



ANALÝZA METOD URČOVÁNÍ POLOHY BODŮ V PROSTŘEDÍ BEZ DOSTUPNOSTI GNSS

Jiří ŠOTNAR, Ladislav POTUŽÁK, Ondřej PEKAŘ

ANALYSIS OF METHOD FOR DETERMINING POSITION IN GNSS-DENIED ENVIRONMENT

HISTORIE ČLÁNKU

Doručený: 04.08.2025

Schválený: 27.11.2025

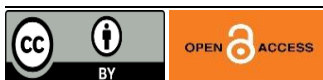
Vydáný: 31.12.2025

ABSTRACT

In contemporary high-intensity combat environments, particularly under conditions of electronic warfare, global navigation satellite systems (GNSS) can become unreliable due to signal denial or deception. Despite the widespread reliance on advanced technologies, their potential failure necessitates the preservation of alternative methods. The objective of this research was to analyse and evaluate alternative approaches for determining orthogonal plane coordinates in GNSS-denied environments, with a specific focus on artillery applications. Experts from the Czech Armed Forces have identified and endorsed the methods described in this study as essential techniques that should be preserved and regularly trained to ensure the continued ability to operate in environments where GNSS signals are disrupted or denied. The study employs analytical methods based on doctrinal documents, field experience, and prior past experience assessments conducted by the Czech Armed Forces and their allies. Results confirm that both inertial navigation systems and classical geodetic techniques—such as topographic links, intersection methods, and polygon traverses—remain reliable and valid tools for maintaining artillery fire support capabilities under degraded GNSS conditions. The paper further highlights the need for continuous training and doctrinal integration of these methods to sustain operational readiness in technologically contested environments.

KEYWORDS

Global navigation satellite systems, inertial navigation systems, GNSS denial environment, orthogonal plane coordinates, topographic connection, geodetic methods, artillery fire support, coordinate determination



© 2025 by Author(s). This is an open access article under the Creative Commons Attribution International License (CC BY). <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

ÚVOD

V současných podmínkách moderního bojiště, zejména v prostředí s vysokou intenzitou elektronického boje, může dojít k rušení nebo úplnému znemožnění příjmu signálu globálních navigačních satelitních systémů (GNSS – Global Navigation Satellite System). V tomto směru pak můžeme mluvit o tzv. GNSS degradovaném prostoru (Zandl, 2025).

Současné bojiště je navíc stále více nasyceno bezpilotními prostředky (Zahradníček et al., 2022; Michenka, 2021) – od taktických UAV (Stodola et al., 2021; Stodola a Kutěj, 2024;

Kratky et al., 2020) a UGV (Nohel et al., 2023; Ivan et al., 2022) až po improvizované drony –, pro něž je dostupnost GNSS signálu klíčová nejen z hlediska navigace, ale i pro efektivní plnění úkolů, jako je průzkum, navedení palby, nebo doručování munice. GNSS představuje základní předpoklad jejich provozuschopnosti, a tedy i bojové efektivity. Ztráta nebo degradace tohoto signálu tak může významně snížit operační schopnosti jednotek spoléhajících na tyto prostředky (Havlík et al.).

Znemožnění příjmu signálu GNSS může být způsobeno více faktory (Erlebach, 2025). Pomineme-li tunely, obecně podzemní prostory nebo interiéry budov, kde je příjem signálu s ohledem na jeho velmi malou intenzitu zpravidla nemožný, pak problémy s příjmem mohou být způsobeny i konstelací terénu – v úzkém údolí bude současný příjem z minimálně 4 satelitů problematický, stejně jako v husté zástavbě (Stodola et al., 2025). Problémy s příjmem signálu mohou být způsobeny třeba i hustým vegetačním příkrovem (Rybansky et al., 2023). Dalším, ovšem méně častým faktorem mohou být atmosférické vlivy, jako jsou ionosférické nebo troposférické poruchy nebo sluneční bouře vyvolávající silnou geomagnetickou aktivitu.

V poslední době se však stále častěji objevují informace o cíleném rušení signálu. Informace z konfliktu na Ukrajině ukazují, že zejména v posledních měsících dochází velmi často k rušení signálu GPS (Global Positioning System), a to především v oblastech blízko frontové linie. Rušení (tzv. jamming) a klamání GPS signálu (spoofing) používá primárně ruská armáda jako prostředek elektronického boje. Využívají k tomu systémy, jako jsou Pole-21/E, Tiranda nebo Krasukha, které dokáží efektivně blokovat signál GPS na desítky kilometrů. Cílem je především narušit navigaci dronů, ale i přesně naváděné munice a navigačních a komunikačních systémů závislých na satelitní navigaci (Carter, 2024).

Z těchto důvodů je nezbytné, aby byly rozvíjeny moderní metody určování polohy bodů (DRÁBEK et al., 2024; Blaha a Šilinger, 2018), ale aby byly i nadále zachovávány a cvičeny tradiční metody nejen určování polohy (Ivan, 2019; Drábek et al., 2025; Ministerstvo obrany ČR, 2021), ale i manuální vojenské metody obecně, které představují základní pojistku pro udržení bojové činnosti a plnění operačních úkolů (Šustr et al., 2022; Ivan et al., 2021; Blaha et al., 2021; Zahradníček et al., 2023; Varecha, 2022; Turaj a Mušinka, 2022).

Cílem odborného článku bylo analyzovat a zejména pak identifikovat tradiční metody určování polohy v prostředí bez dostupnosti družicové navigace, které by byly dále zachovány i přes zavedení technologicky moderních prostředků, které jsou vybaveny přijímači GNSS nebo inerciálními navigačními systémy.

METODOLOGIE

Metodologický rámec této studie byl založen na kombinaci analytického, expertního a komparačního přístupu, jehož cílem bylo objektivně posoudit metody určování polohy bodů v prostředí s degradovaným signálem GNSS a formulovat doporučení pro jejich zachování v rámci výcviku a doktríny dělostřelectva Armády České republiky.

