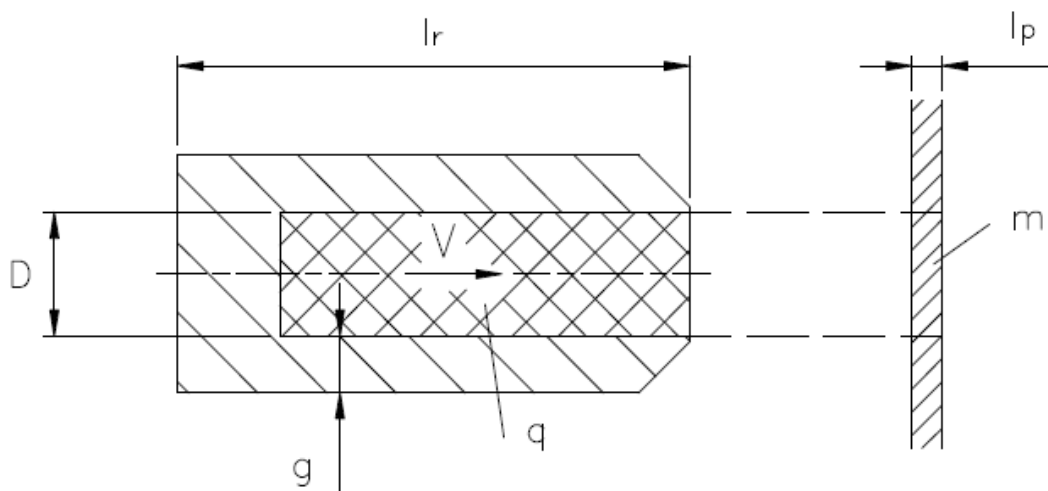
after putting in:

$$V_1 = \frac{V}{1 + \frac{q_r}{m}} \quad (5)$$

otrzymujemy:

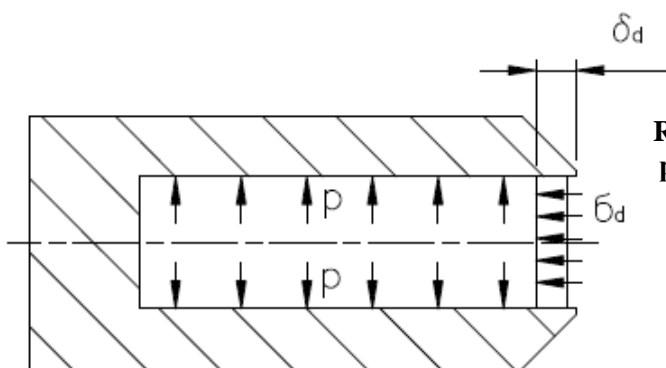
we can get:

$$\frac{1}{2} m \frac{V^2}{1 + \alpha \frac{q}{m}} = \frac{\delta_d^2}{2\delta_{st}} mg \quad (6)$$



Rys. 4. Pocisk przed uderzeniem w przeszkodę [3]

Fig. 4. Projectile before hitting the barrier [3]



Rys. 5. Rozkład naprężeń w elementach pocisku po uderzeniu w przeszkodę [3]

Fig. 5. Distribution of stresses in components of projectile after hitting the barrier [3]

Po przekształceniach odkształcenie dynamiczne wyraża się zależnością:

After some transformations the dynamic strain may be expressed by:

$$\delta_d = \delta_{st} \sqrt{\frac{V^2}{g\delta_{st} \left(1 + \alpha \frac{q}{m}\right)}} \quad (7)$$

$$\delta_{st} = \frac{mgl}{EA} \quad (8)$$

gdzie: E – moduł sprężystości rdzenia, A – powierzchnia przekroju poprzecznego rdzenia.

where: E – the core modulus of elasticity, A – the core lateral cross section surface.

