

# **GEODETIKÝ a KARTOGRAFIKÝ**



**Český úřad zeměměřický a katastrální  
Úrad geodézie, kartografie a katastra  
Slovenskej republiky**

**2/05**

Praha, únor 2005  
Roč. 51 (93) ● Číslo 2 ● str. 21–40  
Cena Kč 14,-  
Sk 27,-

---

# GEODETICKÝ A KARTOGRAFICKÝ OBZOR

## odborný a vědecký časopis Českého úřadu zeměměřického a katastrálního a Úřadu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky

Redakce:

**Ing. Stanislav Olejník** – vedoucí redaktor

**Ing. Ján Vanko** – zástupce vedoucího redaktora

**Ing. Bohumil Šídlo** – technický redaktor

Redakční rada:

**Ing. Jiří Černožský** (předseda), **Ing. Juraj Kadlic, PhD.** (místopředseda), **Ing. Svatava Dokoupilová**, **Ing. Dušan Fičor**,  
**doc. Ing. Pavel Hánek, CSc.**, **prof. Ing. Ján Hefty, PhD.**, **Ing. Štefan Lukáč**, **Ing. Zdenka Roulová**

---

Vydává Český úřad zeměměřický a katastrální a Úřad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky v nakladatelství Vesmír, spol. s r. o., Na Florenci 3, 111 21 Praha 1, tel. 00420 234 612 395. Redakce a inzerce: Zeměměřický úřad, Pod sídlištěm 9, 182 11 Praha 8, tel. 00420 286 840 435, 00420 284 041 700, fax 00420 284 041 416, e-mail: stanislav.olejnik@atlas.cz a VÚGK, Chlumeckého 4, 826 62 Bratislava, telefon 004212 43 33 48 64, linka 317, fax 004212 43 29 20 28. Sází VIVAS, a. s., Sazečská 8, 108 25 Praha 10, tiskne Serifa, Jinonická 80, Praha 5.

---

Vychází dvanáctkrát ročně.

Distribuci předplatitelům (a jiným) distributorům v České republice, Slovenské republice i zahraničí zajišťuje nakladatelství Vesmír, spol. s r. o. Objednávky zasílejte na adresu Vesmír, spol. s r. o., Na Florenci 3, POB 423, 111 21 Praha 1, tel. 00420 234 612 394 (administrativa), další telefon 00420 234 612 395, fax 00420 234 612 396, e-mail vanek@msu.cas.cz, e-mail administrativa: vorackova@msu.cas.cz, nebo imlaufova@msu.cas.cz. Dále rozšiřují společnosti holdingu PNS, a. s., včetně předplatného, tel. zelená linka 800 17 11 81. Podávání novinových zásilek povoleno: Českou poštou, s. p., odštěpný závod Přeprava, čj. 467/97, ze dne 31. 1. 1997. Do Slovenskej republiky dovážá MAGNET – PRESS SLOVAKIA, s. r. o., Šustekova 10, 851 04 Bratislava 5, tel. 004212 67 20 19 31 až 33, fax 004212 67 20 19 10, další čísla 67 20 19 20, 67 20 19 30, e-mail: magnet@press.sk. Předplatné rozšiřuje Slovenská pošta, a. s., Účelové stredisko predplatiteľských služieb tlače, Námestie slobody 27, 810 05 Bratislava 15, tel. 004212 54 41 99 12, fax 004212 54 41 99 06. Ročné predplatné 324,- Sk vrátane poštovného a balného.

---

Náklad 1200 výtisků. Toto číslo vyšlo v únoru 2005, do sazby v prosinci 2004, do tisku 28. února 2005. Otisk povolen jen s udáním pramene a zachováním autorských práv.

© Vesmír, spol. s r. o., 2005

ISSN 0016-7096  
Ev. č. MK ČR E 3093

**Přehled obsahu  
Geodetického a kartografického obzoru  
včetně abstraktů hlavních článků  
je uveřejněn na internetové adrese  
[www.cuzk.cz](http://www.cuzk.cz)**

## Obsah

Ing. Petr Štěpánek <b>Systém DORIS: princip a výsledky analýzy dat Bern- ským softwarem</b> .....	21	<b>SPOLEČENSKO-ODBORNÁ ČINNOST</b> .....	26
			3. str. obálky
Ing. Bronislav Koska <b>Odhad přesnosti rotačního laserového skeneru a opti- malizace jeho konfigurace</b> .....	27	<b>DISKUSIE, NÁZORY, STANOVISKÁ</b> .....	39
		<b>TISKOVÁ OPRAVA</b> .....	3. str. obálky

# Systém DORIS: princip a výsledky analýzy dat Bernským softwarem

Ing. Petr Štěpánek,  
katedra vyšší geodézie FSv ČVUT v Praze

528.344:629.783 DORIS

## Abstrakt

Do pracovní verze bernského GPS software byly implementovány základy aplikace zpracování měření systému DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite). Pro ověření funkčnosti byla zpracována pilotní testovací kampaň za použití dat z družice TOPEX.

## DORIS System: the Principles and Results of Data Analysis using the Bernesse Software

### Summary

Basic application of processing the DORIS measurements was implemented in GPS Bernesse software. The test campaign using the satellite TOPEX data was solved for proof of the computation method.

## 1. Úvod

DORIS je jednou z technik kosmické geodézie, která je založena na měření Dopplerova posunu signálu pozemních radiomajáků, s přijímači umístěnými na družicích. Systém má dnes za sebou přes deset let vývoje, během kterého významně přispěl zejména ke zvýšení přesnosti určování drah altimetrických družic a byl přijat vedle GPS (Global Positioning System) a SLR (Satellite Laser Ranging) a VLB (Very Long Baseline Interferometry) jako čtvrtá technika IERS (International Earth Rotation Service). V současné době se rozvíjí mezinárodní servis (IDS), jeho důležitou součástí jsou analytická centra. Pro nové analytické centrum je plánována analýza dat DORIS Bernským GPS softwarem jako originální řešení, které by mělo přispět k postupnému zpřesňování globální analýzy dat. Do Bernského software byly implementovány základní atributy systému a byl proveden kvalitativní rozbor současných a výhledových možností na základě analýzy dat družice TOPEX z července 1995.

