

Sławomir KRZYŻANOWSKI*

ANALIZA ZALEŻNOŚCI KĄTA PODNIESIENIA LUFY OD WZAJEMNEGO POŁOŻENIA CELU I STANOWISKA OGNIOWEGO

Jednym z pierwszych etapów nauczania przedmiotu strzelanie i kierowanie ognia jest zapoznanie z problemami ruchu pocisku w atmosferze ziemskiej od chwili wylotu z lufy do uderzenia w cel. Poznanie podstawowych elementów toru lotu pocisku oraz znajomość zależności kątowych w początkowych i końcowych elementach toru jest nieodzownym warunkiem zrozumienia problematyki związanej z określaniem nastaw do strzelania każdym ze sposobów, jaki przewiduje instrukcja strzelania i kierowania ogniem. Ponadto dokładna znajomość zagadnień z balistyki zewnętrznej i końcowej jest niezbędna adeptom artylerii w rozwiązywaniu praktycznych zadań podczas rażenia celów. Jednym z ważniejszych zagadnień nauczanych w procesie kształcenia przyszłych artylerzystów jest obliczanie kąta podniesienia lufy. Problematyka z tym związana nie znajduje w literaturze specjalistycznej szerszego odzwierciedlenia. W dobie zautomatyzowanych systemów kierowania ogniem pominięcie chociażby najmniejszych szczegółów jest nieracjonalne, gdyż oprogramowania komputerowe winno opracowywać się na podstawie pełnej wiedzy zarówno teoretycznej, jak i praktycznej. Dlatego też autor artykułu podjął się opisanie tego zagadnienia w szerszym ujęciu. W artykule przedstawiono analizę zależności kąta podniesienia od wzajemnego położenia celu i stanowiska ogniowego.

Kąt podniesienia (φ) jest sumą kąta celownika (C_o), kąta położenia celu p oraz poprawki kąta celownika na kąt położenia celu (ΔC) i wówczas :

$$\varphi = C_o + p + \Delta C \quad (1)$$

gdzie:

φ - kąt podniesienia;

C_o - kąt celownika do celu położonego na poziomie wylotu;

* mjr mgr Sławomir KRZYŻANOWSKI – Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych

p - kąt położenia celu;

ΔC - poprawka kąta celownika na kąt położenia celu.

Kąt położenia celu obliczany jest ze wzoru¹:

$$p = \frac{\Delta Z}{0,001D_T^C} \cdot 0,95 \quad (2)$$

gdzie:

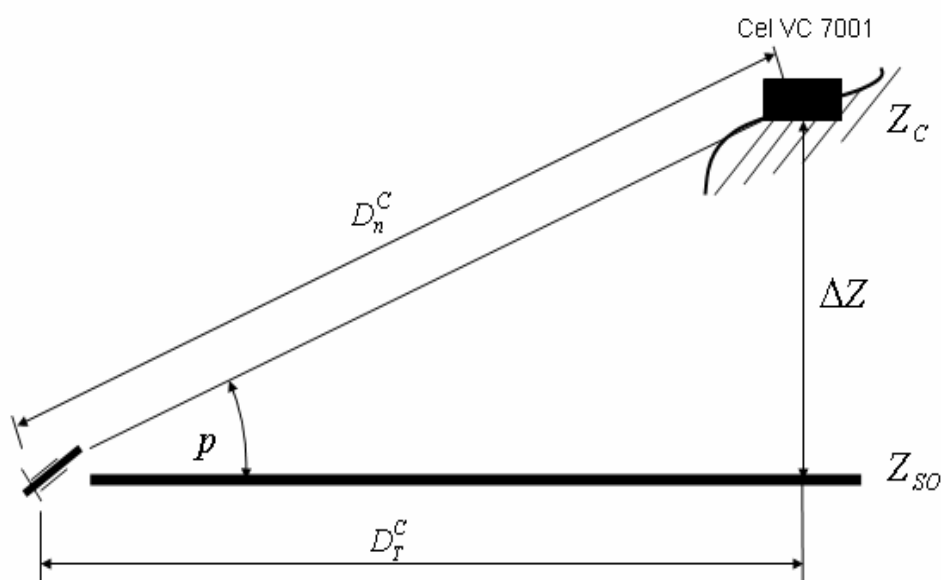
ΔZ - różnica wysokości celu i stanowiska ogniowego;