Analogicznie naprężenia dynamiczne:

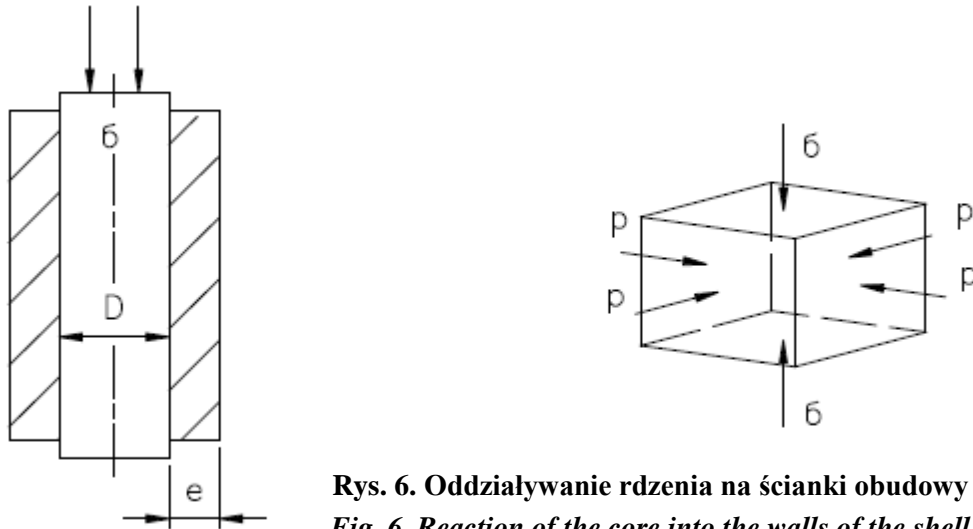
By the same way the dynamical stresses:

$$\sigma_d = \sigma_{st} \sqrt{\frac{V^2}{g\delta_{st} \left(1 + \alpha \frac{q}{m}\right)}} \quad (9)$$

$$\sigma_{st} = \frac{mg}{A} \quad (10)$$

Dynamiczne naprężenia ściskające występujące w materiale rdzenia w momencie uderzenia powodują odkształcenia w kierunku promieniowym i powstanie naprężeń rozciągających. Odkształcający się rdzeń oddziałuje na ścianki obudowy z ciśnieniem p .

The dynamical compressing stresses appearing in the material of the core at the instant of hitting effect the strains in radial direction and the appearance of tensile stresses. The core being deformed reacts into the walls of the shell with pressure p .



Rys. 6. Oddziaływanie rdzenia na ścianki obudowy [3]

Fig. 6. Reaction of the core into the walls of the shell [3]

Odkształcenie jednostkowe rdzenia w kierunku promieniowym określa wyrażenie:

The unit strain of the core in the radial direction is described by:

$$\varepsilon_e = \frac{1}{E_1} [-p - \nu(-p - \sigma)] \quad (11)$$

gdzie: p – ciśnienie na ścianki obudowy, E_1 – moduł sprężystości materiału rdzenia,

where: p – pressure to the walls of the shell, E_1 – the core material elasticity modulus,

ν – liczba Poissona.

Odształcenia obwodowe obudowy określone są następująco:

ν – Poisson's number.

The perimetrical strain of the shell can be expressed by:

$$\varepsilon_o = \frac{\sigma_o}{E_2} = \frac{pD}{2eE_2} \quad (12)$$

gdzie: D – średnica rdzenia, e – grubość obudowy, E_2 – moduł sprężystości materiału obudowy.

Ponieważ: $\varepsilon_o = \varepsilon_r$ to:

where: D – diameter of the core, e – thickness of the shell, E_2 – the shell material elasticity modulus.

Because: $\varepsilon_o = \varepsilon_r$ then:

$$\frac{pD}{2eE_2} = \frac{1}{E_1} [-p - \nu(-p - \sigma)] \quad (13)$$

$$p = \frac{\nu\sigma}{\frac{DE_1}{2eE_2} + (1 - \nu)} \quad (14)$$

Naprężenia obwodowe określa zależność:

The perimetrical stresses can be expressed by:

$$\sigma_o = \frac{pD}{2e} \quad (15)$$

Obliczenia prędkości rozlotu odłamków:

Calculations of the velocity for spreading fragments:

$$v_o = \sqrt{\frac{2E_o}{M_o}} \quad (16)$$

gdzie: M_o – masa obudowy ulegająca fragmentacji,

where: M_o – mass of the shell subjected to fragmentation,

$$E_o = E_c \left(1 - 0,6 \frac{R_{md}}{\sigma_M}\right) \quad (17)$$

gdzie: $\frac{R_{md}}{\sigma_M} = 0,9$

where: $\frac{R_{md}}{\sigma_M} = 0,9$

$$E_c = E_K = \frac{m_k v_u^2}{2} \quad (18)$$

$$m_k = \frac{\pi D^2 g \gamma}{4} \quad (19)$$

gdzie: γ – gęstość przeszkody, g – efektywna grubość przeszkody, v_u – prędkość uderzenia, D – średnica wewnętrzna.

