

Major Ing. Bohuslav Sotulář

Výpočet vzdáleností objektu od výstřelné roviny pro kontrolu bezpečnosti střelby hlavnového dělostřelectva

INFORMACE

Vojenské rozhledy, 2014, roč. 23 (55), č. 3, s. 123–136, ISSN 1210-3292 (tištěná verze), ISSN 2336-2995 (on line).
Článek prošel recenzním řízením.

Calculation of the Distance of the Object from Plane of Fire to Control Check the Barrel Artillery Fire Safety

Abstrakt:

Cílem článku je objasnit možnost výpočtu kolmé vzdálenosti objektu (pozorovatelný, budov atd.), od výstřelné hlavnového dělostřelectva. Postup výpočtu není uveden v žádném z předpisů řešící problematiku bezpečnosti při střelbě hlavnového dělostřelectva.

Článek řeší matematické zdůvodnění a výpočty, které jsou využitelné pro štáby dělostřeleckých jednotek při přípravě a plánování bojových střelby. Odvozené vzorce lze využít palebnými rozhodčími při kontrole bezpečnosti střelby.

Abstract:

This article aims to explain the possibility of calculating the perpendicular distance of object (observation, building etc.) from the barrel of fire artillery. The advancement calculation is not included in any legislation addressing the issue of fire safety in the barrel artillery.

This paper discusses the mathematical reasoning and calculations that are useful in the preparation of documentation for shooting in the time preparation of shootings. The derived formula can be used by judges when firing safety control shooting.

Klíčová slova:

Bezpečnost, kolmá vzdálenost, výstřelná rovina, pozorovatelná, dělo, cíl, objekt.

Key words:

Safety, perpendicular distance, plane of fire, observation, cannon, target, object.

Úvod

Při střelbách hlavného dělostřelectva je třeba dodržovat bezpečnostní opatření uváděná v předpise Vševojsk 2-9 Bezpečnostní opatření při výcviku, definující určení bezpečnostních vzdáleností:

- a) bezpečná vzdálenost $B_v[m]$ (níže definovaná jako vzdálenost mezi objektem a cílem)
- b) bezpečná vzdálenosti mezi objekty a výstřelnou rovinou

Tento článek se zabývá prioritně určením (výpočtem) bezpečné vzdálenosti mezi objekty a výstřelnou rovinou.

Bezpečnostní opatření se týkají všech objektů, které mohou být ohroženy střelbou. K těmto objektům patří nekryté cvičící jednotky, jednotky v obrněné technice, místa velení, sklady, obydlená místa, apod. Patří sem i pozorovací stanoviště, která nejsou při střelbě přestřelována.

Hodnoty uvedené v předpise též rozlišují, zda střelba je přímá nebo nepřímá.

Pro dodržování bezpečnostních opatření v souladu s předpisem Vševojsk 2-9 při střelbě hlavného dělostřelectva je třeba znát:

- a) **vzdálenosti mezi objektem a cílem** nebo elementárními cíli, na které bude vedena palba,
- b) **nejmenší vzdálenost mezi objektem a výstřelnou rovinou.**

Zjištěné hodnoty se porovnávají s přípustnými hodnotami, které jsou uvedené v předpise Vševojsk 2-9 a jsou závislé na typu objektu a stupni jeho krytí, ale i na druhu střelby (přímá, nepřímá).

V rámci přípravy a plánování bojových střelb dělostřelectva je prioritním úkolem volba rozmístění bojové sestavy dělostřeleckých jednotek a terčového manévru. Z tohoto pohledu do bojové sestavy řadíme palebná postavení jednotek dělostřelectva a prostory rozmístění pozorovatelů. Terčový manévr je volen tak aby zabezpečil udržení bezpečnostních vzdáleností definovaných předpisem Vševojsk 2-9.

Při provádění plánování cvičení jednotek dělostřelectva (minometných jednotek) je součástí toho to procesu výběr jednotlivých palebných postavení (palebná stanoviště řídicích děl) a poloh cílů (v prostorech cílových ploch vojenských újezdu), na které se plánuje provádění palby děl a minometů.

Zakreslí se poloha objektů, které mohou být ohroženy palbou a následně se zakreslí jednotlivé palby v souladu se záměrem cvičení. Pro kontrolu bezpečnosti střelby se vyberou objekty, které jsou výstřelné rovině nejbližší. [1]

Vstupními informacemi při určování bezpečných vzdáleností jsou souřadnice (jsou uvedeny N a E) těchto bodů:

- Baterie (N_B, E_B) – palebné postavení děla baterie (řídicí děla baterií, čet);
- Cíl (N_C, E_C) – cíl;
- Objekt (N_P, E_P) – objekt (nekryté cvičící jednotky, jednotky v obrněné technice, místa velení, sklady, obydlená místa, případně pozorovatelna ...).

