



## PROPOZYCJA STOSOWANIA TABEL POPRAWEK NASTAW ARTYLERII NAZIEMNEJ NA RÓŻNICĘ WYSOKOŚCI CELU I STANOWISKA OGNIOWEGO

### *A PROPOSAL FOR USING FIELD ARTILLERY CORRECTION TABLES ON DIFFERENCE OF ALTITUDES OF A TARGET AND FIRING SITE*

Marian MENDEL, *mendelm@witu.mil.pl*, ORCID: 0000-0002-2232-8782

Tadeusz KUŚNIERZ, *kusnierzt@witu.mil.pl*, ORCID: 0000-0003-0288-878X

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Pr. St. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka  
*Military Institute of Armament Technology, 7 Wyszyńskiego St., 05-220 Zielonka, Poland*

DOI 10.5604/01.3001.0015.9895

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono propozycję poprawiania nastaw celownika dział artylerii naziemnej z powodu różnicy wysokości nad poziomem morza celu C i stanowiska ogniowego SO. Opisano podstawowe zasady zestawiania głównych tabel strzelniczych i pomocniczych tabel poprawek celownika na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego, zasady korzystania z tych tabel oraz konsekwencje obowiązującego dotychczas sposobu stosowania tabel poprawek. Obowiązująca od dziesiątek lat w artylerii naziemnej WP interpretacja tabel poprawek celownika na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego prowadzi w konsekwencji do błędnego ich stosowania. Ten błąd jest powielany od szkolenia funkcyjnych, poprzez obowiązujące instrukcje i metodyki, aż do praktycznego stosowania.

**Słowa kluczowe:** tabele strzelnicze, poprawki, różnica wysokości, dział, trajektoria, donośność, artyleria, kierowanie ogniem.

## 1. Wstęp

W artylerii naziemnej nastawy do strzelania obliczane są przez system kierowania ogniem (SKO) metodą rozwiązywania problemu głównego balistyki zewnętrznej lub z użyciem trady-

**Abstract:** The paper deals with a proposal for correction of settings of field artillery sights caused by different altitudes above the sea level of a target C and a firing site SO. The basic principles are described for preparation and use of main firing tables and additional tables, considering the difference of altitudes between the target and the firing site, together with consequences of using the existing methodology of application of the corrective tables. An interpretation of the sight corrective tables which has been used for many decades in the field artillery of the Polish army causes that they are used in a wrong way. This error is repeatedly present in the training of servicemen, in bidding instructions and methodologies, and in practical applications, as well.

**Keywords:** firing tables, corrections, difference of altitudes, artillery gun, trajectory, range, artillery, fire control.

## 1. Introduction

Firing settings of field artillery are calculated by a fire control system (FCS) through a method finding solution of the main problem of external ballistics, or us-

cyjnych tabel strzelniczych, odpowiednio przetworzonych i zapisanych w pamięci komputera SKO. W niedalekiej przeszłości głównym sposobem było obliczanie „ręczne” z użyciem tabel strzelniczych, a i obecnie każdy dowódca artylerzysta powinien znać ten sposób. Przy okazji opracowywania tabel strzelniczych dla moździerza RAK zauważono, że obowiązujące zasady poprawiania nastawy celownika z powodu różnicy wysokości celu i stanowiska ogniowego, obowiązujące od lat, prowadzą do powstawania błędów. To jest wykazane w niniejszym artykule oraz zostanie zaproponowany sposób poprawnego rozwiązania problemu.

W tabelach strzelniczych wyróżniamy tabele główne, służące do obliczenia nastaw do celu znajdującego się na poziomie stanowiska ogniowego i tabele pomocnicze, wśród których są tabele poprawek nastaw celownika na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego. Wartości zawarte w tych tabelach obliczane są poprzez rozwiązywanie problemu głównego balistyki zewnętrznej dla przyjętych warunków strzelania. Warunki te obejmują ustalone wartości parametrów topograficznych, balistycznych i meteorologicznych potrzebnych do rozwiązywania ww. problemu, które nazwano tabelarycznymi (normalnymi) warunkami strzelania. Podczas strzelania w rzeczywistych warunkach stosuje się rachunek poprawkowy wykorzystując odpowiednie dane zawarte w tabelach głównych i tabelach pomocniczych. W dalszej części artykułu będą używane między innymi takie pojęcia, jak donośność i odległość topograficzna, na które zwrócono uwagę, bo nie zawsze są one poprawnie interpretowane. Dla przypomnienia podano niżej ich definicje.

Odległość topograficzna  $D_T$ : to odległość w płaszczyźnie poziomej od stanowiska ogniowego do celu lub rzeczywistego punktu uderzenia pocisku. Płaszczyzna pozioma związana jest z pozycją działa. Jeżeli w rzeczywistym terenie cel lub punkt uderzenia pocisku jest po-

ing traditional firing tables which are suitably transformed and recorded in computer's memory. It was not far away when a main method was based on a manual calculating method using the firing tables, and at present time each artillery commander has to be familiar with it. When the firing tables were prepared for RAK mortar it was noticed that the existing principles for correcting the settings of the sight due to different heights of the target and the firing site can provide wrong results. This question is presented in the paper with a proposal of a solution.

The firing tables can be divided on the main ones, used to calculate the settings for the target positioned on the same level as the firing site, and the additional ones comprising among others the corrections of settings at different levels of target and firing site. Values included in these tables are calculated by finding solution of the main external ballistic problem at given conditions of firing. These conditions include determined values of topographic, ballistic and meteorologic parameters needed for solution of the above mentioned problem, which were named as tabular (normal) firing conditions. Different corrections are calculated during fire in real conditions by using data included in the main and additional tables. In the following parts of the paper the notions of the range and topographic distance will be used to focus the attention on them as they are not properly interpreted in some cases. Definitions of them are given below for recollection.

Topographic distance  $D_T$  is the distance in the horizontal plane between the firing site and the target, or the real point of projectile impact. The horizontal plane is connected with position of gun. If the target or projectile impact point in real terrain is

wyżej lub poniżej tej płaszczyzny, to  $D_T$  mierzona jest do rzutów prostopadłych tych punktów na tę płaszczyznę. Jest to wielkość, którą można praktycznie zmierzyć, bo punkty stanowiska ogniowego i celu lub uderzenia pocisku fizycznie istnieją.

Donośność D: to wirtualna wartość odległości poziomej od stanowiska ogniowego do hipotetycznego punktu uderzenia pocisku na poziomie działa, która została obliczona dla warunków tabelarycznych i ustalonego kąta podniesienia. W głównych tabelach strzelniczych dwie pierwsze lewe kolumny zawierają pary: donośność i odpowiadająca jej nastawa celownika (kąta podniesienia). Donośność jest wielkością mierzalną tylko wtedy, gdy strzał zostanie oddany w warunkach tabelarycznych i warunki te zostaną zachowane na całej trajektorii lotu pocisku. Taki przypadek jest mało prawdopodobny, a nawet gdyby zaistniał, to nie mamy o tym wiedzy.

Te dwie wielkości będą miały kluczowe znaczenie w objaśnieniu istoty poprawki kąta podniesienia (celownika) na różnicę wysokości celu i działa oraz zasad (algorytmu) stosowania tej poprawki w obliczanych nastawach.

## **2. Istota poprawki celownika na różnicę wysokości celu i działa**

Jak wspomniano we wstępie, tabele strzelnicze zawierają wyniki obliczeń uzyskane poprzez rozwiązanie problemu głównego balistyki zewnętrznej dla warunków tabelarycznych. Podstawowymi kolumnami tabel są: donośność  $D$  i nastawa celownika  $C$ . Dla większości typów celowników nastawa celownika  $C$  jest równa kątowi podniesienia lufy działa  $\varphi$ . W niektórych celownikach, np. moździerzowych, nastawa celownika nie odzwierciedla kąta podniesienia. Dla przypomnienia: kąt podniesienia  $\varphi$  jest

placed above or below of the plane then  $D_T$  is measured to perpendicular projections of these points into the plane. It is then a parameter which can be measured in reality as the points of the firing site and target, or projectile's impact, really exist.

Range D is a virtual value of the horizontal distance from the firing site to a hypothetical point of projectile impact on the level of gun which was calculated for tabular conditions at given angle of elevation. Two of first left columns of the main firing tables include the pairs of the range and the corresponding setting of the sight (angle of elevation). The range can be measured only in this case when the shot is fired at the tabular conditions which are preserved for the whole trajectory of projectile. Such a case is almost unlikely and even if it could happen we did not know about it.