Z_C - wysokość celu n.p.m. w metrach; Z_{SO}

Z_B - wysokość stanowiska ogniowego (SO) n.p.m. w metrach;

D_T^C - odległość topograficzna do celu;

- 0,95 – współczynnik zamiany tysięcznej rzeczywistej na artyleryjską.



Rys. 1. Wzajemne położenie stanowiska ogniowego baterii i celu na płaszczyźnie pionowej

Źródło: Opracowanie własne

Ponieważ suma kąta położenia celu (p) i poprawki kąta celownika na kąt położenia celu (ΔC) stanowi poprawkę kąta podniesienia na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego ($\Delta\varphi$), wzór (1) możemy również zapisać:

$$\varphi = C_o + \Delta\varphi \quad (3)$$

¹ Instrukcja strzelania i kierowania ogniem pododdziałów artylerii naziemnej, Warszawa 1993, pkt. 124, s. 50.

gdzie:

- $\Delta\varphi = p + \Delta C$ - poprawka kąta podniesienia na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego.

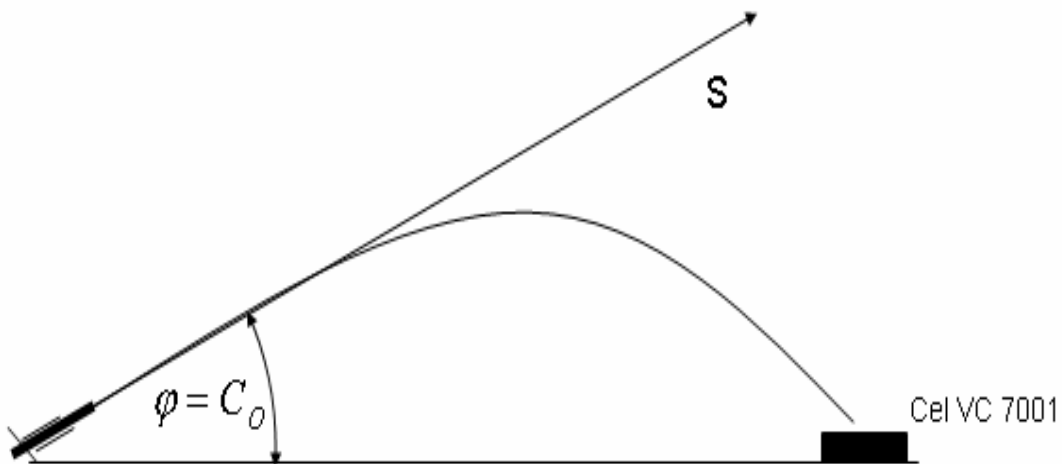
Zależności kątowe w początkowych elementach toru należy rozpatrywać w powiązaniu z położeniem celu w stosunku do stanowiska ogniowego oraz wartością kąta podniesienia.

Przy kącie podniesienia $\varphi < 45^\circ$ wyróżnia się następujące sytuacje:

- cel położony na poziomie wylotu lufy działa;
- cel położony powyżej poziomu wylotu lufy działa przy zachowaniu sztywności toru;
- cel położony znacznie powyżej poziomu wylotu lufy działa, gdy tor ulega ugięciu;
- cel położony znacznie poniżej poziomu wylotu lufy działa.

