

# VÝVOJ SOFTWARE NA PLÁNOVÁNÍ PŘESNOSTI PROSTOROVÝCH SÍTÍ PRECISPLANNER 3D

## DEVELOPMENT OF THE MEASUREMENT ACCURACY PLANNING OF THE 3D GEODETIC NETS PRECISPLANNER 3D

Martin Štroner<sup>1</sup>

### Abstract

A software for modelling of the accuracy of the geodetic measurements and calculation is presented in this paper. It is possible to model accuracy of the geodetic nets with adjusted and/or fixed points in 2D and 3D and also any other conventional geodetic measurement common in land surveying and engineering surveying.

### 1 Úvod

Plánování přesnosti měření je velmi důležitou součástí geodetických prací nejen ve výstavbě. Normativními či smluvními podklady je obvykle dána požadovaná přesnost a ať už se jedná například o zaměření primární či sekundární vytyčovací sítě nebo o podrobné vytyčení či zaměření polohy bodu, je prostřednictvím rozboru přesnosti před měřením nutné stanovit takový postup měření a vybrat takové měřické přístroje a pomůcky, aby požadovaná přesnost byla dodržena. V případě geodetických úloh bez vyrovnání lze obvykle za přijetí určitých zjednodušení určit jednoznačně po výběru přístrojů a za znalosti směrodatných odchylek jednoho měření nutné počty opakování. V případě geodetických úloh s vyrovnáním metodou nejmenších čtverců (MNČ) tento postup principiálně není možný a je třeba vytvořit model, pomocí kterého poté lze přesnost hodnotit.

Vyrovnání MNČ je v oblasti geodézie velmi propracovaná oblast ([1]), vytvoření modelu geodetické úlohy je jeho podmnožinou. Pro vyrovnání geodetických sítí jsou k dispozici jak volně dostupné (např. GNU Gama, [2]), tak komerční programy (např. Groma, [3]), pro plánování přesnosti však nikoli, proto je exaktně provedený rozbor přesnosti před měřením pro úlohy s vyrovnáním spíše výjimkou, znamená totiž pracné sestavení modelu „vlastními silami“. Vzhledem k těmto skutečnostem byl vytvořen volně dostupný program PrecisPlanner 3D aktuálně ve verzi 2.1, který umožňuje na základě přibližných souřadnic definujících konfiguraci měření, výběru měřených veličin a jejich přesnosti určit přesnost výsledných souřadnic včetně kovarianční matice umožňující další výpočty přesnosti odvozených veličin (např. délky, úhly apod.).

### 2 Princip plánování a určování přesnosti geodetických měření

Za znalosti přibližných souřadnic měřených bodů, přibližných hodnot měřených hodnot a jejich směrodatných odchylek lze jednoduše vytvořit chybový model vedoucí k určení odhadu přesnosti vyrovnaných veličin, pro potřeby geodézie souřadnic, ve tvaru kovarianční matice. Tato matice dále umožňuje prostřednictvím obecného zákona hromadění směrodatných odchylek určení přesnosti libovolných dalších odvozených veličin.

---

<sup>1</sup> Martin Štroner, Doc. Ing., Ph.D., Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, tel.: +420-2435-4781, e-mail: martin.stroner@fsv.cvut.cz

Obecný model geodetické úlohy lze vyjádřit několika málo vzorci v dalším odstavci, tento model platí jak pro úlohy s vyrovnáním, tak pro úlohy bez vyrovnání.

## 2.1 Obecný model vyrovnání geodetické sítě

Model volné geodetické sítě je dán normálními rovnicemi (podle [1]):

$$\begin{pmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T & \mathbf{0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{dx} \\ \mathbf{k} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l}' \\ \mathbf{b} \end{pmatrix} = \mathbf{0}, \quad (1)$$

kde

<b>A</b>	...	matice plánu experimentu (matice derivací),
<b>P</b>	...	matice vah,
<b>l'</b>	...	vektor redukovaných měření,
<b>B</b>	...	matice linearizovaných podmínek,
<b>b</b>	...	vektor absolutních členů podmínek,
<b>dx</b>	...	vektor přírůstků neznámých oproti přibližným hodnotám,
<b>k</b>	...	vektor korelát.