These two values have a key meaning in clarification of the essence of the (sighting) elevation angle correction for different heights of target and gun, and the principles (algorithms) for application of the correction in calculated settings.

## **2. Essence of Sight Correction for Different Altitudes of Target and Gun**

As it was mentioned in the introduction the firing tables contain the results of calculations received at solution of the main problem of the external ballistics for tabular conditions. The tables include following main columns: range  $D$  and setting of the sight  $C$ . For the most types of the sights the setting of the sight  $C$  equals to the gun barrel elevation angle  $\varphi$ . For some sights the setting of the sight does not reflect the angle of elevation. For recollection, the elevation angle  $\varphi$  is an angle in the vertical plane between the hori-

to kąt w płaszczyźnie pionowej pomiędzy poziomem a osią przewodu lufy. W dalszej części artykułu będzie używany zamiennie - celownik C lub kąt podniesienia  $\varphi$  oraz poprawka celownika  $\Delta C_{\Delta Z}$  lub poprawka kąta podniesienia  $\Delta\varphi_{\Delta Z}$  na różnicę wysokości celu i SO przy założeniu, że nastawa celownika jest równa kątowi podniesienia. Na rys. 2.1 przedstawiono interpretację graficzną poprawki  $\Delta C_{\Delta Z}$ .

Pierwszym krokiem przy zestawianiu głównych tabel strzelniczych jest utworzenie kolumny donośności z ustalonym skokiem, np. 200 m. Następnie dla tych donośności oblicza się kąty podniesienia  $\varphi'$ , rozwiązując główny problem balistyki zewnętrznej w warunkach tabelarycznych dla celu znajdującego się na poziomie SO. Poprawki celownika  $\Delta C_{\Delta Z}$  na różnicę wysokości celu C i SO określa się w ten sposób, że dla każdej donośności  $D_T$  (kąta podniesienia  $\varphi'$ ) (rys. 2.1) w ustalonym zakresie, przyporządkowuje się z ustalonym skokiem różnicę wysokości celu i SO (np. w zakresie od -1000 m do 1000 m co 50 m), oblicza się kąt podniesienia  $\varphi$  taki, żeby trajektoria lotu pocisku  $T_p$  zawierała punkt celu C leżący na określonej wysokości poniżej lub powyżej SO. Wynik otrzymuje się poprzez rozwiązanie problemu głównego balistyki w warunkach tabelarycznych, dla celu nie leżącego na poziomie działa. Ostatecznie poprawka celownika na różnicę wysokości celu C i stanowiska ogniowego SO wyraża się wzorem:

$$\Delta C_{\Delta Z} = \Delta\varphi = \varphi - \varphi'$$

Trajektoria  $T_p$  zawierająca cel C przecina płaszczyznę poziomą na wysokości SO w punkcie  $C_p$  w odległości topograficznej  $D_T'$ . Punkt  $C_p$  będzie pełnił rolę celu pomocniczego, do którego będą obliczane nastawy w wa-

zontal plane and the axis of the barrel bore. In the following parts of the paper the interchangeable terms will be used for such terms as the sighting C and the elevation angle  $\varphi$ , or the sight correction  $\Delta C_{\Delta Z}$  or correction of the elevation angle  $\Delta\varphi_{\Delta Z}$  due to different altitudes of target and SO (firing site) assuming that the setting of the sight is equal to the angle of elevation. Fig. 2.1 shows a graphical interpretation of correction  $\Delta C_{\Delta Z}$ .

Arrangement of the column of the ranges with a specific increase, e.g. by 200m, is a first step at composing the main firing tables. In the next stage the angles of elevation  $\varphi'$  are calculated by solution of the main problem of the external ballistics at tabular conditions for the target placed on the level of SO. Corrections of the sight  $\Delta C_{\Delta Z}$  for difference of altitudes of C and SO are determined for each range  $D_T$  (elevation angle  $\varphi'$ ) (Fig. 2.1) within assumed limits by finding to it a specific difference of target and SO altitudes with the specific increase (e.g. covering altitudes from -1000 m to 1000 m by 50 m) and calculating such angle of elevation  $\varphi$  at which the projectile's trajectory  $T_p$  contains the point of target C placed at a specific altitude above or below SO. The result is received through the solution of the main ballistic problem at tabular conditions for the targets placed beyond the level of the gun. Finally, the correction of the sight due to difference of altitudes of target C and firing site SO is expressed by relation:

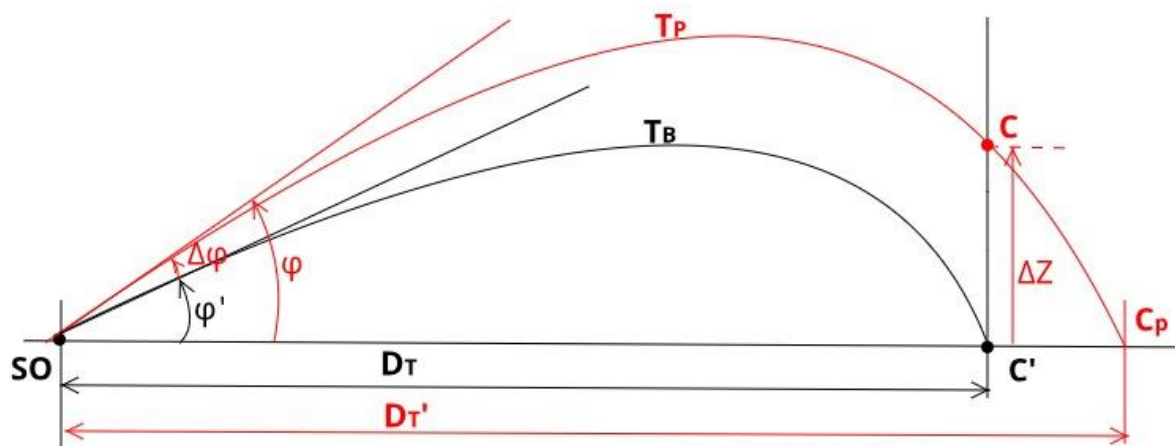
Trajektory  $T_p$  containing the target C crosses the horizontal plane on the height of SO in point  $C_p$  and at topographic distance  $D_T'$ . Point  $C_p$  will play a role of an auxiliary target for which the settings will be calcu-

runkach rzeczywistych, co w efekcie da trajektorię przebiegającą blisko celu (w skrajnym przypadku trafimy w cel).

Należy podkreślić, że wszystkie obliczenia wykonywane są dla warunków tabelarycznych strzelania z odstępstwami dotyczącymi pionowego położenia celu w stosunku do SO. Warunek położenia celu na poziomie jest wymagany dla obliczeń niezbędnych do zestawienia głównych tabel strzelniczych.

lated at real conditions what produces a trajectory running near the target (at an extreme case the target can be hit).

It has to be stressed that all calculations are carried out for tabular firing conditions with declinations concerning the vertical position of the target against SO. The condition of target horizontal position is required to make necessary calculations for preparation of main firing tables.



**Rys. 2.1. Interpretacja graficzna poprawki celownika  $\Delta C_{\Delta Z}$  na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego SO**

**Fig. 2.1. Graphical interpretation of sight correction  $\Delta C_{\Delta Z}$  for different altitudes of the target and the firing site SO**

### **3. Stosowanie poprawek celownika na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego w procesie obliczania nastaw do strzelania**

Podstawową zasadą obowiązującą przy stosowaniu poprawek jest użycie ich w takich samych warunkach dla jakich zostały obliczone. Poprawki celownika na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego należy więc stosować dla tabelarycznych warunków balistycznych i meteorologicznych, bo dla takich zostały obliczone i w tabelach zestawione. Problem w tym, że w rzeczywistości trudno oczekiwać, aby na całej trajektorii takie warunki panowały. Można jednak

