

# PrecisPlanner 3D v2.2

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](mailto:martin.stroner@fsv.cvut.cz)  
28.10.2011

## Obsah

1	Úvod .....	2
2	Princip plánování a určování přesnosti geodetických měření .....	3
2.1	Obecný model vyrovnání geodetické sítě .....	3
3	Popis programu PrecisPlanner 3D v2.2 a jeho možností .....	5
3.1	Výpočetní jádro - program GNU Gama [2] .....	6
3.2	Formát souboru souřadnic pro načtení – jen souřadnice .....	6
3.3	Formát souboru souřadnic pro načtení – s doplňujícími údaji.....	6
3.4	Formát souboru měření.....	6
3.5	Zadání přibližných souřadnic bodů .....	7
3.6	Zadávání měřených hodnot .....	7
3.7	Nastavení .....	10
3.8	Výpočet a protokol o výpočtu.....	10
3.9	Výpočty přesnosti odvozených veličin.....	11
4	Historie veřejných verzí.....	12
4.1	Verze 1.0 .....	12
4.2	Verze 2.1 .....	12
4.3	Verze 2.2 .....	12
5	Literatura.....	12

# 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]). 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 program *PrecisPlanner 3D* (aktuálně ve verzi 2.2), 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.

Model je počítán exaktně se započítáním nepřesnosti vnesené centrací, realizací a určením výšky přístroje a cíle (postup výpočtu vlivu centrace, realizace a určení výšky přístroje je detailně popsán v [4]), může být počítán nejen jako volná síť, ale také jako síť s fixními body. Proces rozboru přesnosti s využitím *PrecisPlanneru* však nelze degradovat na pouhé vyplnění vstupních hodnot a směrodatných odchylek z materiálů od výrobce přístroje / totální stanice. Zejména přesnost měřených směrů a zenitových úhlů může být zejména u rozlehlejších prací zhoršena dalšími vlivy jako je například vliv prostředí (refrakce).

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

## 2 Princip plánování a určování přesnosti geodetických měření

Za znalosti přibližných souřadnic měřených bodů, přibližných hodnot měřených hodnot a jejich směrodatných odchylek lze 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. Obecný model geodetické úlohy lze vyjádřit několika málo vzorci v dalším odstavci.

### 2.1 Obecný model vyrovnání geodetické sítě

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

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

Zde  $\mathbf{A}$  je matice plánu experimentu (matice derivací),  $\mathbf{P}$  je matice vah,  $\mathbf{l}'$  je vektor redukovaných měření,  $\mathbf{B}$  je matice linearizovaných podmínek,  $\mathbf{b}$  je vektor absolutních členů podmínek,  $\mathbf{dx}$  je vektor přírůstků neznámých oproti přibližným hodnotám a  $\mathbf{k}$  je vektor korelát. Vyrovnané neznámé se určí:

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

kde  $\mathbf{x}_0$  jsou přibližné hodnoty neznámých. Tvar matice vah  $\mathbf{P}$ :

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_n \end{pmatrix} , \quad p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2} , \quad (3)$$

kde  $\sigma_0$  je volená konstanta a  $\sigma_i$  je směrodatná odchylka i-tého měření. Jednotlivé prvky matice  $\mathbf{A}$  mají pro i-té měření  $l_i$  j-tou neznámou  $X_j$  (odpovídá sloupcům a řádkům) tvar:

$$A_{i,j} = \frac{\partial f_i}{\partial X_j} , \quad (4)$$

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

$$l'_i = (l_i - f_i) . \quad (4)$$

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

$$\mathbf{M} = \sigma_0^2 \begin{pmatrix} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{B}^T & \mathbf{0} \end{pmatrix}^{-1} . \quad (5)$$

Blíže k odvození a zdůvodnění jednotlivých vzorců lze nalézt v [1] nebo v [4]. Jak vyplývá ze vzorce (5), 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 model přesnosti vyrovnaných veličin, je ale vhodné upozornit na to, že kvalita výsledného modelu je zásadně závislá na správném odhadu přesnosti jednotlivých měřených veličin. Rozhodně není vhodné bez dalších úvah převzít údaje o přesnosti z materiálu výrobce, měření je dále ovlivňováno např. přesností centrace přístroje a cíle a určení výšky přístroje (jak je uvedeno např. v [4]) nebo vlivem atmosférické refrakce.