Vyrovnané neznámé se určí:

$$\mathbf{X} = \mathbf{x}_0 + \mathbf{dx}, \quad (2)$$

kde  $\mathbf{x}_0$  jsou přibližné hodnoty neznámých. Váhy se pro nezávislá měření volí:

$$p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2}, \quad (3)$$

kde  $\sigma_0$  je volená konstanta a  $\sigma_i$  je směrodatná odchylka i-tého měření. Matice vah **P** má pro n měření tvar:

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_n \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Jednotlivé prvky matice **A** mají pro i-té měření  $l_i$  j-tou neznámou  $X_j$  (odpovídá sloupcům a řádkům) tvar:

$$A_{i,j} = \frac{\partial f_i}{\partial X_j}, \quad (5)$$

kde  $f_i$  je funkce vyjadřující vztah mezi měřením  $l_i$  a určovanými souřadnicemi. Matice **A** se pro vyrovnání vyčíslí s využitím přibližných hodnot neznámých  $\mathbf{x}_0$ . Jednotlivé prvky vektoru **l'** mají tvar:

$$l'_i = (l_i - f_i). \quad (6)$$

Kovarianční matice  $\mathbf{M}$  popisující přesnost výsledků vyrovnání se určí podle následujícího vzorce:

$$\mathbf{M} = \sigma_0^2 \begin{pmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T & \mathbf{0} \end{pmatrix}^{-1} . \quad (7)$$

Blíže k odvození a zdůvodnění jednotlivých vzorců lze nalézt v [1]. Jak vyplývá ze vzorce (7), k určení kovarianční matice není třeba znát žádná konkrétní měření, postačí přibližná konfigurace daná souřadnicemi a volba, jaká měření budou prováděna a s jakou přesností. Lze takto získat exaktní model přesnosti vyrovnaných veličin, je ale vhodné upozornit na to, že přesnost výsledného modelu je závislá na správném odhadu přesnosti jednotlivých měřených veličin. Není vhodné bez dalších úvah převzít údaje o přesnosti z materiálu výrobce, měření je dále ovlivňováno např. přesností centrace přístroje a cíle, určení výšky přístroje nebo vlivem atmosférické refrakce. Tyto i další vlivy je vhodné zvážit při stanovování přesnosti měření pro vytvoření modelu.

### 3 Popis programu PrecisPlanner 3D v2.1 a jeho možnosti

Program pracuje v operačním systému Microsoft Windows XP a vyšším a slouží pro plánování přesnosti měření prostorových místních (volných) sítí. Po spuštění programu se zobrazí hlavní okno (obr. 1), které tvoří rozcestník možností. Na začátek práce je nutné do programu načíst souřadnice z textového souboru, minimální počet jsou dva body. Načítat lze pouze souřadnice (číslo bodu, X, Y, Z) tlačítkem „\*.txt“ a nebo s doplňujícími údaji o přesnosti centrace, určení výšky přístroje a charakteru bodu tlačítkem „Načíst souřadnice“. Načtené souřadnice lze graficky zobrazit, přidávat či mazat body. Dále lze načítat měření z textového souboru, zobrazit je graficky, přidávat a odebírat. Dále lze provést výpočet, zobrazit protokol o výpočtu, zobrazit výsledné směrodatné odchylky souřadnic a ze souřadnic počítat různé typy délek a jejich přesnosti. Pro samotný výpočet je použit volně šiřitelný program GNU Gama, pro který je připraven vstupní soubor s přibližnými souřadnicemi bodů, měřenými hodnotami a ze kterého jsou dále načteny výstupní protokol a kovarianční matice popisující přesnost a vazby souřadnic.



Obr. 1. Hlavní okno programu PrecisPlanner 3D ver. 2.1

### 3.1 Výpočetní jádro - program GNU Gama [2]

Program byl vytvořen v jazyce C++, slouží k vyrovnání rovinných, prostorových i výškových geodetických sítí. Jeho součástí jsou mimo jiné také knihovna popisující geodetická měření „GamaLib“ a knihovna pro práci s maticemi „gmatvec“.