### **3. Application of Corrections for Different Altitudes of Target and Firing Site at Calculation of Fire Settings**

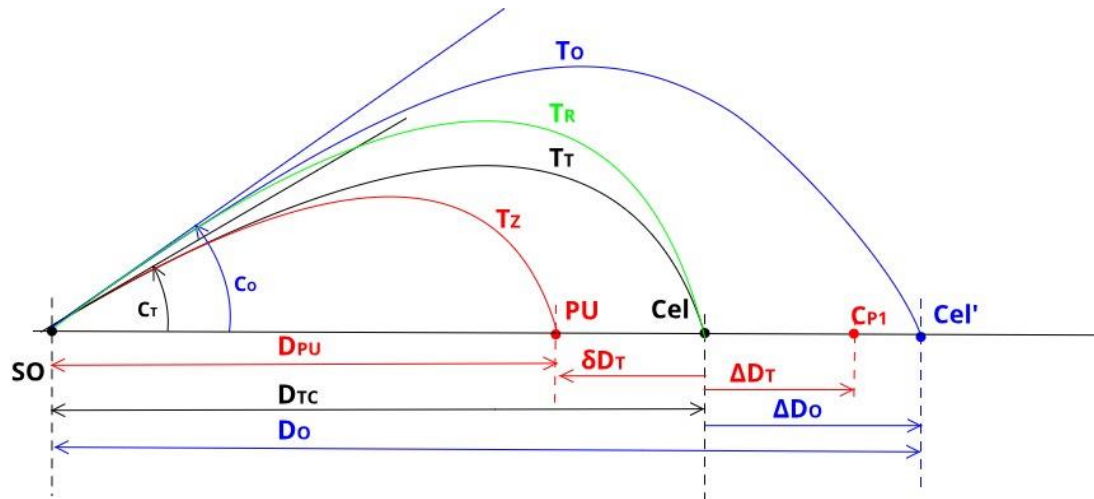
The main principle which has to be followed at application of correction is to use them in the same conditions for which they were prepared. Hence, the sighting corrections on difference of altitudes for the target and firing site have to be used at tabular ballistic and meteorological conditions for which they were calculated and arranged into the table. The question is that it can be hardly expected in reality that the same conditions exist for the whole trajec-

pomierzyć rzeczywiste warunki i obliczyć odchyłki od wartości tabelarycznych, a następnie korzystając z głównych tabel strzelniczych uwzględnić te odchyłki w obliczeniach nastaw do strzelania. W związku z tym, że różnica wysokości celu i SO ma wpływ na donośność, w dalszej części artykułu zajmiemy się tylko problemem poprawek donośności. Podstawowymi kolumnami w głównych tabelach strzelniczych są: kolumny donośności i celowników (wyrażonych w przyjętej jednostce miary kąta). Do tych kolumn dołożono kolumny, w których zapisano wartości poprawek, umożliwiające obliczenie zmiany donośności powstałe wskutek niezgodności rzeczywistych warunków strzelania z warunkami tabelarycznymi. W procesie tworzenia tabel strzelniczych zmienia się o ustaloną wartość poszczególne wartości tabelaryczne przy zachowaniu pozostałych warunków tabelarycznych i rozwiązuje się główny problem balistyki zewnętrznej. W ten sposób uzyskujemy donośność dla warunków rzeczywistych dla poszczególnych czynników. Różnica donośności dla warunków tabelarycznych i donośności uzyskanej dla warunków rzeczywistych w tabelach nazwano poprawką tabelaryczną na ustaloną odchyłkę warunków strzelania  $\Delta X_{\text{war}} = D_{\text{Tab}} - D_{\text{R}}$ , gdzie pod indeks dolny „war” podstawiane jest oznaczenie rzeczywistego warunku strzelania.

W dotychczasowych rozważaniach była obliczana donośność dla przyjętych warunków strzelania, a w rzeczywistości problem polega na tym, że znamy odległość topograficzną do celu  $D_{\text{TC}}$  (rys. 3.1) oraz odchyłki od warunków tabelarycznych i musimy znaleźć taki celownik  $C_0$  (kąt podniesienia  $\varphi$ ), aby pocisk trafił w cel na odległości  $D_{\text{TC}}$ .

tory. But the real conditions can be measured to calculate deviations from the tabular values and next to use the main firing tables for considering these deviations in calculations of the fire settings. Because the difference of altitudes of target and SO affects the range, then in the further part of the paper is presented only the question of range corrections. The main columns in the main firing tables are the columns of ranges and sightings (expressed in accepted unit of angle measure). These columns were added by columns where the values of corrections were recorded for calculation of changes enabling determination of range changes due to discrepancies between the real and tabular conditions of firing. Particular tabular parameters are changed by a set value in the process of preparing the firing tables whereas the remaining tabular conditions remain unchanged at the solution of the external ballistic main problem. In this way the range is received for real conditions and particular factors. The difference of the range between tabular conditions and in real conditions was named in the tables as the tabular correction for a set deviation of firing conditions  $\Delta X_{\text{war}} = D_{\text{Tab}} - D_{\text{R}}$ , where the bottom index „war” stands for the real condition of firing.

The range for accepted conditions of firing was considered up to this moment, but a real question is that we know the topographic distance to the target  $D_{\text{TC}}$  (Fig. 3.1) and deviations from the tabular conditions and we have to find out such sighting  $C_0$  (elevation angle  $\varphi$ ) at which the projectile can hit the target at distance of  $D_{\text{TC}}$ .



**Rys. 3.1. Interpretacja graficzna obliczania nastaw do strzelania dla warunków rzeczywistych, gdy cel jest na poziomie SO**

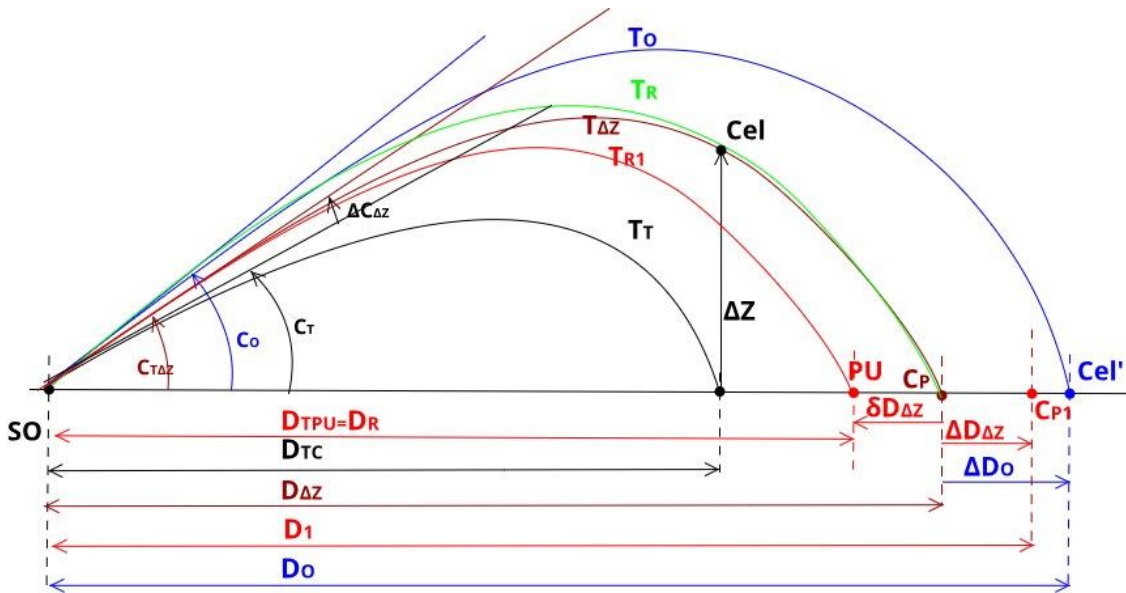
**Fig. 3.1. Graphical interpretation of calculation of fire settings for real conditions when the target is on the level of SO**

Problem rozwiązujemy metodami iteracyjnymi (lub innymi sposobami), z użyciem wyspecjalizowanych przyrządów, stosowanych w artylerii naziemnej. Na rys. 3.1 przedstawiono interpretację graficzną wyznaczania nastawy celownika podczas strzelania w warunkach rzeczywistych (niezgodnych z tabelarycznymi), gdy cel jest na poziomie SO. Celem tego przedsięwzięcia jest znalezienie takiej trajektorii lotu pocisku  $T_R$ , która w warunkach rzeczywistych przebiega blisko celu z założoną dokładnością. W warunkach normalnych dla odległości  $D_{TC}$  po ustawieniu lufy pod kątem  $C_T$ , odczytanym z głównych tabel strzelniczych, otrzymalibyśmy oczekiwaną trajektorię  $T_T$ . Jednak wskutek odchyłek rzeczywistych warunków strzelania od tabelarycznych, pocisk uderza na przykład w punkcie PU uchylając się w donośności o wielkość  $\delta D_T$ . Korzystając z zamieszczonych w tabelach głównych współczynników poprawkowych dla donośności  $D_{TC}$ , umiemy obliczyć bez oddawania strzału wielkość odchyłki w donośności  $\delta D_T$ , spowodowaną rzeczywistymi warunkami strzelania. Żeby skompensować tę odchyłkę należy poprawić donośność  $D_{TC}$  o wartość  $\Delta D_T = -\delta D_T$ . W ten sposób uzyskujemy pierwsze przybliżenie donośności  $D_1 = D_{TC} + \Delta D_T$ .