Baterie – označen „B“

Cíl – označen „C“

Objekt – označen „P“

1. Způsoby určení vzdálenosti mezi objektem a cílem

Určení vzdálenosti mezi objektem a cílem je možné provést následujícími způsoby:

- Změřením dálkoměrem** – lze provést při přípravě cvičení v rámci rekognoskace terénu určeného pro výcvik. Při přípravě cvičení musí být předem určeny souřadnice objektu a souřadnice cíle. Tyto souřadnice nemohou být měněny.
- Graficky** – vynesení bodu objektu a bodu cíle do mapy s následným změřením vzdálenosti na mapě a přepočítáním podle měřítka mapy na skutečnou vzdálenost.
- Výpočtem** – vzdálenosti mezi objektem a cílem (definovanou jako d_C) se vypočte pomocí souřadnicových rozdílů a Pythagorovy věty.

Ad c) Výpočet souřadnicových rozdílů $\Delta N_{(P-C)}$ a $\Delta E_{(P-C)}$ v osách N a E mezi cílem C a objektem P :

$$\Delta N_{(P-C)} = N_C - N_P, \quad (1)$$

$$\Delta E_{(P-C)} = E_C - E_P, \quad (2)$$

Výpočet vzdálenosti d_C mezi cílem C a objektem P se vypočte pomocí souřadnicových rozdílů (1) a (2) a Pythagorovy věty

$$d_C = \sqrt{(\Delta N_{(P-C)})^2 + (\Delta E_{(P-C)})^2}. \quad (3)$$

Dílčí závěr

Jedna z podmínek bezpečnosti provádění bojových střelb je určení bezpečné vzdálenosti $B_v[m]$ mezi objektem a cílem. Tato vzdálenost se porovnává s přípustnou hodnotou, jejíž výpočet je uveden v předpise Vševojsk 2-9, čl. 54. Vzhledem k tomu, že vzdálenost mezi objektem a cílem je zjištělná, není problém při nevyhovění normy změnit palebné postavení, nebo přidělit palebný úkol jiné jednotce, u které bezpečná vzdálenost vyhovuje. Další možností je, pokud podmínky dovolí, přesunout objekt (pojízdný sklad, velitelské stanoviště, obrněnou techniku, živou sílu, pozorovatelnu) na jiné výhodnější místo.

2. Způsob určení nejmenší vzdálenosti mezi objektem a výstřelnou rovinou

Určení vzdálenosti mezi objektem a výstřelnou rovinou není možné provést měřením v terénu. Úlohu je možno řešit následujícími metodami:

- Grafickou metodou.** Při této metodě se zakreslí do mapy body palebného postavení děl a body cíle. Vynesení jejich spojnice dělo – cíl se vytvoří výstřelná rovina. Dále se zakreslí objekt (například místo velení) a kolmice k výstřelné rovině tak, že prochází objektem. Změří se délka této kolmice a podle měřítka mapy se přepočítá na skutečnou vzdálenost.

- b) **Početni metodou.** Tato úloha je poněkud složitější, protože není uveden možný způsob výpočtu v žádném předpise, minimální vzdálenosti mezi objektem a výstřelnou rovinou. Cílem tohoto článku je rozebrat jeden z možných způsobů výpočtu.

2.1 Grafická metoda

Řešení minimální vzdálenosti mezi objektem a výstřelnou rovinou je zatíženo chybou zákresů do mapy a chybou měření vzdálenosti na mapě. Tyto jednotlivé chyby mohou činit až 0,5 mm v měřítku mapy.

Chyby v měřítku mapy mohou být následující:

- 0,5 mm při vynesení spojnice „palebné postavení – cíl“ (výstřelná rovina) v kolmém směru na bod objektu,
- 0,5 mm při vynesení bodu objektu v kolmém směru na spojnici přímky „palebné postavení – cíl“ (výstřelnou rovinu),
- 0,5 mm při změření délky kolmice mezi bodem objektu a průsečíkem kolmice s přímkou „palebné postavení – cíl“ (výstřelnou rovinou).

Vyskytnou-li se tyto chyby v nejméně příznivém případě, pak celková chyba může dosáhnout součtu všech těchto chyb a dosáhne až 1,5 mm v měřítku mapy. V tabulce jsou uvedeny závislosti mezi měřítkem mapy a chybou v terénu při chybě 1,5 mm měřítka mapy.

Pro příklad je uvedena délka úsečky na mapě odpovídající maximální možné délce střelby dělostřelectva AČR, což je 20 km.