W sytuacji, gdy cel jest położony na poziomie wylotu lufy działa (rys. 2), kąt podniesienia lufy równa się kątowi celownika. W sytuacji takiej kąt położenia celu wynosi zero.

$$\varphi = C_o \quad \text{gdyż} \quad p = 0.$$



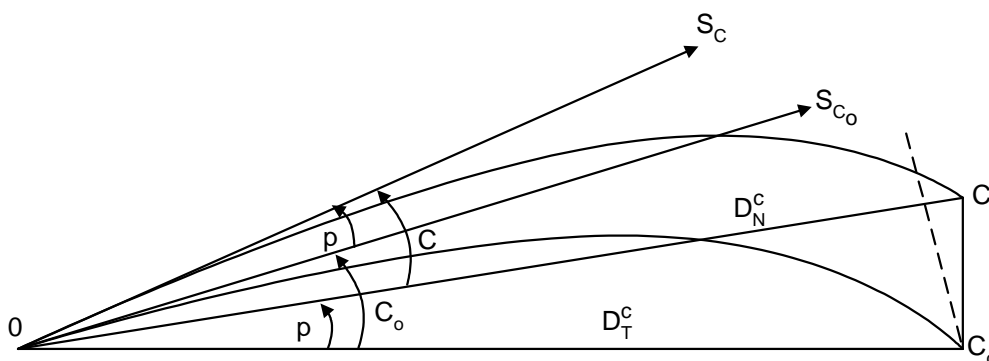
Rys. 2. Zależności kątowe, gdy cel znajduje się na poziomie wylotu lufy działa

Źródło: Opracowanie własne

W sytuacji, gdy cel jest położony powyżej poziomu wylotu lufy działa przy zachowaniu sztywności toru² (rys. 3), kąt podniesienia lufy obliczany jest ze wzoru:

$$\varphi = C_0 + p \quad (4)$$

W tym przypadku zakłada się, że odległość topograficzna do celu równa się odległości nachylonej do celu $D_T^C \cong D_n^C$.



Rys. 3. Zależności kątowe przy zachowaniu zasady sztywności toru

Źródło: Opracowanie własne

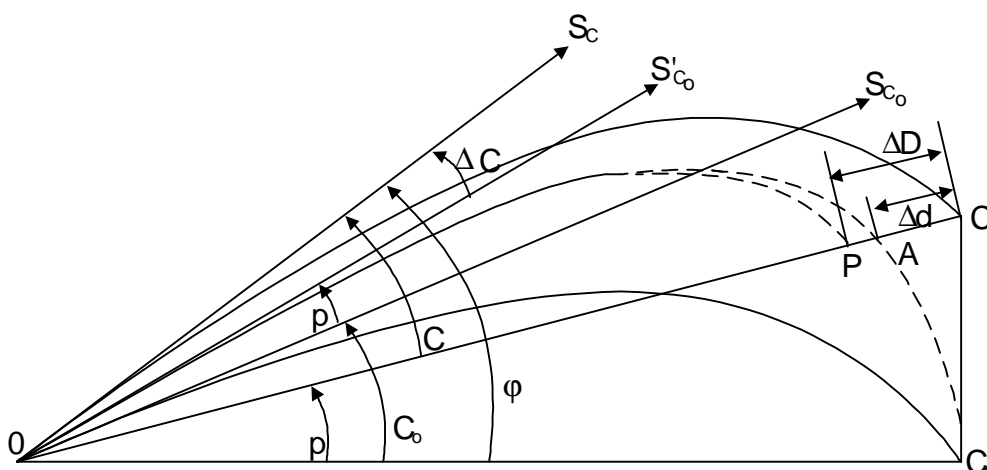
Przy dużych kątach podniesienia lufy podczas strzelania stromotorowego ($20^\circ < \varphi < 45^\circ$) i dużych kątach położenia celu stosowanie zasady sztywności toru pociągnęłoby za sobą znaczne błędy. W tych wypadkach konieczne jest wprowadzenie poprawki kąta celownika na kąt położenia celu ΔC , gdyż:

- przy dużych kątach rzutu, stosunkowo małej zmianie kąta podniesienia lufy φ odpowiada znaczna zmiana krzywizny toru;
- przy dużych kątach położenia celu odległość nachylona do celu D_n^C znacznie różni się od odległości poziomej (odległości topograficznej – D_T^C).