## 2. Vývoj systému

DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) byl navržen francouzskými organizacemi CNES,<sup>1)</sup> GRGS<sup>2)</sup> a IGN<sup>3)</sup> v roce 1982 jako optimální podpůrný systém oceánografického altimetrického experimentu POSEIDON, sloužící k přesnému určení dráhy družice. Později byl tento experiment sloučen s projektem NASA TOPEX v misi TOPEX/POSEIDON, která byla zahájena o deset let později. Předtím již byl DORIS experimentálně instalován na družici SPOT-2 (1990), snímající zemský povrch. Po ověření použitelnosti systému k určování souřadnic pozemních stanic (radiomajáků) bylo rozhodnuto o použití techniky DORIS i pro SPOT-3 a SPOT-4. U SPOT-4 byla instalována

novinka, palubní určování dráhy v reálném čase (DIODE). Dalším použitím systému se stal projekt Evropské kosmické agentury ENVISAT-1, určený ke studiím životního prostředí. Tzv. druhá miniaturizovaná generace palubních komponent systému byla poté instalována na družicích JASON-1 (pokračování projektu TOPEX/POSEIDON) a SPOT-5. Kromě snížení hmotnosti a rozměrů došlo k výraznějšímu použití digitální techniky zpracování. Do konce roku 2007 je plánováno vypuštění dalších dvou satelitů, vybavených DORIS anténami, CRYOSAT a JASON-2.

I ve vývoji radiomajáků došlo k výraznému pokroku. Nastupující třetí generace je již vyvinuta i pro možné použití pro vyšší dráhy družic, upouští se od původní strategie stejné nominální frekvence pro všechny radiomajáky. Jen dva, tzv. řídicí radiomajáky, jsou napojeny na atomové hodiny. Slouží k synchronizaci chodu družicových hodin s atomovým časem (TAI). V současné době je součástí systému téměř 60 radiomajáků.

## 3. Měření

Podstatou systému je měření Dopplerova posunu signálu vysílaného pozemními radiomajáky a přijímaného na palubě kosmického segmentu (družice). Měření probíhají na dvou frekvencích (2,03625 GHz pro přesné dopplerovské měření a 401,25 MHz pro určení ionosférické korekce). Vlastní měřená veličina je analogická dopplerovské frekvenci – počet cyklů registrovaných za daný časový interval (7 až 10 sekund v závislosti na typu přijímače a módu, ve kterém pracuje). Vnitřní přístrojová přesnost měření převedena na dopplerovskou rychlost se pohybuje kolem 0,2 až 0,3 mm/s, u nejnovějších přístrojů kolem 0,1 mm/s [7]. Charakter vlastního měření se liší podle typu použitých přijímačů [8]. U první generace měření čas  $D1$  mezi začátkem daného intervalu měření a začátkem nejbližšího následujícího celého cyklu, čas  $D2$  mezi koncem daného intervalu měření a nejbližším následujícím koncem celého cyklu. Vlastní měření se skládá tedy z určení tří hodnot, korekcí daného celočíselného inter-

<sup>1)</sup> Centre National d'Etudes Spatiales

<sup>2)</sup> Groupe de Recherches de Geodesie Spatiale

<sup>3)</sup> Institute Geographique National

Tab. 1 Střední chyby určení polohy stanic

	Formální	Z týdenních porovnání	Určené ITRF + transformace	Určené – ITRF
Délka (mm)	12	30	99	106
Šířka (mm)	13	23	56	113
Výška (mm)	15	25	42	80
3 D (mm)	23	45	121	174

valu  $D1$ ,  $D2$  a celého počtu registrovaných cyklů  $N$ . Měření druhé miniaturizované generace neobsahují žádné korekce daného časového intervalu, měří se přímo rozdíl fází na počátku a konci časového intervalu. Oproti vývojově starší generaci přístrojů je též možné registrovat signál dvou radiomajáků současně. Mezi přijímači starších a novějších satelitů existují ještě další dva, z hlediska zpracování dat velmi důležité, rozdíly. Prvním z nich je skutečnost, že frekvence nominálního signálu přijímače je u starších satelitů odsazena od nominálního signálu radiomajáků o konstantu 125 kHz, zatímco u novějších družic je tato konstanta nulová (v případě nastupující generace radiomajáků, nepracujících na jednotné frekvenci, to ovšem přestane platit). Druhý rozdíl představuje relace mezi intervaly měření na obou frekvencích. Zatímco u přijímačů druhé miniaturizované generace jsou intervaly observací zcela shodné, v případě starších přijímačů tomu tak není a vzhledem k frekvenčně závislým korekcím intervalu ani být nemůže. Kromě měření na bázi Dopplerova efektu je součástí systému i měření pseudovzdálenosti při přeletu družice nad některým ze dvou řídicích radiomajáků. Měření hodnoty pseudovzdáleností jsou používány výhradně k časové synchronizaci systému.

#### 4. Předzpracování v datových centrech

Přímo měřené hodnoty nejsou obsaženy ve volně přístupných datových souborech. Pro uživatele i analytické skupiny jsou v datovém centru CDDIS vytvářeny datové soubory s předzpracovanými hodnotami. Počet cyklů není přímo uveden a je transformován na průměrnou radiální rychlost (Range rate) podle vzorce (1)

$$V = (c/fb)(fb - fs - D/dt), \quad (1)$$

kde  $D$  značí počet registrovaných cyklů,  $dt$  časový interval měření,  $fb$  respektive  $fs$  frekvenci radiomajáku respektive palubního oscilátoru a  $c$  rychlost světla. Z dalších dat je uveden i interval měření  $dt$ , počátek časového intervalu měření, korekce měření (ionosférická, troposférická a korekce excentricity) a měřená atmosférická data. Všechny hodnoty se týkají měření na frekvenci 2 GHz, měření na frekvenci 400 MHz je použito pouze pro výpočet ionosférické korekce. Během vývoje datových formátů byla diskutována otázka, zda použít v transformačním vzorci nominální frekvenci, či již na úrovni datových center určovat rozdíly mezi nominální a skutečnou frekvencí a používat v transformačním vzorci aproximaci skutečné frekvence. Výhoda použití nominálních frekvencí spočívá především v tom, že distribuovaná data jsou blíže vlastním měřením a tudíž vhodnější pro nezávislé analýzy. Naopak jejich nevýhodou jsou větší nároky na vlastní analýzu dat, kdy je nutné mezi parametry zahrnout i frekvenční chybu. Ve dnes již archaickém formátu 1.0 bylo použito frekvencí nominálních, což se ovšem ukázalo jako problematické zejména z toho důvodu, že nelze vzhledem

k velmi vysoké korelaci určovat zároveň chybu ve frekvenci vysílače i přijímače standardním vyrovnáním zprostředkujícími veličin. Tuto skutečnost lze sice částečně eliminovat určováním pouhých frekvenčních rozdílů mezi vysílačem a satelitem, to se ovšem neobejde bez zanedbání jednak rozdílu mezi derivacemi rovnice (1) podle  $fs$  a  $fb$  a dále vztahů mezi chybou  $fs$  a chodem hodin družice. Proto byl formát 1.0 nahrazen formátem 2.0, kde jsou namísto nominálních frekvencí použity vypočtené hodnoty skutečných frekvencí. Ani tento formát zcela nevyhovoval, jelikož na základě analýzy dat sice bylo možno určovat chybu ve frekvenci radiomajáků vzhledem k modelu, ne však absolutní chybu vzhledem k nominální hodnotě a dále analyzovat vývoj této chyby v delším časovém období. Nejnovější formát 2.1 se proto stal určitým kompromisem mezi oběma staršími formáty; pro frekvenci přijímače byla použita aproximace její skutečné hodnoty a pro frekvenci radiomajáků nominální hodnota.

