

ZASTOSOWANIE POCISKÓW AHEAD DO ZWALCZANIA CELÓW MAŁOGABARYTOWYCH ANALIZA PRAWDOPODOBIENSTWA TRAFIENIA

Streszczenie: Dążenie do zwiększenia efektywności zwalczania celów powietrznych skutkuje wprowadzaniem nowych rodzajów amunicji przeciwlotniczej. Jednym z nich jest amunicja typu AHEAD. Charakteryzuje się ona tym, że cel atakowany jest chmurą lotek uwalnianych z pocisku w zaprogramowanym punkcie toru balistycznego. W niniejszym artykule analizowane są wzajemne relacje zachodzące pomiędzy celem i chmurą lotek w strefie ich możliwego spotkania. W tym zakresie oprócz omówienia poszczególnych związków, formułowane są również zalecenia dotyczące efektywnego prowadzenia ognia dla wymienionej amunicji. W wyniku rozważań teoretycznych opracowany został model do analizy obliczeniowej, w oparciu o który stosując metodę eksperymentu numerycznego wyznaczone zostało prawdopodobieństwo trafienia celu / w danym przypadku pocisku moździerzowego /. W zakończeniu zamieszczone zostały wnioski podsumowujące.

Słowa kluczowe: amunicja, pociski AHEAD, artyleria p-lot, prawdopodobieństwo trafienia celu.

EFFECTIVENESS ANALYSIS OF IMPACT OF SMALL-SIZE AIR TARGETS BY USING AHEAD PROJECTILES DETERMINING THE CORRELATION BETWEEN AHEAD PROJECTILE AND THE TARGET AND DETERMINING THE PROBABILITY OF IMPACT

Abstract: In order to increase the effectiveness of fighting with air targets, there are introduced new types of anti-aircraft ammunition. One of them is AHEAD type ammunition. It characterizes itself by the fact that the target is attacked by the cloud of ailerons freed from the projectile in a programmed point of ballistic course. In the article are analyzed mutual relations between the target and the cloud of ailerons in the area of their possible impact. As a result of theoretical deliberations there was developed the calculative analysis model. On the base of it by using numeric experiment method there was determined the probability of hitting the target (in this case: mortar projectile). In the final part there were presented summarizing conclusions.

Key words: ammunition, AHEAD projectiles, p-lot artillery, target impact.

1. Wstęp

Obserwując działania bojowe na współczesnym polu walki można jednoznacznie stwierdzić, że coraz większego znaczenia nabierają małogabarytowe obiekty ataku powietrznego jakie stosowane są przeciwko celom naziemnym. W ostatnim okresie celami

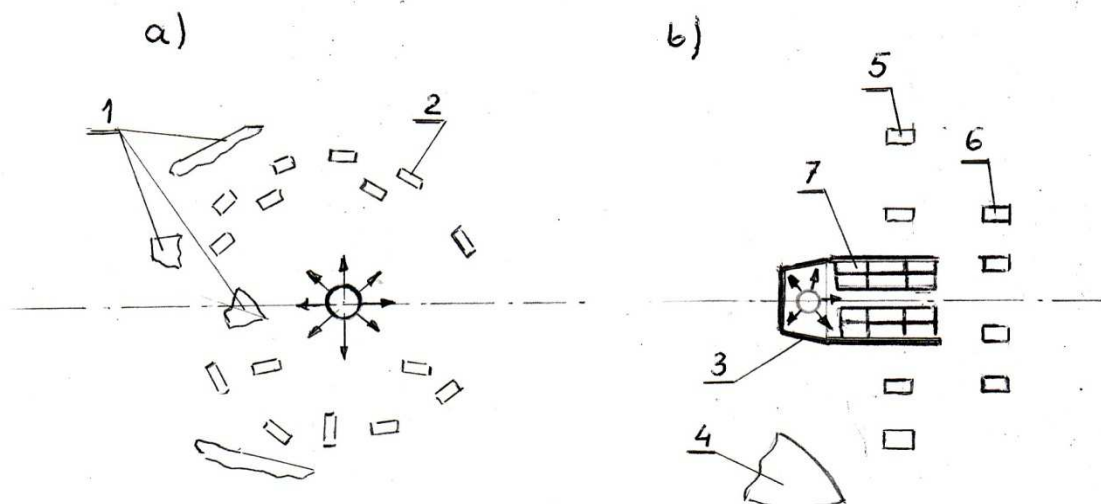
takimi są przeważnie stałe bazy wojskowe zakładane w danym obszarze działań. Bazy te atakowane są najczęściej poprzez krótkotrwały i niespodziewany ostrzał: artyleryjski (głównie stosowane są moździerze) bądź pociskami raketowymi. Między innymi sytuacja taka spowodowała przyspieszony rozwój artyleryjskiej amunicji przeciwlotniczej przeznaczonej do zwalczania obiektów małogabarytowych. Jednym z takich nowych rozwiązań są pociski typu AHEAD charakteryzują się tym, że dolatując do zaprogramowanego nastawami zapalnika punktu na torze lotu uwalniają znajdujące się w nich lotki, które tworzą rozprzestrzeniającą się chmurę mogącą niszczyć zwalczany cel. Dzięki zwiększeniu powierzchni atakującej wzrasta równocześnie prawdopodobieństwo spotkania celu z lotką lub ich grupą. Wydaje się być uzasadnionym przeprowadzenie analizy wzajemnych związków przestrzenno-czasowych jakie tworzą się pomiędzy chmurą lotek, a zwalczanym celem. Wykonanie takiego zadania umożliwi następnie określenie wartości prawdopodobieństwa trafienia celu przez jedną lub kilka lotek uwalnianych z pocisku niosącego.

2. Ogólne współzależności pomiędzy chmurą lotek i atakowanym celem

Rozpatrując sam proces rozcalania pocisku wypada zauważyć, że może on zostać zrealizowany na kilka sposobów. Spośród występujących możliwości jako dwie skrajne wymienić należy:

- rozcalenie poprzez gwałtowne rozerwanie skorupy zewnętrznej pocisku i uwolnienie wszystkich lotek w tym samym momencie,
- rozcalenie poprzez oddzielenie określonej części skorupy pocisku i następnie wyrzucenie lotek z pozostałej części w sposób konstrukcyjnie zaprogramowany.

W pierwszym przypadku uwolnione elementy tworzyć będą chmurę rozprzestrzeniających się odłamków o stosunkowo przypadkowym ich wzajemnym rozłożeniu w przestrzeni. W drugim natomiast, dzięki kontrolowanemu uwalnianiu, występuje możliwość formowania kształtu bryły tworzonej przez rozprzestrzeniające się lotki jak i wpływania na ich wzajemne rozłożenie przestrzenne. Oba wymienione przypadki dodatkowo wyjaśnia rysunek 1.