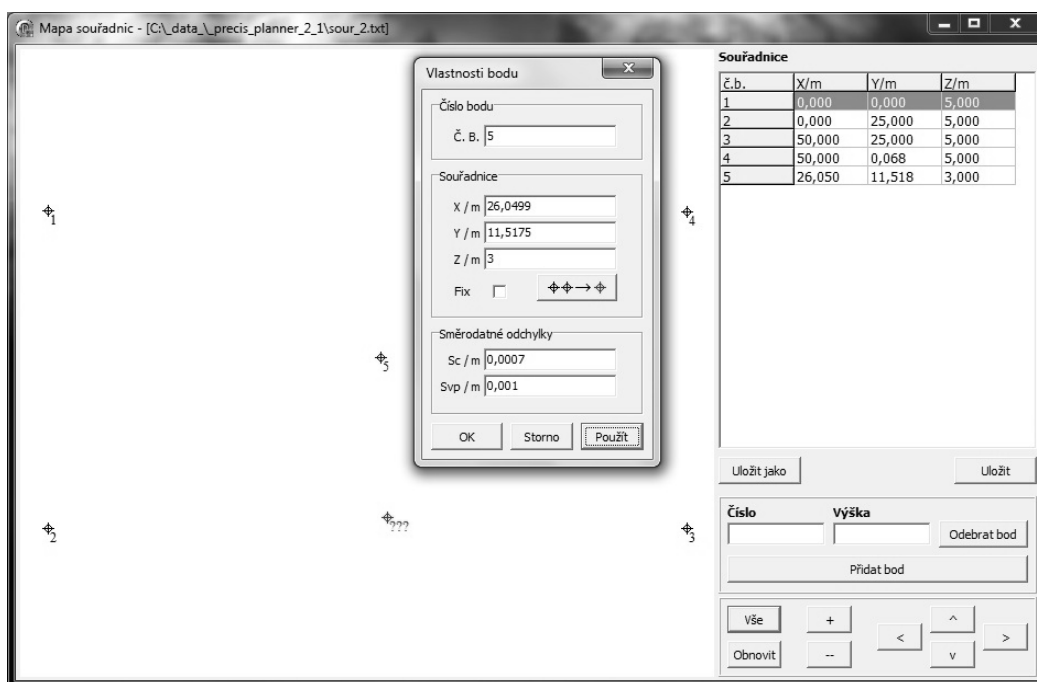
V současné době je program využitelný v podobě souboru „gama-local.exe“, spustitelného z příkazové řádky. Vstupem je xml soubor s přibližnými souřadnicemi a měřeními, výstupem textový soubor s protokolem o vyrovnání a také soubor xml, který obsahuje také kovarianční matici.

Program je šířen pod všeobecnou veřejnou licenci GNU (General Public Licence).

### 3.2 Zadání přibližných souřadnic bodů

Konfigurace bodů se zadává dvěma způsoby. Jednak je nutné nejméně dva body načíst ze souboru, dále je lze v grafickém rozhraní v okně Mapa souřadnic prohlížet v textové i grafické podobě (spustí se z hlavního okna programu tlačítkem „Mapa souřadnic“, objeví se okno na obr. 2), body lze mazat či přidávat grafickým výběrem v okně mapy.

Body se přidávají kliknutím do příslušného místa v mapě, kdy se objeví červená značka bodu mající místo čísla otazníky. V okně uživatel vyplní číslo bodu a jeho výšku a stiskne se tlačítko „Přidat bod“. Bod lze odebrat označením v tabulce a stiskem tlačítka „Odebrat bod“.