### 3 Popis programu PrecisPlanner 3D v2.2 a jeho možnosti

Program pracuje v operačním systému Microsoft Windows XP a vyšším. Postup práce s programem lze popsat v následujících bodech:

1. Načtení přibližné konfigurace bodů (minimálně dva, souřadnice X,Y,Z, jednotky jsou metry) {Hlavní okno}.
2. Změna polohy a výšky / přidání / odebrání bodů {Mapa souřadnic}.
3. Definice vyrovnávaných / fixních bodů {Mapa souřadnic}.
4. Zadání směrodatných odchylek centrace a určení výšky přístroje.
5. Definice měřených veličin (vodorovné směry, šikmé délky, vodorovné délky, zenitové úhly, převýšení) {Mapa měření}.
6. Zadání směrodatných odchylek měřených veličin {Mapa měření, průvodce přesnostími}.
7. Výpočet modelu – směrodatné odchylky souřadnic, elipsy chyb, kovarianční matice.
8. (Výpočet přesnosti odvozených veličin).

Po spuštění programu se zobrazí hlavní okno (obr. 1), které tvoří rozcestník jednotlivých činností. Souřadnice a měření lze načíst do programu zde příslušnými tlačítky.

Nejprve 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“, anebo s údaji o přesnosti centrace, určení výšky přístroje a charakteru bodu tlačítkem „Načíst souřadnice“. Měření mohou být celé definována v programu nebo mohou být načtena z textového souboru, formáty obou vstupů jsou popsány dále.

Se souřadnicemi a vlastnostmi bodů se manipuluje na mapě souřadnic (grafické zobrazení, přidávání, mazání či posouvání bodů), s měřeními a jejich přesnostmi na mapě měření (definice měření a jeho přesnosti, a to jednotlivě, hromadně nebo s využitím průvodce).

Nastavení programu se zobrazí stiskem tlačítka „Nastavení“.



Obr. 1. Hlavní okno programu PrecisPlanner 3D ver. 2.2

Po definici vstupních hodnot 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, měřeními hodnotami a ze

kterého jsou dále načteny výstupní protokol a kovarianční matice popisující přesnost a vazby souřadnic.

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

Program slouží k vyrovnání rovinných, prostorových i výškových geodetických sítí. Vstupem je xml soubor s přibližnými souřadnicemi a měřeními, výstupem textový soubor s protokolem o vyrovnání a také soubor xml, který obsahuje kovarianční matici. Program je šířen pod všeobecnou veřejnou licenci GNU (General Public Licence).

### 3.2 Formát souboru souřadnic pro načtení – jen souřadnice

Formát souboru je jednoduchý, pořadí údajů je číslo bodu X Y Z; oddělovačem údajů je bílý znak (mezera, tabulátor). Číslo bodu je reálné číslo stejně jako souřadnice, desetinným oddělovačem je tečka. Příklad souboru:

```
1.0 0.00000 0.00000 5.00000
2.0 0.00000 25.00000 5.00000
3.0 50.00000 25.00000 5.00000
4.0 50.00000 0.06780 5.00000
5.0 26.04990 11.51750 3.00000
456.0 25.81603 -1.17540 1.50000
```

Další údaje na řádku nevadí, stejně jako prázdné řádky.

### 3.3 Formát souboru souřadnic pro načtení – s doplňujícími údaji

Pro kompletní soubor platí v zásadě stejná pravidla, jsou dále za souřadnicemi uvedeny ještě směrodatná odchylka centrace, směrodatná odchylka určení výšky cíle a rozlišení fixní/vyrovňávaný bod. Příklad souboru:

```
1.0 0.00000 0.00000 5.00000 0.00100 0.00100 a
2.0 0.00000 25.00000 5.00000 0.00010 0.00010 a
3.0 50.00000 25.00000 5.00000 0.00010 0.00010 f
4.0 50.00000 0.06780 5.00000 0.00010 0.00010 f
5.0 26.04990 11.51750 3.00000 0.00070 0.00100 a
456.0 25.81603 -1.17540 1.50000 0.00000 0.00000 a
```

