

Abstrakt

Článek se zabývá rozbořem přesnosti a vyvozením obecnějších závěrů pro přesnost určení souřadnic a orientace metodou volného stanoviska. Je uveden exaktní postup výpočtu metodou nejmenších čtverců a vypočteny různé varianty modelového případu pro vyvození obecnějších závěrů z hlediska očekávaného vývoje přesnosti určení souřadnic a orientačního posunu.

To the precision of the free station

Summary

The exact procedure of the calculation of the free station task performed by the least squares method together with the accuracy analysis is presented. Then there is calculated a model situation which allows derivation of the generalized conclusion about influence of the configuration of orientation points on the accuracy of the determined coordinates and orientation shift.

Keywords: *precision planning; precision of the coordinates; precision analysis.*

1. Úvod

Metoda volného nebo také přechodného stanoviska je v současné době jedním z nejpoužívanějších postupů zeměměřičtví, využívá moderní přístrojové a výpočetní vybavení a umožňuje operativní volbu stanoviska měření bez nutnosti jeho trvalé stabilizace. Vyžaduje dostatečně hustou výchozí geodetickou síť, ale poskytuje posléze značnou volnost při další práci v daném prostoru, a zejména v oblasti inženýrské geodézie je výhodné, že není nutné stabilizovat body geodetické sítě v oblasti stavební činnosti. V neposlední řadě nadbytečná měření umožňují jednoduchou kontrolu. V mnoha případech se využívá nejen pro podrobné měření či vytyčování, ale také pro postupné budování geodetických sítí. Dříve převážně využívané geodetické metody jako polární metoda, protínání vpřed či zpět jsou teoreticky z hlediska dosažitelné přesnosti a vhodné konfigurace dostatečně prozkoumané, v případě metody volného stanoviska tomu tak není. Možných variant z hlediska počtu orientačních bodů a jejich rozmístění je nespočetně, v tomto příspěvku bude popsán exaktní postup výpočtu a hodnocení přesnosti a uvedeny některé varianty naznačující obecné principy pro správné využití a hodnocení přesnosti této metody.

2. Úvod

Metoda volného nebo také přechodného stanoviska je v současné době jedním z nejpoužívanějších postupů zeměměřičství, využívá moderní přístrojové a výpočetní vybavení a umožňuje operativní volbu stanoviska měření bez nutnosti jeho trvalé stabilizace. Vyžaduje dostatečně hustou výchozí geodetickou síť, ale poskytuje posléze značnou volnost při další práci v daném prostoru, a zejména v oblasti inženýrské geodézie je výhodné, že není nutné stabilizovat body geodetické sítě v oblasti stavební činnosti. V neposlední řadě nadbytečná měření umožňují jednoduchou kontrolu. V mnoha případech se využívá nejen pro podrobné měření či vytyčování, ale také pro postupné budování geodetických sítí. Dříve převážně využívané geodetické metody jako polární metoda, protínání vpřed či zpět jsou teoreticky z hlediska dosažitelné přesnosti a vhodné konfigurace dostatečně prozkoumané, v případě metody volného stanoviska tomu tak není. Možných variant z hlediska počtu orientačních bodů a jejich rozmístění je nespočetně, v tomto příspěvku bude popsán exaktní postup výpočtu a hodnocení přesnosti a uvedeny některé varianty naznačující obecné principy pro správné využití a hodnocení přesnosti této metody.

3. Výpočet souřadnic a orientačního posunu vyrovnáním zprostředkujících s hodnocením přesnosti

Volné stanovisko lze určit mnoha přibližnými metodami jako například výpočet více kombinací úloh bez vyrovnání a jejich následný průměr, nejkvalitnější řešení se však získá (za přítomnosti pouze náhodných chyb měření) vyrovnáním metodou nejmenších čtverců (MNC). Tato úloha je podrobně popsána v odborné literatuře (např. v [1]) včetně odvození.

Úloha je dána měřeními osnovy vodorovných směrů a délek ze stanoviska o neznámých (určovaných) souřadnicích na body o souřadnicích známých. Příklad se třemi orientačními body je na *Obr. 1*. Měřeny jsou ze stanoviska S na orientační body 1 až 3 vodorovné směry φ_1 až φ_3 (se směrodatnou odchylkou σ_φ) a vodorovné délky d_1 až d_3 (se směrodatnou odchylkou σ_d).

Vodorovná délka není přímo měřenou veličinou, obvykle je určena nezávislým měřením šikmé délky a zenitového úhlu totální stanicí. Neznámými jsou určované souřadnice stanoviska $[X_S \ Y_S]$ a orientační posun O měřené osnovy směrů; vektor neznámých:

$$\mathbf{X} = (X_S \ Y_S \ O)^T. \quad (1)$$

Výpočet lze ukázat pro situaci dle *Obr. 1*, pro jiný počet bodů či měřených veličin je výpočet analogický. Vektor měření:

$$\mathbf{l} = (\varphi_1 \ \varphi_2 \ \varphi_3 \ d_1 \ d_2 \ d_3). \quad (2)$$

Každé měření t je funkcí neznámých:

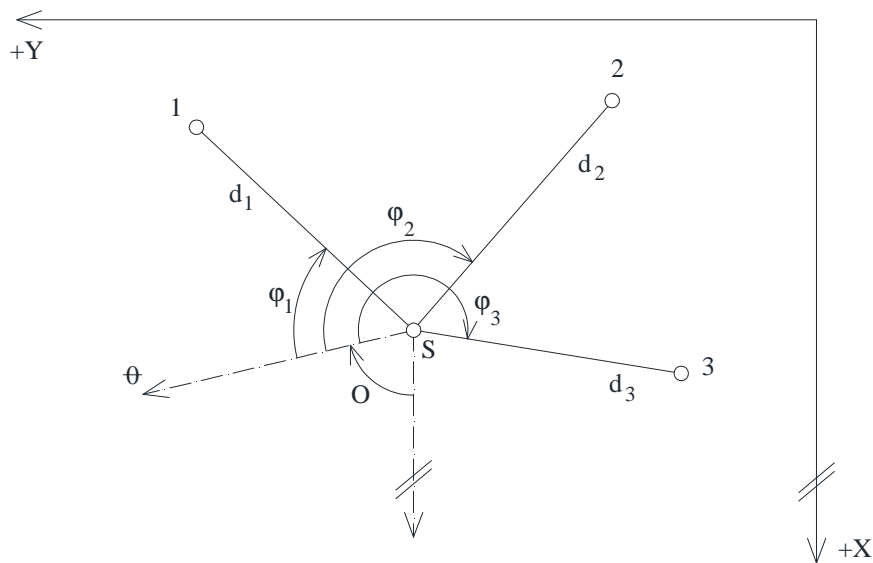
$$t = f(\mathbf{X}), \quad (3)$$

pro jednotlivé typy měření mají rovnice tvar:

$$\varphi_{Si} = \arctan\left(\frac{Y_i - Y_S}{X_i - X_S}\right) + O + o_K, \quad (4)$$

$$d_{Si} = \sqrt{(X_i - X_S)^2 + (Y_i - Y_S)^2}, \quad (5)$$

kde O označuje orientační posun osnovy, o_K opravu do správného kvadrantu.