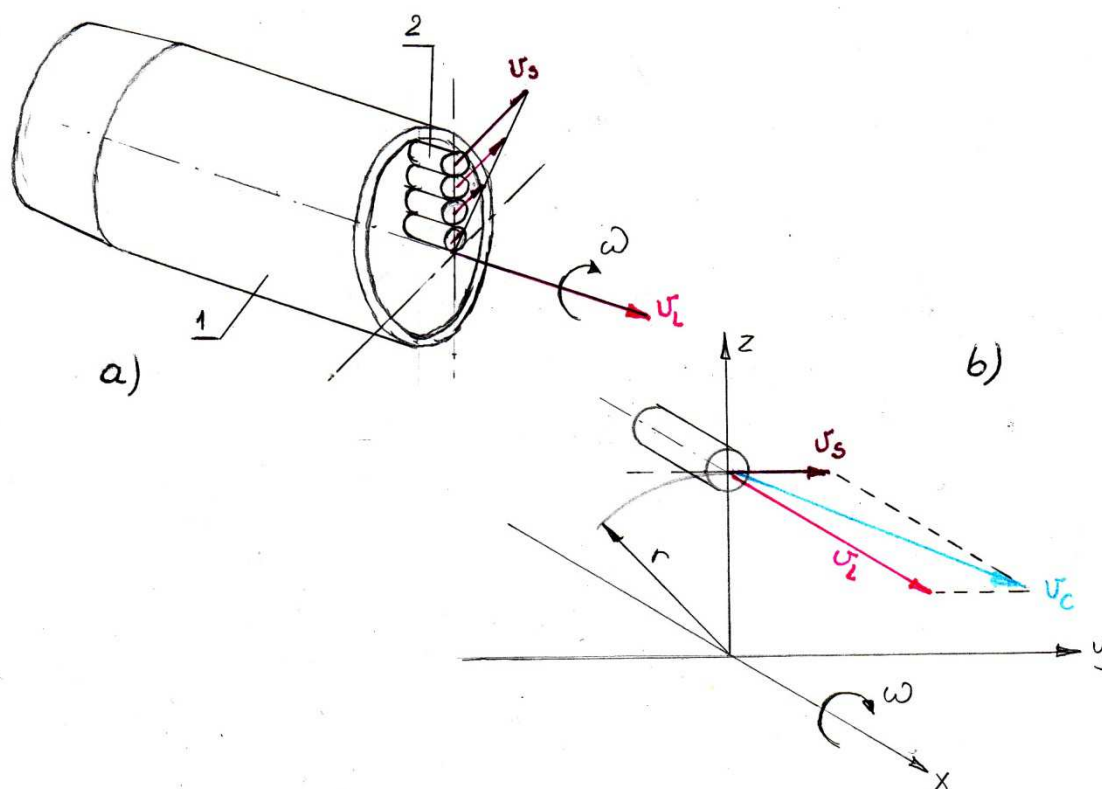
Rys.1. Schemat rozcalania pocisków AHEAD

a) przypadki gwałtownego rozcalenia skorupy pocisku

b) przypadki rozcalenia programowanego

1 – elementy rozerwanej skorupy pocisku, 2 – uwolnione lotki, 3 – korpus pocisku, 4 – planowo oddzielana część skorupy, 5 – pierwsza warstwa uwolnionych lotek, 6 – druga warstwa uwolnionych lotek, 7 – lotki w korpusie przed wyrzuceniem.

Wykonując tylko szacunkowe obliczenia wykazują one, że znacznie korzystniejszy, z punktu widzenia prawdopodobieństwa trafienia celu, jest przypadek programowalnego uwalniania lotek. Zapewnia on o wiele bardziej równomierne, przestrzenne rozłożenie lotek wyznaczone na płaszczyźnie prostopadłej do toru lotu pocisku. Dokładniejsza ocena przebiegu formowania się przestrzennego rozkładu lotek, jak i ich wzajemnego usytuowania, wymagała przeprowadzenia teoretycznej analizy tego procesu. W tym celu, w pierwszym kroku, określone zostały składowe prędkości występujące na poszczególnych lotkach w momencie ich uwalniania z korpusu pocisku. Odnoszący się do tego, przyjęty model prędkości składowych przedstawiony jest na rysunku 2.



Rys.2. Układ prędkości na lotkach, przyjęty dla modelu rozlotu , w fazie ich uwalniania do lotu samodzielnego.

- a) lecący pocisk z narysowanym jednym rzędem promieniowo ułożonych lotek,
 b) pojedyncza lotka w chwili uwalniania z korpusu
 1 – korpus pocisku, 2 – lotka

W przedstawionym modelu pewne wątpliwości może budzić fakt pominięcia składowych ruchu precesyjnego pocisku i kąta nutacji. Zostało to jednak przyjęte w pełni świadomie. Należy bowiem zauważyć, że prędkość kątowna precesji jest wielokrotnie (zwykle nie mniej niż 20 razy) niższa od prędkości kątowej ruchu obrotowego ciała wykonującego ruch żyroskopowy.

Bazując na tym, oczywistym dla konstruktora amunicji fakcie, można oszacować przemieszczenie kątowe pocisku w ruchu precesyjnym podczas uwalniania lotek. Będzie ono w danym przypadku nie większe niż $2-3^\circ$. W oparciu o powyższe przyjęto, że bez wprowadzania zauważalnego błędu, wpływ ruchu precesyjnego na deformowanie kształtu przestrzennego rozwijanej powierzchni lotek może być pominięty, w analizie określającej przebieg całego zjawiska. Znacznie bardziej groźnym może natomiast okazać się wpływ

odrzućcia części przedniej pocisku w chwili rozpoczęcia procesu rozcalania na zmianę jego położenia kąowego w przestrzeni i zakłócenie trajektorii lotu.

Drugim zagadnieniem jest wpływ kąta nutacji określający odchylenie osi wzdłużnej pocisku od toru lotu. W przypadku pocisków artyleryjskich o dużej prędkości lotu kąt ten nie osiąga dużych wartości (zwykle poniżej 7°), a uwzględniając prędkość rozprzestrzeniania się uwalnianych lotek, również w tym przypadku, uznano za uzasadnione pominięcie jego wpływu na proces rozcalania pocisku. W sytuacji przedstawionej na rys. 2 zachodzi oczywisty związek:

$$\bar{v}_C = \bar{v}_L + \bar{v}_S \quad (1)$$

gdzie: \bar{v}_L - prędkość lotu pocisku po torze,

\bar{v}_S - prędkość styczna wynikająca z ruchu obrotowego pocisku z prędkością ω

Przy czym wartość liczbowa prędkości v_s może być określona z zależności:

$$v_s = \omega r$$

gdzie: r - odległość środka ciężkości lotki od osi wzdłużnej pocisku,

ω - prędkość obrotowa pocisku.

W celu obliczenia wartości liczbowej dla składowej prędkości v_s założono, że prędkość kątowa wirującego pocisku jest zależnością liniową i zmniejsza się wraz ze wzrostem odległości pocisku od wylotu lufy. Współczynnik kierunkowy zależności przyjęto jako $a = -9$ [obr/m]. Wykorzystano w danym przypadku informacje publikowane w materiałach informacyjnych firmy Bofors [3], dotyczące amunicji typu AHEAD.

Mając dodatkowo na względzie fakt, że w Polsce amunicja AHEAD znajduje się dopiero we wstępnej fazie opracowań koncepcyjnych zaistniały obiektywne trudności określenia dokładnych parametrów technicznych pocisków, jakie można by wykorzystać w obliczeniach torów balistycznych. Z tych względów w pracy przyjęte zostaną wartości wymaganych parametrów na zasadzie oszacowania i porównania do innych, istniejących już rozwiązań. Przyjęcie takiej metody nie powinno mieć znaczącego wpływu na uzyskiwaną dokładność wyników wstępnej analizy efektywności trafienia celu. Można bowiem bez większego błędu zakładać, że wartości rzeczywiste dla pocisków AHEAD będą tylko nieznacznie różnić się od określonych metodą przybliżonego oszacowania. Mając powyższe na względzie przyjęte zostanie że:

q – masa pocisku = 750 [g]

v_0 - prędkość początkowa pocisku = 1050 [m/s]

Δv – rozrzut prędkości początkowych = ± 15 [m/s]

– rozrzut punktów trafienia określony na płaszczyźnie prostopadłej do toru lotu pocisku będzie kołowo symetryczny,

– rozkład gęstości punktów trafienia względem punktu trafienia odpowiadającemu torowi lotu dla parametrów nominalnych polegać będzie prawu rozkładu normalnego (konkretnie przyjmowane wartości omawiane będą w stosownych miejscach prowadzonej analizy).

Wykorzystując powyższe wartości staje się możliwe wyliczenie wartości prędkości stycznej v_s , gdzie dla dwóch zakładanych odległości strzelania otrzymano:

dla 1500 [m] ; $v_s = 46,5$ [m/s] i

dla 2000 [m] ; $v_s = 44$ [m/s]

Dodatkowo obliczono także prędkość postępową lotu pocisku na torze, dla założonego kąta podniesienia lufy równego 45° . Do tego celu wykorzystano metodę Siacci'ego dostosowaną do obliczeń torów stromych stosując także tablice oporu powietrza z 1943 roku. Konkretnie obliczenia wykonano w oparciu o program numeryczny autorstwa A. Czarnaka [2]. Dla poszczególnych, przyjmowanych w rozważaniach odległości uzyskano odpowiednio:

$$\text{dla 1500 m} \quad v_{L1500} = 820,4 \quad [m/s]$$

$$\text{dla 2000 m} \quad v_{L2000} = 749,5 \quad [m/s]$$

Wyznaczone wartości v_s i v_L określają parametry początkowe lotu skrajnych lotek w chwili uwalniania ich z korpusu pocisku. W podobny sposób można określić parametry początkowe ruchu innych lotek umieszczonych w korpusie pocisku przenoszącego rozmieszczone na mniejszych promieniach.