Tab.: Velikost chyby 1,5 mm v měřítku mapy

Měřítka mapy	Délka úsečky v [cm] pro zakres 20km dálky střelby	Chyba 1,5mm v měřítku mapy je ve skutečnosti chyba v [m]
1 : 100 000	20	150
1 : 50 000	40	75
1 : 25 000	80	37,5
1 : 10 000	200	15
1 : 5 000	400	7,5

Zdroj: vlastní

Závěr z grafického řešení minimální vzdálenosti pozorovatelný od výstřelné

Pro předpokládanou dálku střelby 20 km, při vynesení spojnice palebné postavení – cíl do mapy měřítka 1:100 000 (nebo případně 1:50 000) odpovídá délka úsečky 20 cm (případně 40 cm). Chyba vynesení bodů a následné změření vzdálenosti od roviny výstřelné k objektu při této metodě měření v nejméně příznivém případě dosáhne 150 m (nebo případně 75 m).

Při použití přesnějších měřítek 1:25 000 (případně 1:10 000) bude celková chyba v nejméně příznivém případě dosahovat 37,5 m (případně 15 m).

Pokud bude střelba vedena na kratší dálku, lze volit menší měřítko mapy, a tím se chyba v měřítku mapy úměrně sníží.

Pro malé dálky střelby např. 3 km a měřítku mapy 1:5 000 celková chyba v nejméně příznivém případě dosáhne 7,5 m.

Z uvedeného vyplývá, že pro velké dálky střelby je přesnější řešit vzdálenost mezi objektem a výstřelnou rovinou početním způsobem. Pro malé dálky střelby je jednodušší a rychlejší řešit úlohu graficky.

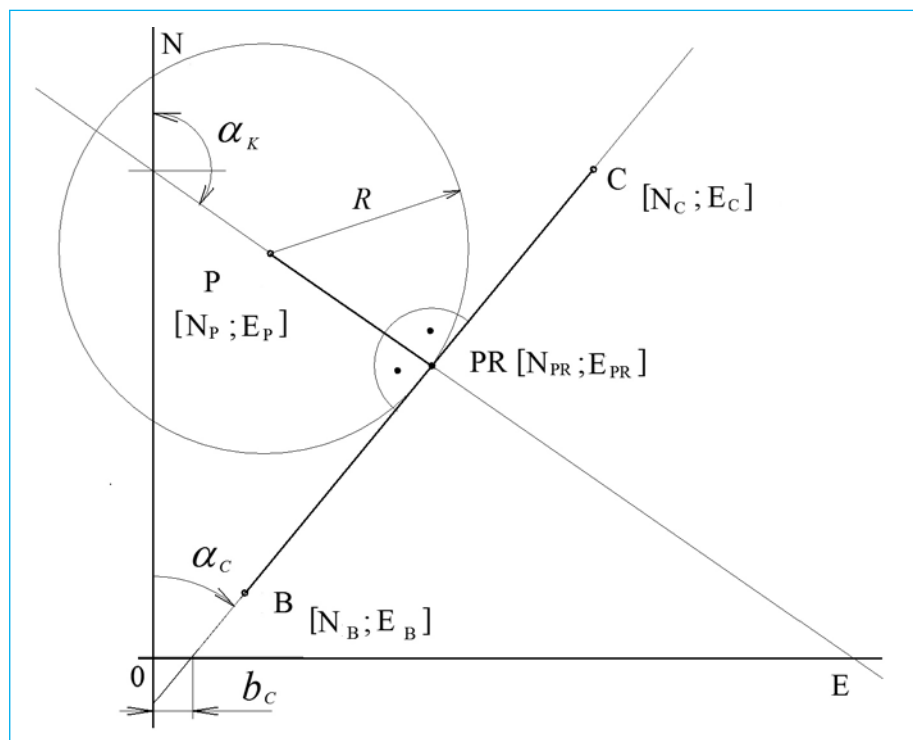
Je třeba si uvědomit, že běžně dělostřelci pracují s mapami v měřítku 1:50 000, případně v měřítku 1:25 000.

2.2 Početní metoda – Metoda průsečíku přímky a kružnice

Při výběru početní metody byl zvolen způsob výpočtu, který vyžaduje minimum pomocných výpočtů. Tomu vyhovuje vytvořený způsob výpočtu metodou průsečíku přímky a kružnice, jak je uvedeno na obr.

Princip řešení

Hledáme nejmenší poloměr kružnice R , která se dotýká výstřelné roviny v jednom bodě (výstřelná je tečnou kružnice).