Obliczenia kąta odchylenia lotu odłamków w stosunku do osi pocisku:

where: γ – density of the barrier, g – efficient thickness of the barrier, v_u – velocity of incidence, D – internal diameter.

Calculations of declination angle of fragments against the projectile's axis:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{V_0}{V_U}\right) \quad (20)$$

Oszacowana prędkość odłamków i kąt rozlotu stanowią górne granice spodziewanych wartości (nie uwzględniono dyssypacji energii).

3. Wyniki obliczeń analitycznych

Do obliczeń przyjęto materiały o właściwościach zawartych w tabeli 1.

The estimated velocity of fragments and the angle of scattering create an upper limit of expected values (the dissipation of energy is omitted).

3. Results of Analytical Calculations

Properties of materials taken for calculations are included in table 1.

Tabela 1. Parametry materiałowe użyte do wstępnych obliczeń

Table 1. Material parameters used for initial calculations

Parametr / Parameter	Material / Material			
	Beton Concrete	Aluminium 1050 Aluminium 1050	Poliamid PA12 Polyamide PA12	Stal 1045 Steel 1045
Gęstość / Density γ [g/cm ³]	2,52	2,71	0,915	7,823
Wytrzymałość na rozciąganie R_m / Tensile strength [MPa]	3,5	103	17,5	310
Moduł Sprężystości E / Young's modulus [GPa]	35	73,15	1,45	205
Liczba Poissona ν / Poisson's ratio	0,2	0,33	0,4	0,29

Przyjęto, że pocisk jest w kształcie wydłużonego walca o denku grubości 20 mm, który został zaelaborowany aluminium lub poliamidem. Grubość ścianki jak i długość samego pocisku były zmiennymi, których zależności przedstawiono na rysunku 7.

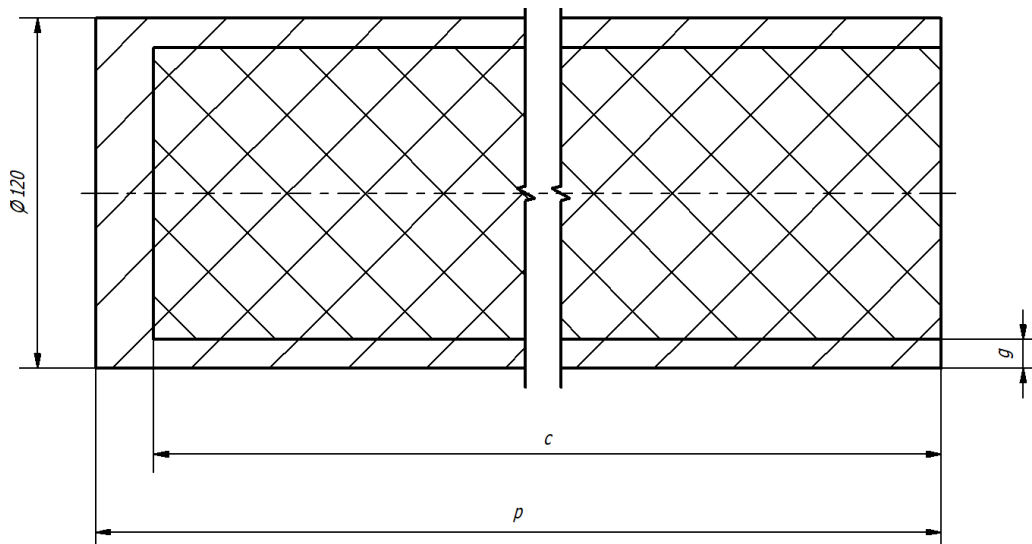
Jako wartości początkowe przyjęto długość rdzenia 650 mm, co implikuje długość

It was accepted that the projectile with cylindrical walls and a 20 mm thick base was filled with aluminium or polyamide. Thickness of the wall and the length of the projectile itself were the changeable presented in Fig. 7.