Sytuację, gdy cel położony jest znacznie powyżej poziomu wylotu lufy działa, a tor ulega ugięciu, przedstawia rys. 4.

Z rysunku 4 wynika, że jeżeli cel C znajduje się nad poziomem wylotu, to kąt położenia celu p jest dodatni. Odległość OC (D_n^C) jest większa od odległości OC_0 (D_T^C). O ile nie zmieniając nastawień celownika odpowiadających odległości topograficznej D_T^C , obróci się tor w płaszczyźnie strzelania o wartość kąta p , to nawet pod warunkiem, że tor zachowa całkowitą sztywność, pocisk nie doleci do celu o wielkość $\Delta d = \overline{OC} - \overline{OA}$ (gdyż $\overline{OA} = \overline{OC_0}$). W rzeczywistości jednak, w miarę powiększania się kąta rzutu, powiększa się krzywizna toru, w wyniku czego pocisk przetnie linię celu OC w punkcie P. Aby tor przeszedł przez punkt C, należy kąt celownika C_0 powiększyć o wielkość kąta ΔC .

² Zasada sztywności toru - tor nie zmienia swojej krzywizny przy obracaniu go wokół punktu wylotu lub przy jednakowych odległościach nachylonych kąty celownika są równe.



Rys. 4. Zależności kątowe przy ugięciu toru dla $\varphi < 45^\circ$ i $p > 0$

Źródło: Opracowanie własne

Stąd kąt podniesienia lufy φ równa się sumie kątów – kąta celownika do celu położonego na poziomie wylotu C_0 (odczytuje się z tabel strzelniczych), poprawki kąta celownika na kąt położenia celu ΔC i kąta położenia celu p .

Poprawka celownika na kąt położenia celu ΔC składa się z dwóch elementów:

- ΔC_1 – poprawki celownika na zmianę krzywizny (ugięcie) toru,
- ΔC_2 – poprawki celownika na różnicę odległości nachylonej i poziomej,

stąd:

$$\Delta C = \Delta C_1 + \Delta C_2 \quad (5)$$

Poprawka celownika na zmianę krzywizny (ugięcie) toru ΔC_1 określana jest wzorem Lendera (wzór 6). Przedstawia on zależność między kątem celownika C i kątem położenia celu p przy stałej odległości nachylonej³.

$$\sin 2C_0 \cdot \cos^2 p + \sin p = \sin(2C + p) \quad (6)$$

W takiej postaci równanie (6) zostało zastosowane przez profesora rosyjskiej Akademii artylerii z St. Petersburga F. Lendera. Do określenia poprawki celownika na zmianę krzywizny (ugięcie) toru ΔC_1 wykorzystujemy wzór⁴:

$$\Delta C_1 = C - C_0 \quad (7)$$

gdzie:

$$C = \frac{\arcsin(\sin 2C_0 \cdot \cos^2 p + \sin p) - p}{2} \quad (8)$$

³ Z. Olbrycht, S. Krzyżanowski, R. Piotrowski, *Podstawowe zagadnienia balistyki zewnętrznej i końcowej*, Toruń 2000, s. 39.