Założono także, że na poruszającą się po własnym torze lotkę oddziaływać będzie siła oporu powietrza określona zależnością:

$$F_p = c_x S \frac{\rho v_{ci}^2}{2} \quad (3)$$

gdzie w tym wypadku:

c_x - współczynnik oporu powietrza ($= 1 \div 1,2$),

S - powierzchnia czynna lotki,

ρ - gęstość powietrza,

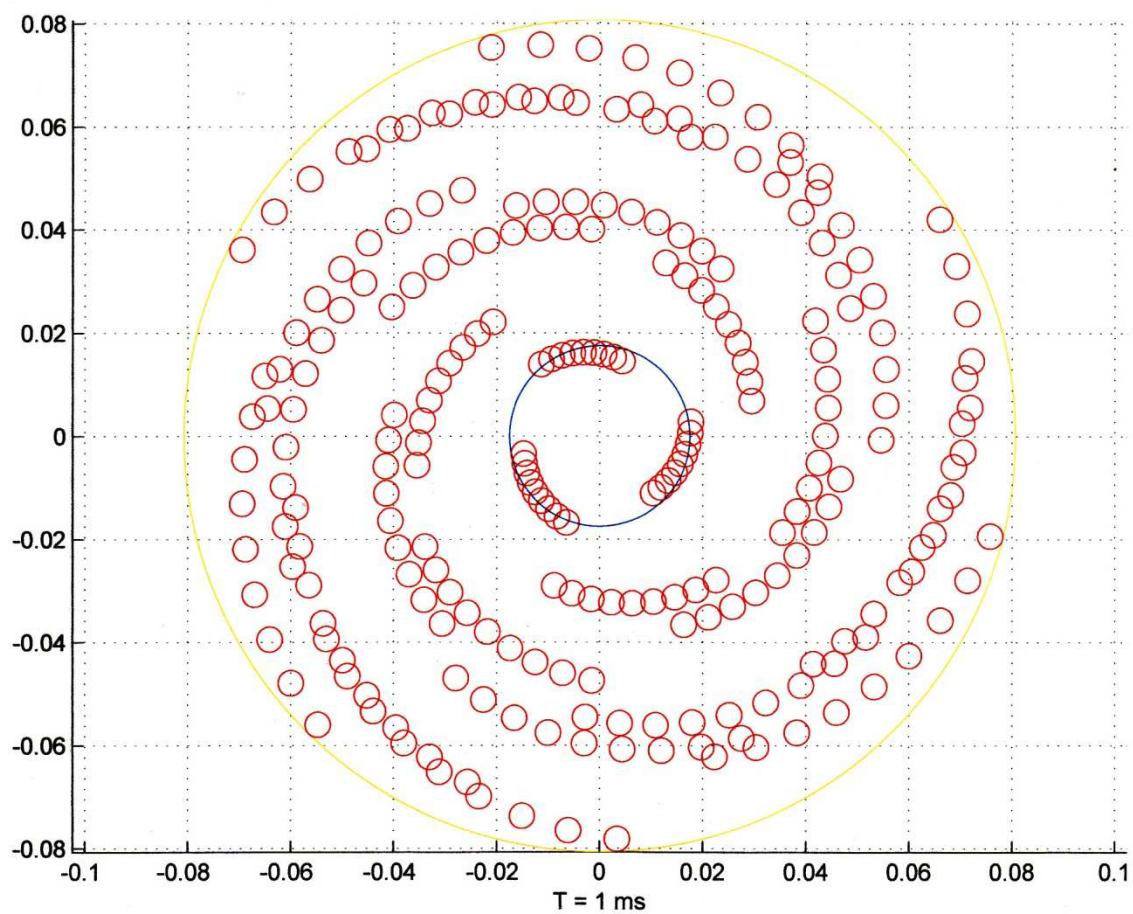
v_{ci} - bieżąca prędkość lotki.

Wiedząc na podstawie rysunków konstrukcyjnych pocisków AHEAD, że lotki w korpusie pocisku ułożone są warstwami jedna za drugą, prostopadłymi do osi wzdłużnej przyjęto, że całkowity czas ich uwalniania wynosił będzie $150 \div 200$ mikrosekund. Założenie takie zostało poczynione na podstawie badań doświadczalnych publikowanych przez firmę Bofors w wymienianych poprzednio materiałach.

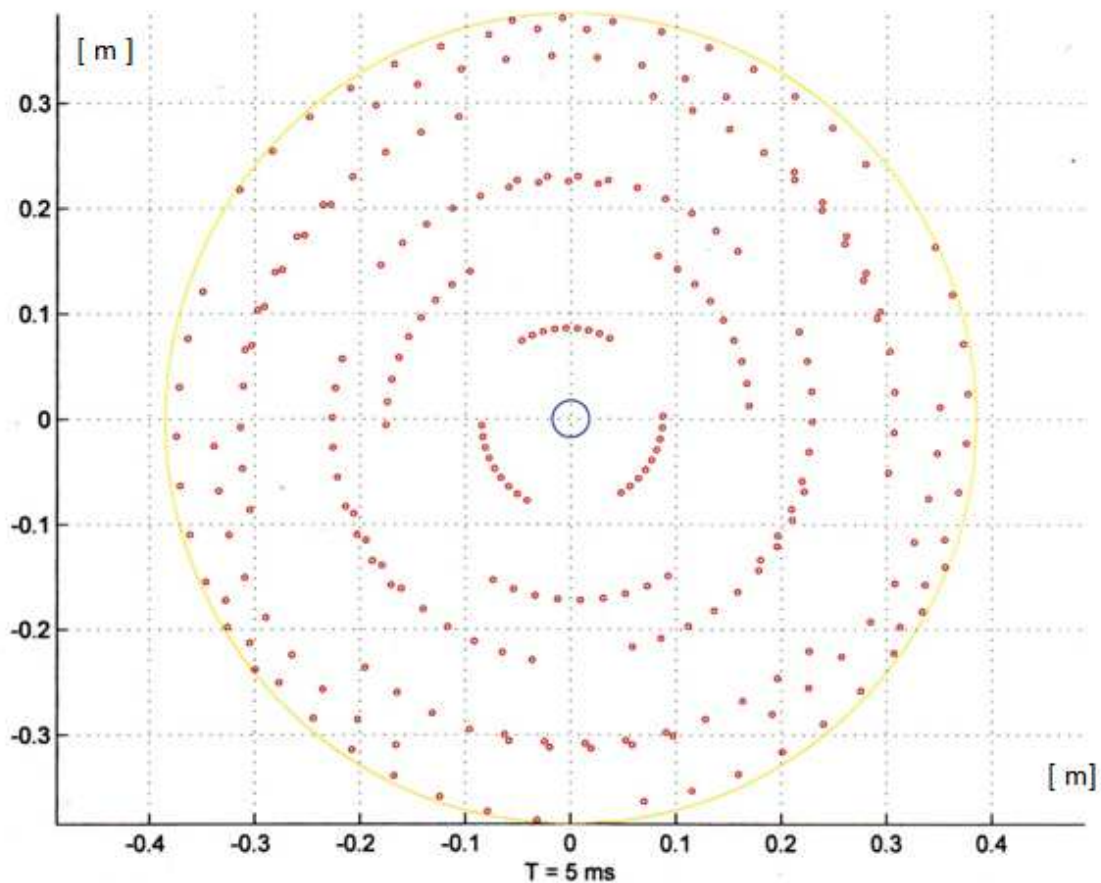
Mając tak określony model rozlotu lotek, opracowany został stosowny program do symulacji numerycznej rozprzestrzeniania się uwalnianych lotek. Wykorzystując jako dane wejściowe obliczone poprzednio wartości liczbowe omawianych wielkości stało się możliwe przeprowadzenie pierwszych obliczeń symulacyjnych. W pierwszej fazie skoncentrowano się na wstępnym oszacowaniu wpływu poszczególnych parametrów na przebieg zjawiska. Na podstawie uzyskanych wyników zdecydowano się nie uwzględniać w dalszych obliczeniach również:

- 1) oddziaływania siły ciężenia na lotkę przemieszczającą się lotki. Możliwość przyjęcia takiego założenia uzasadnia krótki czas analizy rozpatrywanego zjawiska liczony w milisekundach. Zaniedbanie uwzględniania oddziaływania siły ciężkości, w tak krótkim przedziale czasu, daje w efekcie błąd położenia lotki mniejszy od 1 [mm.] Z tych względów, w danym przypadku, nie będzie to miało praktycznie żadnego znaczenia. Warto również zwrócić uwagę na fakt, że wszystkie lotki będą opadać w tym samym kierunku i o identyczne wielkości. Z tego względu oddziaływanie siły ciężenia w żadnym stopniu nie wpływa na wzajemny, przestrzenny rozkład lotek,
- 2) prędkości promieniowej mogącej wystąpić w chwili uwalniania lotek. W przypadku programowalnego uwalniania lotek prędkość taka nie powinna teoretycznie występować. Miałaby ona natomiast duże znaczenie w przypadku rozcalania skorupy pocisku metodą detonacyjnego rozerwania jej od wewnątrz.

Po uwzględnieniu poczynionych założeń upraszczających kontynuowano symulację obliczeniową rozlotu lotek obrazowaną graficznie w wybranych punktach czasowych na płaszczyźnie prostopadłej do toru lotu pocisku. Przykładowe wyniki przeprowadzonych obliczeń przedstawione są na dwóch następujących rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Rozkład lotek uwalnianych w sposób programowalny po czasie $t = 1\text{ms}$ od chwili uwolnienia obliczony dla odległości 1500 [m]. Wymiary na osi rzędnych wyrażane są w [m].



Rys. 4. Rozkład lotek uwalnianych w sposób programowalny po czasie $t = 5\text{ms}$ od chwili uwolnienia dla odległości obliczeniowej 1500 [m] .

Z przedstawionych rysunków wynika, że przemieszczające się lotki zamknięte są wewnątrz koła o zwiększającym się promieniu. Wartość promienia w zależności od czasu można opisać uproszczoną zależnością:

$$r(t) = r_0 \sqrt{1 + \omega_i^2 t^2} f(t) \approx r_0 \omega_i t f(t) \quad (4)$$

gdzie: r_0 - wielkość promienia na jakim umieszczona jest warstwa zewnętrzna lotek w pocisku,

ω_i - prędkość kątowna pocisku w chwili uwalniania lotek w i -tym punkcie toru,

t - czas liczony od chwili rozpoczęcia procesu uwalniania lotek,

$f(t)$ - funkcja spadku prędkości lotki w czasie.

W przypadku obliczeń przyjmowane będzie, że $f(t)$ opisuje funkcja:

$$f(t) = \frac{1}{ct} (1 - e^{-ct}) \quad (5)$$

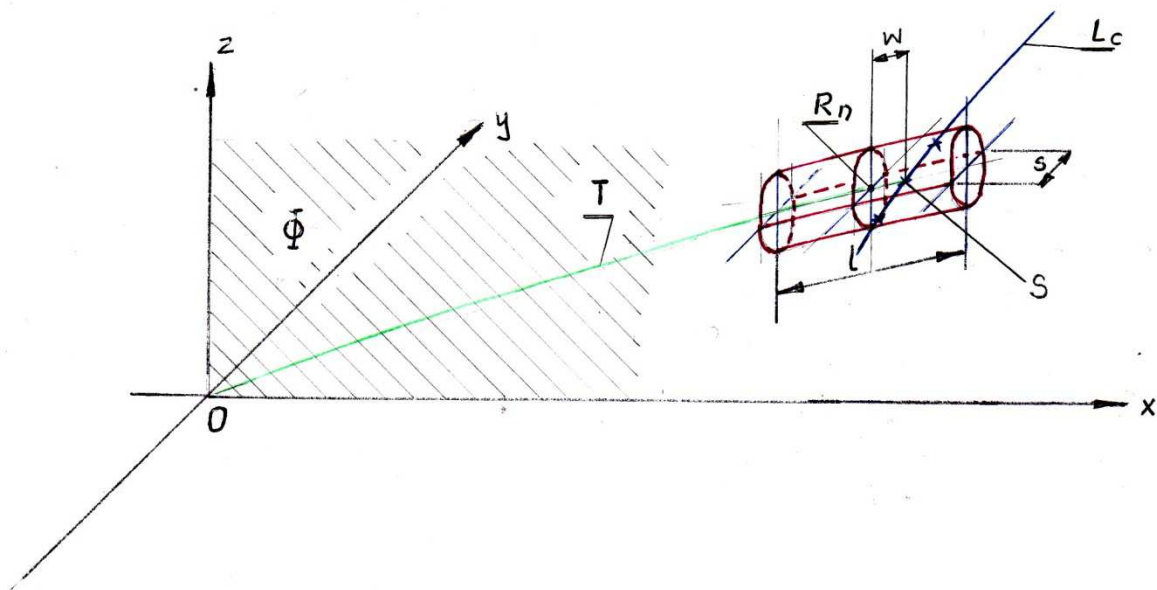
gdzie: $c = c_x \frac{\rho S}{2m}$; m – masa lotki.

Przemierzające się po swoich torach lotki wytwarzają pewną, chwilową gęstość wypełnienia powierzchni koła, co wyraźnie pokazują zamieszczone rysunki 3 i 4. Gęstość ta zmienia się bezustannie w czasie.

W przypadku strzelania do celu dla uzyskania trafienia musi dochodzić do wzajemnego przecinania się toru lotu rozprzestrzeniającej się powierzchni lotek z torem celu. Przecinanie się torów należy uznać za jeden z warunków, których spełnienie zapewnia trafienie celu. Z kolei gęstość rozkładu lotek decydować będzie o liczbie lotek jakie będą trafiać cel. Jest oczywiste, że im większa liczba lotek trafi cel, tym większe jest prawdopodobieństwo jego zniszczenia. Ilość lotek trafiających można zaproponować jako miarę efektywności atakowania celu. Z kolei warunek trafienia celu przez przynajmniej jedną lotkę można przyjąć za skrajny warunek spełnienia wymagania efektywnego zaatakowania celu. Nie można jednak, a priori założyć, że jest to równoznaczne z efektywnym rażeniem celu oznaczającym jego zniszczenie. Zniszczenie celu rozumiane jest tu jako eliminujące możliwość wykonania przez niego zadania bojowego.

Zagadnienie eliminacji lub inaczej zniszczenia celu jawi się jako osobne, samodzielne zadanie, wiążące się ono z takimi problemami jak klasyfikacja celów pod kątem ich wrażliwości na trafienie odłamkiem, wymagana liczba lotek trafiających cel zapewniająca jego wyeliminowanie, wymagana energia lotki w chwili uderzenia dla uzyskania efektu destrukcyjnego itd. Nie było to jednak obszarem rozważań niniejszej pracy.

Analizując przebieg procesu rozcalenia się pocisku i formowania kołowej powierzchni wypełnionej lotkami można sformułować bardzo istotne wnioski wskazujące metodykę prowadzenia ostrzału celu przy zastosowaniu pocisków AHEAD. W pierwszym rzędzie staje się oczywiste, że pocisk AHEAD dolatując w rejon celu powinien rozpocząć proces rozcalania z odpowiednim wyprzedzeniem czasowym (lub co jest równoznaczne odległościowym) tak aby lotki mogły uwolnić się i rozwinąć odpowiednią powierzchnię ataku. Powierzchnia ataku będzie ściśle uzależniona od rodzaju atakowanego celu, a jej wielkość bezpośrednio będzie wpływać na prawdopodobieństwo uzyskania porządanego trafienia. Występujące w tym zakresie związki przestrzenno – geometryczne wyjaśnia kolejny rysunek 5.