Pro určení chodu hodin satelitu, od kterých se odvíjí určování času měření, se používá porovnání určených drah a pseudovzdáleností, měřených při průletech nad řídicími radiomajáky [2]. Určovány jsou parametry polynomu druhého stupně, který slouží k převodu palubního času  $t$  na TAI (2):

$$T = t + a_0 + a_1(t - t_0) + a_2(t - t_0)^2. \quad (2)$$

Definujeme nominální frekvenci  $f_n$  jako přírůstek počtu cyklů palubního oscilátoru za daný časový přírůstek palubního času  $f_n = \frac{\partial N}{\partial t}$ . Nominální frekvence bude mít konstantní velikost vzhledem ke skutečnosti, že chod družicových hodin je odvozen právě od kmitace oscilátoru. Skutečná, časově proměnlivá frekvence palubního oscilátoru  $f_s$  představuje tentýž přírůstek počtu cyklů za stejný časový přírůstek, ovšem vyjádřený v TAI  $f_s = \frac{\partial N}{\partial T}$ . Potom platí rovnost  $f_n = f_s \frac{\partial N}{\partial t}$  a po vyjádření  $T$  pomocí rovnice (2) a derivování podle  $t$  získáme vztah mezi nominální a skutečnou frekvencí

$$f_n = f_s (1 + a_1 + 2a_2(t - t_0)). \quad (3)$$

#### 5. Strategie implementace do Bernského GPS software

Při implementaci analýzy DORIS dat do Bernského GPS software bylo stanoveno několik zásad. Přestože z praktických důvodů je nutné zpracovávat volně přístupné předzpracované soubory CDDIS formátu, je třeba se snažit, aby analýza dat byla v maximální možné míře nezávislá na předzpracování v datových centrech. Dále je ze zřejmých praktických důvodů vhodné, snažit se o takové řešení problematiky, které je blízko zpracování kódových či fázových měření GPS. Průměrná dopplerovská rychlost je proto převáděna na rozdíl dvou pseudovzdáleností  $\Delta R$  (4),

$$\Delta R = - dt V. \quad (4)$$

Původní návrh počítal i s rekonstrukcí původního měření na frekvenci 400 MHz (jehož hodnota není v souboru dat uvedena) za použití hodnoty ionosférické korekce (5)

$$v(f_2) = V(f_1) - I \left( 1 - \frac{f_2^2}{f_1^2} \right). \quad (5)$$

Takový krok lze teoreticky provést, jelikož vliv ionosféry na zpoždění signálu je nepřímě úměrný druhé mocnině frekvence. Tzv. ionosférická korekce uvedená v datovém souboru však neodpovídá pouze vlivu ionosféry, ale zahrnuje i další vlivy způsobující systematický rozdíl mezi hodnotou měření na obou frekvencích [1]. Jedná se o vliv rozdílné polohy fázového centra antény a v případě přijímačů první generace i o vliv rozdílu mezi časovými intervaly měření. Jedinou možností tak prozatím zůstává zpracovávání monofrekvenčních měření s aplikací ionosférické korekce určené datovým centrem.

Určení opravy z (obecně frekvenčně nezávislého) vlivu troposféry analýzou dat analogickým způsobem jako v případě GPS naopak žádné zásadní překážky nebrání, je však třeba vážit některé odlišnosti. Předně, zatímco v případě GPS se zpravidla jedná o kontinuální observaci pozemní stanice po nepřetržitý časový úsek, signál radiomajáku stanice DORIS po většinu času nepřijímá žádný satelit. Druhic je celkem jen šest a vzhledem k výrazně níže položeným drahám je oblast potenciální observace na zemském povrchu výrazně menší. Jednou z možností je určování troposférického zenitového zpoždění pro každý přelet družice. Alternativu představuje vymezení pevných časových intervalů jeho určování. Výhodou takového postupu je (v případě současného zpracování dat z více satelitů) možnost určování jednoho parametru pro průlety různých satelitů a tudíž jak jeho přesnější určení, tak i snížení celkového počtu určovaných parametrů. Nevýhodou však představuje riziko rozdělení některých přeletů do dvou různých časových intervalů určení troposférického zenitového zpoždění. Zcela analogická je i problematika určování aktuální hodnoty frekvence radiomajáku.

Dalším rozdílem oproti GPS je nízká oběžná dráha (LEO) satelitů systému. Aby mohl být použit stávající dynamický model dráhy, je nutné určovat empirické parametry [6] (konstantní ve směru dráhy, směru satelit-střed Země a kolmém směru na oba směry uvedené). Tento postup sice pro delší oblouky zcela plnohodnotně nenahradí chybějící model odporu a proudění atmosféry, přesto je natolik dobrou aproximací, že umožňuje přesné analýzy i celodenních oblouků s přesností řádu centimetrů.