⁴ Tamże, s. 40.

$$\text{a dla } \theta_0 \geq 45^\circ \quad C = \frac{180^\circ - \arcsin(\sin 2C_0 \cdot \cos^2 p + \sin p) - p}{2} \quad (9)$$

Ze względu na różnicę odległości nachylonej i topograficznej do celu $D_n^C \neq D_T^C$, poprawkę celownika na różnicę odległości nachylonej i poziomej ΔC_2 określa się ze wzoru⁵:

$$\text{dla } \varphi < 45^\circ \quad \Delta C_2 = \frac{D_n^C - D_T^C}{\Delta X_{\text{tys}}} \quad (10)$$

$$\text{dla } \varphi \geq 45^\circ \quad \Delta C_2 = -\frac{D_n^C - D_T^C}{\Delta X_{\text{tys}}} \quad (11)$$

gdzie:

ΔX_{tys} - zmiana donośności przy zmianie celownika o 1 tys., odpowiadająca donośności, na której odbywa się strzelanie.

Odległość nachyloną do celu oblicza się z wykorzystaniem twierdzenia Pitagorasa:

$$D_n^C = \sqrt{(D_T^C)^2 + \Delta Z^2} \quad (12)$$

gdzie:

D_T^C - odległość topograficzna do celu;

ΔZ - różnica wysokości celu i stanowiska ogniowego.

W sytuacji, gdy **cel położony będzie znacznie poniżej poziomu wylotu lufy działa**, kąt położenia celu p będzie ujemny. Sytuację powyższą przedstawia rys. 5. W tym wypadku, jak i w poprzednio rozpatrzonym, OC jest większe od OC_0 . Można by było się spodziewać, że przy obniżaniu toru pocisk przetnie linię celu OC przed celem (strzał będzie za krótki o wielkość Δd), jednak z powodu zmiany kształtu toru (zmniejsza się jego krzywizna) pocisk przetnie linię celu OC w punkcie P za celem.

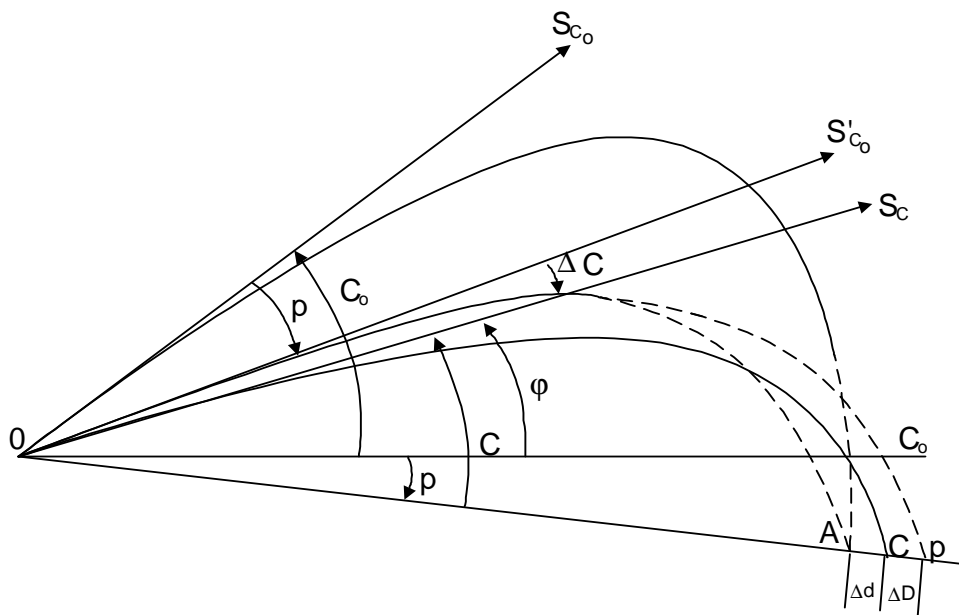
Aby uzyskać przecięcie toru w punkcie C , należy zmniejszyć kąt celownika C_0 o wartość ΔC , stąd:

$$\varphi = C_0 - \Delta C - p \quad (13)$$

Przy kącie podniesienia $\varphi \geq 45^\circ$ wyróżnia się następujące sytuacje położenia celu w stosunku do stanowiska ogniowego:

- a) cel położony powyżej poziomu wylotu lufy działa;
- b) cel położony poniżej poziomu wylotu lufy działa.