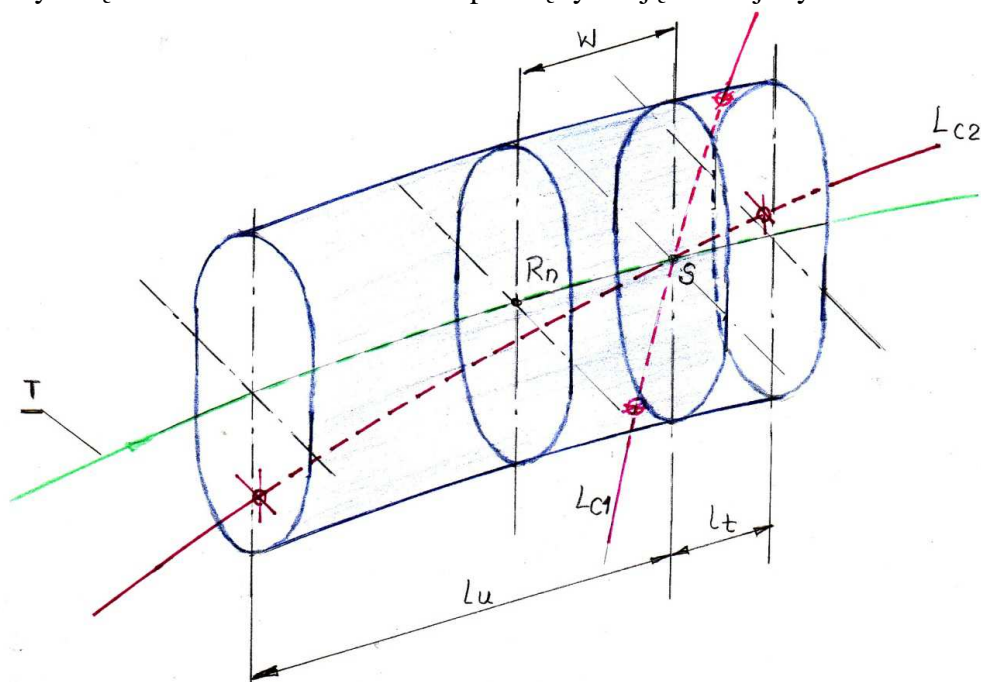


Rys. 5. Występujące związki geometryczne pomiędzy pociskiem AHEAD i atakowanym celem

T – tor lotu pocisku AHEAD,
 L_C – tor lotu celu,
 R_n – nominalny punkt rozcalenia,
 w – wyprzedzenie punktu rozcalenia względem teoretycznego punktu przecięcia się torów,
 l – długość strefy rozcalenia (wynika z rozrzutu parametrów strzału pocisku AHEAD),
 S – punkt teoretycznego przecinania się torów pocisku AHEAD i celu.

Wprowadzenie odcinka wyprzedzenia „ w ” nominalnego punktu rozcalenia pocisku R_n względem teoretycznego punktu przecięcia się torów S pociąga za sobą znaczące konsekwencje dla analizy całego zagadnienia. Jako nominalny punkt rozcalenia rozumiane jest teoretycznie określane miejsce na torze lotu, w którym pocisk przemieszczający się z prędkością zmierzoną na wylocie lufy i przyjętą do zaprogramowania zapalnika powinien rozpocząć uwalnianie lotek. Jest oczywiste, że w warunkach rzeczywistych chociażby ze względu na błędy pomiaru prędkości wylotowej, drgania poprzeczne lufy itp. występujący punkt rozcalenia nie będzie pokrywał się z teoretycznym. W efekcie występujące punkty rozcalenia zawarte będą w pewnej strefie o określonej długości „ l ” pokazanej na rys.5. Z innych prac własnych autorów wynika, że strefa ta może mieć długość od kilku do kilkunastu metrów dla rozważanych odległości strzelania. Zakładając symetryczny rozkład odchyień poszczególnych parametrów początkowych strzału względem wielkości mierzonych przez urządzenia pomiarowe punkt R_n , będzie dzielił długość strefy rozcalenia pocisku na dwie równe części. W przypadku gdyby nie wprowadzić wyprzedzenia „ w ” punkt R_n pokrywałby się z punktem S przecięcia torów, a to oznaczałoby, że tylko połowa strefy rozcalenia zapewniałaby dla docierających do niej pocisków możliwość zaatakowania celu. Praktycznie, oznaczałoby to, że prawdopodobieństwo trafienia celu miałyby nie więcej niż 50% wystrzelianych pocisków.

Zastosowanie odcinka „ w ” wyprzedzenia punktu rozcalenia pocisku przesuwając strefę rozcalenia w kierunku wylotu lufy zwiększając dzięki temu jej użyteczną długość. Użyteczna długość rozumiana jest jako ta długość strefy rozcalenia, w której uwalniane z pocisków lotki mają teoretyczną możliwość trafienia celu. Opisaną sytuację ilustruje rysunek 6.

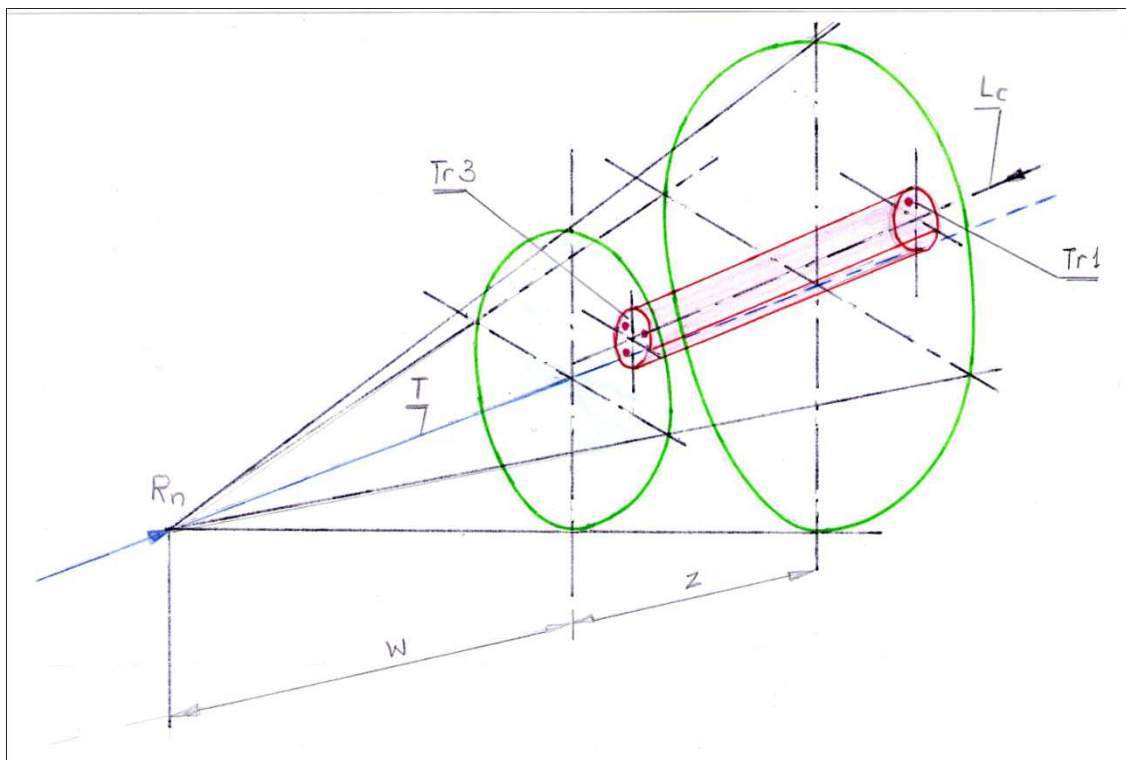


Rys. 6. Geometryczne zależności powstające w wyniku wprowadzenia wyprzedzenia „ w ” w strefie rozcalenia pocisku AHEAD

T – tor lotu pocisku AHEAD,
 L_{C1} – tor lotu celu, przecinający poprzecznie, skośnie strefę rozcalania,
 L_{C2} – tor lotu celu, przecinający wzdłużnie, skośnie strefę rozcalania,
 l_u – użyteczna długość strefy rozcalania,
 l_t – tracona długość strefy rozcalania,
 w – wyprzedzenie punktu rozcalania.