Obr. 2. Mapa a zadávání souřadnic

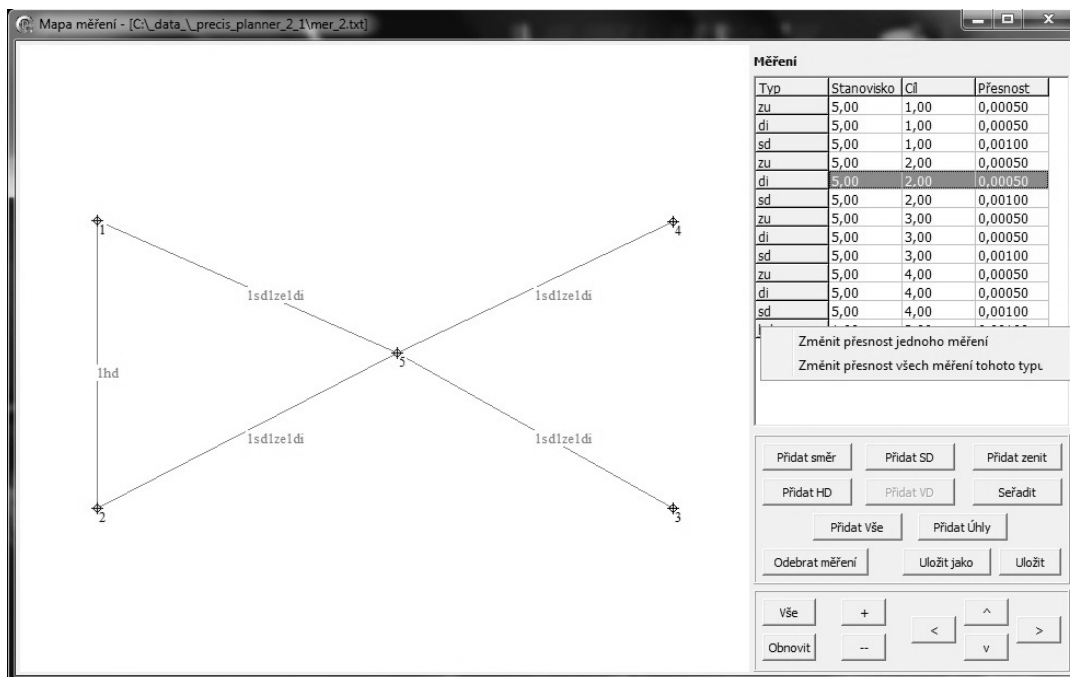
Soubor souřadnic lze také uložit do původního souboru tlačítkem „Uložit“ nebo „Uložit jako“ do souboru s jiným jménem. Zobrazení mapy se ovládá tlačítky na panelu vpravo dole, „Vše“ zobrazí do viditelné plochy všechny body, „Obnovit“ překreslí obrázek. Tlačítka se šipkami slouží k posuvu obrazu, tlačítka „+“ a „-“, k zmenšení a zvětšení výřezu. Kromě tlačítek lze zobrazení ovládat i pomocí myši, držetím kolečka a posunem se posouvá obraz, otáčením kolečka se obraz zvětšuje/zmenšuje.

Ukládání výsledného souboru bodů pro další výpočet není nutné, všechny změny se okamžitě promítnou do databáze bodů. Je vhodné ještě upozornit, že při smazání bodu se současně smažou všechna měření, která jej obsahují (viz dále).

Po stisku pravého tlačítka myši se nově od verze 2.1 ukáže dialog, kde lze upravit vlastnosti bodu (na Obr. 2 uprostřed), je možné zadávat také pevné (nevyrovnávané) body, což umožňuje řešit rozbory přesnosti i pro úlohy bez vyrovnání a do výpočtu přesnosti zahrnout i přesnost centrace přístroje a cíle a přesnost určení výšky přístroje a cíle.

### 3.3 Zadávání měřených hodnot

Měření se zobrazují v obdobném okně jako souřadnice (obr. 3), ovládání zobrazení je rovněž stejné. V pravé části je zobrazena tabulka měření, typy měření jsou uvedeny pouze zkratkou (di - vodorovný směr (direction); sd – šikmá délka; zu – zenitový úhel; hd – vodorovná délka). V tabulce jsou pouze číslo stanoviště, cíle a přesnost, jejíž jednotky jsou gony pro úhly a metry pro délky.



Obr. 3. Mapa a zadávání měření

Tlačítka pod tabulkou umožňují zobrazit dialog pro přidání měření, odebrání měření nebo uložení do souboru. Měření lze ze souboru také načítat (v hlavním okně programu viz obr. 1). Tlačítko „Přidat vše“ umožní přidat současně měření vodorovného směru, zenitového úhlu a šikmé délky (běžné měření totální stanic), tlačítko „přidat úhly“ totéž bez měřené délky.

Po stisku libovolného tlačítka pro přidání měření se zobrazí dialog „Přidat měření“ (obr. 4), ve kterém je přednastaven příslušný typ měření. Rozevřením nabídky stanoviště a cíle se tyto volí, lze je vybrat kliknutím do mapy (první se nastaví stanoviště, druhý cíl). Stiskem tlačítka „Vložit měření“ se měření vloží do databáze měření, objeví se v tabulce a v mapě. Zobrazení měření je řešeno tak, že stanoviště a cíl jsou spojeny linií, která má uprostřed popis se zkratkami měření a počtem, kolikrát jsou měření provedena. Např. „1sd 1ze 1di“ značí, že pro body spojenými linií je uvedeno jedno měření šikmé délky, jedno zenitového úhlu a jedno vodorovného směru.