⁵ Tamże, s. 41.

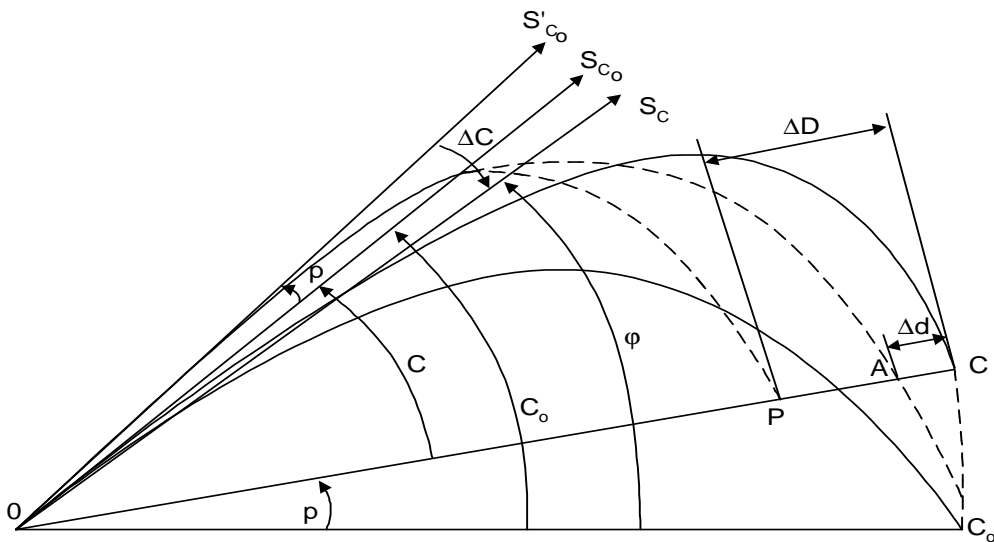


Rys. 5. Zależności kątowe przy ugięciu toru dla $\varphi < 45^\circ$ i $p < 0$

Źródło: Opracowanie własne

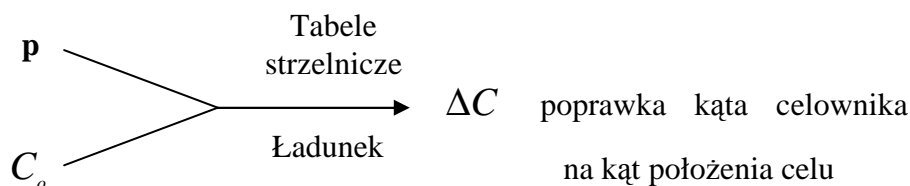
W sytuacji powiększania kąta podniesienia lufy φ zmniejsza się donośność oraz szybko wzrasta krzywizna toru i odwrotnie, przy zmniejszaniu kąta podniesienia donośność powiększa się, krzywizna toru zaś szybko opada. Dlatego, gdy $\varphi \geq 45^\circ$, poprawka ΔC ma znak przeciwny do znaku kąta położenia celu p oraz wielkość bezwzględna tej poprawki jest większa od wielkości bezwzględnej kąta p .

Sytuację, gdy cel znajduje się powyżej poziomu wylotu lufy, przedstawiono na rys. 6.

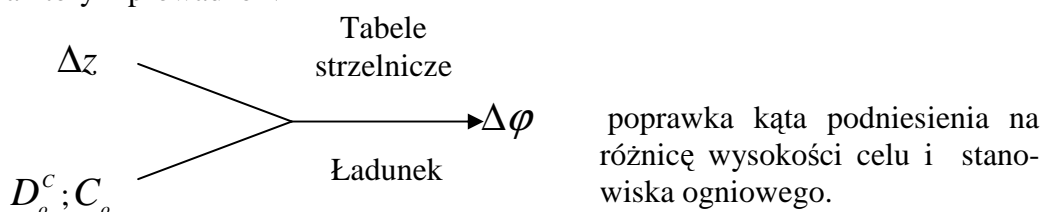


Rys. 6. Zależności kątowe przy ugięciu toru dla $\varphi \geq 45^\circ$ i $p > 0$

Źródło: Opracowanie własne.