As the initial length of the core was accepted to be 650 mm it implicates the

pocisku 670 mm. Dla takich wartości przy podanych materiałach pocisk będzie mógł być użyty w czołgach Leopard, będących na wyposażeniu Wojska Polskiego. Przyjęto prędkość pocisku jako 935 m/s.

length of projectile 670 mm. For these values and given materials the projectile can be used in Leopard tanks which are used by the Polish Army. The velocity of the projectile was taken as 935 m/s.



Rys. 7. Rysunek koncepcyjny pocisku PELE, gdzie: p - długość pocisku, c - długość rdzenia, g - grubość skorupy [opracowanie własne]

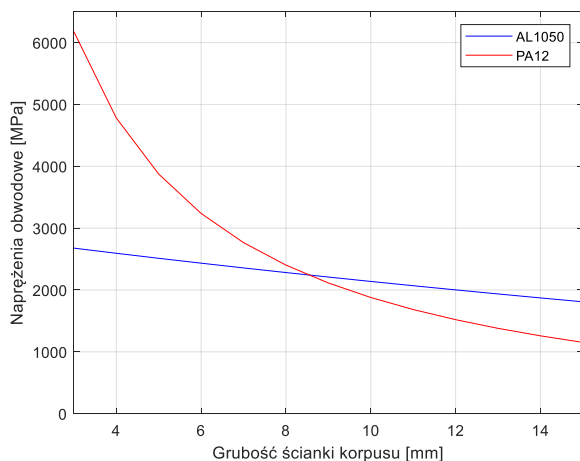
Fig. 7. Graphical representation of PELE conception where: p – length of projectile, c – length of the core, g – length of the shell [own development]

Tabela 2. Parametry obliczeniowe przy stałej długości rdzenia

Table 2. Calculating parameters at constant length of the core

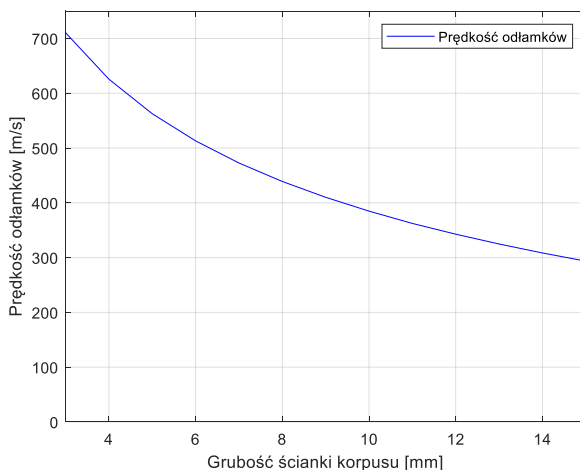
Długość rdzenia [mm] Length of core	Grubość ścianki [mm] Thickness of wall	Naprężenia obwodowe AL1050 [MPa] Hoop stresses – AL1050 [MPa]	Naprężenia obwodowe PA12 [MPa] Hoop stresses – PA12 [MPa]	Kąt stożka rozlotu odłamków[°] Conical angle of scattered fragments	Prędkość odłamków [m/s] Velocity of fragments
650	3	2676,6	6176,5	74,5	710,5
650	4	2593,3	4781,3	67,6	625,7
650	5	2512,3	3874,4	62,1	562,6
650	6	2433,4	3237,5	57,5	513,1
650	7	2356,7	2765,7	53,6	472,7
650	8	2281,9	2402,2	50,3	439,0
650	9	2209,1	2113,5	47,4	410,1
650	10	2138,1	1878,7	44,7	384,9
650	11	2069,0	1684,0	42,4	362,4
650	12	2001,5	1519,9	40,3	342,8
650	13	1935,8	1379,7	38,3	324,9
650	14	1871,6	1258,6	36,5	308,5
650	15	1808,9	1152,9	34,9	293,6

Na podstawie wzorów 1-20 wyliczono teoretycznie wartości maksymalne kąta stożka rozlotu odłamków oraz prędkości odłamków. Przyjęto stałą długość rdzenia i zmienną grubość ścianki skorupy. Wyniki zapisano w tabeli 2, a także przedstawiono na rysunkach 8-10.