Zdroj: vlastní

Obr.: Průsečík kružnice s přímkou

Legenda:

- R – nejmenší vzdálenost mezi pozorovatelnou a výstřelnou rovinou
 $B(N_B, E_B)$ – souřadnice palebného postavení děla
 $C(N_C, E_C)$ – souřadnice cíle
 $P(N_P, E_P)$ – souřadnice objektu (například pozorovatelny)
 $PR(N_{PR}, E_{PR})$ – souřadnice průsečíku výstřelné roviny a kolmice procházející pozorovatelnou
 b_C – posunutí přímky výstřelné roviny oproti počátku souřadnic na ose E
 a_C – směrnik na cíl z palebného postavení děla
 a_K – směrnik kolmice na výstřelnou rovinu

Nejprve definujeme rovnici kružnice s počátkem v bodě $P(N_P, E_P)$ a o poloměru R :

$$(E - E_P)^2 + (N - N_P)^2 = R^2. \quad (4)$$

Rovnice přímky výstřelné, která prochází body B (palebné postavení děla) a C (cíl) je definována

$$E = a_C \cdot N + b_C, \quad (5)$$

kde **směrnik přímky** výstřelné roviny (směrnik na cíl z palebného postavení děla) má tvar:

$$a_C = \operatorname{tg} \alpha_C = \frac{\Delta E_{(B-C)}}{\Delta N_{(B-C)}} = \frac{E_C - E_B}{N_C - N_B}. \quad (6)$$

Nachází-li se bod C (cíl) na přímce výstřelné roviny, pak po dosazení jeho souřadnic do rovnice (5) bude tvar rovnice

$$E_C = a_C \cdot N_C + b_C. \quad (7)$$

Po úpravě rovnice (7) je **posunutí přímky**

$$b_C = E_C - a_C \cdot N_C. \quad (8)$$

Kontrola výpočtu posunutí přímky

Protože bod B (palebné postavení) a C (cíl) se bude vždy nacházet na přímce výstřelné roviny, po dosazení souřadnic palebného postavení do rovnice (5), rovnice přejde do tvaru

$$E_B = a_C \cdot N_B + b_C. \quad (9)$$

Po úpravě, **posunutí přímky** je

$$b_B = E_B - a_C \cdot N_B. \quad (10)$$

Jelikož jsou oba body B (palebné postavení) a C (cíl) na stejné přímce, musí platit, že rovnice (8) a (10) se sobě rovnají. Proto platí

$$b_B = b_C. \quad (11)$$

Tím je zkontrolována správnost výpočtu parametrů a_C a b_B a tím i b_C .

Jsou již definovány dvě rovnice, a to:

- rovnice přímky (5),
- rovnice kružnice (4).

Na první pohled se jeví, že nejjednodušší je vypočítat souřadnice (N_{PR} , E_{PR}) bodu PR, tedy průsečík obou rovnic. Úloha však není přímo obecně řešitelná, protože není známý poloměr R, což je vzdálenost objektu P od výstředné roviny.

Jsou tedy 3 neznámé N_{PR} , E_{PR} , R a jen 2 rovnice (rovnice přímky, rovnice kružnice).

Řešení je možné:

- numericky – iterační metodou, nebo
- pomocí extrémů funkce.

2.2.1 Iterační metoda

Tato metoda spočívá v opakovaném odhadu poloměru R a výpočtu průsečíků kružnice na přímce. Poloměr R se z počátku zvolí velmi velký a následně se zmenšuje pro každý další odhad. Oba průsečíky kružnice na přímce se k sobě přibližují se zmenšujícím se poloměrem R. Výpočet je ukončen, když se oba průsečíky spojí v jeden „dvojný bod“, což odpovídá průsečíku (dotyku) přímky s kružnicí. Pro výrazné snížení počtu iterací výpočet můžeme považovat ukončen, když při odhadu poloměru R je vypočtená vzdálenost průsečíků menší přípustná hodnota. Tuto hodnotu je vhodné volit proměnlivou v závislosti na R. Mezní maximální vzdálenost průsečíků kružnice s přímkou doporučuji volit $0,01 \cdot R$, kdy chyba odhadu R nepřesahuje 0,13 %.

Při odhadu poloměru R = 500 m a vzdálenosti průsečíků do 5 m (zvolená přípustná hodnota $0,01 \cdot R$), je chyba v odhadu R do 0,634 m. Skutečný poloměr R nebude menší než 499,366 m.

Při odhadu poloměru R = 50 m a vzdálenosti průsečíků do 0,5 m (zvolená přípustná hodnota $0,01 \cdot R$), je chyba v odhadu R do 0,0634 m. Skutečný poloměr R nebude menší než 49,9366 m.