Obr. 1 Určení volného stanoviska ze tří orientačních bodů

Kromě měření je třeba mít k dispozici pro výpočet přibližné hodnoty neznámých X_0 , určené bez vyrovnání z měřených hodnot a známých souřadnic. Pro zajištění konvergence iteračního výpočtu je vhodné kontrolovat zpětným výpočtem, zda měření použitá pro výpočet přibližné konfigurace neobsahují hrubou chybu, tj. kontrolovat soulad přímo měřených hodnot a odpovídajících hodnot vypočítaných z přibližných souřadnic pomocí výše uvedených vztahů. Výpočet je vždy iterační, neboť vztahy nejsou lineární. Matice derivací funkčních vztahů podle neznámých A :

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial \varphi_1}{\partial X_S} & \frac{\partial \varphi_1}{\partial Y_S} & \frac{\partial \varphi_1}{\partial O} \\ \frac{\partial \varphi_2}{\partial X_S} & \frac{\partial \varphi_2}{\partial Y_S} & \frac{\partial \varphi_2}{\partial O} \\ \frac{\partial \varphi_3}{\partial X_S} & \frac{\partial \varphi_3}{\partial Y_S} & \frac{\partial \varphi_3}{\partial O} \\ \frac{\partial d_1}{\partial X_S} & \frac{\partial d_1}{\partial Y_S} & \frac{\partial d_1}{\partial O} \\ \frac{\partial d_2}{\partial X_S} & \frac{\partial d_2}{\partial Y_S} & \frac{\partial d_2}{\partial O} \\ \frac{\partial d_3}{\partial X_S} & \frac{\partial d_3}{\partial Y_S} & \frac{\partial d_3}{\partial O} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \varphi_1}{\partial X_S} & \frac{\partial \varphi_1}{\partial Y_S} & 1 \\ \frac{\partial \varphi_2}{\partial X_S} & \frac{\partial \varphi_2}{\partial Y_S} & 1 \\ \frac{\partial \varphi_3}{\partial X_S} & \frac{\partial \varphi_3}{\partial Y_S} & 1 \\ \frac{\partial d_1}{\partial X_S} & \frac{\partial d_1}{\partial Y_S} & 0 \\ \frac{\partial d_2}{\partial X_S} & \frac{\partial d_2}{\partial Y_S} & 0 \\ \frac{\partial d_3}{\partial X_S} & \frac{\partial d_3}{\partial Y_S} & 0 \end{pmatrix} \cdot \quad (6)$$

Jednotlivé derivace funkcí měřených veličin dle neznámých (neuvedené derivace jsou rovny nule):

Vodorovný směr φ_{ij} :

$$\frac{\partial \varphi_i}{\partial X_S} = \frac{\Delta Y_{Si}}{d_i^2}, \quad (7)$$

$$\frac{\partial \varphi_i}{\partial Y_S} = -\frac{\Delta X_{Si}}{d_i^2}, \quad (8)$$

$$\frac{\partial \varphi_i}{\partial O} = 1. \quad (9)$$

Vodorovná délka d_{ij} :

$$\frac{\partial d_i}{\partial X_S} = -\frac{\Delta X_{Si}}{d_i}, \quad (10)$$

$$\frac{\partial d_i}{\partial Y_S} = -\frac{\Delta Y_{Si}}{d_i}, \quad (11)$$

Matice vah \mathbf{P} :

$$\mathbf{P} = \text{diag}(p_1 \ p_2 \ p_3 \ \dots \ p_m), \quad (12)$$

kde

$$p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2}, \quad (13)$$

kde σ_0 je apriorní směrodatná odchylka jednotková, zde volená konstanta pro výpočet vah. Směrodatné odchylky měření σ_i je vhodné definovat tak, aby co nejlépe odpovídaly situaci. Kromě přesnosti samotného měření je třeba uvážit vliv přesnosti centrace signalizace jednotlivých orientačních bodů, případně při záměrách na blízké body také sníženou přesnost cílení a v neposlední řadě také nepřesnost samotných souřadnic orientačních bodů. Vliv směrodatné odchylky popisující nepřesnost centrace σ_C nebo souřadnic orientačního bodu σ_{XY} (pro zjednodušení za předpokladu kružnice chyb, odvozeno v [1]) na přesnost určeného směru:

$$\sigma_{\varphi_{CXY}} = \frac{\sigma_{CXY}}{d} \cdot \rho. \quad (14)$$

Výsledná směrodatná odchylka směru se určí:

$$\sigma_{\varphi} = \sqrt{\sigma_{\varphi_C}^2 + \sigma_{XY}^2 + \sigma_{\varphi}^2}. \quad (15)$$

Vliv směrodatné odchylky popisující nepřesnost centrace σ_C nebo souřadnic orientačního bodu σ_{XY} (pro zjednodušení za předpokladu kružnice chyb) na přesnost určené délky:

$$\sigma_{d_{CXY}} = \sigma_{CXY}. \quad (16)$$

Výsledná směrodatná odchylka směru se určí:

$$\sigma_{d_{CXY}} = \sqrt{\sigma_{d_C}^2 + \sigma_{XY}^2 + \sigma_d^2}. \quad (17)$$

Výsledkem vyrovnání jsou nejen vyrovnané souřadnice a orientační posun, ale také směrodatné odchylky vyrovnaných neznámých ve formě kovarianční matice (viz. dále), které jsou určeny také v závislosti na vložených směrodatných odchylkách měření. Vektor redukovaných měření \mathbf{l}' :

$$\mathbf{l}' = \mathbf{f}(\mathbf{X}_0) - \mathbf{l}. \quad (18)$$

Výpočet přírůstků neznámých \mathbf{dx} :

$$dx = -(A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot P \cdot l'. \quad (19)$$