Výzkum byl veden jako kvalitativní expertní analýza. Vzhledem k povaze zkoumaného tématu – tedy k aplikaci metod používaných v operačním a výcvikovém prostředí – nebylo

možné použít experimentální design s kontrolními proměnnými. Proto byla zvolena metodologie kombinující doktrinální rozbor, systematickou literární analýzu, expertní konsenzus a syntézu zkušeností z praxe. Základem metodologického postupu bylo vytvoření multidisciplinární expertní skupiny, která zahrnovala důstojníky a specialisty z řad AČR a akademické pracovníky Katedry palebné podpory Univerzity obrany. K dosažení závěrečného konsenzu byl aplikován princip anonymizovaného dotazníkového šetření a následného konsolidačního kola diskuse. Tento přístup umožnil minimalizovat individuální zkreslení a zajistit vysokou míru odborné shody.

Výsledkem tohoto procesu byl konsensus o zachování a výcvikovém využívání vybraných metod určování polohy jakožto klíčových dovedností pro udržení bojové způsobilosti dělostřelectva v prostředí elektronického boje.

1 VÝSLEDKY ANALÝZY METOD ZJIŠŤOVÁNÍ PRAVOÚHLÝCH ROVINNÝCH SOUŘADNIC BEZ POUŽITÍ GNSS

Na základě uvedeného metodologického rámce byla následně provedena systematická analýza vybraných metod určování polohy používaných v dělostřelecké praxi v podmínkách bez dostupnosti signálu GNSS. Výsledky expertního konsenzu potvrdily, že právě tyto metody – ověřené historicky, doktrinálně i prakticky – představují klíčový základ pro zachování schopnosti dělostřelectva přesně určovat polohu a efektivně poskytovat palebnou podporu i v prostředí elektronického boje. V následující části jsou proto jednotlivé metody detailně rozebrány z hlediska jejich principů,

Jak bylo popsáno v úvodu, v degradovaném prostředí může dojít k úplnému znemožnění příjmu signálů globálních navigačních systémů, popřípadě jejich rušení nebo klamání.

Zjišťování pravoúhlých rovinných souřadnic je velmi důležité zejména pro dělostřelectvo a jeho schopnost stanovit přesnou polohu dělostřeleckých systémů, která je klíčovou podmínkou pro udržení operační způsobilosti bez ohledu na funkčnost GNSS. Proto je v takových situacích nezbytné disponovat alternativními metodami pro stanovení pravoúhlých rovinných souřadnic. V dělostřelecké praxi se pro stanovení pravoúhlých rovinných souřadnic používá pojem topografické připojení.

1.1 Inerciální navigační systémy pro topografické připojení

Jednou z metod použitelných pro zjišťování souřadnic při nefunkčnosti GNSS je využití inerciálních navigačních systémů. Tyto systémy jsou standardně složeny z inerciální navigační jednotky (INU – Interiál Navigation Unit) a ze snímače rychlosti pohybu vozidla (VMS – Vehicle Motion Sensor). Pro určení souřadnic se zpravidla využívá princip oboustranně orientovaného polygonového pořadu vedeného mezi souřadnicově známým výchozím a koncovým (kontrolním) bodem.

Maximální délka pořadu z výchozího do koncového (kontrolního) bodu musí být zvolena tak, aby byly dodrženy maximální přípustné rozdíly v souřadnicích výchozího a koncového (kontrolního) bodu. Tyto rozdíly závisí na výchozích podkladech. Jsou-li jako výchozí podklady použity pouze význačné body topografické mapy měřítka 1:50 000, pak maximální rozdíl musí být do 40 m. V případě, že je za výchozí podklad vzat bod topografického pole (BTP) pak maximální rozdíl musí být do 30 m a v případě, že výchozím podkladem je bod geodetického pole (BGP) pak rozdíl musí být v rozmezí 25-30 m.

V případě, že je topografické připojení s použitím inerciálního navigačního zařízení prováděno v členitém (kopcovitém nebo horském) prostředí navyšují se přípustné rozdíly na 1,5 krát.

1.2 Klasické metody při topografickém připojení

Klasické metody připojení prvků bojových sestav byly do doby rozmachu použití GNSS, zejména pak možnosti plného armádního využití amerického systému GPS včetně přesné polohové služby (PPP - Precise Point Positioning), standardním způsobem připojování prvků bojových sestav zejména u dělostřeleckých a minometných jednotek. Právě s rozvojem těchto satelitních navigačních systémů tyto klasické metody pomalu upadly do zapomnění. V devadesátých letech minulého století a zejména pak na začátku nového tisíciletí se GPS stalo jakousi nedotknutelnou mantrou, systémem, který bude vždy k dispozici. Praxe posledních let však ukazuje, že tomu tak není. Proto je vhodné se vrátit v čase a připomenout si některé základy klasických metod topografického připojení.

Základem pro všechny klasické metody topografického připojení je měření úhlů a vzdáleností a následném početním nebo grafickém vyhodnocení.

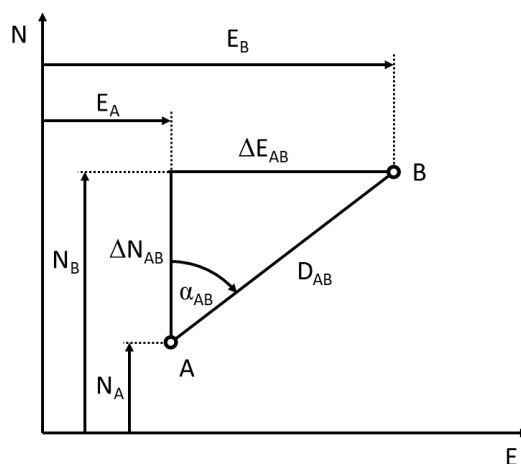
Vodorovné a svislé úhly se měří pomocí optických a optoelektronických přístrojů s úhломěrným ústrojím. Vzdálenosti se měří pomocí přístrojů nebo měřičského pásma způsobem, který zabezpečí požadovanou přesnost pro příslušný druh a způsob připojení daného prvku bojové sestavy.