Pokud odhad poloměru R bude menší než skutečná vzdálenost mezi pozorovatelnou a výstřednou rovinou, pak kružnice přímku neprotne. Řešení těchto rovnic pak v reálném oboru neexistuje, existuje pouze v komplexním oboru, kdy každá ze souřadnic E a N má reálnou a imaginární složku. Tato skutečnost komplikuje použití efektivnějších iteračních metod, jako je metoda půlení intervalu (bisekce), metoda tětiv (regula falsi) atd.

2.2.2 Metoda extrémů funkce

Po dosazení rovnice přímky (5) do rovnice kružnice (4), obdržíme závislost jedné osové souřadnice, v tomto případě N na poloměru kružnice R

$$(a_C \cdot N + b_C - EP)^2 + (N - N_P)^2 = R^2, \quad (12)$$

Po úpravách, přejde rovnice do tvaru

$$N^2 + 2 \cdot \frac{(a_C \cdot b_C - a_C \cdot E_P - N_P)}{(a_C^2 + 1)} \cdot N + \frac{(b_C - E_P)^2 + N_P^2}{(a_C^2 + 1)} - \frac{R^2}{(a_C^2 + 1)} = 0. \quad (13)$$

Ke zjednodušení zápisu provedeme substituci:

$$a) \quad A = (-1) \cdot \left(\frac{a_C \cdot b_C - a_C \cdot E_P - N_P}{1 + a_C^2} \right), \quad (14)$$

Poznámka: Tento koeficient A rovnice (14) je současně souřadnice N průsečíku výstřelné roviny a kolmice procházející objektem P. Potom

$$N_{PR} = A = (-1) \cdot \left(\frac{a_C \cdot b_C - a_C \cdot E_P - N_P}{1 + a_C^2} \right) \quad (15)$$

$$b) \quad C = \frac{(b_C - E_P)^2 + N_P^2}{1 + a_C^2}. \quad (16)$$

Po provedení substituce členy A a C přejde rovnice (13) do tvaru

$$N^2 - 2 \cdot A \cdot N + C - \frac{R^2}{(a_C^2 + 1)} = 0 \quad (17)$$

Rovnici upravíme a vyjádříme N jako funkci R

$$(N - A) = \left(A^2 - C + \frac{R^2}{(a_C^2 + 1)} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (18)$$

Po úpravách

$$N = A + \sqrt{A^2 - C + \frac{R^2}{(a_C^2 + 1)}}. \quad (19)$$

Toto je rovnice N-tých souřadnic průsečíků výstřelné s kružnicí mající střed v souřadnicích pozorovatelny, kde proměnná je R.

Pokud nalezneme nejmenší R větší než 0, pro které platí tato rovnice, v reálném oboru, našli jsme minimální vzdálenost objektu od přímky výstřelné roviny, což odpovídá extrému funkce.

Vypočítáme extrém funkce rovnice (19), která je funkcí R ($N=f_{(R)}$) s použitím

1. derivace.

1. derivaci funkce $N=f_{(R)}$ podle proměnné R je ve tvaru:

$$N'_{(R)} = \frac{1}{2} \cdot \left(A^2 - C + \frac{R^2}{(a_C^2 + 1)} \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot 2 \cdot \frac{R}{(a_C^2 + 1)}. \quad (20)$$

První derivaci rovnice (20) položíme rovno 0,

$$N'_{(R)} = \frac{1}{2} \cdot \left(A^2 - C + \frac{R^2}{(a_C^2 + 1)} \right)^{-0,5} \cdot 2 \cdot \frac{R}{(a_C^2 + 1)} = 0. \quad (21)$$

Rovnici (21) upravíme a hledáme podmínky platnosti, které odpovídají extrémům funkce.

$$\frac{\sqrt{A^2 - C + \frac{R^2}{(a_c^2 + 1)}}}{A^2 - C + \frac{R^2}{(a_c^2 + 1)}} \cdot \frac{R}{(a_c^2 + 1)} = 0 \quad (22)$$

Rovnice (22) se rovná 0 za těchto podmínek:

$$a) (a_c^2 + 1) = \infty, \text{ nebo } (a_c^2 + 1) = -\infty, \quad (23)$$

$$b) R = 0, \quad (24)$$

$$c) A^2 - C + \frac{R^2}{(a_c^2 + 1)} = \infty, \text{ nebo } A^2 - C + \frac{R^2}{(a_c^2 + 1)} = -\infty, \quad (25)$$

$$d) \sqrt{A^2 - C + \frac{R^2}{(a_c^2 + 1)}} = 0. \quad (26)$$

Rozbor podmínek, kdy rovnice (22) se rovná 0.