Vzhledem k tomu, že plánování přesnosti je obvykle proces postupného přibližování, je možné měnit přesnost zadaných měření jednotlivě i hromadně. Volba se zobrazí po označení vybraného měření v tabulce a stisku pravého tlačítka (obr. 3), po stisku vybraného tlačítka se zobrazí dialog pro změnu přesnosti měření (obr. 5).

Obr. 4. Dialog zadávání měření a jejich přesnosti

Obr. 5. Dialog pro změny přesnosti měření

### 3.4 Výpočet a protokol o výpočtu

Pokud jsou zadány do programu všechny konfigurační parametry (souřadnice, měření a jejich přesnost), lze z hlavního okna (obr. 1) spustit výpočet tlačítkem „Výpočet-“. Po jeho ukončení lze stiskem tlačítka „+Protokol+“ prohlédnout textový protokol, který obsahuje kromě dalších informace o konfiguraci sítě, vyrovnaných souřadnicích a jejich směrodatných odchylkách včetně elips chyb.

### 3.5 Výpočty přesnosti odvozených veličin

Stiskem tlačítka „+Výpočty+“ v hlavním okně (obr. 1) lze spustit zobrazení výsledků (obr. 6) obsahující čísla bodů, jejich souřadnice a směrodatné odchylky z vytvořeného modelu.

č.b. / souřadnice	X/m	Y/m	Z/m	sX/mm	sY/mm	sZ/mm
1	-0,002690	-0,409800	1,400000	0,135	0,079	0,025
2	0,044310	0,542310	1,400000	0,134	0,224	0,025
12	2,876980	2,293580	1,400000	0,262	0,352	0,025
13	1,760400	-2,901690	1,400000	0,132	0,347	0,025
22	1,875090	0,129090	1,500000	0,129	0,172	0,020
45	-0,650390	-1,801600	2,000000	0,216	0,208	0,074

Obr. 6. Určená přesnost souřadnic a výpočty z kovarianční matice

Ve spodní části lze počítat ze souřadnic vodorovnou, šikmou a svislou délku a jejich přesnost určenou výpočtem z kovarianční matice pomocí obecného zákona hromadění směrodatných odchylek (zákona hromadění vah, [1]). Vpravo dole je pak tlačítko („Uložit kovar. matici“) zobrazující dialog pro uložení kovarianční matice do souboru pro další

použití, nad tím tlačítko „Uložit tabulku“ pro uložení zobrazené tabulky do textového souboru.

#### **4 Závěr**

Program pro modelování geodetických měření PrecisPlanner 3D ve verzi 2.1 zásadním způsobem zjednodušuje a zkracuje rozbor přesnosti před měřením pro geodetické sítě a vůbec geodetické úlohy, který je důležitou součástí plánování geodetických prací. Umožňuje apriorní plánování přesnosti geodetických prací s vyrovnáním i bez vyrovnání ve 2D i ve 3D a pro 3D i následné výpočty

Vývoj doposud není ukončen, informace o vývoji jsou průběžně umísťovány na webových stránkách projektu [5].

*Článek byl zpracován v rámci Výzkumného záměru VZ 01 CEZ MSM VZ 6840770001 „Spolehlivost, optimalizace a trvanlivost stavebních materiálů a konstrukcí“, dílčí část „Geodetické monitorování k zajištění spolehlivosti staveb“.*

#### **5 Literatura**

- [1] Böhm, J. - Radouch, V. - Hampacher, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Geodetický a kartografický podnik Praha, 2. vydání, Praha, 1990. ISBN 80-7011-056-2.
- [2] Program GNU Gama. <http://www.gnu.org/software/gama/gama.cs.html>. 23.3.2011.
- [3] Program Groma. <http://www.groma.cz>. 23.3.2011.
- [4] Web programu PrecisPlanner 3D: <http://sgeo.fsv.cvut.cz/~stroner/PPlanner> . 23.3.2011.