1.2.1 První a druhá hlavní geodetická úloha

Základními, obecně známými početními metodami je řešení tzv. první a druhé hlavní geodetické úlohy (obr. 1).

První hlavní geodetická úloha (I.HGÚ) je výpočet souřadnic bodu ze souřadnic výchozího bodu, směrníku a vzdálenosti bodů neboli převod polárních souřadnic na pravoúhlé.

Druhá hlavní geodetická úloha (II. HGÚ) je výpočet směrníku a vzdálenosti dvou bodů z jejich souřadnic neboli převod pravoúhlých souřadnic na polární.



Obrázek 1 I. a II. HGÚ

Zdroj: vlastní

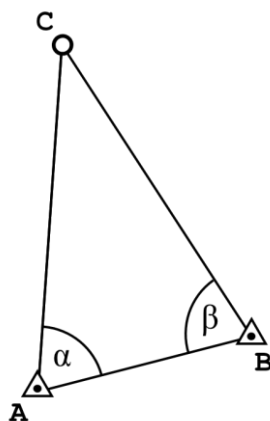
Pro analytické řešení se použijí vztahy trigonometrických funkcí pravoúhlého trojúhelníku.

1.2.2 Protínání

Další metodou pro topografické připojení prvků bojové sestavy je protínání. Tuto metodu můžeme rozdělit dále na:

a) Protínání vpřed ze změřených vnitřních úhlů

Je určení souřadnic třetího vrcholu trojúhelníku od souřadnic dvou zbývajících vrcholů změřením dvou vnitřních úhlů tohoto trojúhelníku. (obr. 2)



Dáno: souřadnice E_A, E_B, N_A, N_B

Změřeno: úhly α a β

Určit: souřadnice E_C, N_C

Obrázek 2 Protínání vpřed ze změřených vnitřních úhlů

Zdroj: vlastní

Pro analytické řešení je možné použít tzv. Jungovy vzorce za dodržení podmínky, že dívám-li se na bod C a zároveň stojím na spojnici bodů A a B, musím mít bod A vlevo a bod B vpravo.

$$E_C = \frac{E_A \times \cot \beta + E_B \times \cot \alpha + N_A - N_B}{\cot \alpha + \cot \beta} \quad (1)$$

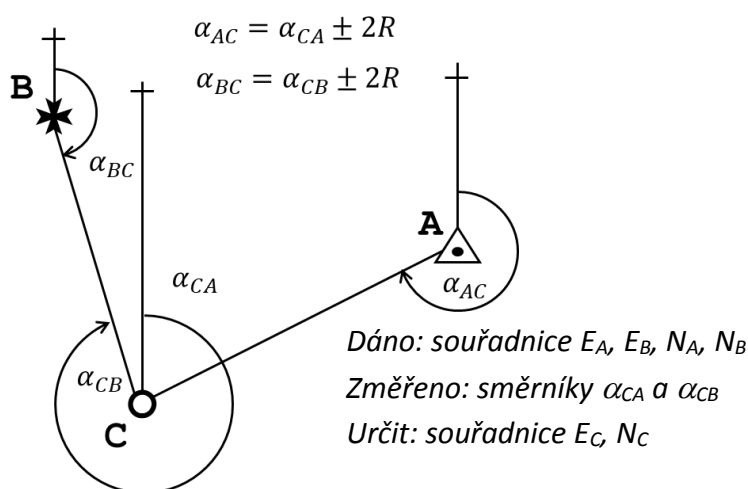
$$N_C = \frac{N_A \times \cotg \beta + N_B \times \cotg \alpha - E_A + E_B}{\cotg \alpha + \cotg \beta} \quad (2)$$

kde je:

$E_A; N_A; E_B; N_B$ souřadnice výchozích bodů A a B (A je vlevo);
 $\alpha; \beta$ úhly přilehlé ke spojnici bodů A a B, změřené na těchto bodech;
 $E_C; N_C$ souřadnice zjišťovaného bodu C.

b) Protínání vpřed ze směrníků

Je určení souřadnic třetího vrcholu trojúhelníku od dvou zbývajících souřadnicově známých vrcholů a směrníků na tyto body. (obr. 3)



Obrázek 3 Protínání vpřed ze směrníků

Zdroj: vlastní

Pro analytické řešení se používají tzv. tangentové resp. kotangentové vzorce

$$N_C = \frac{N_A \times \tg \alpha_{AC} - N_B \times \tg \alpha_{BC} + E_B - E_A}{\tg \alpha_{AC} - \tg \alpha_{BC}} \quad (3)$$

$$E_C = (N_C - N_A) \times \tg \alpha_{AC} + E_A \quad (4)$$

Kotangentové vzorce se používají, pokud se jeden ze směrníků blíží 90° nebo 270° kdy hodnota tangenty dosahuje velkých hodnot.

$$E_C = \frac{E_B \times \cotg \alpha_{BC} - E_A \times \cotg \alpha_{AC} + N_A - N_B}{\cotg \alpha_{BC} - \cotg \alpha_{AC}} \quad (5)$$

$$N_C = (E_C - E_A) \times \cotg \alpha_{AC} + N_A \quad (6)$$

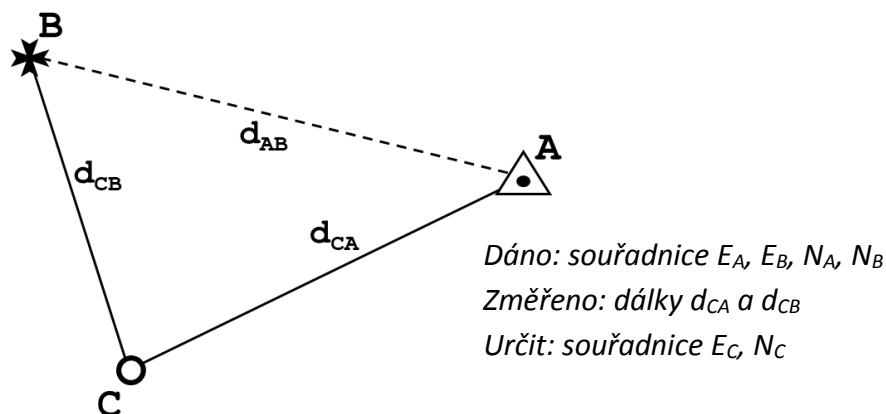
kde je:

$E_A; N_A; E_B; N_B$ souřadnice výchozích bodů A a B;

α_{CA} a α_{CB} směrníky z bodů A a B na bod C ;
 E_C ; N_C souřadnice zjišťovaného bodu C .

c) Protínání vpřed ze změřených délek

Je určení souřadnic třetího vrcholu trojúhelníku od dvou zbývajících souřadnicově známých vrcholů a změřených délek na tyto body. (obr. 4)



Obrázek 4 Protínání vpřed ze změřených délek

Zdroj: vlastní

Analytický postup řešení při protínání vpřed ze změřených délek:

- ze souřadnicově známých bodů A a B se dopočítá pomocí II. HGÚ třetí strana trojúhelníku

$$d_{AB} = \sqrt{(\Delta E_{AB})^2 + (\Delta N_{AB})^2} \quad (7)$$

- podle kosinové věty se spočítají vnitřní úhly trojúhelníku (α a β , popř. i γ)

$$\cos \alpha = \frac{(d_{CA}^2 + d_{AB}^2 - d_{CB}^2)}{2 \times d_{CA} \times d_{AB}} \quad (8)$$

$$\cos \beta = \frac{(d_{CB}^2 + d_{AB}^2 - d_{CA}^2)}{2 \times d_{CB} \times d_{AB}} \quad (9)$$

$$\cos \gamma = \frac{(d_{CB}^2 + d_{CA}^2 - d_{AB}^2)}{2 \times d_{CB} \times d_{CA}} \quad (10)$$

- jsou-li splněny podmínky pro použití Jungových vzorců, vypočítáme souřadnice vrcholu C pomocí vztahů (1) a (2), nebo dopočítáme II. HGÚ směrníky α_{AC} a α_{BC} a k výpočtu souřadnic vrcholu C použijeme tangentové (3), (4), resp. kotangentové (5), (6) vzorce.

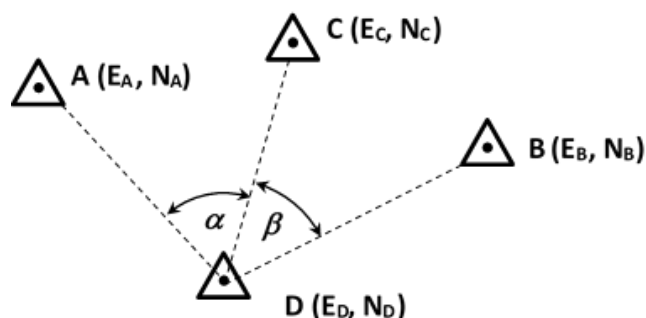
Grafické řešení:

Všechny druhy protínání vpřed při topografickém připojení lze řešit i graficky buď na přístroji pro řízení palby (PUO) nebo na mapách popř. na milimetrovém papíru s kilometrovou sítí zakreslenou ve vhodném měřítku.

Jestliže při grafickém řešení vycházíme ze tří výchozích bodů (ze dvou základen), neprotnou se ramena úhlů v jednom bodu, ale vytvoří tzv. „trojúhelník chyb“. Přepona tohoto trojúhelníku nesmí být delší jak 1% nejmenší vzdálenosti výchozího a připojovaného bodu. Připojovaný bod je v těžišti trojúhelníku chyb. Těžiště se určuje odhadem (těžiště je v průsečíku spojnic vrcholů se středy protilehlých stran).

d) Protínání zpět ze tří bodů

Je určení souřadnic čtvrtého bodu ze souřadnic tří vrcholů trojúhelníku a dvou změřených úhlů mezi nimi.



Obrázek 5 Protínání zpět ze tří bodů

Zdroj: vlastní

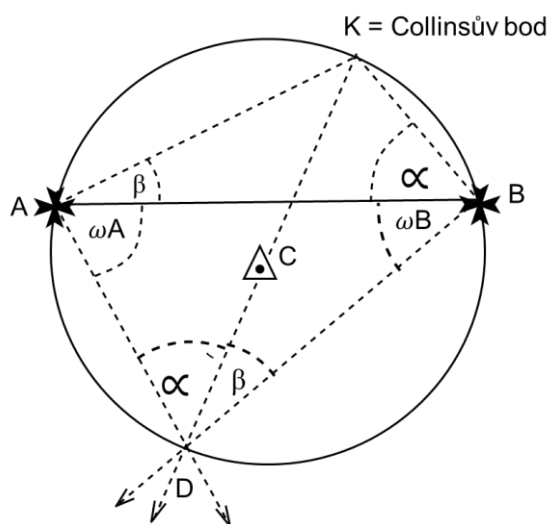
Podmínky řešení:

- úhly protínání α a β mají být v rozmezí 15° až 165° (2-50 až 27-50 dc),
- směrnik na bod C nemá být v blízkosti 90° nebo 270° – za bod C volíme ten, který není ve směru západ-východ (z důvodu rychlé změny hodnoty funkce tangens),
- bod D se nesmí nacházet na kružnici proložené body A, B a C, ani v její blízkosti z důvodu neřešitelnosti resp. mnohoznačného (nepřesného) řešení dané úlohy.

Kontrola se provádí podle mapy.