Rys. 8. Naprężenie obwodowe w zależności od użytego materiału i grubości ścianki skorupy [opracowanie własne]

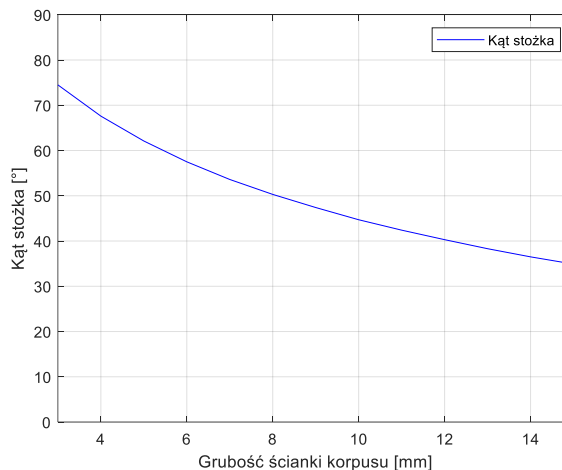
Fig. 8. Hoop stress depending on the used material and thickness of shell wall [own development]



Rys. 10. Prędkość odłamków po przejściu przez przeszkodę, w zależności od grubości ścianki skorupy [opracowanie własne]

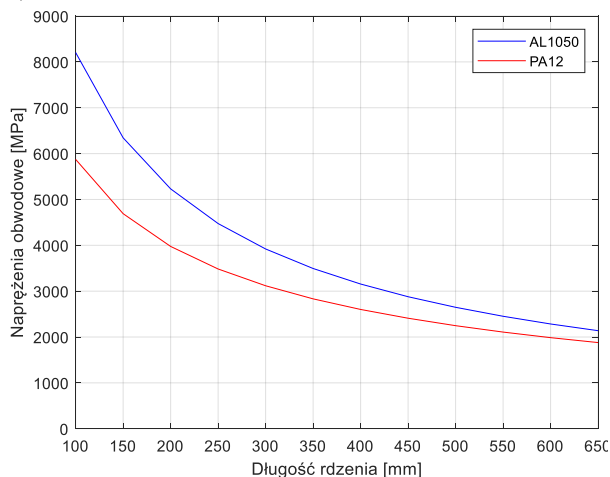
Fig. 10. Velocity of fragments after passing through the barrier depending on the shell wall thickness [own development]

Basing on equations 1-20 the theoretical maximal values for the conical angle of scattered fragments were calculated together with their velocities. A constant length of the core was taken at a changeable thickness of shell's wall. Results are shown in table 2 and in figures 8-10.



Rys. 9. Kąt stożka powstały po uderzeniu w zależności od grubości skorupy [opracowanie własne]

Fig. 9. Angle of the cone created after the impact depending on the thickness of the shell [own development]



Rys. 11. Naprężenie obwodowe w zależności od użytego materiału i długości rdzenia [opracowanie własne]

Fig. 11. Hoop stress depending on the used material and the length of core [own development]

Jak widać na rysunkach 8-10 grubość rdzenia negatywnie wpływa na takie parametry jak: naprężenia obwodowe, kąt stożka rozlotu odłamków, czy prędkość odłamków. Zgodnie z wykresem 8 łatwo zauważyć, że w przypadku poliamidu następuje szybszy spadek naprężeń obwodowych niż w przypadku aluminium. Zależność ta sugeruje, że grubości ścianek pocisków elaborowanych aluminium oraz poliamidem będą różne. Kąt stożka oraz prędkość odłamków zmniejsza się wraz ze wzrostem grubości ścianki. Dzieje się tak, ponieważ mniejsza masa rdzenia oddziałuje na większą masę skorupy.