$$a) (a_c^2 + 1) = \pm \infty \text{ když } a_c = \pm \infty, \text{ kde } a_c = \operatorname{tg} \alpha_c, \text{ pak } \alpha_c = \pm 90^\circ + k \cdot 180^\circ.$$

Extrém je v případě, je-li směrnik na cíl 90° , nebo 270° . Tento stav odpovídá zvláštnímu případu, kdy rovina výstřelné je rovnoběžná s osou E, což odpovídá největší možné vzdálenosti mezi středem kružnice a výstřelnou rovinou.

b) $R = 0$. Toto je nejmenší možný poloměr, kterého je možno dosáhnout. Tento stav nastane, leží-li objekt přímo na výstřelné přímce a odpovídá extrémní hodnotě - nejmenšímu možnému poloměru R. Podmínka $R = 0$, může být splněna ve třech případech:

- Objekt je přestřelován, nachází se na ose výstřelné přímky mezi body B (palebné postavení děla) a C (cíl).
- Objekt je před počátkem B, úsečky B C. Nachází se od $-\infty$ po bod B (palebné postavení děla). Objekt je za palebným postavením.
- Objekt je za koncem C úsečky B C. Nachází od bodu C po $+\infty$. Objekt je za cílem ve směru střelby děla.

Uvedená situace, kdy objekt P se nachází na výstřelné rovině, nastává v praxi jen ve zcela výjimečných případech.

$$c) A^2 - C + \frac{R^2}{(a_c^2 + 1)} = \pm \infty$$

U uvedené rovnice je řešení možné při splnění jedné z podmínek:

1. $R = \infty$

To je největší možný poloměr, který protne přímku (ve dvou bodech) procházející rovinou výstředné. Větší poloměr neexistuje. To však není poloměr, který hledáme.

$$R^2 = -\infty$$

Řešení je pouze v komplexním oboru, to není poloměr, který hledáme.

2. $A^2 = \pm \infty$

A je definováno podle vztahu (14) a po úpravě

$$A = (-1) \cdot \left(\frac{a_c \cdot (b_c - E_p) - N_p}{1 + a_c^2} \right)$$

Pak $A = \infty$, jestliže $N_p = \infty$, nebo $b_c - E_p = -\infty$. Při řešení není přímo vyjádřen poloměr R, jedná se o zvláštní případy, kdy jedna ze souřadnic pozorovatelný má $N_p = \infty$ či $E_p = \infty$ případně posunutí přímky $b_c = \infty$, což je pro úlohu nepoužitelné.

Pro $A^2 = -\infty$ nemá smysl úlohu řešit, protože řešení je v komplexním oboru.

3. $C = \pm \infty$

C je definováno podle rovnice (16) ve tvaru $C = \frac{(b_c - E_p)^2 + N_p^2}{1 + a_c^2}$

I. $C = \infty$, jestliže $N_p^2 = \infty$ nebo $(b_c - E_p)^2 = \infty$.

Zde opět není přímo vyjádřen poloměr R, jedná se tedy o zvláštní případy, kdy jedna ze souřadnic pozorovatelný je $N_p = \pm \infty$, případně $E_p = \pm \infty$ nebo posunutí výstředné b_c v ose E je v nekonečno.

Další řešení pro $C = \infty$ je když $(1 + a_c^2) = 0$. To odpovídá $a_c^2 = -1$. Řešení je v komplexním oboru, a proto nemá smysl toto řešení dále analyzovat.

Poznámka:

II. $C = -\infty$ pak musí platit $N_p^2 = -\infty$, nebo $(b_c - E_p)^2 = -\infty$

Řešení těchto případů je možné, pokud souřadnice cíle nebo palebného postavení, případně obojí jsou v komplexním oboru. Proto tento případ nemá význam dále analyzovat.

$$d) \sqrt{A^2 - C + \frac{R^2}{(a_c^2 + 1)}} = 0$$

výraz umocníme, provedeme úpravy, a vyjádříme R,

$$R = \sqrt{(C - A^2) \cdot (1 + a_c^2)}. \quad (27)$$

Toto je řešení úlohy. Udává nejmenší poloměr kružnice, která se protne (dotkne) s přímkou výstřelné roviny v jednom bodě. Je to nejmenší vzdálenost mezi objektem a výstřelnou rovinou.