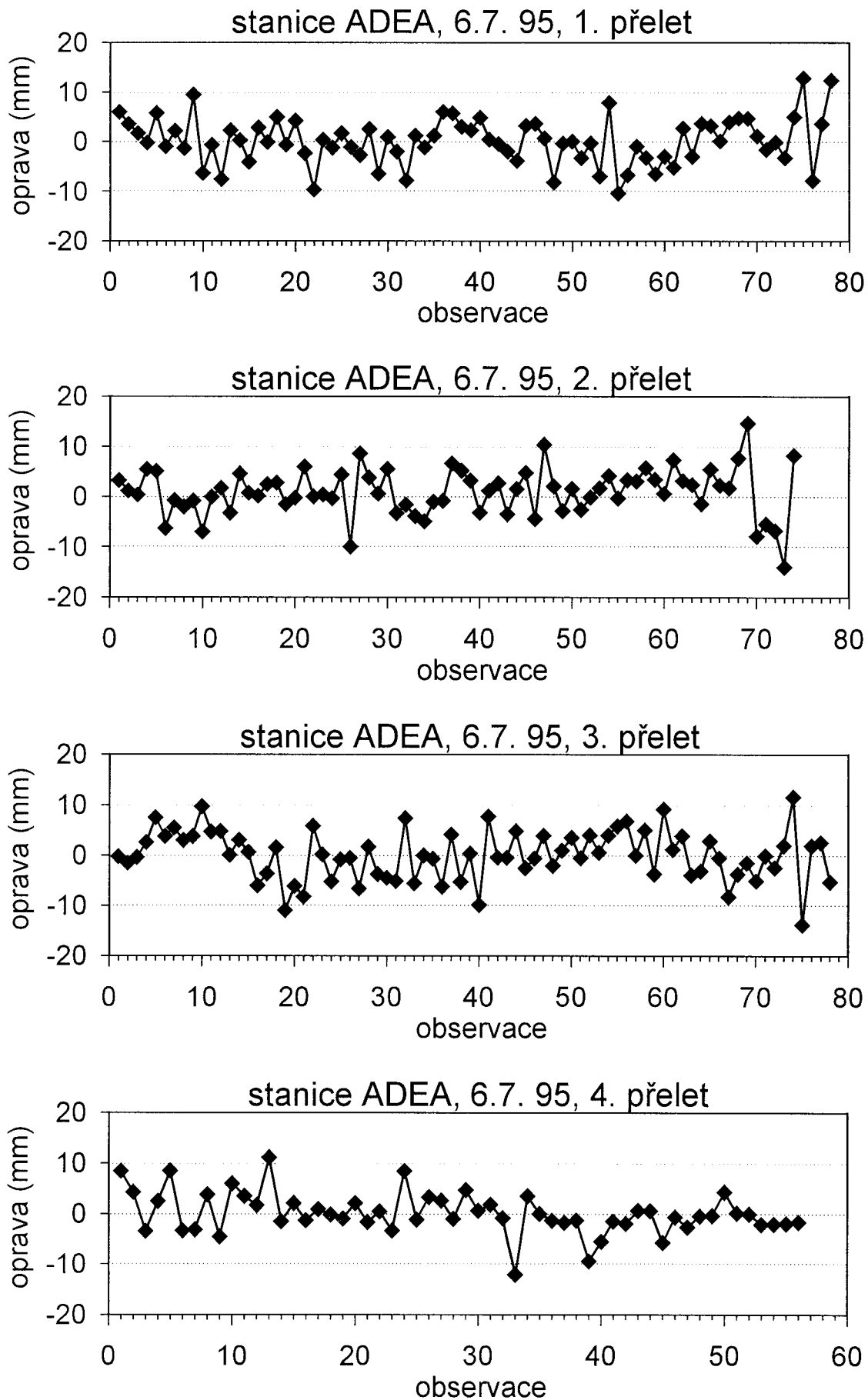
## 6. Vstupní testovací kampaň

Po implementaci základní analýzy dat systému DORIS do Bernského GPS software nastává potřeba provést testování aplikace, především pro určení dosažitelné přesnosti a ujasnění směru dalšího vývoje, popřípadě odhalení dosud skrytých nedostatků. Cíle první fáze vývoje software, stanovené jako základní minimum, jehož splnění již umožňuje provést komplexnější analýzu, byly stanoveny tak, aby na základě zpracování observací DORIS byly možné určovat dráhu družice s přesností limitovanou současným modelem GPS drah, a také samozřejmě souřadnice pozemních stanic. Prozatím by mělo být maximálně využito předzpracování v datovém centru CDDIS, tj. aplikace korekcí z datových souborů. Prv-

ním zpracovávaným formátem proto byl určen CDDIS formát 2.0, jelikož nebude nutné určovat chybu frekvence radiomajáků. V rámci pilotní testovací kampaně bylo tedy nutno analyzovat observace některého z dříve vypuštěných satelitů, jehož (starší) data jsou předzpracována v tomto formátu. Před družicemi SPOT byla dána přednost satelitu TOPEX, který se pohybuje na vyšší orbitě a jehož dráha je určována i pomocí SLR. Za vhodný časový interval kampaně byl určen jeden měsíc, konkrétně červenec 1995. Všechna data byla zpracována dvěma různými způsoby. Prvním bylo určování souřadnic pozemních stanic při fixované apriorní dráze družice poskytnuté datovým centrem NASA AVISO, druhým pak určení dráhových parametrů při fixaci souřadnic ITRF (International Terrestrial Reference Frame) pozemních stanic. Radiální přesnost dráhy satelitu TOPEX (která je nejvyšší a z hlediska systému DORIS nejvýznamnější), se u nejpresnějších řešení, založených na kombinaci různých technik kosmické geodzie, pohybuje kolem dvou centimetrů [4, 5]. Jelikož Bernský GPS software pracuje s dynamickou interpretací dráhy, na kterou jsou bodově interpretované dráhy převáděny, je třeba nejdříve určit střední rozdíl v radiální komponentě mezi bodovou apriorní dráhou a extrapolací její dynamické reprezentace. Hodnota tohoto středního rozdílu se pro celodenní oblouky pohybovala okolo tří centimetrů, což jen mírně překračuje přesnost apriorní dráhy (která tak po transformaci dráhy do dynamické podoby klesne z 0,02 m na 0,03 až 0,04 m), což pro účely kampaně lze považovat za akceptovatelné.

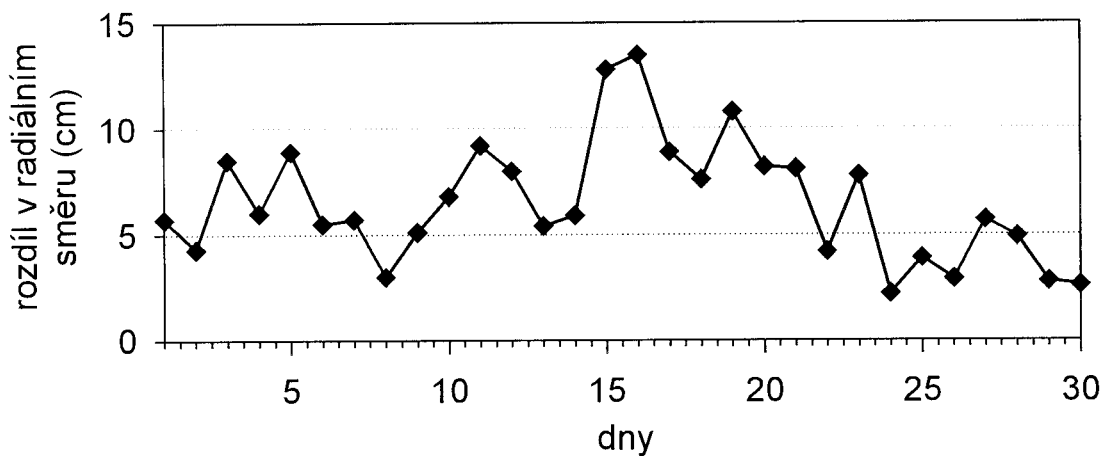
Při určování souřadnic pozemních stanic analýzou měření DORIS jsou obvykle sledovány minimálně několikadenní série výsledků. Proto i v této kampani nebyla posuzována přesnost souřadnic určených analýzou jednotlivých oblouků a sledována byla pouze vyrovnáním určovaná aposteriorní přesnost měření. Příklad výsledných oprav měření a jejich časového průběhu ukazuje obr. 1. Rozbor časové distribuce oprav neodhalil žádný systematický efekt. Souřadnice stanic pak byly určeny analýzou čtyř týdních a jedné měsíční série. Z celkového počtu 43 radiomajáků bylo do řešení zahrnuto pouze 29 stanic, které byly observovány alespoň 4 dny v každém týdnu. Dosaženou přesnost, jak vnitřní tak i v porovnání se souřadnicemi ITRF, shrnuje tab. 1. Určené prvky Helmertovy transformace mezi výslednými souřadnicemi a ITRF 2000, uvedené v tab. 2, ukazují na poměrně významné systematické vztahy; jednak změnu měřítka, která odpovídá rozdílu výšek kolem 0,04 m, dále pak rotace kolem osy Z, která naznačuje možnou systematickou chybu v určování epochy měření. Výsledná střední chyba po transformaci má hodnotu 0,12 m a v určení 3D polohy stanic obstojí ve srovnání s dlouhodobými výsledky měsíčních souřadnicových sérií analytických center IDS, které obsahují při použití kombinace všech satelitů 3D přesnosti 0,04 až 0,05 m.