Następnie za pomocą tych samych wzorów, które zostały użyte do opracowania tabeli 2 wykonano obliczenia dla różnych długości rdzenia i stałej grubości ścianki skorupy. Wyniki zapisano w tabeli 3, a także przedstawiono na rysunkach 11-13.

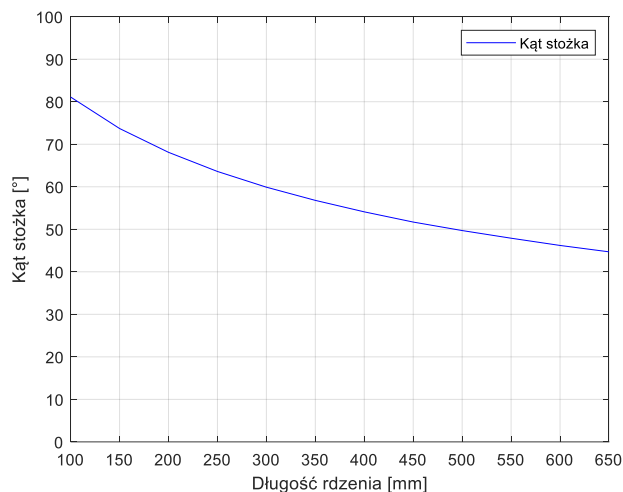
The figures 8-10 show that the thickness of the core has a negative impact into such parameters as: perimeter stresses, conical angle of scattering for the fragments, or the velocity of fragments. According to graph 8 it may be noted that the hoop stresses are reduced in greater degree for polyamide than for aluminium. This dependence suggests that thicknesses of walls will be different for projectiles filled with aluminium and polyamide. The conical angle and the velocity of fragments fall down with the increased thickness of the wall. It is so as a lower mass of the core reacts with a higher mass of the shell.

In the next step the same expressions which were used for preparation of table 2 were deployed for calculations at different lengths of the core at constant thickness of the shell wall. Results are recorded in table 3, and illustrated in figures 11-13, as well.

Tabela 3. Istotne parametry obliczeniowe przy stałej grubości korpusu

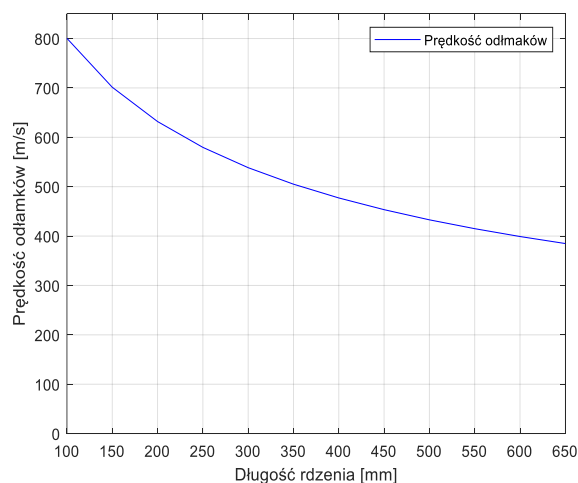
Table 3. Critical calculating parameters at constant thickness of the shell

Długość rdzenia <i>Length of core</i> [mm]	Grubość ścianki <i>Thickness of wall</i> [mm]	Naprężenia obwodowe <i>Hoop stresses</i> – AL1050 [MPa]	Naprężenia obwodowe <i>Hoop stresses</i> – PA12 [MPa]	Kąt stożka rozlotu odłamków <i>Conical angle of scattered fragments</i> [°]	Prędkość odłamków <i>Velocity of fragments</i> [m/s]
100	10	8204,2	5873,9	81,1	800,4
150	10	6343,8	4689,8	73,7	701,4
200	10	5230,8	3975,4	68,1	631,9
250	10	4474,1	3483,3	63,6	579,6
300	10	3920,1	3117,7	59,9	538,5
350	10	3494,3	2832,1	56,8	505,1
400	10	3155,4	2601,2	54,1	477,2
450	10	2878,6	2409,5	51,7	453,5
500	10	2647,9	2247,2	49,7	432,9
550	10	2452,3	2107,6	47,9	415,0
600	10	2284,2	1985,9	46,2	399,1
650	10	2138,1	1878,7	44,7	384,9