Pro analytické řešení se používá tzv. Collinsův způsob řešení spočívající ve výpočtu souřadnic bodu K (tzv. Collinsův bod) protínáním vpřed z vrcholových úhlů α a β , výpočtu směrniků α_{KC} , α_{AD} a α_{BD} a výpočtu souřadnic bodu D.

Postup řešení se liší, je-li součet úhlů α a $\beta < 180^\circ$ a je-li součet úhlů α a $\beta > 180^\circ$.



Pro $\alpha + \beta < 180^\circ$

Obrázek 6 Protínání zpět ze tří bodů při součtu úhlů α a $\beta < 180^\circ$

Zdroj: vlastní

K výpočtu souřadnic bodu K využijeme protínání vpřed z vrcholových úhlů v trojúhelníku AKB (pro výpočet využíváme poučky o shodnosti obvodových úhlů nad společnými tětivy – úhel α nad společnou tětivou AK a úhel β nad tětivou BK)

- 2. HGÚ vypočítáme ze souřadnic bodů A a B směrník α_{AB} a určíme směrník α_{BA} ($\alpha_{BA} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ$ (30-00 dc))
- Vypočítáme směrníky α_{AK} a α_{BK} :

$$\alpha_{AK} = \alpha_{AB} - \beta \quad (11)$$

$$\alpha_{BK} = \alpha_{BA} + \alpha \quad (12)$$

- Pro výpočet souřadnic bodu K využijeme protínání vpřed ze směrníků.

$$N_K = \frac{N_A \times \operatorname{tg} \alpha_{AK} - N_B \times \operatorname{tg} \alpha_{BK} + E_B - E_A}{\operatorname{tg} \alpha_{AK} - \operatorname{tg} \alpha_{BK}} \quad (13)$$

$$E_K = (N_K - N_A) \times \operatorname{tg} \alpha_{AK} + E_A \quad (14)$$

- Ze souřadnic bodů K a C spočítáme 2. HGÚ směrník α_{KC} , který je totožný ze směrníkem α_{KD} .
- Dopočteme směrníky α_{AD} a α_{BD} :

$$\alpha_{AD} = \alpha_{KC} - \alpha \quad (15)$$

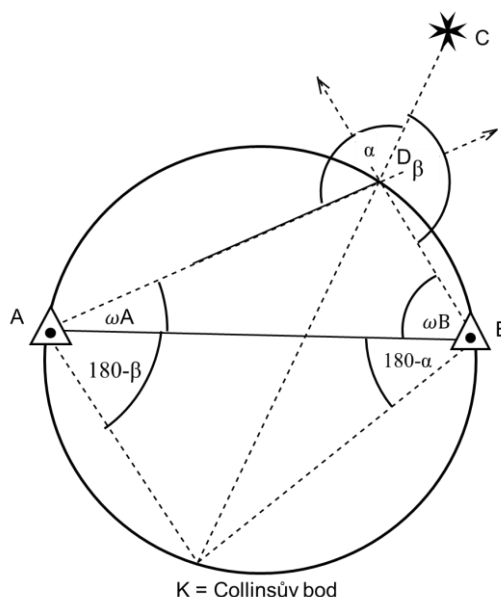
$$\alpha_{BD} = \alpha_{KC} + \beta \quad (16)$$

- Pro výpočet souřadnic bodu D využijeme protínání vpřed ze směrníků.

$$N_D = \frac{N_A \times \operatorname{tg} \alpha_{AD} - N_B \times \operatorname{tg} \alpha_{BD} + E_B - E_A}{\operatorname{tg} \alpha_{AD} - \operatorname{tg} \alpha_{BD}} \quad (17)$$

$$E_D = (N_D - N_A) \times \operatorname{tg} \alpha_{AD} + E_A \quad (18)$$

Pro $\alpha + \beta > 180^\circ$



Obrázek 7 Protínání zpět ze tří bodů při součtu úhlů α a $\beta > 180^\circ$

Zdroj: vlastní

Výpočet je obdobný jako v předchozí úloze, jen místo úhlů α a β budeme počítat s doplňky těchto úhlů do 180°

- 2. HGÚ vypočítáme ze souřadnic bodů A a B směrník α_{AB} a určíme směrník α_{BA} ($\alpha_{BA} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ$ (30-00 dc))
- Vypočítáme směrníky α_{AK} a α_{BK} :

$$\alpha_{AK} = \alpha_{AB} + (180^\circ - \beta) \quad (19)$$

$$\alpha_{BK} = \alpha_{BA} - (180^\circ - \alpha) \quad (20)$$

- Pro výpočet souřadnic bodu K využijeme protínání vpřed ze směrníků. Vztahy (13) a (14).
- Ze souřadnic bodů K a C spočítáme 2. HGÚ směrník α_{KC} , který je totožný ze směrníkem α_{KD} .
- Dopočteme směrníky α_{AD} a α_{BD} :

$$\alpha_{AD} = \alpha_{KC} + (180^\circ - \alpha) \quad (21)$$

$$\alpha_{BD} = \alpha_{KC} + (180^\circ + \beta) \quad (22)$$

- Pro výpočet souřadnic bodu D využijeme protínání vpřed ze směrníků. Vztahy (17) a (18).

1.2.3 Polygonové pořady

Další metodou pro topografické připojení prvků bojové sestavy jsou polygonové pořady, což je přenos souřadnic rozevřeného nebo uzavřeného mnohoúhelníku změřením délek jeho stran a jejich směrů, popř. vrcholových úhlů.

Speciálním druhem polygonového pořadu je směrový pořad určený pouze pro přenos orientačního směru.

Polygonové pořady jsou náročnější na organizaci, ale především na čas, proto je vhodné vždy zvážit, zdali není možné použít jinou, časově méně náročnou metodu.

Při pečlivém provedení a následném vyrovnání u oboustranně orientovaného a uzavřeného pořadu lze dosáhnout i geodetické přesnosti.