Při určování dráhy družice byly mezi určované parametry zahrnuty kromě počátečních keplerovských elementů i parametry tlaku záření (přímé, Y-bias, X-bias) a dále konstantní i harmonické empirické parametry, určované pro šestihodinové intervaly. Použity byly standardní silové modely Bernského GPS softwaru [3], model gravitačního pole EGM96 do stupně a řádu 70. Střední hodnota denních středních rozdílů mezi apriorní a určovanou dráhou v radiálním směru, které jsou znázorněny na obr. 2, činila 71 mm. Nejpresnější dráhy družice TOPEX, určené pouze na základě měření DORIS, mají radiální přesnost kolem 30 mm [1]. Námi určená hodnota 71 mm je ovšem mírně pesimistickým ukazatelem přesnosti analýzy, vzhledem k již popisované přesnosti srovnávané, byť ne zcela nezávisle určené apriorní dynamické dráhy. Reálná přesnost bude pravděpodobně odpovídat hod-



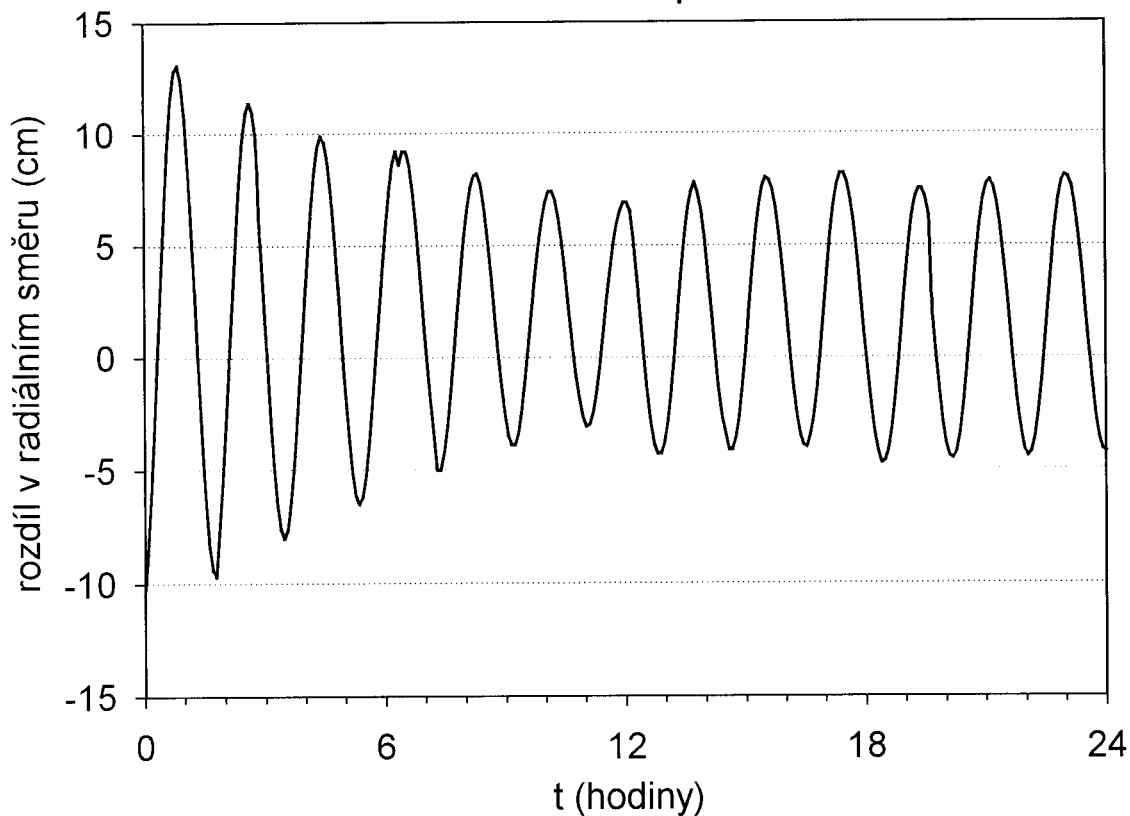
Obr. 1 Opravy měření při určování souřadnic

### Střední absolutní hodnoty rozdílu apriorní a určené dráhy, radiální komponenta



Obr. 2 Rozdíly drah za měsíc

### Rozdíl mezi apriorní a určovanou dráhou, radiální komponenta



Obr. 3 Rozdíly drah v rámci denního oblouku (6. 7. 1995)

Tab. 2 Parametry Helmertovy transformace

Parametr	Hodnota a střední chyba
$T_x$	$-3,0 \pm 13,1$ mm
$T_y$	$-26,3 \pm 13,0$ mm
$T_z$	$12,8 \pm 13,1$ mm
$R_x$	$0,00111 \pm 0,00050$ mm"
$R_y$	$-0,00022 \pm 0,00053$ mm"
$R_z$	$-0,00381 \pm 0,00053$ mm"
Měřítka	$0,0111 \pm 0,0020$ mm/km

Tab. 3 Střední chyba měření

Analýza	Sít	Dráha	$M_0$ (mm)
denní	určovaná	fixovaná	5,6
měsíční	určovaná	fixovaná	6,5
denní	fixovaná	určovaná	9,7

notě 50 až 60 mm. Poměrně vysoké hodnoty, kolem jednoho centimetru, dosahuje ve srovnání s předchozí analýzou dat při fixní dráze určená střední chyba měření  $M_0$ , viz tab. 3. Jde zřejmě o důsledek nižší přesnosti použitého dynamického modelu dráhy, což potvrzuje i výrazně systematická časová distribuce rozdílů mezi apriorní a určenou radiální dráhovou komponentou, jejíž typický příklad znázorňuje obr. 3.