Vektor oprav v :

$$v = A \cdot dx + l'. \quad (20)$$

Směrodatná odchylka jednotková aposteriorní:

$$s_0 = \sqrt{\frac{v^T \cdot P \cdot v}{n-k}}. \quad (21)$$

Kovarianční matice vyrovnaných neznámých:

$$M = s_0^2 \cdot (A^T \cdot P \cdot A)^{-1} \quad (22)$$

nebo

$$\Sigma = \sigma_0^2 \cdot (A^T \cdot P \cdot A)^{-1}, \quad (23)$$

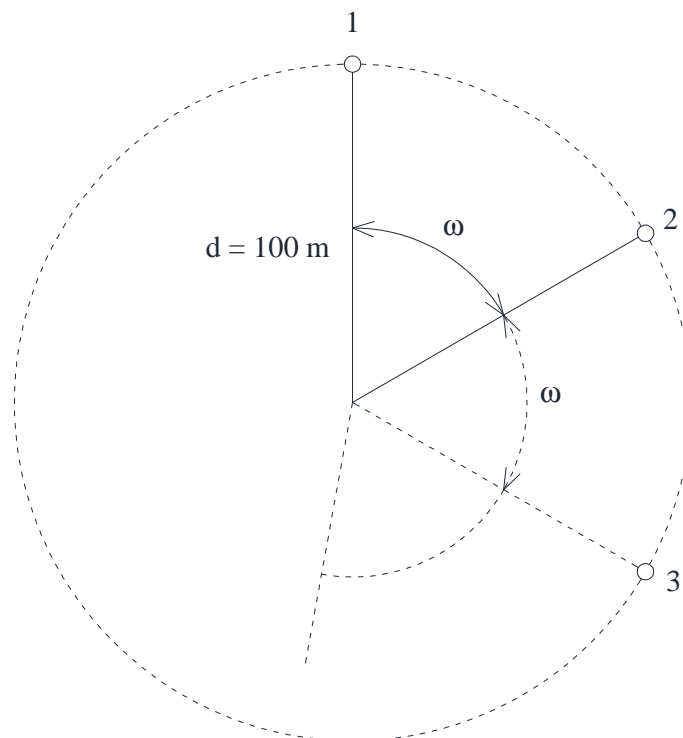
o použité jednotkové směrodatné odchylce apriorní nebo aposteriorní se rozhodne na základě analýzy výsledků vyrovnání (blíže viz [1]). Pro modelování se samozřejmě využije vztah (23). Na diagonále kovarianční matice jsou kvadráty směrodatných odchylek v pořadí σ_{XS} , σ_{YS} , σ_0 . Výpočet se provádí iteračně, ukončí se v případě dostatečného souladu prvních a druhých oprav (viz [1]), případně při zastavení poklesu aposteriorní jednotkové směrodatné odchylky.

Poznámka k výpočtu vah: Pokud se příslušným způsobem nezavedou váhy a opomine se zejména přesnost centrace a souřadnic blízkého orientačního bodu a tento dostane stejnou váhu jako jiné směry na vzdálené body, může dojít k zásadní degradaci přesnosti určení orientačního posunu, neboť směrodatná odchylka 10 mm na orientačním bodě vzdáleném 100 m způsobí směrodatnou odchylku ve směru o velikosti 6,4 mgon; na vzdálenost 20 m již 31,8 mgon. Odpovídá to zažitě konvenci, že blízké orientace nejsou vhodné. Zároveň je vhodné vědět, jakým postupem počítá tuto úlohu software totální stanice, neboť volba vah zásadně ovlivňuje věrohodnost výsledků, a této volbě je třeba přizpůsobit výběr orientačních bodů, resp. používané konfigurace.

4. Hodnocení přesnosti některých případů

Možností uspořádání orientačních bodů a umístění stanoviska je nespočet, pro vyvození obecnějších informací byly vybrána jednoduše definovatelná a určitelná konfigurace, kdy orientační body jsou umístěny na kružnici o poloměru 100 m se středem v určovaném stanovisku (viz. Obr. 2). Úhel mezi sousedními orientačními body ω je proměnlivý stejně jako celkový počet orientačních bodů. Jednotlivé konfigurace budou dále zkoumány, zejména z hlediska vlivu přírůstku přesnosti na základě počtu bodů, velikosti úhlu ω a měřených veličinách použitých pro výpočet.

Pro výpočet předpokládané přesnosti byly zvoleny směrodatné odchylky měření v současné době běžné u totálních stanic, konkrétně směrodatná odchylka směru $\sigma_\varphi = 1,0 \text{ mgon}$ a směrodatná odchylka délky $\sigma_d = 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} \cdot d$, dále směrodatná odchylka centrace cíle $\sigma_C = 0,7 \text{ mm}$. Nepřesnost orientačních bodů nebyla uvažována.



Obr. 2 Modelová konfigurace bodů

Výpočet byl proveden pro kontrolu pro dva až deset orientačních bodů, v grafickém vyjádření byl vývoj obdobný, proto bude zobrazení omezeno na vybrané počty orientačních bodů. Při praktickém měření také nebude příliš častý případ většího počtu orientačních bodů nežli je pět. Přesnost popsána směrodatnou odchylkou souřadnicovou σ_{XY} je určována v závislosti úhlu β , což je rozdíl směrniců prvního a posledního orientačního bodu. Úhel β vymezuje úhlovou výseč, ve které jsou pravidelně rozmístěny všechny orientační body.

$$\sigma_{XY} = \sqrt{\frac{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2}{2}}. \quad (24)$$

Další hodnocenou veličinou je směrodatná odchylka určení orientačního posunu σ_O , která spoluurčuje kvalitu dalšího měření polární metodou. Je vhodné podotknout, že σ_O je ovlivněna nejen měřením vodorovných směrů ve smyslu určení orientačního posunu na známém stanovisku, ale také přesností určení souřadnic stanoviska.

Pro úplnost bude uvedeno nejen řešení s využitím směrů i délek, ale také pro oba typy měření odděleně.