Analytické řešení polygonového pořadu je v podstatě opakovaný výpočet I. HGÚ pro každý následující vrchol, resp. postupný výpočet souřadnicových rozdílů jednotlivých vrcholů pořadu od výchozího až po uzavírací bod a případném souřadnicovém vyrovnání pořadu, které spočívá ve výpočtu a rozdělení chyb pořadu.

Postup při vyrovnání polygonového pořadu:

a) Na každém vrcholu pořadu (i na výchozím bodě) se vypočítá:

- směrnik následující strany pořadu
- úhlová chyba pořadu

$$O_{\beta} = \alpha_{\text{změřený}} - \alpha_{\text{daný}} \quad (23)$$

kde je:

$\alpha_{\text{změřený}}$ - směrnik uzavíracího orientačního směru získaný postupným výpočtem ze změřených (vypočtených) směrů u jednotlivých vrcholů,

$\alpha_{\text{daný}}$ - směrnik uzavíracího orientačního směru daný (z katalogu BGP nebo výpočtem II. HGÚ z BGP)

Maximální povolená úhlová chyba O_{β} je:

- pro měření ve stupňové míře (totální stanice, teodolit)

$$O_{\beta} < 40'' \times \sqrt{n} \quad (24)$$

- pro měření v dílcové (mils) míře (dělostřelecká buzola)

$$O_{\beta} < 0 - 01 \times \sqrt{n} \quad (25)$$

kde je:

n - počet vrcholů polygonového pořadu.

- směrové vyrovnání pořadu – vypočítaná celková chyba pořadu O_{β} se rovnoměrně rozdělí podle počtu vrcholů pořadu (vč. počátečního a koncového) a o její hodnotu se opraví směrniky jednotlivých stran pořadu, při tom se jednotlivé opravy mohou o vteřinu (dílce, mils) zvětšit nebo zmenšit, aby jejich celkový součet činil přesně O_{β} .
- souřadnicové rozdíly a souřadnice následujícího bodu: řešením I. HGÚ s opravenými směrniky

b) Na koncovém bodu pořadu se vypočtou:

- odchylky souřadnic podle vzorců:

$$O_N = N_{vyp} - N_{dané} \quad O_E = E_{vyp} - E_{dané} \quad (26, 27)$$

kde je:

 E_{vyp}, N_{vyp} - vypočítané souřadnice koncového bodu pořadu; $E_{dané}, N_{dané}$ - dané souřadnice koncového bodu pořadu;

- relativní (poměrná) chyba pořadu
- $\frac{Ol}{P}$
- podle vzorce:

$$\frac{Ol}{P} = \frac{\sqrt{O_E^2 + O_N^2}}{P} \quad (28)$$

kde je:

P - celková délka pořadu (součet změřených délek stran pořadu v metrech);

Relativní (poměrná) chyba $\frac{Ol}{P}$ pořadu nesmí překročit hodnoty:

- při měření busolou PAB $\frac{Ol}{P} < 1/300$
 - při měření teodolitem $\frac{Ol}{P} < 1/600$
- rozdělení chyb O_N a O_E souřadnicových rozdílů $\Delta E_n, \Delta N_n$ jednotlivých vrcholů pořadu úměrně délkám stran s_n
- oprava souřadnicových rozdílů ΔN_n

$$\Delta N_n = -\frac{O_N}{P} \times s_n \quad (29)$$

- oprava souřadnicových rozdílů ΔE_n

$$\Delta E_n = -\frac{O_E}{P} \times s_n \quad (30)$$

kde je:

 s_n - délka n -té strany pořadu v metrech,

P - celková délka pořadu v metrech.

c) Vypočtou se koncové souřadnice vrcholů se započítáním oprav.

ZÁVĚR A DISKUZE

Současný velmi rychlý rozvoj technologií sebou přináší i zdokonalování GNSS. Systémy jsou robustnější, lépe odolávají rušení (jamming) i podvržení signálu (spoofing). Zejména pro vojenské účely jsou v rámci amerického GPS uváděny do činnosti satelity nové generace Block III s novým systémem kódování (M-kód), který je navržen právě s důrazem na odolnost vůči rušení a klamání. Zároveň evropský systém GALILEO se stal již, stejně jako americký GPS, celosvětově použitelný. Stejně jako GPS i GALILEO nabízí pro vojenské uživatele šifrovaný signál PRS (Public Regulated Service), který je s americkým plně srovnatelný. Jednou z možností, jak zefektivnit možnosti využití GNSS je použití multifunkčních přijímačů, které umožní příjem více globálních navigačních systémů společně. To zabezpečí rychlejší, přesnější a spolehlivější navigaci v každé situaci.

Avšak s rozvojem kvantových počítačů lze předpokládat, že především kvůli možnosti spoofingu se údaje GNSS mohou stát nespolehlivými a pro potřeby vojsk a zejména pak dělostřelectva nepoužitelnými.

Ve světě se sice objevují informace o vývoji navigačních systémů pracujících na jiných principech než na příjmu signálů GNSS. Například kvantový navigační systém Ironstone Opal, který využívá magnetické pole Země a je podstatně přesnější než GPS. Systém ale funguje pouze tam, kde je magnetické pole dostatečně zmapováno a relativně stabilní. Kvantová navigace ukazuje cestu mimo satelitní závislost, ale k plnohodnotnému nahrazení GNSS je ještě dlouhá cesta.

To jsou hlavní důvody pro to, aby zejména dělostřelečtí velitelé dokázali zvolit a aplikovat správné metody určování souřadnic bodů v degradovaném prostoru. V úzké souvislosti s touto problematikou současně probíhají u Katedry palebné podpory na UO i jednání se zástupci VGHÚ z Dobrušky k obsahu geodetických a topografických map dle standardů NATO, tak aby byly vhodným podkladem pro určování potřebných orientačních bodů pro orientaci.