Lze říci, že výsledky vstupní testovací kampaně potvrzují možné budoucí využití Bernského GPS software pro přesnou analýzu dat systému DORIS v rámci IDS (International Doris Service). Dalším logickým pokračováním vývoje aplikace bude určování staničně specifických parametrů, tj. troposférického zenitového zpoždění a především chyby ve frekvenci radiomajáků. Dále pak půjde o implementaci přesného modelu dynamiky nízkých družicových drah (LEO).

*Poděkování. Dosažené výsledky byly získány v rámci práce na Výzkumném centru dynamiky Země, projekt LN00A005, výzkumný záměr MSM210000027. Děkuji Dr. Ursovi Hugentoblerovi (Bernská univerzita) za spolupráci při implementaci DORIS do Bernského GPS software a konzultaci výsledků vstupní testovací kampaně.*

#### LITERATURA:

- [1] BERTHIAS, J. P.: Doris export Data format Description. CNES 2001.
- [2] BERTHIAS, J. P.: Trends in DORIS Data Formats. IDS Workshop 2003.
- [3] HUGENTOBLER, U.–SCHAER, S.–FRIDEZ, P.–BEUTLER, G.–BOCK, H.–INEICHEN, D.–JOHNSON, J.–MEINDL, M.–MERVART, L.–ROTHACHER, M.–SPRINGER, T.–WEBER, R.: Documentation of the Bernese GPS Software. Version 4.2. Bern, University of Bern 2001.
- [4] LUTHCKE, S. B.–ZELENSKY, N. P.–ROWLANDS, D. D.–LEMOINE, F. G.–WILLIAMS, T. A.: The 1-Centimeter Orbit: Jason-1 Precision Orbit Determination Using GPS, SLR, DORIS and Altimeter Data. Marine Geodesy, 26, 2003, 399–421.
- [5] MARSHALL, J. A.–ZELENSKY, N. P.–LUTHCKE, S. B.–RACHLIN, K. E.–WILLIAMSON, R. G.: The Temporal and Spatial Characteristics of TOPEX/Poseidon Radial Orbit Error. Journal of Geophysics Research, 1995, 100(C12):25331–25352.
- [6] MONTENBRUCK, O.–GILL, E.: Satellite Orbits. Springer-Verlag 2000.

- [7] SENGENES, P.: Doris System Description. CNES 2001.
- [8] SENGENES, P.–TAVERNIER, G.–GRANIER, J. P.: A Brief Overview of DORIS System Evolutions. IDS Workshop 2002.
- [9] VALETTE, J. J.–SOUDARIN, L.–ALTAMINI, Z.: The IDS Analysis Campaign. Objectives, Participation and Tools, Results and Overview of IDS Products. IDS Workshop 2002.

Do redakce došlo: 26. 1. 2004

Lektorovala:  
Ing. Lubomíra Gerhátová, PhD.,  
KGZ SvF STU v Bratislave

## SPOLEČENSKO-ODBORNÁ ČINNOST

### O digitálním měření a zpracování dat pro účely katastru nemovitostí

347.235.11:681.3

Poslední zářijový den r. 2004 se konal v libeňském „Bílém domě“ další z mnoha seminářů, kterými VÚGTK ve Zdíbech zajišťuje pro odbornou veřejnost proces celoživotního vzdělávání. Tentokrát pro více než stovku posluchačů připravili své referáty odborníci z útvaru GIS (Geographic Information System) a katastru nemovitostí (KN). Na program byla zařazena problematika digitálního měření a zpracování dat pro účely KN. O měření a zpracování geodat hovořil vedoucí útvaru GIS a KN ústavu Milan Kocáb (obr. 1). O tvorbě digitálních polních náčrtů a práce s rastry, doplněnou mnoha praktickými ukázkami, referoval Jaroslav Křenek, na něhož navázal s referátem o přenosu a zpracování dat v terénu Tomáš Cajtham. Program uzavřel referátem Výměna dat s katastrálními pracovišti Milan Kocáb. Ve vymezeném čase proběhla diskuse.

Text a foto:  
Ing. Petr Skála,  
Fakulta lesnická a environmentální ČZU Praha



Obr. 1



# Odhad přesnosti rotačního laserového skeneru a optimalizace jeho konfigurace

Ing. Bronislav Koska,  
katedra speciální geodézie FSv ČVUT v Praze

528.59:621.375.826:681.3.05

## Abstrakt

Odhad přesnosti vyvíjeného laserového a optického rotačního skeneru (LAORS). Výpočetní postup určení souřadnic bodu na předmětu, který je složen z několika vyrovnání, a rozbor přesnosti. Matematický model skenovacího systému, který situaci zjednodušuje a umožňuje flexibilní aplikaci při změně parametrů systému. Numerický příklad včetně rozborů přesnosti. První odhady přesnosti LAORS. Optimalizace jednoho z hlavních parametrů systému.

## Accuracy of Rotating Laser Scanner and Optimization of its Configuration

### Summary

Accuracy estimation of developed laser and optical rotating scanner (LAORS). Computation method (including some steps of adjustment) of determination of coordinates of a point of a measured object and analysis of accuracy. Mathematical model of scanner system leading to easier computations and enabling a flexible application in case of a change of parameters of the system. Numerical example including accuracy analysis. The first estimations of LAORS accuracy. The optimizing of one of the fundamental system parameters.

## 1. Úvod

V této práci je řešena problematika odhadu a posouzení přesnosti „laserového a optického rotačního skeneru“, dále jen LAORS. Tento 3D skenovací systém je vyvíjen v rámci grantu GA ČR 103/02/0357 – Moderní optoelektronické metody topografie ploch.

V současné době se jedná o zařízení určené ke skenování předmětů malých rozměrů. Zkušenosti s tímto zařízením by měly sloužit jako podklad k návrhu systému podobného principu využitelného v geodézii.

Odhad přesnosti systému je potřebný zejména pro posouzení možností jeho využití. Na základě níže uvedených rozborů byl vytvořen pracovní sešit (worksheet – v podstatě se jedná o program) v software Mathcad, kterým lze snadno přepočítat dosaženou teoretickou přesnost při změně jakékoliv charakteristiky LAORS. Tento program lze také využít pro optimalizaci, která je zde částečně řešena rovněž a která je důležitá pro maximální ekonomičnost využití používaného hardwarového zařízení. Výsledky rozborů budou následně konfrontovány s výsledky uskutečněných testovacích měření.

## 2. Stručný popis systému LAORS

Zařízení je tvořeno třemi základními hardwarovými komponenty. Je to digitální kamera, laserový modul a točna (viz obr. 1).