Po dosazení substitučních členů A a C (14) a (16) do rovnice (27) a po úpravě máme rovnici proměnné R ve tvaru

$$R = \sqrt{(b_C - E_P)^2 + N_P^2 - \frac{(a_C \cdot b_C - a_C \cdot E_P - N_P)^2}{1 + a_C^2}}. \quad (28)$$

Výpočet E souřadnice průsečíku PR (E_{PR}) se provede, když do rovnice přímky procházející cílem (5), se vloží rovnice průsečíku N_{PR} (14). Po úpravách je souřadnice E průsečíku ve tvaru

$$E_{PR} = \frac{(a_C)^2 \cdot E_P + a_C \cdot N_P + b_C}{1 + a_C^2}. \quad (29)$$

Kontrola výpočtu vzdálenosti objektu od výstřelné roviny R se provede pomocí souřadnicových rozdílů, když do rovnice (30) dosadíme hodnoty spočítané z rovnic (29) a (14)

$$R = \sqrt{(E_P - (E_{PR}))^2 + (N_P - (N_{PR}))^2}. \quad (30)$$

3. Závěr

Uvedená metoda výpočtu R – vzdálenosti objektu od výstřelné roviny – je sestavena pro případ, kdy nejsou vypočítány jiné pomocné hodnoty odpovídající délkám, úhlům, případně směrníkům. Uvedenou úlohu autor článku obecně vyřešil i jinými způsoby, a to pomocí trojúhelníků, pomocí kolmice z bodu P na přímku BC, otáčením bodů C a P okolo bodu B, otáčením celé souřadné soustavy kolem bodu B. Popsané odvození metody průsečíku přímky a kružnice vyžaduje vypočítat nejmenší počet pomocných proměnných. Metoda je vhodná zvláště v těch případech, kdy jsou známy jen souřadnice bodů B, P, C a nebyly provedeny žádné výpočty, které se používají pro řešení palebných úloh.

V případě sestavení automatizovaného systému, kde jsou vloženy všechny body odpovídající charakteru bodů P, může hypoteticky nastat případ, kdy je vypočítaná vzdálenost R, od objektu k výstřelné rovině velmi malá až nulová a nemusí nastat porušení bezpečnostních pravidel. Rovnice totiž nedetekuje zvláštní případ, kdy objekt P (nekryté cvičící jednotky, jednotky v obrněné technice, místa velení, sklady, obydlená místa, případně pozorovatelná ...) je za bodem B (za palebným postavením děla baterie) zamířeno do směru střelby. V tomto případě objekt P není přestřelován. Dálka na cíl z objektu P (d_C) je v pak větší než dálka topografická (D_r^C) měřená z děla na cíl.

Pro lepší pochopení aplikace odvozených vzorců je na další straně uveden vzorový příklad.

Příklad

ZADÁNÍ

Při návrhu cvičení střelby z děl je výstřelná nejbližše objektu-pozorovatelně, když zkrácené pravoúhlé souřadnice palebného postavení krajního děla baterie, cíle a objektu (pozorovatelný) v metrech mají tyto hodnoty:

B (N_B , E_B) = (N_B 32672; E_B 47164) - palebné postavení děla baterie,

C (N_C , E_C) = (N_C 45492; E_C 47124) - cíl,

P (N_P , E_P) = (N_P 43981; E_P 47734) - objekt (pozorovatelná).

Pro realizaci provedení paleb v rámci cvičení zkontrolujte, zda objekt není přestřelován (je splněna podmínka, že nejmenší vzdálenost mezi objektem a výstřelnou rovinou je větší než 500 m).

ŘEŠENÍ

Vzdálenost objektu P od výstřelné roviny - R.

Směrnice přímky výstřelné roviny

$$a_C = \operatorname{tg} \alpha_C = \frac{\Delta E_{(B-C)}}{\Delta N_{(B-C)}} = \frac{E_C - E_B}{N_C - N_B}$$

$$a_C = \operatorname{tg} \alpha_C = \frac{47124 - 47164}{45492 - 32672}$$

$$a_C = -0,00312012480499220 \text{ [-]}$$

Poznámka:

Ze spočítaného směrníku přímky, při zahrnutí kvadrantu, ve kterém je řešeno $\operatorname{tg} \alpha_C$, lze určit směrník na cíl $a_C = \arctg(a_C)$.

Spočítaná hodnota směrníku na cíl je $\alpha_C = 359^\circ 49' 16,43'' = 59-97,02$ dc.