Potřebnost znalosti těchto metod se projevuje i dnes při praktické činnosti vojsk v prostorech, kde je příjem signálů GNSS znemožněn nebo velmi ztížen. Právě pro dělostřelectvo je určení souřadnic prvků bojové sestavy jedním z nejdůležitějších předpokladů pro jeho efektivní činnost. V souladu s požadavky od útvarů, každý student specializace Velitel dělostřeleckých jednotek musí tyto metody zvládnout jak v teoretické rovině, tak i prakticky v rámci polní přípravy. Znalost klasických způsobů připojení je jednou ze základních dovedností vyžadovanou pro praxi u důstojníků dělostřelectva AČR.

Metod pro určení pravoúhlých rovinných souřadnic v degradovaném prostředí – v prostředí bez možnosti příjmu signálů GNSS je více. Lze použít např. protínání ze společného orientačního bodu nebo protínání od různých orientačních bodů nebo polygonový pořad s trigonometricky měřenými stranami apod. Výše uvedené metody jsou praxí prověřené, které v minulosti byly běžně pro připojení prvků bojových sestav používány, ale které s příchodem, ale hlavně s pozdějším rozmachem orientace pomocí GNSS pomalu upadly do zapomnění. Cílem článku je tedy připomenout jejich existenci, nastínit možnosti jejich použití například

i v kombinaci s inerciálními navigačními systémy, tak aby byla zajištěna schopnost palebné podpory i v taktickém prostředí s omezenou dostupností moderních navigačních prostředků.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla realizována za finanční podpory Ministerstva obrany, resp. Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, a to v rámci projektu DZRO-FVL22-LANDOPS, resp. projektu specifického výzkumu SV23-FVL-K107-PEK, obou realizovaných v rámci Univerzity obrany, Fakulty vojenského leadershipu.

SEZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZŮ

- BLAHA, Martin; POTUŽÁK, Ladislav; ŠUSTR, Michal; IVAN, Jan a HAVLÍK, Tomáš, 2021. Simplification Options for More Efficient Using of Angular and Linear Measuring Rules for Fire Control. online. *International Journal of Education and Information Technologies*. roč. 15, s. 28-34. ISSN 2074-1316. Dostupné z: <https://doi.org/10.46300/9109.2021.15.4>. [cit. 2023-08-16].
- BLAHA, Martin a ŠILINGER, Karel, 2018. Application support for topographical-geodetic issues for tactical and technical control of artillery fire. online. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*. roč. 12, s. 48-57. ISSN 1998-4464. Dostupné z: <https://www.naun.org/main/NAUN/circuitssystemssignal/2018/a162005-adk.pdf>. [cit. 2025-06-30].
- CARTER, Alex, 2024. *Klíčové poznatky o typech rušení signálu a jejich použití*. online. In: SZMID Jammer. Dostupné z: <https://www.szmidjammer.com/cs/blog/types-of-signal-jamming/>. [cit. 2025-06-29].
- DRÁBEK, Jan; POTUŽÁK, Ladislav; HAVLÍK, Tomáš; VITOUL, Viktor a NOVÁK, Jiří, 2024. Practical Evaluation of Instruments for Determining the Exact Position During Artillery Operations of the Czech Artillery. online. *Challenges to National Defence in Contemporary Geopolitical Situation*. roč. 1, č. 1. ISSN 2538-8959. Dostupné z: <https://doi.org/10.3849/cndcgs.2024.45>. [cit. 2025-06-30].
- DRÁBEK, Jan; ŠUSTR, Michal; POTUŽÁK, Ladislav; IVAN, Jan a LIŠKA, Richard, 2025. Contingency and Emergency Manual Procedures for Calculation Firing Data Using Direction and Distance Coefficients. online. *Engineering Reports*. roč. 7, č. 6. ISSN 2577-8196. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/eng2.70252>. [cit. 2025-06-30].
- ERLEBACH, Lukáš, 2025. *Konec GPS? Nová technologie je mnohe lepší*. online. In: GLAMCODING ERLEBACH, S. R. O. IT pro Tebe. Dostupné z: <https://clanky.seznam.cz/clanek/ittb-konec-gps-nova-technologie-je-mnohe-lepsi-361>. [cit. 2025-06-29].
- HAVLÍK, Tomáš; ŠUSTR, Michal; IVAN, Jan; PEKAŘ, Ondřej a MUŠINKA, Miroslav. Evaluation of the effectiveness of a firing battery in self-defense and protection in the area of firing positions using constructive simulation. online. *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*. ISSN 1548-5129. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/15485129241291579>. [cit. 2024-12-13].