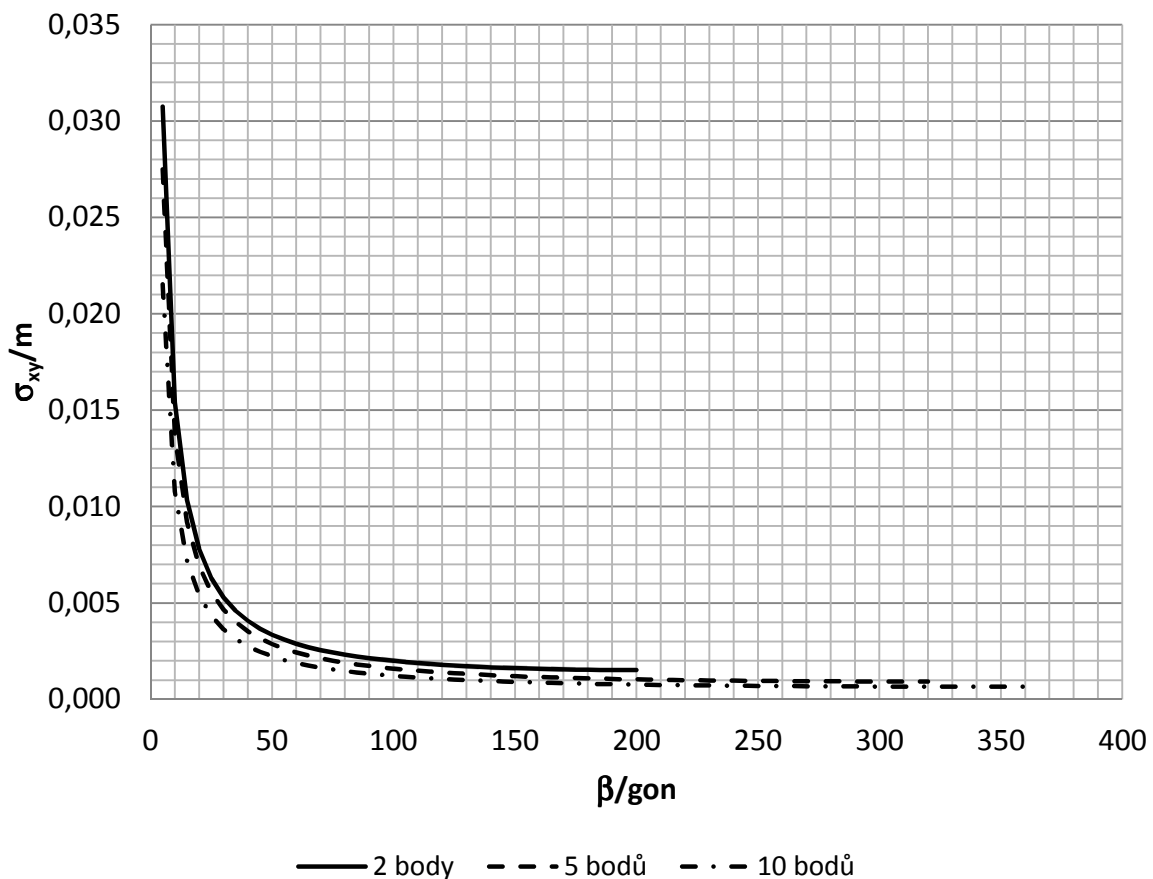
4.1 Hodnocení přesnosti výpočtu při využití měřených vodorovných směrů i délek

Tato varianta měření a zpracování je nejčastější, a jak bude dále ukázáno, také nejvhodnější. Na Obr. 3 je zobrazen vývoj směrodatné odchylky souřadnicové v závislosti na úhlu β . Je zde zřejmé, že s rostoucím úhlem β roste kvalita určení souřadnic, nejprve strmě a po dosažení přibližně 50 gon již jen mírně. Například směrodatné odchylky souřadnicové o velikosti 2 mm (odpovídá přesnosti měření délky) dosáhne metoda pro dva orientační body při $\beta \doteq 100 \text{ gon}$, pro pět orientačních bodů již při $\beta \doteq 70 \text{ gon}$.

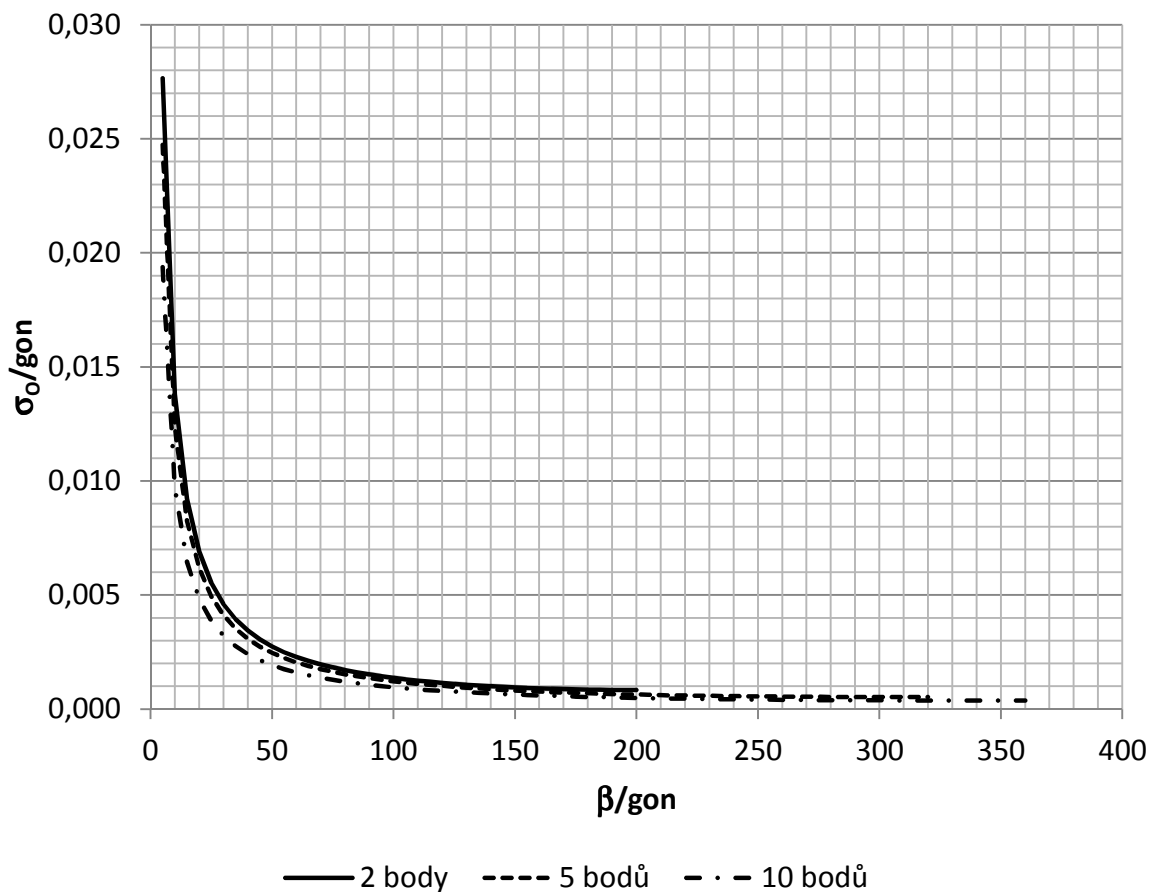
Podstatná je také informace, že ani při minimálním úhlu mezi orientačními body 5 gon (tj. vzdálenost mezi orientačními body 7,8 m) výpočet neselhává a tedy pro mnohé účely lze