The problem can be solved by iterating methods (or other ones) using specialised tools applied in the field artillery. Fig. 3.1 shows graphical interpretation of determination of sight settings at firing in real conditions (different than tabular ones) when the target is on the level of SO. The objective of it is to find out such projectile trajectory  $T_R$  which runs near the target with accepted accuracy in real conditions. In normal conditions for distance  $D_{TC}$  and the barrel set under the angle  $C_T$ , which was read out from the main firing tables, we would receive expected trajectory  $T_T$ . But due to deviations of real fire conditions from the tabular ones the projectile hits for instance at the point PU declining in the range by the value of  $\delta D_T$ . Using the corrective coefficients included in the main tables for the range  $D_{TC}$  we can calculate the value of range declination  $\delta D_T$  caused by the real conditions of firing. In order to compensate the deviation, the range  $D_{TC}$  has to be corrected by value  $\Delta D_T = -\delta D_T$ . In this way we get the first approximation of the range  $D_1 = D_{TC} + \Delta D_T$ . The corrective coefficients are received in

Współczynniki poprawkowe uzyskuje się w procesie tworzenia tabel poprzez określenie wpływu zmian poszczególnych czynników na donośność. Różnicę donośności dla warunków tabelarycznych i dla warunków rzeczywistych nazwano poprawką donośności na określony warunek strzelania  $\Delta D_{\text{war}} = D_{\text{tab}} - D_{\text{R}}$ . Proces obliczenia celownika polega na znalezieniu metodą kolejnych przybliżeń takiej donośności  $D_0$  (w warunkach tabelarycznych), dla której  $D_{\text{TC}} \approx D_0 - \Delta D_0$ . Mamy wtedy dla warunków tabelarycznych trajektorię lotu pocisku  $T_0$ , która w warunkach rzeczywistych przyjmuje kształt trajektorii  $T_{\text{R}}$  i przebiega z wymaganą dokładnością w pobliżu celu.

the process of preparation of the tables by determination of an influence of particular factors into the range. The difference of ranges for tabular and real conditions was named as the range correction for a specific condition of firing  $\Delta D_{\text{war}} = D_{\text{tab}} - D_{\text{R}}$ . Process of calculating the sighting is based on finding such a range  $D_0$  (in tabular conditions) by the method of consecutive approximations for which  $D_{\text{TC}} \approx D_0 - \Delta D_0$ . Then, we have for tabular conditions the projectile trajectory  $T_0$  which in real conditions becomes trajectory  $T_{\text{R}}$  and runs near the target with the required accuracy.



**Rys. 3.2. Interpretacja graficzna poprawnej metody obliczania nastaw do strzelania dla warunków rzeczywistych, gdy cel jest powyżej poziomu SO**

**Fig. 3.2. Graphical interpretation of calculation of fire settings for real conditions when the target is above the level of SO**

Tak jest w przypadku, gdy cel znajduje się na poziomie SO. Powyższe rozważania zostaną wykorzystane przy omawianiu stosowania poprawki celownika na różnicę wysokości celu i SO, bo istota problemu jest prawie identyczna.

W przypadku, gdy wysokość celu i SO są różne, to szukamy takiej trajektorii, która

It is in the case when the target is on the level of SO. The above considerations will be used to discuss the application of the sighting correction at different target and SO altitudes, as the essence of the problem is similar.

In the case when the altitudes of target and SO are different we look for a trajectory



przechodzi przez cel położony powyżej lub poniżej poziomu SO. Bezpośrednio takie poszukiwania można zrealizować rozwiązując problem główny balistyki zewnętrznej. Ponieważ tabele główne zestawione są dla celu będącego na poziomie SO, poszukiwania trajektorii lotu pocisku muszą być przeprowadzone na poziomie SO. Interpretacja graficzna tego procesu dla celu leżącego powyżej SO przedstawiono na rys. 3.2. Mamy tu przypadek, gdy cel leży na wysokości  $\Delta Z$  nad poziomem SO w odległości  $D_{TC}$ . W pierwszej kolejności należy zmodyfikować zadanie tak, żeby można było szukać trajektorii końcowej w identyczny sposób jak dla celu leżącego na poziomie SO. Najpierw dla celownika  $C_T$ , odpowiadającego donośności  $D_{TC}$ , z tabel pomocniczych odczytujemy poprawkę celownika  $\Delta C_{\Delta Z}$  na różnicę wysokości  $\Delta Z$  celu i stanowiska ogniowego, dodajemy ją do celownika  $C_T$  i otrzymamy celownik  $C_{T\Delta Z}$ , który dla warunków tabelarycznych wyznacza trajektorię  $T_{\Delta Z}$  zawierającą „Cel”, a na poziomie SO wyznaczającą punkt  $C_P$ . Punkt ten potraktujemy jako cel pozorny, dla którego znajdziemy trajektorię  $T_R$  dla rzeczywistych warunków strzelania. W dalszym ciągu zadanie sprowadza się do obliczenia  $D_o$  metodą kolejnych przybliżeń, identycznie jak dla przypadku gdy cel leży na poziomie SO.

Algorytm 3.1 uwzględniania poprawki celownika na różnicę wysokości celu i SO:

1. Określić odległość topograficzną do celu  $D_T^C$  i różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego  $\Delta Z$ .
2. Z głównych tabel strzelniczych pobrać celownik  $C_T$  odpowiadający donośności  $D$  równej  $D_T^C$ .
3. Pobrać poprawkę celownika na położenie celu względem SO jednym z dwóch sposobów:
  - a) z tabeli poprawek celownika na kąt położenia celu poprzez pobra-

ry which runs through the target placed above or below the level of SO. The searching can be realised by solution of the main problem of external ballistics. Because the main tables are configured for the target placed on the level of SO, then the projectile's trajectory has to be searched on the level of SO. Graphical interpretation of this process for the target placed above SO is presented in Fig. 3.2. where we have the case when the target is placed at the height  $\Delta Z$  above SO level at distance  $D_{TC}$ . In the first step the assignment has to be modified in a way suitable for searching the final trajectory in the same way as for the target positioned on the SO level. First, for the sighting  $C_T$  corresponding to the range  $D_{TC}$  we can read out from the additional tables the sighting correction  $\Delta C_{\Delta Z}$  for difference of altitudes  $\Delta Z$  between the target and firing site to add it to the sighting  $C_T$  and get the sighting  $C_{T\Delta Z}$ , which for tabular conditions determines trajectory  $T_{\Delta Z}$  containing the „Target” and on the SO level the point  $C_P$ . We can treat this point as an artificial target for which we will find out trajectory  $T_R$  for the real conditions of firing. In the next steps the assignment is reduced to calculation of  $D_o$  by a method of successive approximations, identically as for the case when the target is positioned on SO level.

Algorithm 3.1 takes into account the sighting corrections for different altitudes of target and SO:

1. Identify the topographic distance to the target  $D_T^C$  and difference of altitudes  $\Delta Z$  of target and firing site.
2. Take from the main firing tables the sighting  $C_T$  corresponding to the range  $D$  equal to  $D_T^C$ .
3. Take the sighting correction for position of the target against SO by one of two methods:

nie wartości  $\Delta C_{kp}$  na przecięciu wiersza zawierającego kąt położenia celu  $p$  i kolumny zawierającej celownik  $C_T$ , a następnie obliczyć poprawkę celownika na kąt położenia celu ze wzoru  $\Delta C_{\Delta Z} = p + \Delta C_{kp}$ ;

- b) z tabeli poprawek celownika na różnicę wysokości celu i SO poprzez pobranie wartości poprawki celownika  $\Delta C_{\Delta Z}$  na przecięciu wiersza zawierającego różnicę wysokości  $\Delta Z$  i kolumny zawierającej celownik  $C_T$ .