- IVAN, Jan, 2019. Artillery Survey for Autonomous Weapon Systems and Basic Requirements on Survey Units. online. *Vojenské rozhledy*. roč. 28, č. 4, s. 63-77. ISSN 12103292. Dostupné z: <https://doi.org/10.3849/2336-2995.28.2019.04.063-077>. [cit. 2023-08-16].
- IVAN, Jan; BLAHA, Martin; ŠUSTR, Michal a HAVLÍK, Tomáš, 2021. Evaluation of Possible Approaches to Meteorological Techniques of Artillery Manual Gunnery after the Adoption of Automated Fire Control System. online. *Vojenské rozhledy*. roč. 30, č. 3, s. 075-096. ISSN 12103292. Dostupné z: <https://doi.org/10.3849/2336-2995.30.2021.03.075-096>. [cit. 2024-12-13].
- IVAN, Jan; SUSTR, Michal; PEKAR, Ondřej a POTUZAK, Ladislav, 2022. Prospects for the Use of Unmanned Ground Vehicles in Artillery Survey. online. In: *Proceedings of the 19th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*. SCITEPRESS - Science and Technology Publications, s. 467-475. ISBN 978-989-758-585-2. Dostupné z: <https://doi.org/10.5220/0011300100003271>. [cit. 2023-08-16].
- KRATKY, Miroslav; MINARIK, Vaclav; SUSTR, Michal a IVAN, Jan, 2020. Electronic Warfare Methods Combatting UAVs. online. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. roč. 5, č. 6, s. 447-454. ISSN 24156698. Dostupné z: <https://doi.org/10.25046/aj050653>. [cit. 2023-08-16].
- MICHENKA, Karel, 2021. Způsob stanovení požadavků na bezosádkové pozemní vozidla pro vedení průzkumu a sledování. online. *Vojenské reflexie*. roč. 16, č. 2, s. 86-100. ISSN 13369202. Dostupné z: <https://doi.org/10.52651/vr.a.2021.2.86-100>. [cit. 2025-06-30].
- MINISTERSTVO OBRANY ČR, 2021. *Děl-6-6, Topograficko-geodetická příprava dělostřelectva*. Praha: Ministerstvo obrany.
- NOHEL, Jan; STODOLA, Petr; FLASAR, Zdeněk; KŘIŠŤÁLOVÁ, Dana; ZAHRADNÍČEK, Pavel et al., 2023. Swarm Maneuver of Combat UGVs on the Future Digital Battlefield. online. In: MAZAL, Jan; FAGIOLINI, Adriano; VAŠÍK, Petr; BRUZZONE, Agostino; PICKL, Stefan et al. *Modelling and Simulation for Autonomous Systems*. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, s. 209-230. ISBN 978-3-031-31267-0. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-031-31268-7_12. [cit. 2024-12-13].
- RYBANSKY, Marian; KRATOCHVÍL, Vlastimil; DOHNAL, Filip; GEROLD, Robin; KRISTALOVA, Dana et al., 2023. GNSS Signal Quality in Forest Stands for Off-Road Vehicle Navigation. online. *Applied Sciences*. roč. 13, č. 10. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app13106142>. [cit. 2024-12-13].
- STODOLA, Petr; DROZD, Jan a NOHEL, Jan, 2021. Model of Surveillance in Complex Environment Using a Swarm of Unmanned Aerial Vehicles. online. In: MAZAL, Jan; FAGIOLINI, Adriano; VASIK, Petr a TURI, Michele (ed.); MAZAL, Jan; FAGIOLINI, Adriano; VASIK, Petr; TURI, Michele. *Modelling and Simulation for Autonomous Systems*. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, s. 231-249. ISBN 978-3-030-70739-2. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-030-70740-8_15. [cit. 2024-12-13].
- STODOLA, Petr a KUTĚJ, Libor, 2024. Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Drones: Mathematical formulation, solution algorithm and experiments. online. *Expert Systems with Applications*. roč. 241. ISSN 09574174. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122483>. [cit. 2024-12-13].

- STODOLA, Petr; NOHEL, Jan a RYBANSKÝ, Marian, 2025. Modeling a reconnaissance operation in an urban environment using a swarm of UAVs. online. *The Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*. roč. 22, č. 2, s. 129-146. ISSN 1548-5129. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/15485129231203706>. [cit. 2025-06-30].
- ŠUSTR, Michal; IVAN, Jan; BLAHA, Martin a POTUŽÁK, Ladislav, 2022. A Manual Method of Artillery Fires Correction Calculation. online. *Military Operations Research*. roč. 27, č. 3, s. 77-94. ISSN 1082-5983. Dostupné z: <https://doi.org/10.5711/1082598327377>. [cit. 2025-06-30].
- TURAJ, Milan a MUŠINKA, Miroslav, 2022. THE IMPACT OF SIMULATION TECHNOLOGIES ON THE QUALITY OF SOLDIERS' PRACTICAL SKILLS IN THE PROCESS OF THEIR PROFESSIONAL EDUCATION. online. In: *16th International Technology, Education and Development Conference*. Online Conference, s. 5267-5276. Dostupné z: <https://doi.org/10.21125/inted.2022.1366>. [cit. 2025-06-30].
- VARECHA, Jaroslav, 2022. NECESSARY CHANGES IN THE EDUCATION OF FUTURE OFFICERS IN THE SLOVAK REPUBLIC FOR ACHIEVEMENT OF THE HIGHER QUALITY OF THEIR EDUCATION. online. In: *INTED2022 Proceedings*. Online Conference, s. 2686-2691. Dostupné z: <https://doi.org/10.21125/inted.2022.0783>. [cit. 2025-06-30].
- ZAHRADNÍČEK, Pavel; BOTÍK, Martin; RAK, Luděk a HRDINKA, Jan, 2023. Modern Battlefield and Necessary Reflection in Military Leader's Education and Training. online. *Vojenské rozhledy*. roč. 32, č. 4, s. 110-122. ISSN 12103292. Dostupné z: <https://doi.org/10.3849/2336-2995.32.2023.04.110-122>. [cit. 2024-12-13].
- ZAHRADNÍČEK, Pavel; RAK, Luděk a ZEŽULA, Jan, 2022. Budoucí prostředí a robotické autonomní systémy. online. *Vojenské reflexie*. roč. 17, č. 2, s. 56-72. ISSN 13369202. Dostupné z: <https://doi.org/10.52651/vr.a.2022.2.56-72>. [cit. 2025-06-30].
- ZANDL, Patrick, 2025. *Srovnání systémů GPS a Galileo pro vojenské účely*. online. In: Marigold. Dostupné z: <https://www.marigold.cz/item/porovnani-gps-galileo/>. [cit. 2025-06-29].

Ing. Jiří ŠOTNAR

Katedra palebné podpory, Fakulta vojenského leadershipu, Univerzita obrany, Kounicova 65, Brno, 662 10

+420 973 443 460, +420 608 733 409

Jiri.Sotnar@unob.cz

prof. Ing. Ladislav POTUŽÁK, CSc.

Katedra palebné podpory, Fakulta vojenského leadershipu, Univerzita obrany, Kounicova 44, Brno, 662 10

+420 973 443 667

ladislav.potuzak@unob.cz

kpt. Ing. Bc. Ondřej PEKAŘ

Katedra palebné podpory, Fakulta vojenského leadershipu, Univerzita obrany, Kounicova 44, Brno, 662 10

+420 973 443 936, +420 603 330 554

Ondrej.Pekar@unob.cz