### 3.4 Formát souboru měření

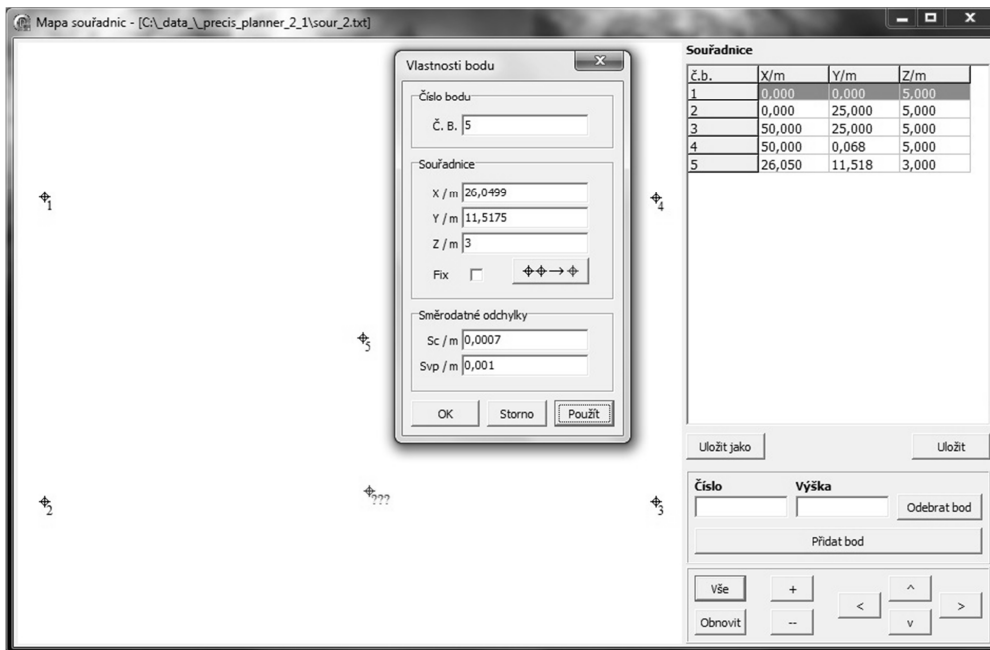
Soubor měření obsahuje typ měření (zu ... zenitový úhel; di ... vodorovný směr; sd ... šikmá délka, hd ... vodorovná délka; vd ... převýšení), stanovisko, cíl a přesnost měřené veličiny. Příklad souboru:

```
zu 2.00 5.00 0.00100
di 2.00 5.00 0.00100
sd 2.00 5.00 0.00100
zu 3.00 5.00 0.00100
di 3.00 5.00 0.00100
sd 3.00 5.00 0.00100
zu 2.00 3.00 0.00100
di 2.00 3.00 0.00100
```

sd 2.00 3.00 0.00100

### 3.5 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.



Obr. 2. Mapa a zadávání souřadnic

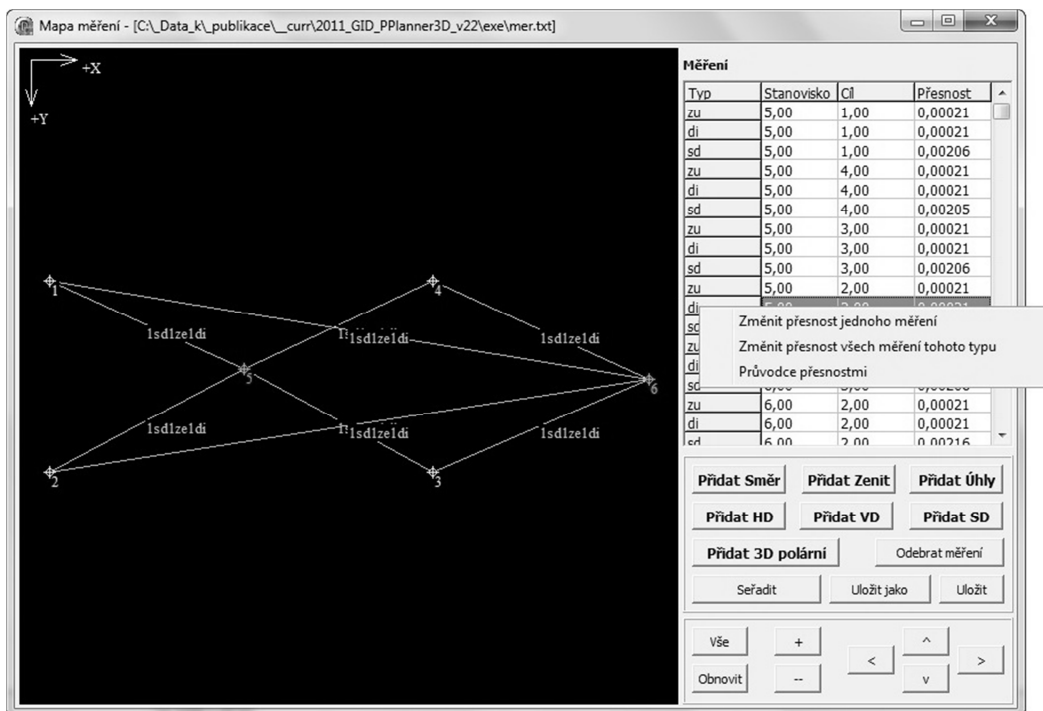
Body se přidávají kliknutím do příslušného místa v mapě, kdy se objeví červená značka bodu mající místo čísla otazníky. V okně uživatel vyplní číslo bodu a jeho výšku a stiskne se tlačítko „Přidat bod“. Bod lze odebrat označením v tabulce a stiskem tlačítka „Odebrat bod“. Soubor souřadnic lze také uložit do původního souboru tlačítkem „Uložit“ nebo „Uložit jako“ do souboru s jiným jménem. Zobrazení mapy se ovládá tlačítky na panelu vpravo dole. Kromě tlačítek lze zobrazení ovládat i pomocí myši, držením 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.