využívat i významně méně příznivé konfigurace nežli je zvykem odvozeným ze zkušeností vyplývajících z měření úhlů (před příchodem elektrooptických dálkoměrů). Nicméně ačkoli vodorovný směr a vodorovná délka jsou veličiny z hlediska vlivu ortogonální, konfigurace bodů má na přesnost určení souřadnic stanoviška nezanedbatelný vliv, a jak je dále uvedeno, také na přesnost určení orientačního posunu.

Na Obr. 4 je zobrazen průběh přesnosti určení orientačního posunu, pro vývoj platí stejné zákonitosti jako v případě souřadnic s tím, že potřebnou kvalitu je nutné vybírat dle navazujících prací – např. pro následné vytyčování na vzdálenost 30 m bude zajisté dostačovat $\sigma_0 = 0,0020 \text{ gon}$ (ve spojení se směrodatnou odchylkou měření směru a danou vzdáleností představuje 1 mm v příčném směru).



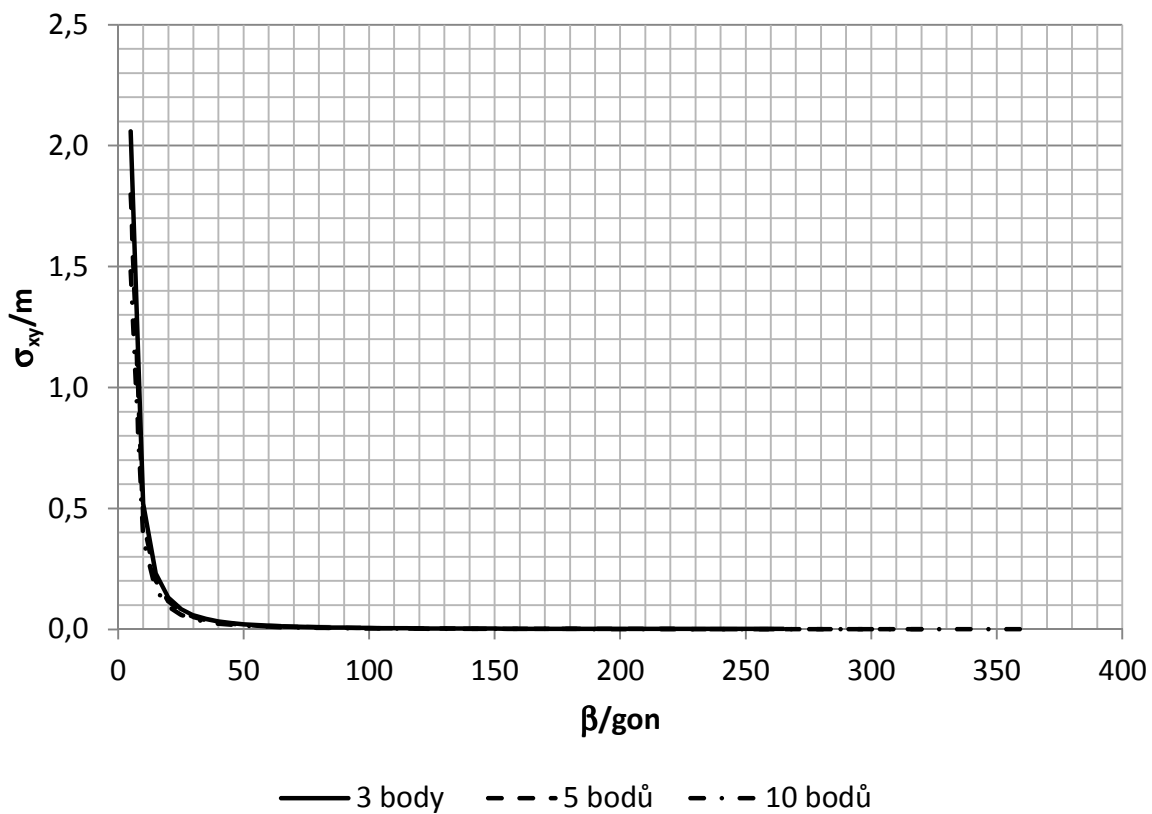
Obr. 3 Přesnost určení souřadnic stanoviška – kombinované protínání