Określenie liczbowej wartości wyprzedzenia „ w ” wymaga wprowadzenia szeregu dodatkowych założeń dotyczących możliwości trafienia celu. Dopiero po ich określeniu, przeprowadzenie obliczeń wartości liczbowej „ w ” staje się możliwe. W przypadku problemu trafienia celu istotnym zagadnieniem jest określenie liczby lotek jakie mogą ten cel trafić.

W dalszych rozważaniach jako potencjalny cel przyjęto pocisk moździerzowy, obecnie najczęściej wykorzystywany w atakach na stałe bazy wojskowe. Jest to niewątpliwie wyjątkowo trudny obiekt do zwalczania. Opierając się na tym przypadku można scharakteryzować szereg zależności ogólnych, jakie występować będą pomiędzy pociskiem atakującym i zwalczanym celem. W pierwszej kolejności wypada rozważyć jak przebiegać będzie wzajemny kontakt w przestrzeni rozwijającej się powierzchni lotek pocisku AHEAD i atakowanego celu. Tak więc, uwzględniając przyjęte założenie, o zastosowaniu odcinka wyprzedzenia „ w ” w określonej odległości przed celem pocisk uwolni znajdujące się w nim lotki. Od tej chwili swobodne lotki zaczną formować pewną, określoną warunkami rozcalania, powierzchnię, która przemieszczając się powinna przeciąć się z torem lotu celu. Cechą charakterystyczną rozwijającej się powierzchni będzie zmniejszająca się w funkcji czasu gęstość rozłożenia lotek. Jest oczywiste, że im większa będzie wymieniona gęstość w chwili spotkania z celem tym większa liczba lotek ma szansę uderzyć w cel. Same lotki nie są jednak równomiernie rozłożone na całej, zajmowanej powierzchni co pokazują chociażby zamieszczone rysunki nr 3 i 4 ilustrujące przebieg rozlotu w czasie. Z tego powodu, dla potrzeb dalszej analizy, wprowadzone zostanie pojęcie uśrednionej, chwilowej gęstości rozłożenia lotek. Uśredniona gęstość oznaczać będzie, w tym przypadku iloraz liczby lotek przez powierzchnię obrysu koła nakreślonego wokół zewnętrznych lotek. W takim przypadku wymiarem uśrednionej gęstości byłaby liczba lotek przypadająca na jednostkę powierzchni dla danej chwili czasowej. Wprowadzenie takiej wielkości umożliwi w następnym kroku sformułowanie opisu możliwych wariantów trafienia celu, co w konsekwencji prowadzić będzie do wyznaczenia wartości liczbowej wyprzedzenia „ w ”. Dla wymienionych poprzednio założeń przyjęto, że wyprzedzenie „ w ” nie powinno być większe niż zapewniające trafienie celu przynajmniej trzema lotkami dla uśrednionej gęstości ich rozłożenia. W takim przypadku znając parametry określające rozprzestrzenianie się powierzchni lotek staje się możliwe jednoznaczne określenie wartości wyprzedzenia „ w ”. Występujące związki pomiędzy przemieszczającymi się lotkami i celem, zgodne z poczynionymi założeniami, obrazuje rys.7.



Rys. 7. Wzajemne relacje przestrzenne dla toru lotu celu i przemieszczającej się powierzchni lotek

R_n – punkt rozłączenia pocisku AHEAD,

T – tor lotu pocisku AHEAD,

L_c - tor lotu celu,

Tr_3 – potrójne trafienie celu,

Tr_1 – pojedyncze trafienie celu,

w – wyprzedzenie,

z - użyteczny zasięg trafienia.

Zamieszczony rysunek można także wykorzystać do określenia kolejnych związków jakie zachodzą pomiędzy celem, a rozwijającą się powierzchnią lotek. Można bowiem stwierdzić, że cel (pocisk moździerzowy) poruszający się w przestrzeni wyznacza w niej kanał o przekroju koła przecinający się z przemieszczającą się powierzchnią lotek. Kanał ten w chwili przecinania się z powierzchnią lotek wyznacza zarys koła reprezentujący wielkość powierzchni celu jaka może być trafiona lotkami. Przedstawiona sytuacja zachodzi w przypadku gdy pocisk moździerzowy wnika czołowo w podążającą w jego kierunku powierzchnię lotek. Można zakładać, że w warunkach rzeczywistych będzie to najczęściej występujący przypadek.

Dalej można również przyjąć, że od miejsca rozwinięcia powierzchni lotek do wielkości gwarantującej trafienie celu trzema lotkami pojawia się następny odcinek „ z ”, na którym cel będzie zawsze napotykał lotki, aż do punktu zapewniającego rażenie tylko jedną lotką. Odcinek „ z ” można w tym przypadku nazwać użytecznym zasięgiem pewnego trafienia. Podobnie czas przemieszczania się rozprzestrzeniających się lotek na odcinku „ z ” nazwać można dysponowanym czasem pewnego trafienia. W tej sytuacji staje się oczywiste, że opracowując programy sterowania ogniem należy dążyć do określenia takich nastaw zapalnika programowalnego, aby uzyskać przechodzenie celu przez strefę rozprzestrzeniających się lotek w czasie pewności jego trafienia. Wypada jednak dodatkowo podkreślić, że po tym czasie lub co jest równoznaczne poza odcinkiem „ z ”, cel nadal może być trafiony, ale nie wystąpi już 100% pewność zajścia takiego zdarzenia, a jedynie określone

jego prawdopodobieństwo. Z punktu widzenia efektywnego zwalczania celu jest to sytuacja mniej korzystna. Kontynuując rozważania należy również zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku lotu pocisku w atmosferze jego parametry charakterystyczne zmieniają się w sposób ciągły. Dwa podstawowe tj. prędkość lotu i prędkość obrotowa mają bezpośredni wpływ na wartości „w” i „z”. Można ogólnie stwierdzić, że zarówno „w” jak i „z” są bezpośrednimi funkcjami tych parametrów, które z kolei dają się (za pośrednictwem czasu) uzależnić od drogi s przebytej przez pocisk, co konsekwentnie można zapisać w postaci ogólnej jako:

$$w = f_w[v(s), \omega(s)] \quad ; \quad z = f_z[v(s)\omega(s)]. \quad (6)$$

W praktyce oznacza to, że zależnie od odległości celu, w programie zapalnika uwalniającego lotki muszą być zadawane nastawy uwzględniające wyprzedzenie „w” korygowane odpowiednio zmianami wartości v i ω na torze lotu do przewidywanego punktu rozcalania. Należy jednocześnie podkreślić, że $w = w(s)$ i $z = z(s)$ nie są funkcjami liniowymi. Sformułowanie omówionych zależności pozwala określić wielkość wyprzedzenia „w” i zasięgu „z” wykorzystując do tego celu wymieniony poprzednio symulujący program numeryczny. W analizowanym przypadku założona została odległość od celu równa 2000 [m], przy czym zwalczanym celem jest pocisk moździerzowy kalibru 100 [mm]. Dodatkowo przyjęto, że nadlatujący cel (pocisk moździerzowy) wnika prostopadle w powierzchnię uformowaną przez lotki, a jego prędkość wynosi 270÷300 [m/s]. Liczba lotek znajdujących się w pocisku AHEAD określona została jako równa 152 sztuk (dane na podstawie materiałów informacyjnych firmy Bofors). Kąt strzału założono jako równy 45°. Dla tak przyjętego zestawu danych początkowych przeprowadzone zostały obliczenia w wyniku których otrzymano:

$$w = 6\div 6,5 \text{ [m]}$$

$$z = 4,5\div 5 \text{ [m]}$$

$$t_{pr} = 6\div 6,3 \text{ [ms]} - \text{dysponowany czas pewności trafienia.}$$

Uzyskane wyniki prezentują, w postaci konkretnych wielkości wymiarowych, zależności geometryczne i czasowe.