4. Obliczyć celownik  $C_{T\Delta Z} = C_T + \Delta C_{\Delta Z}$ .
5. Dla celownika  $C_{T\Delta Z}$  odczytać z tabel głównych donośność  $D_{\Delta Z}$ , która jest bazą do obliczenia donośności obliczonej  $D_o$  spełniającej warunek:

$$D_{\Delta Z} \approx D_o - \Delta D_{sun},$$

gdzie  $\Delta D_{sun}$  jest sumaryczną poprawką donośności na rzeczywiste warunki strzelania obliczoną dla donośności  $D_o$ .

6. Znaleźć metodą kolejnych przybliżeń taką donośność  $D_o$  (w warunkach tabelarycznych), dla której  $D_{\Delta Z} \approx D_o - \Delta D_{sun}$ .

Zdaniem autorów artykułu powyższy algorytm jest poprawny, ponieważ kolejność prowadzonych obliczeń ma logiczne uzasadnienie.

#### 4. Aktualnie stosowana metoda implementacji poprawek celownika na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego w procesie obliczania nastaw do strzelania

W tym punkcie wykazano, że obecnie stosowana w artylerii naziemnej metoda uwzględniania poprawki celownika na różnicę wysokości celu i SO obciążona jest błędami

- a) From the table of sighting corrections for the angle of target position by taking the value of  $\Delta C_{kp}$  at the crossing of the line containing the angle of target's position  $p$  with the column containing the sighting  $C_T$ , and next calculate the sighting correction due to the target position angle form  $\Delta C_{\Delta Z} = p + \Delta C_{kp}$ ;

- b) From the sighting correction table for different altitudes of target and SO by taking the value of the sighting correction  $\Delta C_{\Delta Z}$  on the crossing of the line containing the difference of altitudes  $\Delta Z$  with the column containing the sighting  $C_T$ .

4. Calculate the sighting  $C_{T\Delta Z} = C_T + \Delta C_{\Delta Z}$ .
5. For the sighting  $C_{T\Delta Z}$  read out from the main table the range  $D_{\Delta Z}$  which is the base for calculating the calculated range  $D_o$  complying condition:

$$D_{\Delta Z} \approx D_o - \Delta D_{sun},$$

where  $\Delta D_{sun}$  is a summary range correction regarding the real conditions of firing calculated for the range  $D_o$ .

6. Find out by the method of successive approximations such range  $D_o$  (in tabular conditions) for which  $D_{\Delta Z} \approx D_o - \Delta D_{sun}$ .

The authors of the paper represent the opinion that the above algorithm is correct as the order of performed calculations has a logical background.

#### 4. Currently Used Method for Implementation of Sighting Corrections on Difference of Target and Firing Site Altitudes in the Process of Preparation of Fire Settings

In this chapter it is proved that the currently used method by the field artillery for taking into account the sighting corrections caused by different altitudes of target and

dem. Interpretacja graficzna tej metody jest zobrazowana na rys. 4.1. Prześledźmy algorytm tej metody posługując się rys. 4.1.

**Algorytm 4.1**

1. Określić odległość topograficzną do celu  $D_{TC}$  i różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego  $\Delta Z$ . Odległość  $D_{TC}$  która jest bazą do obliczenia donośności obliczonej  $D_o$  spełniającej warunek:

$$D_{TC} \approx D_o - \Delta D_o,$$

gdzie  $\Delta D_o$  jest sumaryczną poprawką donośności na warunki strzelania obliczoną dla donośności  $D_o$ .

2. Obliczyć donośność obliczoną  $D_o$  spełniającą warunek z pkt. 1. Uzyskujemy w ten sposób trajektorię lotu pocisku  $T_o$  dla warunków normalnych, która w warunkach rzeczywistych przyjmuje kształt trajektorii  $T_R$ , która kończy się punktem uderzenia pocisku na odległości topograficznej  $D_{TC}$ .

SO is burdened by an error. Graphical interpretation of this method is presented in Fig. 4.1. Let's follow the algorithm of the method using Fig. 4.1.

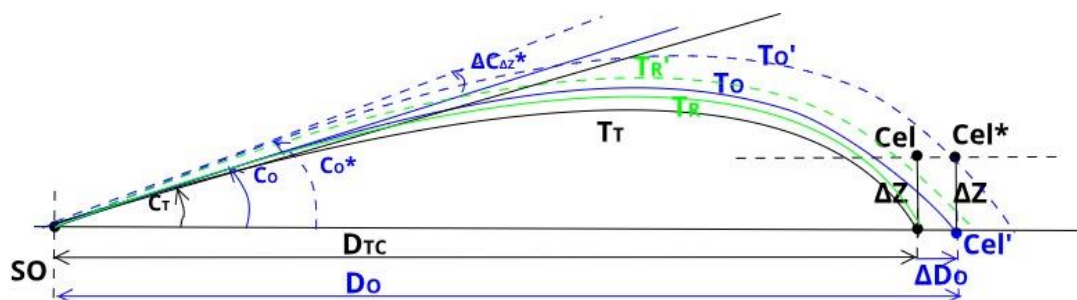
**Algorithm 4.1**

1. Determine topographic distance  $D_{TC}$  to the target and difference of altitudes  $\Delta Z$  of the target and firing site. Distance  $D_{TC}$  is the basis for calculation of calculated range  $D_o$  complying the condition:

$$D_{TC} \approx D_o - \Delta D_o,$$

where  $\Delta D_o$  is a summarised correction of the range on the firing conditions calculated for the range  $D_o$ .

2. Calculate the calculated range  $D_o$  meeting condition from point 1. In this way we get a trajectory of projectile  $T_o$  for normal conditions, which takes a form of trajectory  $T_R$ , and ends in the point of projectile's impact at topographic distance  $D_{TC}$ .



**Rys. 4.1. Interpretacja graficzna obecnie stosowanej metody obliczania nastaw do strzelania dla zaburzonych warunków tabelarycznych, gdy cel jest powyżej poziomu SO**

**Fig. 4.1. Graphical interpretation of currently used method for calculation of fire settings for disturbed tabular conditions when the target is above the level of SO**

3. Dla celownika  $C_o$  (donośności  $D_o$ ) i różnicy wysokości  $\Delta Z$  pobrać z pomocniczych tabel (poprawek celownika na różnicę wysokości celu i SO) poprawkę celownika  $\Delta C_{\Delta Z}^*$ . W oznaczeniach znak „\*” umieszczony na końcu sygnalizuje, że wielkość, której to oznaczenie dotyczy nie ma logicznego uzasadnienia ponieważ poprawki na różnicę wysokości celu C i SO zostały określone dla tabelarycznych warunków strzelania.

3. For the sighting  $C_o$  (range  $D_o$ ) and difference of altitudes  $\Delta Z$  take from the additional tables (sighting corrections for the difference of altitudes of target and SO) the sighting correction  $\Delta C_{\Delta Z}^*$ . The mark „\*” placed at the end of designations means that the value of considered designation is not logically backgrounded as the corrections for difference of altitudes of target C and SO were determined for

4. Do celownika  $C_0$  (donośność  $D_0$  i trajektoria  $T_0$ ) dodaje się odczytaną poprawkę  $\Delta C_{\Delta Z}^*$ . Otrzymujemy w ten sposób trajektorię  $T_0'$  (dla warunków nie wiadomo jakich, ponieważ  $D_0$  jest określone dla warunków rzeczywistych, natomiast poprawka na różnicę wysokości dla warunków tabelarycznych), która przechodzi przez punkt  $Cel^*$ . Punkt  $Cel^*$  powstaje przez przesunięcie w odległości celu  $Cel$  o wartość  $\Delta D_0$  i nie jest z celem, w który ma uderzyć pocisk. W efekcie końcowym mamy trajektorię  $T_R'$  dla rzeczywistych warunków strzelania, która nie osiąga celu  $Cel$ .