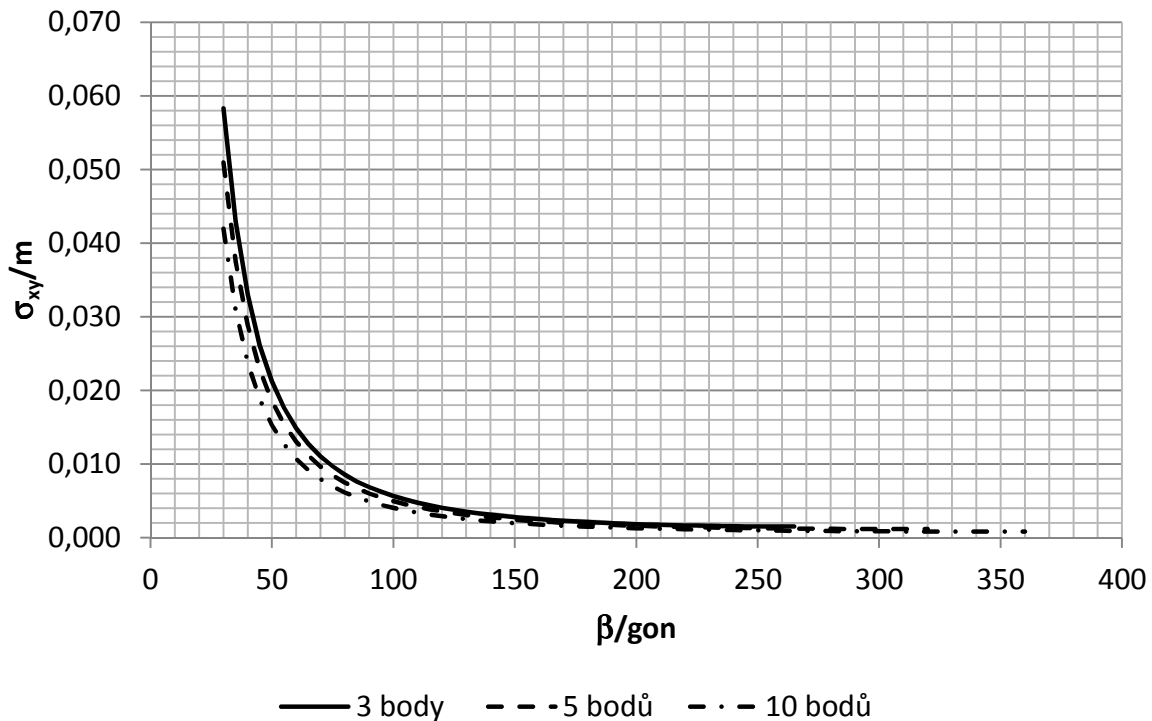
Obr. 4 Přesnost určení orientačního posunu - kombinované protínání

4.2 Hodnocení přesnosti výpočtu při využití pouze měřených směrů

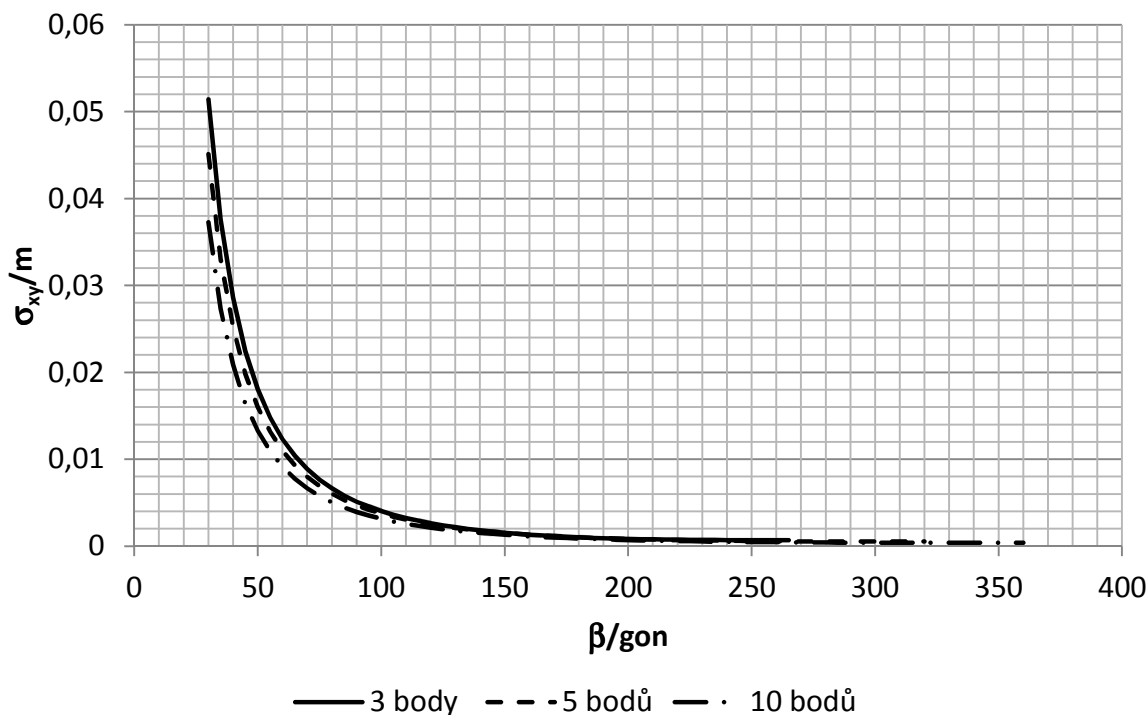
Zde se v případě tří bodů jedná o protínání zpět z úhlů a lze z měřených hodnot určit jak souřadnice, tak orientaci. Oproti kombinovanému případu je výsledek daleko více závislý na konfiguraci bodů, jak je zřejmé z Obr. 5 a v detailu na Obr. 6, kde pro konfigurace s malým β je směrodatná odchylka souřadnicová dokonce v jednotkách metrů. Tato charakteristika přesnosti klesá ale velmi rychle a pro modelované případy pro $\beta \geq 50$ gon již dosahuje hodnoty 20 mm. Z grafického znázornění je zřejmé, že takto řešená úloha je výrazně méně spolehlivá nežli kombinované vyrovnání, jehož výsledky jsou popisovány v předchozím odstavci.



Obr. 5 Přesnost určení souřadnic stanoviška – protínání pouze ze směrů



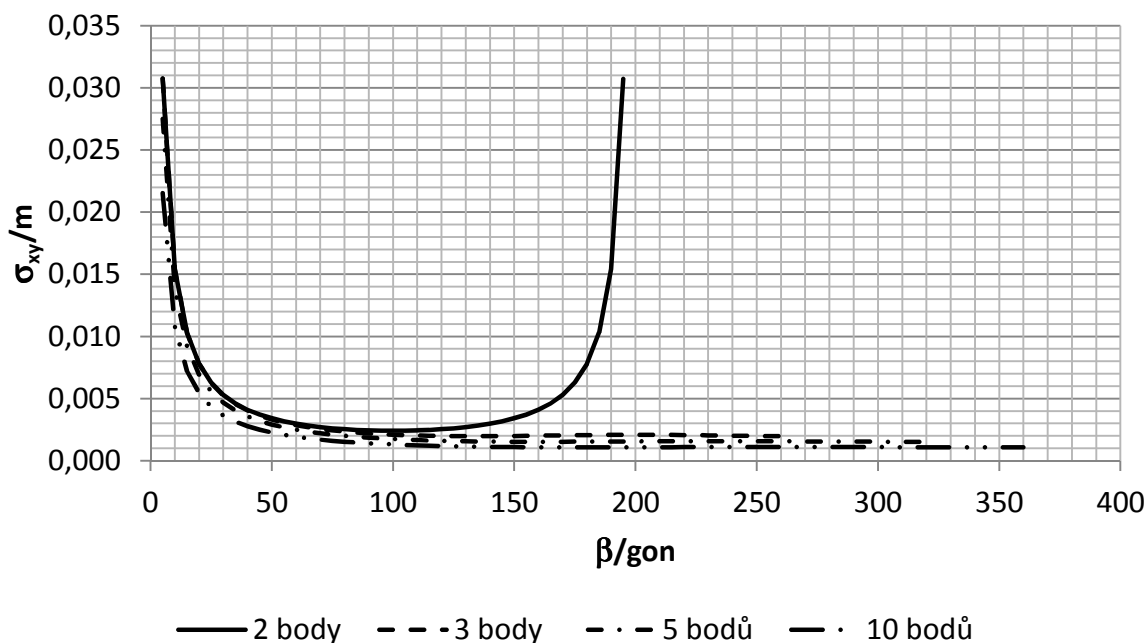
Obr. 6 Přesnost určení souřadnic stanoviška – protínání pouze ze směrů - detail