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

### 3.6 Zadávání měřených hodnot

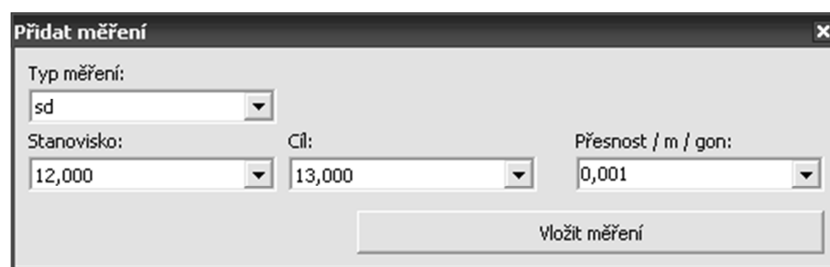
Měření se zobrazují v obdobném okně jako souřadnice (obr. 3), ovládání zobrazení je rovněž stejné. V pravé části je zobrazena tabulka měření, typy měření jsou uvedeny pouze zkratkou (di - vodorovný směr; sd – šikmá délka; zu – zenitový úhel; hd – vodorovná délka; vd – převýšení (nově od verze 2.2)).

V tabulce jsou pouze číslo stanoviště, cíle a přesnost, jejich 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 3D polární“ umožní přidat současně měření vodorovného směru, zenitového úhlu a šikmé délky (běžné měření totální stanicí), 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.

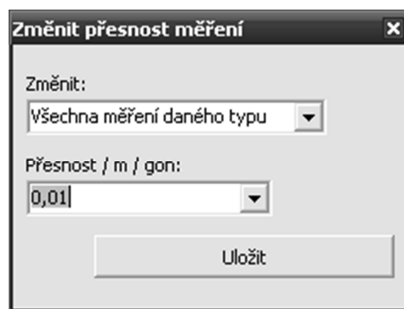


Obr. 4. Dialog zadávání měření a jejich přesnosti

Rozevřením nabídky stanoviska a cíle se tyto volí, lze je vybrat kliknutím do mapy (první se nastaví stanovisko, 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 stanovisko a cíl jsou spojeny linií, která má uprostřed popis se zkratkami měření a počtem, kolikrát jsou měření provedena.

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. 5. Dialog pro změny přesnosti měření

Nově lze od verze 2.2 měnit hromadně přesnosti pomocí průvodce, který je na obr. 6 a který se spouští stiskem pravého tlačítka tabulku měření a výběrem poslední položky menu. Zde lze podrobně nadefinovat a vložit do modelu přesnosti jednotlivých určovaných veličin. Postupuje se zleva do prava, nejprve se vyplní jednotková přesnost (jedna skupina, jedno měření, jedno převýšení), dále pak počty opakování v druhém sloupci. Přesnost délek a převýšení je závislá na vzdálenosti měření, stiskem „+“ se vypočítá použitá průměrná hodnota (ze které se odvozuje výsledná přesnost).

Výsledná přesnost se vypočítá stiskem tlačítka ve třetím sloupci. Výslednou přesnost je možné vyplnit i ručně přímo. Stiskem příslušného tlačítka ve čtvrtém sloupci (bez hvězdičky) se výsledná přesnost aplikuje.