Powyższy algorytm jest powszechnie stosowany w artylerii naziemnej mimo, że jest obciążony błędem, polegającym na stosowaniu niezgodnym z logiką poprawki na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego, ponieważ poprawki celownika na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego obliczone są dla warunków normalnych, tzn. donośność równa jest odległości topograficznej. Tymczasem wykonanie punktu 2 algorytmu powoduje, że używana jest donośność  $D_0$  różna od odległości topograficznej. W punkcie 3 algorytmu parametrem wejściowym do pobrania poprawki jest celownik  $C_0$  odpowiadający donośności  $D_0$ , co powoduje sztuczne przesunięcie celu  $Cel$  do punktu  $Cel^*$ . Uwzględnienie poprawki  $\Delta C_{\Delta Z}^*$  powoduje uzyskanie trajektorii  $T_0'$ , która w warunkach tabelarycznych przechodzi przez punkt  $Cel^*$ , ale rzeczywiste warunki strzelania powodują, że w rzeczywistości uzyskujemy trajektorię  $T_R'$ , która nie osiąga celu  $Cel$ . Tymczasem zadaniem algorytmu powinno być wyznaczenie trajektorii  $T_R'$ , takiej żeby przebiegała bardzo blisko celu  $Cel$ . Powyższy algorytm nie ma więc logicznego uzasadnienia, w przeciwieństwie do algorytmu 3.1, który jest spójny i stosuje tabele poprawek celownika na różnicę wysokości celu i SO zgodnie z istotą tych poprawek.

tabular conditions of firing.

4. The reading of correction  $\Delta C_{\Delta Z}^*$  is added to the sighting  $C_0$  (range  $D_0$  and trajectory  $T_0$ ). In this way we can get trajectory  $T_0'$  (for unknown conditions as  $D_0$  is determined for real conditions whereas the correction for the difference of altitudes for tabular conditions) which crosses the point  $Cel^*$ . Point  $Cel^*$  is created by shifting the target  $Cel$  in the distance by value  $\Delta D_0$  and it is not at the target to be hit by projectile. Finally, we have trajectory  $T_R'$  for real conditions of firing which misses the target  $Cel$ .

The above algorithm is commonly used in the field artillery despite it is burdened by the error caused by the illogical use of the correction for difference of altitudes of the target and the firing site, because the sighting corrections for difference of altitudes of the target and the firing site are calculated for normal conditions, i.e. the range equals to the topographic distance. At the same time the execution of point 2 of the algorithm effects the using of range  $D_0$  which is different than the topographic distance. In point 3 of the algorithm the entering parameter for taking the correction is the sighting  $C_0$  corresponding to the range  $D_0$  what causes an artificial shifting of the target  $Cel$  into the point  $Cel^*$ . The accounting of the correction  $\Delta C_{\Delta Z}^*$  produces trajectory  $T_0'$ , which in tabular conditions crosses the point  $Cel^*$ , but the real conditions of firing effect that in reality we receive trajectory  $T_R'$  which misses the target  $Cel$ . In reality, the algorithm has to determine the trajectory  $T_R'$  which runs possibly close to the target  $Cel$ . Then, the above algorithm is not logically substantiated, contrary to algorithm 3.1 which is coherent and applies the sighting correction tables on the difference of altitudes of the target and SO in line with the logics of these corrections.

## 5. Porównanie wyników stosowania algorytmów 3.1 i 4.1 na przykładzie

W celu porównania wyników obliczymy poprawki donośności dla pierwszego kroku iteracji obliczania nastaw przy jednakowych odchyłkach warunków tabelarycznych dla obu algorytmów. Użyjemy tabel strzelniczych dla pocisku odłamkowo-burzącego RAK-HE-1 do 120 mm samobieżnego moździerza RAK, ładunek 6. Użyte fragmenty tabel przedstawione są poniżej.

## 5. Exemplary Comparison of Results of Algorithms 3.1 and 4.1

In order to compare the results we calculate the range corrections for the first iteration step of calculating the settings at identical deviations of tabular conditions for both algorithms. We use the firing tables for the fragmentation-bursting projectile RAK-HE-1 for 120 mm self-propelled mortar RAK at charge No 6. The applied portions of the tables are shown below.

### Tabele główne / The Main Tables

Pocisk odłamkowo-burzący RAK-HE-1 do 120 mm samobieżnego moździerza RAK  
 Fragmentation-bursting projectile RAK-HE-1 for 120 mm self-propelled mortar RAK  
 Zapalnik UMZ-12 / Fuze UMZ-12

Ładunek szósty / Charge No 6  
 Prędkość początkowa / Muzzle velocity 452 m/s

Donośność	Celownik	Zmiana donośności przy zmianie celownika o 1 mil	Poprawki										
			kierunku	donośności									
				na poprzeczną składową wiatru o prędkości 1 w.	na podłużną składową wiatru o prędkości 1 w.	na odchyłkę							
						gęstości powietrza o 1 %	temperatury powietrza o 1 %	prędkości początkowej pocisku o 1 m/s		masy pocisku o jeden znak (N=5)			
D	C	$\Delta X_{mil}$	$\Delta Z_w$	$\Delta X_w$		$\Delta X_p$		$\Delta X_t$		$\Delta X_{V_0}$		$\Delta X_q$	
				$\bar{W}$	$\underline{W}$	ujemna	dodatnia	ujemna	dodatnia	ujemna	dodatnia	ujemna	dodatnia
				cz.	tyl.	-	+	-	+	-	+	-	+
m	mils	m	mils	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
7 000	371	11	0,7	11,3	-11,4	-24,4	24,1	40,7	-40,6	13,0	-13,0	-3	4
7 200	389	11	0,7	11,8	-11,9	-25,5	25,2	42,3	-42,1	13,2	-13,2	-2	4
7 400	408	10	0,7	12,3	-12,4	-26,6	26,3	43,8	-43,6	13,4	-13,5	-2	3
7 600	428	10	0,7	12,9	-12,9	-27,7	27,4	45,3	-45,1	13,7	-13,7	-1	3
7 800	447	9	0,7	13,3	-13,4	-28,8	28,5	46,8	-46,6	13,9	-13,9	-1	2
8 000	470	9	0,8	13,9	-13,9	-30,0	29,7	48,3	-48,1	14,1	-14,1	-1	2
8 200	493	8	0,8	14,4	-14,4	-31,2	30,9	49,7	-49,5	14,4	-14,3	0	2
8 400	518	8	0,8	14,9	-14,9	-32,4	32,1	51,1	-50,9	14,6	-14,6	0	1
8 800	575	6	0,8	16,0	-16,0	-35,0	34,7	53,9	-53,7	15,1	-15,2	1	0
9 000	608	6	0,9	16,5	-16,5	-36,4	36,0	55,3	-55,1	15,5	-15,5	2	0
9 200	647	5	0,9	17,0	-17,1	-37,8	37,4	56,5	-56,3	15,8	-15,8	2	-1
9 400	696	3	0,9	17,7	-17,6	-39,3	38,8	57,7	-57,4	16,2	-16,2	3	-1
9 600	794	1	1,0	18,4	-18,4	-41,1	40,6	58,4	-58,2	16,7	-16,7	3	-1

Donośność – Range, Celownik – Sighting

Zmiana donośności przy zmianie celownika o 1 mil – Change of the range after changing the sighting by 1 mil

Poprawki – Corrections, Kierunku – for direction

Donośności – for range, Na odchyłkę – for deviation

Na poprzeczną składową wiatru o prędkości 1 w. – for lateral component of wind with velocity of 1 knot

Gęstości powietrza o 1% - for air density by 1%

Temperatury powietrza o 1% - for air temperature by 1%

Prędkości początkowej pocisku o 1 m/s – for muzzle velocity by 1 m/s

Masy pocisku o jeden znak (N=5) – for projectile's mass by 1 mark (N=5)

Ujemna – Negative, Dodatnia – Positive,

Różnica wysokości – Difference of altitudes

### Tabele poprawek nastaw celownika na różnicę wysokości położenia celu i stanowiska ogniowego

#### Tables of Corrections for Sight Settings on Different Altitudes of Target and Firing Site Positions

Pocisk odłamkowo-burzący RAK-HE-1 do 120 mm samobieźnego moździerzka RAK /  
Fragmentation-bursting projectile RAK-HE-1 for 120 mm self-propelled mortar RAK  
Zapalnik UMZ-12 / Fuze UMZ-12