Digitální kamera je umístěna na teodolitu a jsou u ní známy prvky vnitřní orientace. V současné době je používán model kamery JVC TK-C1389E s fyzickým rozlišením 752 x 548 pixelů. Kamera je umístěna na teodolitu Theo 010B firmy Zeiss, který je vybaven nástavcem pro přesné uchycení kamery (více v [7]).

Laserový modul vytváří laserovou rovinu. Původní laser Tesla TKG 205 (vlnová délka 633 nm) vytvářel v řezu kruhovou stopu, a proto musel být do roviny rozpylován pomocí válcové čočky. V současnosti byl nahrazen výkonnějším modulem DPGL-300L-45 (výkon 5mW, vlnová délka 532 nm), který přímo vytváří laserovou rovinu.

Točna je charakterizovaná, v rámci požadované přesnosti, konstantní úhlovou rychlostí. Při měření je nutné točnu urovnat tak, aby její osa rotace byla přesně svislá a následně určit její polohu.

Prostorový bod je definován průsečíkem světelné stopy vytvořené laserem na předmětu a optické přímky. Optická přímka je určena ze snímkových souřadnic obrazu stopy z digitální kamery. Jednotlivé řezy jsou vyhodnocovány samostatně a následně jsou přetransformovány do souřadnicové soustavy modelu (rotující soustava).

## 3. Teoretické základy používané v rozborech

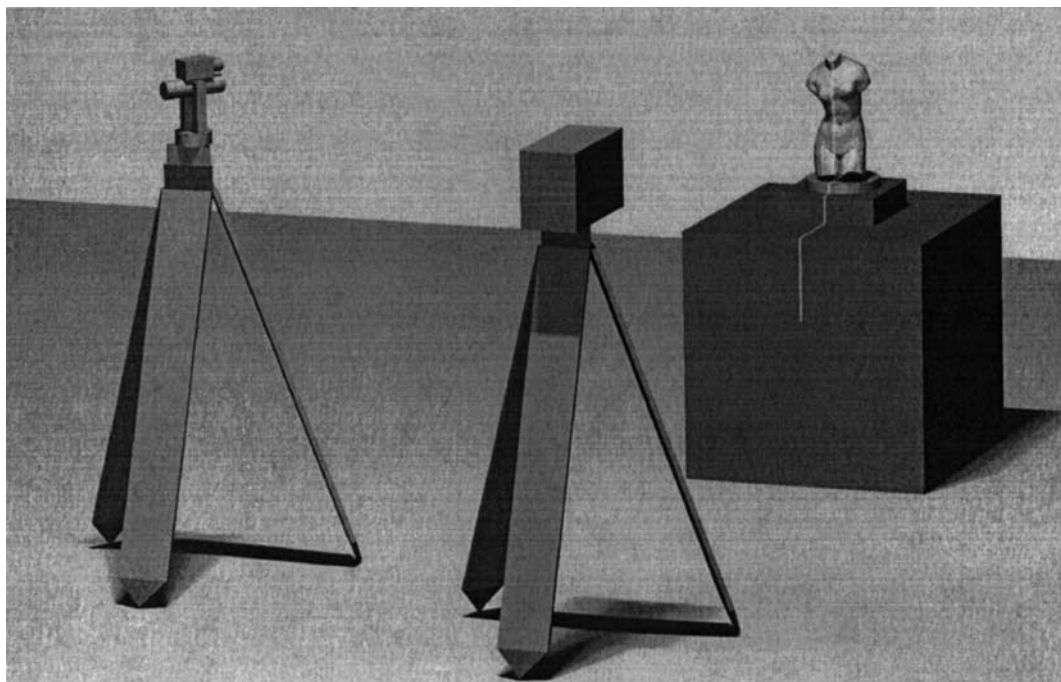
### 3.1 Zákon hromadění vah

Jedná se o jeden ze základních zákonů vyrovnávacího počtu. V tomto příspěvku se setkáme s jeho opakovanou aplikací. Zákon je jiným vyjádřením zákona hromadění středních chyb na skupině funkcí, který je dle [1] definován vztahem:

$$\mathbf{S}_h = \mathbf{H} \mathbf{M}^2 \mathbf{H}^T, \quad (1)$$

kde je  $\mathbf{S}_h$  kovarianční matice,  
 $\mathbf{H}$  matice koeficientů lineární funkce přenosu matice skutečných chyb vstupních veličin na matici skutečných chyb neznámých. Vzniká derivací funkčních vztahů podle jednotlivých vstupních veličin,  
 $\mathbf{M}^2$  matice variancí (na diagonále jsou kvadráty středních chyb vstupních veličin a ostatní členy matice jsou nulové).

Ve výpočtech často nastává případ, že do funkcí vstupující veličiny jsou již navzájem korelovány. Například jsou již samy výsledkem výpočtů nebo vyrovnání. V těchto případech je nutné znát kovarianční matici vstupních veličin, ta je obecně plná a symetrická. Často se formálně převádí na matici váhových koeficientů  $\mathbf{Q}$  vztahem



Obr. 1 Model systému LAORS

$$\mathbf{Q}_m = \frac{1}{m_0'^2} \mathbf{S}_m, \quad (2)$$

kde  $m_0'$  je vhodně zvolená konstanta – apriorní střední jednotková chyba.

V těchto případech mluvíme o zákonu hromadění vah. Matematické vyjádření je podobné jako u (1):

$$\mathbf{Q}_h = \mathbf{H} \mathbf{Q}_m \mathbf{H}^T. \quad (3)$$

V tomto vztahu mohou být matice váhových koeficientů  $\mathbf{Q}_h$  a  $\mathbf{Q}_m$  nahrazeny, beze změny významu, kovariančními maticemi  $\mathbf{S}_h$  a  $\mathbf{S}_m$  podle rovnice (2).

Střední chyby neznámých potom snadno spočteme ze vztahu

$$m_{h_1} = m_0' \sqrt{q_{h_1 h_1}} = \sqrt{S_{h_1 h_1}}, \quad (4)$$

kde je  $q_{h_1 h_1}$  prvek hlavní diagonály matice  $\mathbf{Q}_h$  a

$S_{h_1 h_1} = m_0'^2$  je prvek hlavní diagonály matice  $\mathbf{S}_h$ .

Kovarianční matice je výchozím prvkem pro posouzení přesnosti jakéhokoliv výsledku.

Protože v následujícím textu bude zákon hromadění vah několikrát používán, zavedeme k zjednodušení zápisu zkratku „ZHV“.

### 3.2 Volba charakteristiky přesnosti

Pro posouzení přesnosti laserového rotačního skeneru (LAORS) je především nutné zvolit správnou charakteristiku přesnosti.

Při psaní této kapitoly se vycházelo z [1], kde se jen poměrně malá část věnuje rozdělení chyb ve 3D. Z toho důvodu byly další informace získány také z [4] a některé používané charakteristiky přesnosti byly nově navrženy.