Podczas strzelania przy kącie podniesienia $\varphi \geq 45^\circ$ (strzelanie górną grupą kątów) z tabel strzelniczych odczytuje się poprawkę kąta podniesienia na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego ($\Delta\varphi$) na podstawie różnicy wysokości (ΔZ) oraz donośności obliczonej (D_o^C) lub celownika jej odpowiadającego (C_o) dla danego ładunku, na którym prowadzone jest strzelanie.



Poprawkę kąta podniesienia na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego $\Delta\varphi$ można również **obliczyć wykorzystując końcowe elementy toru lotu pocisku** na podstawie wzoru⁷:

$$\text{dla } \varphi < 45^\circ : \quad \Delta\varphi = \frac{\Delta Z \cdot \text{ctg } \omega}{\Delta X_{\text{tys.}}} \quad (16)$$

$$\text{dla } \varphi \geq 45^\circ : \quad \Delta\varphi = -\frac{\Delta Z \cdot \text{ctg } \omega}{\Delta X_{\text{tys.}}} \quad (17)$$

gdzie :

ω - kąt upadku;

$\Delta X_{\text{tys.}}$ - zmiana donośności przy zmianie celownika o 1 tys., odpowiadająca donośności, na której odbywa się strzelanie.

Reasumując, niezależnie od wartości kąta podniesienia oraz położenia celu w stosunku do stanowiska ogniowego, poprawkę kąta celownika na kąt położenia celu można określać z wykorzystaniem następujących sposobów:

- wzoru Lendera;
- tabel strzelniczych;
- wzoru wykorzystującego końcowe elementy toru lotu pocisku.

⁷ Z. Olbrycht, S. Krzyżanowski, R. Piotrowski, *Podstawowe...* op. cit., s. 105.

Podczas określania nastaw z wykorzystaniem kalkulatorów artyleryjskich „SKART” nie ma potrzeby oddzielnego określania poprawki kąta podniesienia na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego. W procesie określania nastaw kalkulatorem artyleryjskim kąt podniesienia uwzględnia także poprawkę kąta podniesienia na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego. Obecnie stosowane zautomatyzowane systemy kierowania ogniem pozwalają określać nastawy do strzelania w bardzo krótkim czasie i z dużą dokładnością. Celowe byłoby jednak, aby każdy przyszły artylerzysta zdawał sobie sprawę z możliwości zwiększenia dokładności określania nastaw, znał dokładnie wszystkie zagadnienia teoretyczne związane z tym procesem, a także umiał je wykorzystać w praktyczny sposób w przypadku niemożności wykorzystania zautomatyzowanych systemów kierowania ogniem. Proces określania kąta podniesienia lufy, a w nim określanie poprawki kąta podniesienia na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego może wpłynąć w istotny sposób na dokładność określania nastaw, a tym samym na skuteczność wykonywanych zadań ogniowych.

LITERATURA

1. Olbrycht Z., Krzyżanowski S., Piotrowski R., *Podstawowe zagadnienia balistyki zewnętrznej i końcowej*, Wyższa Szkoła Oficerska im. gen. Józefa Bema, Toruń 2000.
2. *Instrukcja strzelania i kierowania ogniem pododdziałów artylerii naziemnej*, cz. I, MON, Warszawa 1986.
3. *Strzelanie i kierowanie artylerii naziemnej*, MON, Warszawa 1987.
4. *Tabele strzelnicze do 122 mm haubicy samobieżnej 2S1*, MON, Warszawa 1979.

Artykuł recenzował: pptk dr Józef LEDZIANOWSKI