Ładunek szósty / Charge No 6  
Prędkość początkowa / Muzzle velocity 452 m/s

Różnica wysokości / Difference of altitudes [m]			5	10	25	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1422					
	650	cel wyżej	-	-	-	-	-	-	174	144	125	113	106	102	101	103	110	129	-	-	-	-	-	-	-	-71	-43	-30	-22	-16	-12	-10	-8	-6	-5				
	cel niżej	-	-	-	-	-	-	1257	-144	-126	-113	-103	-97	-95	-95	-97	-102	-110	-125	-149	143	100	71	52	38	29	23	18	13	10	8	7	5	-					
700	cel wyżej	-	-	-	-	-	-	188	155	135	122	114	110	109	111	120	141	-	-	-	-	-	-	-	-80	-48	-33	-24	-17	-13	-11	-8	-6	-5					
	cel niżej	-	-	-	-	-	-	1258	-154	-135	-122	-111	-105	-102	-102	-104	-109	-118	-133	-157	147	105	75	55	41	31	24	19	14	11	9	7	5	-					
750	cel wyżej	-	-	-	-	-	-	201	166	144	131	122	118	117	120	129	155	-	-	-	-	-	-	-	-92	-53	-36	-27	-19	-14	-11	-9	-7	-6					
	cel niżej	-	-	-	-	-	-	1258	-165	-145	-130	-119	-112	-109	-109	-111	-116	-125	-141	-166	152	109	79	58	43	33	26	20	15	12	9	7	6	-					
800	cel wyżej	-	-	-	-	-	-	177	154	139	131	126	125	128	139	171	-	-	-	-	-	-	-	-	-107	-58	-39	-29	-20	-16	-12	-9	-7	-6					
	cel niżej	-	-	-	-	-	-	1258	-176	-154	-139	-127	-119	-116	-116	-118	-123	-133	-149	-174	155	113	82	61	46	35	27	21	16	13	10	8	6	-					
850	cel wyżej	-	-	-	-	-	-	1245	188	164	148	139	134	133	137	149	189	-	-	-	-	-	-	-	-130	-63	-42	-31	-21	-17	-13	-10	-8	-7					
	cel niżej	-	-	-	-	-	-	1259	-186	-163	-147	-135	-127	-123	-123	-125	-130	-140	-157	-182	159	116	85	63	48	37	29	22	17	13	11	8	6	-					
900	cel wyżej	-	-	-	-	-	-	1244	199	173	157	147	142	141	146	160	262	-	-	-	-	-	-	-	-	-69	-46	-33	-23	-18	-14	-11	-8	-7					
	cel niżej	-	-	-	-	-	-	1259	1163	-173	-156	-143	-134	-130	-130	-132	-138	-148	-164	-190	163	120	88	66	50	38	30	24	17	14	11	9	7	-					
950	cel wyżej	-	-	-	-	-	-	1244	209	183	166	155	150	150	155	171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-75	-49	-36	-24	-19	-15	-11	-9	-8					
	cel niżej	-	-	-	-	-	-	1259	1163	-182	-164	-151	-141	-137	-137	-139	-145	-155	-172	-198	167	123	91	68	52	40	31	25	18	15	12	9	7	-					
1000	cel wyżej	-	-	-	-	-	-	1243	220	192	175	164	158	158	164	182	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-82	-53	-38	-26	-20	-16	-12	-9	-8					
	cel niżej	-	-	-	-	-	-	1260	1163	-191	-173	-159	-149	-144	-143	-146	-152	-162	-179	-206	170	127	94	71	54	42	33	26	19	15	12	10	7	-					
								5	10	25	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1422

Celownik / Sighting

#### DANE TOPGRAFICZNE:

- odległość topograficzna do celu  $D_T=8000\text{m}$ ,
- różnica wysokości celu i stanowiska ogniowego  $\Delta Z=700\text{m}$ .

#### ODCHYLENIA WARUNKÓW STRZELANIA OD TABELARYCZNYCH:

- wiatr czołowy o prędkości  $V_{Wx}=5\text{w}$ . (2,57m/s),
- odchyłka gęstości powietrza  $\Delta\rho=2\%$ ,
- odchyłka temperatury powietrza  $\Delta t=-5,4\%$ ,
- odchyłka prędkości początkowej pocisku  $\Delta V_o=-4\text{m/s}$ ;

Pierwszy krok iteracyjny obliczania nastaw polega na obliczeniu sumarycznej poprawki donośności  $\Delta D_{\text{sum}}$  dla

#### Algorytm 3.1

1. Na podstawie  $D_{TC}=8000\text{m}$  odczytujemy z tabel głównych celownik  $C_T=470\text{mil}$ .
2. Dla celownika  $C_T=470\text{mil}$  i różnicy wysokości  $\Delta Z=700\text{m}$  pobieramy z tabel poprawek celownika na różnicę wysokości celu i SO poprawkę ce-

#### TOPOGRAPHIC DATA:

- Topographic distance to the target  $D_T=8000\text{m}$ ,
- Difference of altitudes of the target and firing site  $\Delta Z=700\text{m}$ .

#### DEVIATION OF FIRING CONDITIONS FROM TABULAR ONES:

- Frontal wind with velocity  $V_{Wx}=5$  knots (2.57m/s),
- Deviation of air density  $\Delta\rho=2\%$ ,
- Deviation of air temperature  $\Delta t=-5.4\%$ ,
- Deviation of projectile muzzle velocity  $\Delta V_o=-4\text{m/s}$ ;

The first iterating step at calculation of the settings is based on calculation of the summarised correction of the range  $\Delta D_{\text{sum}}$  for

#### Algorithm 3.1

1. On the base  $D_{TC}=8000\text{m}$  we read from the main tables the sighting  $C_T=470\text{mil}$ .
2. For the sighting  $C_T=470\text{mil}$  and difference of altitudes  $\Delta Z=700\text{m}$  we take the correction of sighting  $\Delta C_{\Delta Z}=103\text{mil}$  from the sighting cor-

lownika  $\Delta C_{\Delta Z}=103\text{mil}$ .

3. Obliczamy celownik poprawiony

$$C_{T\Delta Z} = C_T +$$

$$\Delta C_{\Delta Z}=470\text{mil}+103\text{mil}=573\text{mil}.$$

4. Dla celownika  $C_{T\Delta Z}=573\text{mil}$ , któremu odpowiada donośność  $D_{\Delta Z}=8787\text{m}$  obliczamy poprawki donośności na odchyłki warunków strzelania:

- na wiatr czołowy o prędkości

$$V_{Wx}=5\text{w}.: \Delta D_{Vw} =$$

$$V_{Wx} * \Delta X_W = 5 * 15,9 = 79,5\text{m},$$

- na odchyłkę gęstości powietrza

$$\Delta \rho = 2\%: \Delta D_{\rho} = \Delta \rho *$$

$$\Delta X_{\rho} = 2 * 34,6 = 69,2\text{m},$$

- na odchyłkę temperatury powietrza

$$\Delta t = -5,4\%: \Delta D_t = |\Delta t| *$$

$$\Delta X_t = 5,4 * 53,8 = 290,5\text{m}$$

- na odchyłkę prędkości początkowej pocisku  $\Delta V_o = -4\text{m/s}$ :  $\Delta D_{V_o} = |\Delta V_o| *$

$$\Delta X_{V_o} = 4 * 15,1 = 60,4\text{m}.$$

Na koniec obliczamy sumaryczną poprawkę donośności  $\Delta D_{\text{sum}} = \Delta D_{Vw} + \Delta D_{\rho} + \Delta D_t + \Delta D_{V_o} = 79,5\text{m} + 69,2\text{m} + 290,5\text{m} + 60,4\text{m} = 499,6\text{m}$ .

5. W pierwszym kroku iteracyjnym otrzymujemy sumaryczną poprawkę donośności  $\Delta D_{\text{sum}} \approx 500\text{m}$ , którą dodajemy do odległości  $D_{\Delta Z} = 8787\text{m}$  i otrzymujemy pierwsze przybliżenie donośności obliczonej

$D_o^1 = 500\text{m} + 8787\text{m} = 9287\text{m}$ , której odpowiada celownik  $C_o^1 = 668\text{mil}$ .

#### Algorytm 4.1

1. Na podstawie  $D_{TC} = 8000\text{m}$  ( $C_T = 470\text{mil}$ ) obliczamy poprawki donośności na odchyłki warunków strzelania:

- na wiatr czołowy o prędkości

$$V_{Wx} = 5\text{w}.: \Delta D_{Vw} =$$

$$V_{Wx} * \Delta X_W = 5 * 13,9 = 69,5\text{m},$$

rections tables for difference of altitudes of the target and SO.