Interesującym wynikiem okazuje się wartość obliczonego wyprzedzenia „w”, która wysuwa punkt rozcalania pocisku przed określoną poprzednio strefę rozcalania. Praktycznie oznacza to, że każdy wystrzelony pocisk będzie posiadał możliwość trafienia celu. Należy jednak uwzględnić negatywne oddziaływanie innych, nie rozważanych tu parametrów, wpływających na zmniejszenie ogólnego prawdopodobieństwa trafienia omawianego celu. Tym niemniej wynik ten ocenić należy jako wykazujący sensowność analizowanej metody zwalczania małowadłowowego celu powietrznego.

Wykorzystywany program numeryczny zastosowany został także do określenia kształtu figury formowanej przez rozprzestrzeniające się lotki. W tym celu przyjęte zostało dodatkowo, że czas uwalniania wszystkich warstw lotek z korpusu pocisku wynosił będzie 0,2 [ms]. Nie wniano przy tym na w proces skracania się czasów uwalniania kolejnych warstw z pocisku przenoszącego.

Przewidywano, że figurą tą będzie stożek. Obliczenia potwierdziły, że jest to stożek ścięty poruszający się swą większą podstawą w kierunku celu, przy czym jego wysokość pozostaje stała i wynosi około 5 [cm]. Wynik ten pozwala przyjąć, nie wprowadzając zauważalnego błędu, że rozprzestrzeniające się lotki formują płaską tarczę o zwiększającym się promieniu. Taki kształt powierzchni zastosowany będzie do dalszych rozważań.

3. Wpływ zależności czasowych na prawdopodobieństwo trafienia celu

W trakcie dotychczasowych rozważań, cały czas przewijał się problem występujących współzależności czasowych pomiędzy przemieszczającym się pociskiem atakującym AHEAD i atakowanym celem. Rozpatrzenie tych współzależności wydaje się konieczne i co więcej można oczekiwać, że będzie to miało decydujący wpływ na występujące prawdopodobieństwo skutecznego zaatakowania celu.

Z zamieszczonego dotychczas opisu jawi się jednoznacznie, że proces zwalczania celu przebiega w określonym przedziale czasowym i dla każdej wydzielonej chwili występuje inna sytuacja układu przestrzennego analizowanych obiektów. Ogólnie, w danym przypadku, można przyjąć stwierdzenie że aby uzyskać pożądany efekt trafienia konieczne jest wystąpienie wzajemnych położań przestrzennych omawianych obiektów (pocisku atakującego i celu) w ściśle określonym przedziale czasowym.

Kontynuując rozważania, w dalszej części będą one prowadzone dla przypadku gdy zwalczanym celem jest pocisk moździerzowy o kalibrze 100 [mm], do którego prowadzony jest ogień z małokalibrowej armaty dwulufowej o szybkostrzelności 550 strz/min liczonych dla pojedynczej lufy /dane dla armaty KDA firmy Oerlikon /.

Zmierzając do określenia prawdopodobieństwa trafienia celu staje się konieczne powiązanie zagadnień czasowych z określonymi poprzednio pojęciami tj. strefą rozcalania i przemieszczającą się w przestrzeni tarczą atakujących lotek. Zgodnie z opisywanymi wpływami odchylenia wartości rzeczywistych od tych zastosowanych do zaprogramowania zapalnika, punkt rozcalania pocisku będzie znajdował się w omawianej poprzednio strefie rozcalania. Strefa ta ma dokładnie określony kształt przestrzenny i wymiary liniowe co zostało poprzednio opisane.

Jest oczywiste, że zakładając uzyskanie trafienia tor lotu celu powinien przecinać się ze strefą rozcalania. Przecięcie to może być wzdłużne, skośne lub poprzeczne. Znajac prędkość lotu celu określa to jednoznacznie czas przebywania celu w strefie w której może on być zagrożony atakiem pocisku AHEAD. Czas ten nazwać można efektywnym czasem ataku. celu Przyjmując, że w rozważanym przypadku cel (pocisk moździerzowy) przechodzi wzdłużnie przez strefę rozcalania z prędkością 270÷300 [m/s] daje to odpowiednio podane poniżej czasy efektywnego atakowania celu:

- dla 1500 [m] , efektywny czas ataku $t_a=17$ [ms] ,
- dla 2000 [m], efektywny czas ataku $t_a=23$ [ms].

W tym momencie należy zwrócić uwagę na fakt, że odstęp czasowy pomiędzy kolejnymi pociskami w serii wystrzałów, przy założonej szybkostrzelności, wynosi $60/550 = 110$ [ms]. Prowadzi to do zaskakującego wniosku. Oznacza bowiem, że dla założonego punktu rozcalania, określonego zastosowanymi nastawami zapalnika, tylko jeden pocisk wystrzelony w serii będzie miał szansę efektywnego rażenia celu. Całe zagadnienie sprowadza się więc do rozwiązania problemu trafienia celu jednym pociskiem.

Wniosek ten powoduje bardzo znaczące konsekwencje dla opracowania programu prowadzenia ognia do celów omawianego rodzaju. Przyjmowana dotychczas zasada tworzenia tzw. „ogniowej strefy zaporowej” okazuje się nieuzasadniona. Znacznie bardziej celowe wydaje się przyjęcie takiego programu, w którym każdy wystrzelony pocisk będzie miał inny, zadawany indywidualnie punkt rozcalania. Taką metodę można określić jako tworzenie tunelu wypełnionego lotkami obejmującego tor lotu wrogiego obiektu. Można oczekiwać, że zastosowanie takiej metody atakowania celu zwiększać będzie wielokrotnie prawdopodobieństwo jego zniszczenia.

Wykonane obliczenia umożliwiły określenie czasu, w którym cel będzie znajdował się w strefie rozcalania, i jest to okres w którym może on być efektywnie atakowany. W warunkach rzeczywistych fakt, że cel przemieszcza się przez strefę rozcalania nie jest równoznaczne

temu, że jest on jednocześnie w tym czasie atakowany. Atak ma miejsce dopiero wtedy gdy w strefie rozcalania znajdzie się pocisk atakujący i rozwinie on tarczę lotek, z którą cel może się spotkać. Wymagane byłoby przy tym aby cel spotkał się z przemieszczającą się tarczą lotek na odcinku nazywanym zasięgiem skutecznego rażenia. W rezultacie czas, w którym pocisk AHEAD może skutecznie atakować cel jest znacznie krótszy niż czas przebywania tego celu w strefie rozcalania.

Uwzględniając określone poprzednio wartości „z” zasięgu skutecznego rażenia i prędkości celu można obliczyć ten czas. Dla rozpatrywanego przypadku otrzymano wartości tego czasu wynoszące od , 4,6 do 7 [ms].

Uzyskane powyżej wyniki obliczeń umożliwiają rozpatrzenie jeszcze jednego, istotnego aspektu analizowanego zagadnienia. Wiedząc bowiem, że cel przebywa w strefie rażenia określony okres czasu (w danym przypadku od 17 do 23 [ms]) można określić dopuszczalny rozrzut prędkości początkowych względem wartości nominalnej zapewniającej dotarcie pocisku do strefy rozcalania w czasie, w którym znajduje się tam cel. Wyznaczając w oparciu o metodę Siacci'ego czas dolotu pocisku AHEAD dla warunków nominalnych na odległość 2000 m przy kącie strzału 45 stopni i wprowadzając dla tego czasu dopuszczalne odchylenia czasowe dotarcia pocisku o wartości $\pm 10\text{ms}$ można wyznaczyć rozrzut prędkości początkowych taki by ten warunek został spełniony. Po wykonaniu konkretnych obliczeń uzyskano:

$$\Delta v = 4,7 \text{ [m/s]}$$

a to w konsekwencji narzuca wartość dopuszczalnego rozrzutu prędkości co można zapisać jako:

$$v_0 = 1050 \pm 2,35 \text{ [m/s]}.$$

Wynik ten określa wymaganą wartość dopuszczalnego rozrzutu prędkości początkowych pocisku względem przyjmowanej wartości nominalnej (1050 m/s), co jest bardzo silnym warunkiem narzucanym tego rodzaju amunicji. Uwzględniając fakt, że praktycznie występuje rozrzut prędkości początkowej wynoszący ± 15 m/s powyższy warunek staje się niemożliwy do spełnienia. W takiej sytuacji, zakładając jednocześnie że rozrzut ten opisany będzie rozkładem normalnym prawdopodobieństwa o typowych wartościach σ w granicach 3, oznacza to, że z ogólnej liczby oddanych strzałów wycinane będzie tylko pewne pasmo strzałów użytecznych spełniających wymagania stawiane dla danego zadania bojowego.