Obr. 7 Přesnost určení orientačního posunu – protínání pouze ze směrů - detail

4.3 Hodnocení přesnosti výpočtu při využití pouze měřených vodorovných délek

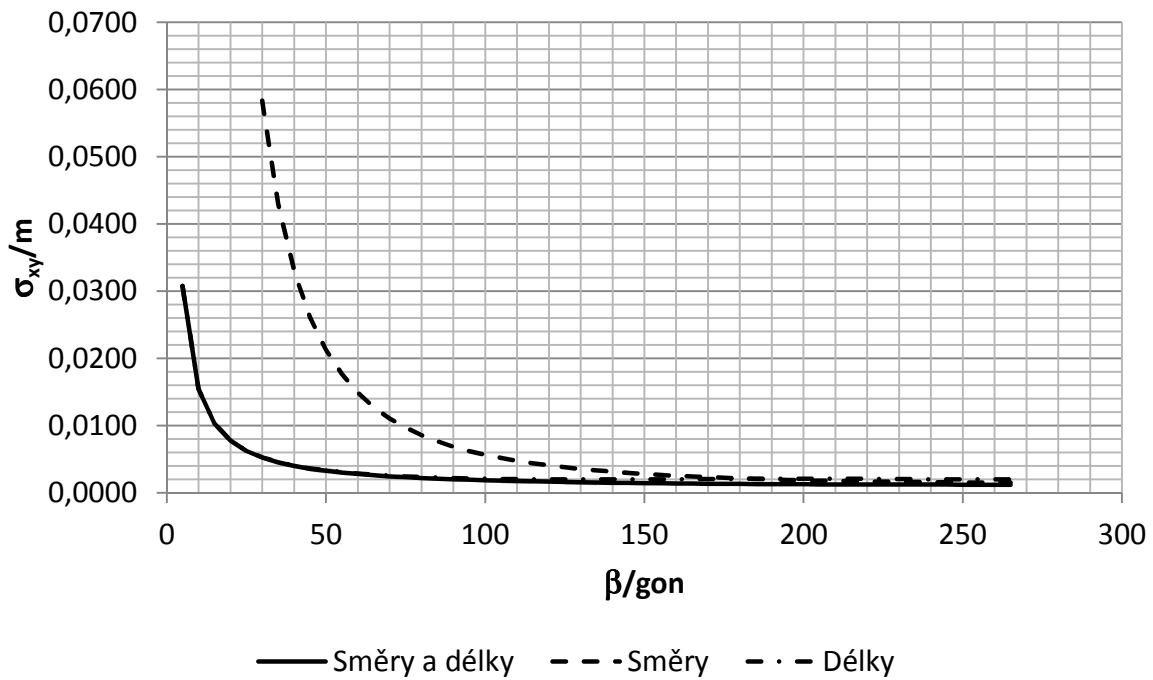
U takto pojatého řešení nelze určit orientaci, zároveň prakticky vždy lze měřit směr (jestliže lze měřit vzdálenost) a tedy tato varianta nebude prakticky příliš využívána, nicméně přesnost je pro tři a více bodů téměř totožná jako v případě kombinovaného protínání. Varianta pouze dvou délkových orientací je nevhodná jak z hlediska přesnosti, tak z toho důvodu, že není měřena žádná kontrolní veličina. Grafické znázornění výsledků je na Obr. 8.



Obr. 8 Přesnost určení souřadnic stanoviště – délkové protínání

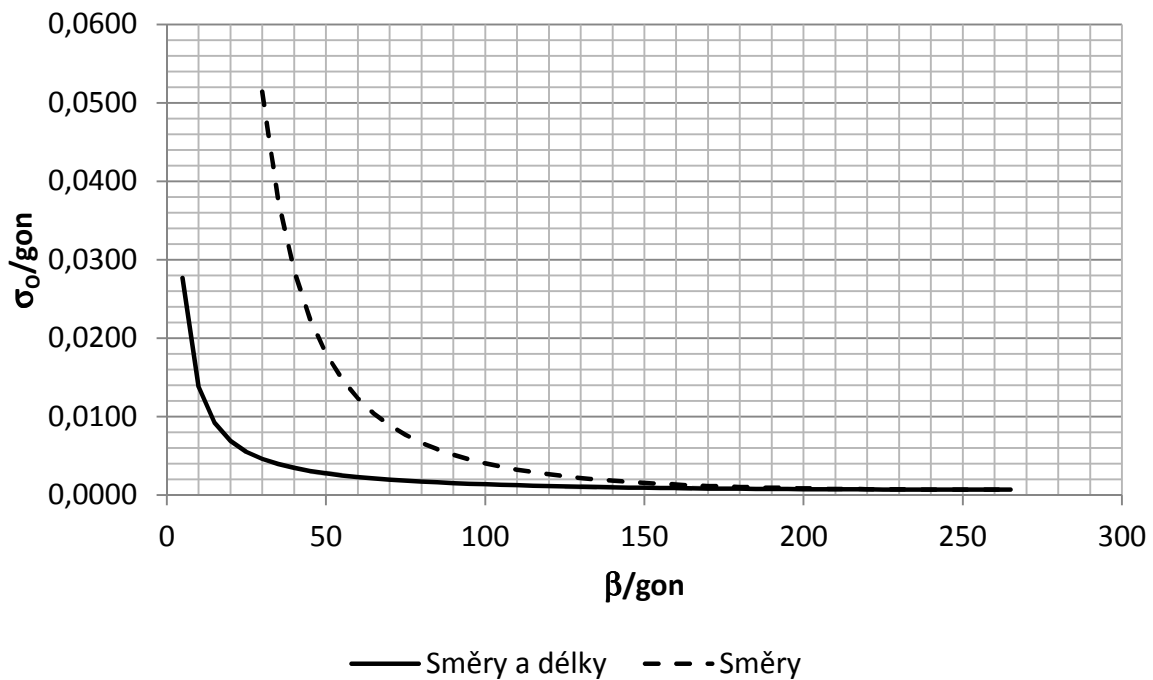
4.4 Zhodnocení jednotlivých variant výpočtu