3. We calculate the corrected sighting

$$C_{T\Delta Z} = C_T +$$

$$\Delta C_{\Delta Z} = 470\text{mil} + 103\text{mil} = 573\text{mil}.$$

4. For the sighting  $C_{T\Delta Z} = 573\text{mil}$  with a corresponding range of  $D_{\Delta Z} = 8787\text{m}$  we calculate the corrections of the range for deviations of firing conditions:

- For the frontal wind with velocity

$$V_{Wx} = 5\text{knots}.: \Delta D_{Vw} =$$

$$V_{Wx} * \Delta X_W = 5 * 15,9 = 79,5\text{m},$$

- For deviation of air density

$$\Delta \rho = 2\%: \Delta D_{\rho} = \Delta \rho *$$

$$\Delta X_{\rho} = 2 * 34,6 = 69,2\text{m},$$

- For deviation of air temperature

$$\Delta t = -5,4\%: \Delta D_t = |\Delta t| *$$

$$\Delta X_t = 5,4 * 53,8 = 290,5\text{m}$$

- For deviation of projectile muzzle velocity  $\Delta V_o = -4\text{m/s}$ :  $\Delta D_{V_o} = |\Delta V_o| *$

$$\Delta X_{V_o} = 4 * 15,1 = 60,4\text{m}.$$

Finally, we calculate the summarised correction of the range  $\Delta D_{\text{sum}} =$

$$\Delta D_{Vw} + \Delta D_{\rho} + \Delta D_t + \Delta D_{V_o} =$$

$$= 79,5\text{m} + 69,2\text{m} + 290,5\text{m} + 60,4\text{m} =$$

$$= 499,6\text{m}.$$

5. In the first iterating step we get the summarised correction of the range  $\Delta D_{\text{sum}} \approx 500\text{m}$  which after adding to the distance  $D_{\Delta Z} = 8787\text{m}$  produces the first approximation of the calculated range

$D_o^1 = 500\text{m} + 8787\text{m} = 9287\text{m}$  connected with the sighting  $C_o^1 = 668\text{mil}$ .

#### Algorithm 4.1

1. Basing on  $D_{TC} = 8000\text{m}$  ( $C_T = 470\text{mil}$ ) we calculate the range corrections for firing conditions deviations:

- For the frontal wind velocity  $V_{Wx} = 5$

$$\text{knots: } \Delta D_{Vw} =$$

- na odchyłkę gęstości powietrza  
 $\Delta\rho=2\%: \Delta D_\rho = \Delta\rho^*$   
 $\Delta X_\rho = 2 * 29,7 = 59,4\text{m}$ ,
- na odchyłkę temperatury powietrza  
 $\Delta t = -5,4\%: \Delta D_t = |\Delta t|^*$   
 $\Delta X_t = 5,4 * 48,3 = 260,8\text{m}$
- na odchyłkę prędkości początkowej pocisku  $\Delta V_o = -4\text{m/s}: \Delta D_{V_o} = |\Delta V_o|^*$   
 $\Delta X_{V_o} = 4 * 14,1 = 56,4\text{m}$ .

W końcu obliczamy sumaryczną poprawkę donośności  $\Delta D_T = \Delta D_{V_w} + \Delta D_\rho + \Delta D_t + \Delta D_{V_o} = 69,5\text{m} + 59,4\text{m} + 260,8\text{m} + 56,4\text{m} = 446,1\text{m}$ .

2. Obliczamy pierwsze przybliżenie donośności  $D_o^1 = D_{TC} + \Delta D_T = 8000\text{m} + 446,1 \approx 8446\text{m}$ .
3. Dla pierwszego przybliżenia donośności i  $D_o^1 = 8446\text{m}$  pobieramy celownik  $C_o^1 = 524\text{mil}$  i z tabel pomocniczych poprawek celownika na różnicę wysokości celu i SO pobieramy poprawkę  $\Delta C_{\Delta Z} = 110\text{mil}$ .
4. Poprawiamy celownik  $C_o^1$  o wartość  $\Delta C_{\Delta Z} = 110\text{mil}$  i otrzymujemy pierwsze przybliżenie celownika  $C_o^1 = 524\text{mil} + 110\text{mil} = 624\text{mil}$ , któremu odpowiada pierwsze przybliżenie donośności  $D_o^1 = 9082\text{m}$ .

Mamy więc różnicę pierwszego przybliżenia donośności obliczonego wg algorytmu 3.1 i algorytmu 4.1 wynoszącą  $\Delta D = 9287\text{m} - 9082\text{m} = 205\text{m}$ , a różnica celowników odpowiadających tym donośnościom wynosi  $\Delta C = 668\text{mil} - 624\text{mil} = 44\text{mil}$ . Jak widać na przykładzie są to wielkości znaczne, których nie można zaniedbać.

## 6. Wnioski

1. Poprawnym algorytmem wprowadzania poprawek celownika na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego jest al-

$$V_{W_x} * \Delta X_w = 5 * 13,9 = 69,5\text{m},$$

- For the air density deviation  $\Delta\rho=2\%: \Delta D_\rho = \Delta\rho^* \Delta X_\rho = 2 * 29,7 = 59,4\text{m}$ ,
- For the air temperature deviation  $\Delta t = -5,4\%: \Delta D_t = |\Delta t|^*$   
 $\Delta X_t = 5,4 * 48,3 = 260,8\text{m}$
- For the projectile muzzle velocity deviation  $\Delta V_o = -4\text{m/s}: \Delta D_{V_o} = |\Delta V_o|^*$   
 $\Delta X_{V_o} = 4 * 14,1 = 56,4\text{m}$ .

Finally, we can calculate the summarised correction of the range  $\Delta D_T = \Delta D_{V_w} + \Delta D_\rho + \Delta D_t + \Delta D_{V_o} = 69,5\text{m} + 59,4\text{m} + 260,8\text{m} + 56,4\text{m} = 446,1\text{m}$ .

2. We calculate the first approximation of the range  $D_o^1 = D_{TC} + \Delta D_T = 8000\text{m} + 446,1 \approx 8446\text{m}$ .
3. For the first approximation of the range and  $D_o^1 = 8446\text{m}$  we take the sighting  $C_o^1 = 524\text{mil}$  and correction  $\Delta C_{\Delta Z} = 110\text{mil}$  from the additional tables of sighting corrections for difference of altitudes of the target and SO.
4. We change the sighting  $C_o^1$  by value  $\Delta C_{\Delta Z} = 110\text{mil}$  to get the first approximation of the sighting  $C_o^1 = 524\text{mil} + 110\text{mil} = 624\text{mil}$  corresponding to the first approximation of range  $D_o^1 = 9082\text{m}$ .

Hence, we have the difference  $\Delta D = 9287\text{m} - 9082\text{m} = 205\text{m}$  between the first range approximations calculated from algorithms 3.1 and 4.1, whereas the difference of the sightings is  $\Delta C = 668\text{mil} - 624\text{mil} = 44\text{mil}$ . As we can see on that example these are significant values which cannot be neglected.

## 6. Conclusions

1. Algorithm 3.1 is a correct one for introduction of the sighting corrections on the difference of altitudes of the target



- gorytm 3.1, ponieważ poprawki uwzględniane są zgodnie z ich istotą. Tabela poprawek zestawiana jest dla warunków tabelarycznych i jej elementy muszą być stosowane dla warunków tabelarycznych.
2. Obecnie stosowany w artylerii naziemnej algorytm 4.1 obciążony jest błędem, bo stosuje poprawki na różnicę wysokości celu i SO niezgodnie z ich istotą, co generuje błędy w nastawach celownika.
  3. W związku ze znaczącymi błędami nastaw celownika wynikającymi z błędnej metody uwzględniania poprawek celownika na różnicę wysokości celu i stanowiska ogniowego warto zmienić dotychczas obowiązujący algorytm.
- and the firing site because the corrections are used according to their logics. The table of corrections is prepared for tabular conditions and its components must be used for the tabular conditions.
2. The algorithm 4.1 currently used in the field artillery is burdened by the error as it uses the corrections for the difference of altitudes of the target and SO not in line with their logics what produces the errors in the sight settings.
  3. Due to significant errors in the settings of the sight caused by the erroneous method for taking into account the difference of altitudes of the target and firing site it may be worth to change the currently binding algorithm.

### **Literatura / Literature**

- [1] Instrukcja strzelania i kierowania ogniem pododdziałów artylerii naziemnej. Dywizjon, bateria, pluton, działo. Sygn. Art.817/93.
- [2] J. Szapiro, Balistyka zewnętrzna, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej 1956.
- [3] Tabele strzelnicze 120 mm nabój moździerzowy RAK-HE-1.