Posunutí přímky

$$b_C = E_C - a_C \cdot N_C$$

$$b_C = 47124 - (-0,00312012480499220) \cdot 45492$$

$$b_C = 47265,9407176287 \text{ [m]}$$

Kontrola výpočtu posunutí přímky

$$b_B = E_B - a_C \cdot N_B$$

$$b_B = 471674 - (-0,00312012480499220) \cdot 32672$$

$$b_B = 47265,9407176287 \text{ [m]}$$

Výpočet posunutí přímky byl proveden správně, protože platí

$$b_C = b_B = 47265,9407176287 \text{ [m]}$$

Rovnice přímky výstřelné, která prochází body B (palebné postavení děla) a C (cíl), je

$$E = a_C \cdot N + b_C$$

$$E = (-0,00312012480499220) \cdot N + 47265,9407176287.$$

Výpočet substitučního členu $A = N_{PR}$ (odpovídá souřadnici N_{PR} , průsečíku kolmice z objektu P a rovině výstřelné přímky.

$$A = (-1) \cdot \left(\frac{a_C \cdot b_C - a_C \cdot E_P - N_P}{1 + a_C^2} \right)$$

$$A = (-1) \cdot \left(\frac{(-0,00312012480499220) \cdot 47265,9407176287 - (-0,00312012480499220) \cdot 47734 - 43981}{1 + (-0,00312012480499220)^2} \right)$$

$$A = N_{PR} = 43979,1114521095 \text{ [m]}$$

Výpočet substitučního členu C

$$C = \frac{(b_C - E_P)^2 + N_P^2}{1 + a_C^2}$$

$$C = \frac{(47265,9407176287 - 47734)^2 + 43981^2}{1 + (-0,00312012480499220)^2}$$

$$C = 1934528607,50993 \text{ [m]}$$

Vzdálenost objektu od výstřelné roviny.

$$R = \sqrt{(C - A^2) \cdot (1 + a_C^2)}$$

$$R = \sqrt{(1934528607,50993 - 43979,1114521095^2) \cdot (1 + (-0,00312012480499220)^2)}$$

$$R = 605,282545159481 \text{ [m]}$$

Výpočet souřadnice E průsečíku kolmice z objektu P a roviny výstřelné přímky.

$$E_{PR} = a_C \cdot N_R + b_C$$

$$E_{PR} = (-0,00312012480499220) \cdot 43979,1114521095 + 47265,9407176287$$

$$E_{PR} = 47128,720401085550 \text{ [m]}$$

Kontrola výpočtu vzdálenosti R objektu od výstřelné roviny pomocí souřadnicových rozdílů

$$R = \sqrt{(E_p - E_{PR})^2 + (N_p - N_{PR})^2}$$

$$R = \sqrt{(47734 - 47128,7204010855)^2 + (43981 - 43979,1114521095)^2}$$

$$R = 605,282545159481 \text{ [m]}$$

Kontrola výpočtu proběhla úspěšně, protože i druhým způsobem výpočtu byla spočítána stejná hodnota vzdálenosti objektu od výstřelné.

Závěr

Objekt je od výstřelné roviny vzdálen 605 m. To je více než 500 m, a proto hodnotíme, že při střelbě objekt není přestřelován. V případě přestřelování musí být objekt od cíle dále, než je bezpečná vzdálenost, jejíž výpočet je uveden v předpise Vševojsk 2-9 Bezpečnostní opatření při výcviku.

Souřadnice bodu průsečíku PR, mezi kolmicí a výstřelnou rovinou, jsou před zaokrouhlením na metry $N_{PR} = 43979,1114521095 \text{ [m]}$, $E_{PR} = 47128,72040108550 \text{ [m]}$.

Poznámka k textu:

- [1] Zde je nutno zmínit, že objekty typu „postavení vševojskové jednotky“ (př. opěrný bod mechanizované čety), místa velení apod., jsou rozměrově větší objekty a nelze tudíž pracovat se souřadnicemi středu daného objektu, ale musí být použita souřadnice nejkrajnějšího bodu objektu vzhledem k vytyčené výstřelné. U malorozměrových objektů, typu pozorovací stanoviště, je možno jeho souřadnici považovat za tu nejkrajnější.

Použitá literatura:

MO ČR. *Bezpečnostní opatření při výcviku*. Vševojsk -2-9. Praha: DP-SRDS-OS MO, 2011, 79 s.
BARSCH, Hans-Jochen. *Matematické vzorce*. Praha: SNTL, 1971, 580 s.

Mám pro vás na závěr ještě kontrolní otázku, jestlipak víte, které instituci, nebo organizaci lidé v České republice nejvíc věří?

No, podle posledního výzkumu veřejného mínění je to Armáda České republiky.

**Z rozhovoru s Ing. Františkem Mičánkem (brig. gen. v zál.),
ředitelem Centra bezpečnostních a vojensko-strategických studií UO,
Co vy na to? Český rozhlas Brno, 8. 5. 2014,
dostupné na <http://prehraovac.rozhlas.cz/audio/3119747>.**