Pro srovnání je na *Obr. 9* uveden graf srovnávající přesnost určení souřadnic stanoviška kombinovaným protínáním, protínám zpět z úhlů a protínáním zpět z délek.



Obr. 9 Přesnost určení souřadnic stanoviška – srovnání variant

Již konstatovaná praktická totožnost přesnosti kombinovaného protínání a protínání z délek je zde zřetelně vidět. Naopak určení souřadnic pouze protínáním zpět z úhlů vyžaduje významně kvalitnější konfiguraci orientačních bodů.



Obr. 10 Přesnost určení orientačního posunu – srovnání variant

Pro přesnost určení orientačního posunu je situace obdobná (viz Obr. 10).

4.5 Poznámka k určení orientačního posunu při orientacích na blízké body

Při orientacích na blízké body směr na ně měřený při nezohlednění této skutečnosti a tedy nesprávném zavedení vah do výpočtu může zásadně poškodit výsledek a to jak souřadnice, tak orientaci. Lze v tomto případě doporučit použít z měření na blízké body pouze měřené délky a směry nikoli, případně tyto body úplně vynechat. Lze ukázat na zjednodušeném příkladu pouze určení orientačního posunu ze tří orientací, jaký vliv chybně zavedené váhy (resp. nezavedení vah) mohou mít. Jestliže jsou z osnovy směrů a vypočítaných směrniců určeny orientační posuny O_1 , O_2 , O_3 se směrodatnými odchylkami $\sigma_{O1} = \sigma_{O2} = 1,2 \text{ mgon}$ (vliv měření směru $\sigma_\varphi = 1,0 \text{ mgon}$ a přesnosti centrace cíle $\sigma_c = 1 \text{ mm}$ na vzdálenost 100 m) a $\sigma_{O3} = 6,4 \text{ mgon}$ (vliv měření směru a přesnosti centrace cíle $\sigma_c = 1 \text{ mm}$ na vzdálenost 10 m), průměrný orientační posun bez zavedení vah bude mít směrodatnou odchylku:

$$O = \frac{O_1 + O_2 + O_3}{3}, \quad (25)$$

$$\sigma_O = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{\sigma_{O1}^2 + \sigma_{O2}^2 + \sigma_{O3}^2} = 2,2 \text{ mgon}. \quad (26)$$

V případě správného použití pouze první a druhé orientace by směrodatná odchylka výsledného orientačního posunu byla pouze $0,85 \text{ mgon}$. V případě použití směrodatných odchylek souřadnic orientačních bodů by výsledný rozdíl byl ještě markantnější.

Lze ovšem předpokládat, že při měření jsou použity body s obdobnou přesností a při jejich stejné vzdálenosti od stanoviska a stejné signalizaci problém správného nastavení vah nenastává. Při významně odlišných vzdálenostech nebo přesnosti bodů lze také pro získání správného řešení doporučit výpočet v některém softwaru, který umožňuje různé nastavení vah pro vyrovnání jako např. [2], a to nejen pro výpočet orientace, ale zejména pro výpočet souřadnic.

5. Závěr

V práci byl prezentován exaktní výpočet úlohy volného stanoviska včetně výpočtu charakteristik přesnosti. Z hlediska výsledné přesnosti určení souřadnic a orientačního posunu byly modelovány různé konfigurace zohledňující zejména velikost úhlové výseče, ve které se nachází všechny orientační body.

Uváděné zobecněné závěry je nutné vztahovat k modelovaným konfiguracím. Volné stanovisko se z provedeného modelování jeví jako velmi stabilní úloha, kdy výsledky jsou velmi dobré i v případě velmi „úzké“ konfigurace. Reálnou „kvalitu“ lze bez znalosti následného účelu měření nebo vytyčování posoudit jen velmi těžko, nicméně kvalita je významně vyšší nežli v případě pouze protínání zpět ze směrů, dále v reálně použitelných konfiguracích a za podmínky správném postupu výpočtu nedochází k selhání.

Pokud je prakticky třeba určit charakteristiky přesnosti pro konkrétní konfiguraci a parametry přesnosti, lze to provést jednoduše např. s využitím programu PrecisPlanner ([3], [4], [5]) a to včetně směrodatných odchylek souřadnic orientačních bodů. Pokud je ovšem výpočet prováděn přímo při měření v totální stanici, je třeba znát postup výpočtu a tomu přizpůsobit úvahy o vlivu konfigurace orientačních bodů, neboť výsledná přesnost také závisí na správném nastavení vah.

*Článek byl zpracován v rámci grantového projektu SGS č. SGS12/051/OHK1/1T/11
„Optimalizace získávání a zpracování 3D dat pro potřeby inženýrské geodézie“.*

LITERATURA:

- [1] Štroner, M. - Hampacher, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 1. vyd. Praha: CTU Publishing House, 2011. 313 s. ISBN 978-80-01-04900-6.
- [2] Program GNU Gama. <http://www.gnu.org/software/gama/gama.cs.html>. 12.2.2012.
- [3] sgeo.fsv.cvut.cz/~stroner/PPlanner/index.html; 11.2.2012.
- [4] Štroner, M.: Vývoj softwaru na plánování přesnosti prostorových sítí PrecisPlanner 3D. In: Aktuální problémy inženýrské geodézie 2011. Praha: Český svaz geodetů a kartografů, 2011, díl 1, s. 53-61. ISBN 978-80-02-02284-8.
- [5] Štroner, M.: Vývoj softwaru na plánování přesnosti geodetických měření PrecisPlanner 3D. Stavební obzor. 2010, roč. 19, č. 3, s. 92-95. ISSN 1210-4027.