Rys. 12. Kąt stożka powstały po uderzeniu w zależności od długości rdzenia [opracowanie własne]

Fig. 12. Angle of the cone created after the impact depending on the core length [own development]



Rys. 13. Prędkość odłamków po przebiciu w zależności od długości rdzenia [opracowanie własne]

Fig. 13. Velocity of fragments after penetration depending on the core length [own development]

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń (rysunki 11-13) można wywnioskować, że długość rdzenia negatywnie oddziałuje na takie parametry jak naprężenia obwodowe, kąt stożka rozlotu odłamków czy prędkość odłamków. Energia kinetyczna pocisku jest zależna od masy i prędkości. Rdzeń posiada znacznie mniejszą gęstość niż korpus, zatem zmniejszanie jego długości w mniejszym stopniu wpływa na wartość energii niż w przypadku gdyby został on wykonany z materiału o wyższej gęstości, np. stali. We względnie krótkich rdzeniach większa część energii kinetycznej rozłoży się na mniejszy fragment korpusu. Stąd wynikają większe prędkości odłamków i większy kąt stożka przy zastosowaniu krótkich rdzeni.

Przedstawione obliczenia nie wskazują jednoznacznie jakie wymiary geometryczne powinien mieć pocisk. Na podstawie wyników obliczeń przyjęto jednak, że ścianka skorupy pocisku powinna mieć grubość 10 mm. Symulacje numeryczne zaprezentowano

4. Conclusions

Basing on performed calculations (Figures 11-13) it may be found that the length of the core influences negatively such parameters as the perimeter stresses, the conical angle of scattering the fragments, or the velocity of fragments. The kinetic energy depends on the mass and velocity of the projectile. The core has a much lower density than the shell, and then any reduction of its length has a lower influence into the value of energy than for the material of a higher density like steel. For relatively short cores a greater portion of the kinetic energy will be distributed against a shorter part of the shell. This is the reason for higher velocities of fragments and the conical angle at deployment of short cores.

The presented calculations don't indicate directly what the geometrical dimensions of the projectile should be. But basing on the results of calculations it was anyway accepted that the wall thickness of the projectile shell has to be 10 mm. The numeri-

wane w drugiej części niniejszej publikacji wykonano dla różnych długości pocisku oraz dla wybranych prędkości pocisku: 935 m/s, 920 m/s, 874 m/s, 801 m/s, co w tabelach strzelniczych odpowiada kolejno donośnościom 120 mm pocisku HE wystrzelonego z lufy czołgu Leopard 2A4: 100 m, 200 m, 500 m, 1000 m.

cal simulations presented in the second part of the paper were performed for different lengths of the projectile at velocities: 935 m/s, 920 m/s, 874 m/s, 801 m/s, what in the firing tables corresponds respectively to following ranges of 120 mm HE projectile fired with Leopard 2A4 gun barrel: 100 m, 200 m, 500 m, 1000 m.

Literatura / Literature

- [1] Magier M., *Rola czołgów i kierunki ich modernizacji w świetle współczesnych konfliktów asymetrycznych – cz. I amunicja*, Problemy Techniki Uzbrojenia, zeszyt 122, 2/2012, str. 7-16.
- [2] Magier M., *Pele – nowa taktyka – nowa amunicja*, Nowa Technika Wojskowa nr 1/2007, str. 20-21.
- [3] Pankowski Z., Szablowski K., *Projekt koncepcyjny pocisku uderzeniowego o działaniu odłamkowo-burzącym*, Problemy Techniki Uzbrojenia, zeszyt 103, 3/2007, str. 67-74.
- [4] Pankowski Z., *Analiza wpływu własności materiałowych i zależności konstrukcyjnych na funkcjonowanie kinetycznego pocisku odłamkowo-burzącego*, Problemy Techniki Uzbrojenia, zeszyt 106, 2/2008, str. 55-61.
- [5] Kuśnierz T., *Amunicja z pociskami odłamkowo-burzącymi do czołgów Leopard 2A eks-ploatowanych w Wojsku Polskim*, Problemy Techniki Uzbrojenia, zeszyt 121, 1/2012, str. 51-57.