Próbując sformułować, na podstawie otrzymanych wyników, wniosek ogólny można stwierdzić jednoznacznie, że wystąpienie w określonym przedziale czasowym odpowiedniego położenia celu i pocisku będzie jednym z głównych czynników określających prawdopodobieństwo jego trafienia. Z powyższych powodów należy przyjąć, że podejmując analizę prawdopodobieństwa trafienia celu należy bezwzględnie prowadzić ją w przestrzeni wielowymiarowej, gdzie jako zmienne występować będą trzy wymiary liniowe pozycjonujące położenie pocisku i celu oraz zmienna czasowa.

Przeprowadzone rozważania stały się podstawą do wykonania zasadniczego zadania niniejszej pracy tj. obliczenia prawdopodobieństwa rażenia małego barytowego celu powietrznego. Zakładając wyliczenie konkretnych wartości liczbowych, rozważano wykorzystanie metod analitycznych, bądź zastosowanie metod numerycznych. Mając na względzie, że z reguły formułowany w takich przypadkach opis matematyczny okazuje się nierozwiązywalny analitycznie zrezygnowano z założenia z wykorzystania takich metod. Postanowiono natomiast zastosować metodę tzw. „eksperymentu numerycznego”.

W tym przypadku program komputerowy symuluje wielokrotnie strzał pociskiem AHEAD dobierając losowo parametry początkowe strzału. Następnie dla takich parametrów wyliczany jest tor lotu pocisku AHEAD, a także tor lotu celu. W następnej kolejności dla konkretnego punktu rozcalenia dla danego strzału wyliczany jest tor lotu rozwijającej się tarczy lotek i jej usytuowania względem celu. Umożliwia to określenie czy dla danego strzału

cel został trafiony, czy też nie i sporządzenie statystyki trafień (np. określoną liczbą lotek). Dążąc do uzyskania wysokiej dokładności obliczeń losowana jest znaczna liczba strzałów (np. 100 000). W odniesieniu do losowo dobieranych parametrów strzału założone zostało, że:

- rozrzut prędkości początkowych względem wartości nominalnej opisany jest rozkładem normalnym dla którego odchylenie standardowe $\sigma = 2,88$ przyjęte w oparciu o dostępne dane dla współcześnie stosowanych pocisków APDS i FAPDS, co wydaje się założeniem uzasadnionym,

- rozrzut odchylen kąt podniesienia lufy względem położenia nominalnego założony został jako kołowo symetryczny dla którego odchylenie standardowe σ przyjęto jako równe 3 .

Rozpatrywanym celem był konsekwentnie pocisk moździerzowy kalibru 100 [mm], poruszający się z prędkością 270-300 [m/s]. Dodatkowo postanowiono nie uwzględniać:

- skuteczności trafienia wynikającej z faktu uderzania lotki pod różnym kątem w powierzchnię celu,

- różnej wrażliwości na uderzenia lotki poszczególnych fragmentów powierzchni celu.

Założono, że cel reprezentowany jest w programie jako koło o powierzchni odpowiadającej rzutowi zarysu celu na płaszczyznę przemieszczającej się tarczy lotek. Nie wydaje się to być uproszczeniem zniekształcającym , w zauważalnym stopniu, wyniki prowadzonego eksperymentu natomiast osiągnięta korzyść polega na znacznym skróceniu czasu sprawdzania czy dana lotka trafiła w cel.

Obliczenia zostały wykonane dla obu rozpatrywanych odległości tj. 1500 [m] i 2000 [m] i przypadku centralnego wnikania celu w opisaną strefę rozczalania ($\alpha = 0^\circ$). W każdym wariancie obliczano, dla wybranych wartości wyprzedzenia „w”, obliczano prawdopodobieństwa trafienia w cel co najmniej n lotkami ($1 \leq n \leq 3$). Wyniki obliczeń zamieszczone są w tabelach 3 i 4.

Tabela 3. Odległość celu 1500 [m], $v_{\text{AHEAD}} = 820$ [m/s]

Wyprzedzenie „w” [m]	P(1) Jedna lotka	P(2) Dwie lotki	P(3) Trzy lotki
4,0	0,0442	0,0431	0,0410
5,0	0,0530	0,0513	0,0474
6,0	0,0613	0,0570	0,0494
7,0	0,0675	0,0585	0,0451
8,0	0,0702	0,0561	0,0382
9,0	0,0713	0,0521	0,0297
10,0	0,0738	0,0497	0,0229
11,0	0,0712	0,0433	0,0169
12,0	0,0701	0,0395	0,0135
13,0	0,0693	0,0339	0,0111

Tabela 4. Odległość celu 2000 [m], $v_{\text{HEAD}}=750$ [m/s]

Wyprzedzenie „w” [m]	P(1) Jedna lotka	P(2) Dwie lotki	P(3) Trzy lotki
4,0	0,0367	0,0355	0,0336
5,0	0,0458	0,0440	0,0396
6,0	0,0506	0,0465	0,0391
7,0	0,0538	0,0436	0,0318
8,0	0,0564	0,0422	0,0277
9,0	0,0575	0,0393	0,0215
10,0	0,0564	0,0357	0,0155
11,0	0,0561	0,0310	0,0107
12,0	0,0538	0,0277	0,0099
13,0	0,0518	0,0221	0,0079

4. Wnioski końcowe

Uzyskane wyniki umożliwiają sformułowanie szeregu wniosków podsumowujących, i tak można stwierdzić że:

- uzyskiwane prawdopodobieństwo trafienia celu na poziomie 5÷7 % jest zdecydowanie niewystarczające, aby analizowany system przyjąć jako efektywną obronę dla broniowego obszaru,
- widoczne jest, że zastosowanie amunicji o wymienionym rozrzucie prędkości początkowych nie zapewnia koniecznej dokładności spotkania się celu i pocisku w zakładanej chwili czasowej,
- rozpatrywane zapalniki programowalne układem pomiaru prędkości na wylocie lufy są zbyt mało dokładne,
- program zwalczania celu zakładający stawianie w przestrzeni stref zaporowych jest błędny z założenia.

W oparciu o przedstawione wnioski można sugerować kierunki dalszych działań rokujące uzyskanie zdecydowanej poprawy w obszarze omawianego zagadnienia. W tym zakresie można proponować:

- zastosowanie dokładniejszych zapalników programowalnych stosujących ciągłą autokorektę parametrów na torze przykładowo wykorzystujących pole magnetyczne Ziemi jakie zostały w ostatnim okresie opracowane i z pozytywnymi efektami zastosowane w praktyce,
- wprowadzenie, omawianego w pracy, innego programu zwalczania celu małogabarytowego poprzez zastosowanie tzw. „tunelowania toru celu” co powinno skutkować znacznym wzrostem prawdopodobieństwa trafienia,
- wprowadzenie możliwości dosterowywania pocisku poruszającego się na torze tzn. umożliwienie mu korekty trajektorii lotu, ale w obecnych układach amunicji dla broni lufowych nie jest to jeszcze stosowane.

Wymagało by to jednak podjęcia nowych, tak ukierunkowanych prac analitycznych i badawczych.

Literatura

- [1] J. Leyko – Mechanika ogólna t.2 Wyd. PWN

- [2] A. Czarnak – Metoda analizy torów balistycznych z wykorzystaniem metody Siacci'ego.
/praca dyplomowa/ PW 1979
- [3] Materiały firmowe firmy Bofors.
- [4] M. Radomski – Analiza skuteczności systemu uzbrojenia przeciwlotniczego kal. 35
strzelającego nabojami z pociskami typu AHEAD i FAPDSD. Wyd. PW IMiK 1999.