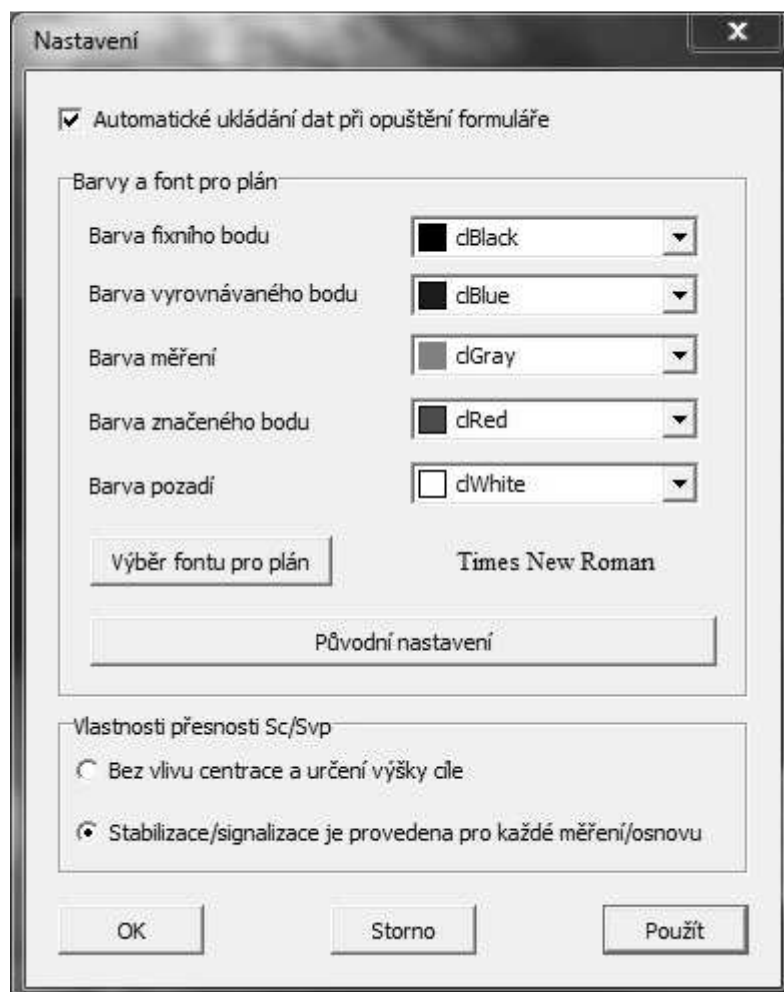
Průvodce přesnostmi			
Přesnost totální stanice	Počty opakování	Výsledná přesnost	Použit
Směr v 1 sk. /gon: 0,0010	Vodorovné směry: 2	Vod. směry /gon: -> 0,00071	na vod. směry
Zenitový úhel v 1 sk. /gon: 0,0010	Zenitové úhly: 2	Zenitové úhly /gon: -> 0,00071	na zenit. úhly
Šikmá délka /m (a+b*ppm*D): 0,003 + 0,002	Šikmé délky: 2	Šikmé délky /m: -> 0,00145	na šikmé délky
Vod. délka /m (a+b*ppm*D): 0,002 + 0,001	Průměrná délka /m: 24,983 +	Vodorovné délky /m: -> 0,00141	š.d. jednotlivě*
Přesnost nivelačního přístroje	Vodorovné délky: 2	Vodorovné délky /m: -> 0,00141	na vod. délky
Směrodatná odchylka kilometrová /m 0,0007	Průměrná délka /m: 27,938 +	Převýšení /m: -> 0,000148	v.d. jednotlivě*
Koeficient délky nivelační cesty 1,5	Převýšení: 1	na převýšení	
	Průměrná délka /m: 29,848 +	p. jednotlivě*	

Obr. 6. Dialog pro změny přesnosti měření

U délek a převýšení je k dispozici ve čtvrtém sloupci ještě tlačítko s hvězdičkou, kde přesnost vypočítá a aplikuje jednotlivě na základě prvního a druhého sloupce a délky konkrétního měření, bez použití třetího sloupce. Koeficient délky nivelační cesty určuje prodloužení nivelační cesty oproti délce přímé spojnice.

### 3.7 Nastavení

Formulář nastavení umožňuje definovat zejména vlastnosti kresby v grafickém zobrazení, tj. barvy zobrazených prvků, font a jeho velikost. Kromě toho zde lze zvolit, zda se automaticky při opuštění formuláře ukládá příslušný datový soubor a zda se při výpočtu uplatní (ne)přesnost centrace a určení výšky cíle.



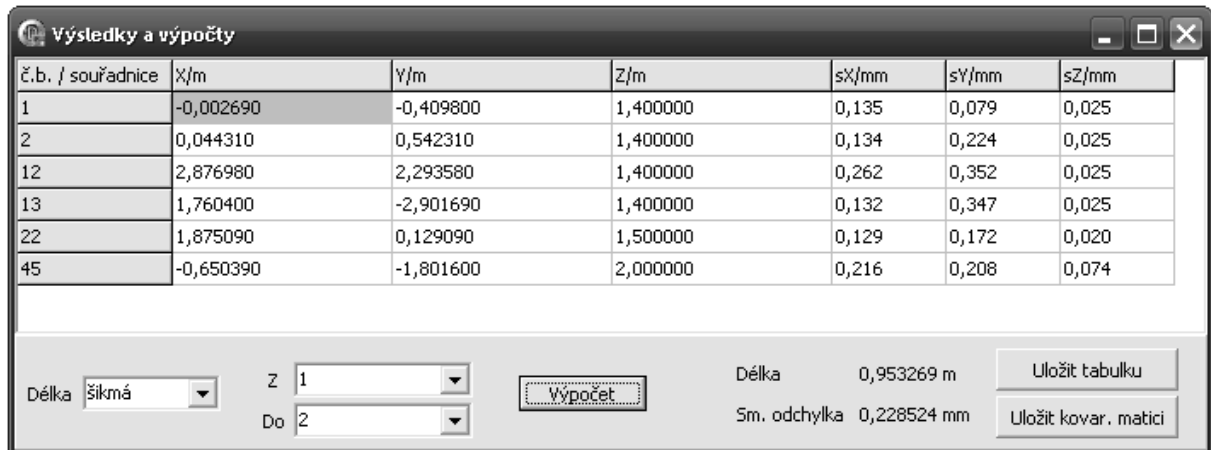
Obr. 7. Formulář nastavení

### 3.8 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 informací o konfiguraci sítě, vyrovnaných souřadnicích a jejich směrodatných odchylkách včetně elips chyb.

### 3.9 Výpočty přesnosti odvozených veličin

Stiskem tlačítka „+Výpočty+“ v hlavním okně (obr. 1) lze spustit zobrazení výsledků (obr. 8) 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

Délka  Z  Do   Délka 0,953269 m   
Sm. odchylka 0,228524 mm

Obr. 8. 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 ([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 Historie veřejných verzí

Program vznikl původně pro vlastní potřebu autora, existovalo několik neveřejných vývojových verzí, aktuální je verze 2.2. Návrhy a podněty pro další úpravy je možno zasílat na email autora.

### 4.1 Verze 1.0

První verze umožňovala načtení souřadnic, definici a/nebo načtení měření a výpočet metodou prostorové volné sítě.

### 4.2 Verze 2.1

Ve verzi 2.1 bylo provedeno vícero změn:

1. Lze nastavovat tyto atributy bodů (dialog se zobrazí stiskem pravého tlačítka myši na příslušném bodě):
  - a. fixní/vyrovňovaný;
  - b. přesnost centrace a určení výšky přístroje/cíle;
  - c. souřadnice a výška; souřadnice lze měnit graficky i numericky.
2. Grafická okna programu lze libovolně zvětšit.
3. Kresbu lze zvětšovat/zmenšovat otáčením kolečka myši, posouvat tažením se stiskem kolečka myši.
4. „Nastavení“ umožňuje uživateli definovat barvy a velikosti jednotlivých prvků kresby.
5. Při uzavření okna se změny automaticky ukládají do souboru (lze zrušit v nastavení).
6. Mírně přepracované grafické rozhraní.

### 4.3 Verze 2.2

Změny ve verzi 2.2:

1. Průvodce přesnostmi, který umožňuje podrobně definovat přesnost jednotlivých měření.
2. Možnost vkládat jako měření převýšení.
3. Úprava formuláře „Mapa měření“.
4. Odstraněny některé drobné chyby při načítání nesprávně formátovaných souborů souřadnic (chybné načítání prázdných řádků).

## 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] Hampacher, M. – Štroner, M.: Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii. 1. vyd. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2011. 313 s. ISBN 978-80-01-04900-6.
- [5] Web programu PreciPlanner 3D: <http://sgeo.fsv.cvut.cz/~stroner/PPlanner>. 31.11.2011.