V tomto rozboru byl použit jednak elipsoid chyb, jednak nově navržená střední chyba  $m_{k97}$ .

#### 3.2.1 Elipsoid chyb

Teoreticky nejsprávnější charakteristikou přesnosti je v prostoru Helmertova plocha. Ta je často v praxi, pro svou složitost, nahrazována elipsoidem chyb. Ten je v obecné poloze dán 6 hodnotami. Jsou to velikosti jednotlivých poloos  $a$ ,  $b$ ,  $c$  a úhly stočení kolem jednotlivých os. V současné době jsou někdy úhly stočení nahrazeny jednotkovými směrovými vektory. Velikosti jednotlivých poloos představují velikosti středních kvadratických chyb v těchto extrémních směrech.

Elipsoid chyb není vhodná charakteristika pro optimalizaci a stručnou prezentaci přesnosti výsledků. Ve výpočtech byl elipsoid chyb používán jednak k posouzení přesnosti a jednak jako podklad pro výpočet chyby  $m_{k97}$  (viz níže).

Elipsoid chyb vlastně představuje těleso, ve kterém se vyskytuje náhodná veličina s pravděpodobností 19,9 %. Jeho povrch tvoří body stejně sdružené hustoty pravděpodobnosti. Pravděpodobnost lze ve 3D definovat pomocí jediného parametru  $t$

$$\Phi_3(t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^t t^2 e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (5)$$

kde je  $t$  normovací parametr, který definuje skutečnou velikost elipsoidu chyb

$$\frac{x^2}{m_x^2} + \frac{y^2}{m_y^2} + \frac{z^2}{m_z^2} = t. \tag{6}$$

Např. v [1] je tato pravděpodobnost tabelována. Stručnější verze tabulky je pro připomenutí uvedena (tab. 1):

Tab. 1 Pravděpodobnost ve 3D

t	1	2	3	3.5
$\Phi_3(t)$	0.199	0.739	0.971	0.993

Problémem řešení elipsoidu chyb je určení směru a velikosti jeho hlavních poloos. Výchozím prvkem je kovarianční matice příslušného bodu. Ta na hlavní diagonále obsahuje kvadráty středních chyb v jednotlivých souřadnicových osách. Souřadnicové osy nejsou obecně shodné s osami extrémních chyb ( $m_x \neq m_a, m_y \neq m_b, \text{atp.}$ ).

V literatuře [1] je u problematiky hledání stočení os elipsoidu chyb navržený obdobný postup jako u elipsy chyb ve 2D.

U dvourozměrných chyb je postup hledání stočení hlavní poloosy následný: Náhodné souřadnice bodu převedeme do pomocné souřadnicové soustavy ležící v těžišti. Souřadnice v soustavě chyb nazveme např.  $\xi$  a  $\eta$ . Vyjdeme z předpokladu, že v soustavě chyb je  $\Sigma \xi$  a  $\Sigma \eta$  extrémní a  $\Sigma \xi \eta$  rovna nula. Napíšeme rovnici transformace z pomocné souřadnicové soustavy do soustavy chyb. Jedná se o shodnostní transformaci. Provedeme sumaci přes všechny body. Tuto sumaci derivujeme podle rotace  $\omega$  a položíme rovnu nule. Řešíme rovnici o jedné neznámé (výsledkem jsou tři shodné rovnice o jedné neznámé). Dále řešíme velikost středních chyb v extrémech z rovnice transformace.

Aplikace této metody pro 3D je velmi obtížná. Vystupuje v ní matice rotace v prostoru

$$\mathbf{R}_{XYZ} = \mathbf{R}_Z(\kappa) \mathbf{R}_Y(\varphi) \mathbf{R}_X(\omega)$$

$$\mathbf{R}_{XYZ} = \begin{pmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \cos \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix}, \tag{7}$$

$$\mathbf{R}_{XYZ} = \begin{pmatrix} \cos \kappa \cos \varphi & -\sin \kappa \cos \varphi \cos \omega + \cos \kappa \sin \varphi \sin \omega & \sin \kappa \sin \varphi \cos \omega + \cos \kappa \sin \varphi \cos \omega \\ \sin \kappa \cos \varphi & \cos \kappa \cos \varphi \cos \omega + \sin \kappa \sin \varphi \sin \omega & -\cos \kappa \sin \varphi \cos \omega + \sin \kappa \sin \varphi \cos \omega \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \sin \omega & \cos \varphi \cos \omega \end{pmatrix}$$

kde  $\kappa, \varphi$  a  $\omega$  jsou rotace kolem souřadnicových os  $Z', Y'$  a  $X'$ .

Při jejím určení je nutno řešit soustavu tří velmi složitých nelineárních rovnic o třech neznámých. Toto řešení je možné pouze některou z numerických metod a je početně velmi náročné.

Proto byla k výpočtu elipsoidu chyb použita metoda prezentovaná v literatuře [4].

Tato metoda je založena na podobnosti matic, na vlastních číslech a vlastních vektorech čtvercové matice.

Pokud  $\mathbf{R}$  je regulární matice a platí vztah

$$\mathbf{Sx} = \mathbf{R} \mathbf{\Lambda} \mathbf{R}^{-1}, \tag{8}$$

kde  $\mathbf{Sx}$  je kovarianční matice, jsou matice  $\mathbf{Sx}$  a  $\mathbf{\Lambda}$  podobné matice. Pokud je navíc  $\mathbf{\Lambda}$  diagonální, jsou její prvky vlastní

čísla matice  $\mathbf{Sx}$  a sloupce matice  $\mathbf{R}$  jsou vlastní vektory. Mají-li vlastní vektory normu rovnu jedné, je matice  $\mathbf{R}$  ortonormální a zápis podobnosti vyjadřuje geometricky transformaci mezi dvěma kartézskými souřadnicovými systémy.

Vlastní čísla reprezentují kvadráty hlavních poloos elipsoidu a vlastní vektory k nim příslušné jednotkové směrové vektory.

Matematicky hledáme vlastní čísla matice  $\mathbf{Sx}$  řešením determinantu:

$$|\mathbf{Sx} - \lambda \mathbf{E}| = 0, \tag{9}$$

kde je  $\lambda$  vlastní číslo matice,  $\mathbf{E}$  jednotková matice.

Rozepsáním tohoto determinantu získáme polynomickou funkci, jejíž kořeny jsou hledaná vlastní čísla.

Vlastní vektor potom získáme řešením těchto tří rovnic o třech neznámých:

$$(\mathbf{Sx} - \lambda_i \mathbf{E}) \mathbf{u}_i = 0, \tag{10}$$

kde je  $\lambda_i$  vlastní číslo matice a  $\mathbf{u}_i$  příslušný vlastní vektor.

Několik metod výpočtu vlastních čísel a vektorů matic najdeme např. v [5]. Přímou tyto metody obsahuje také většina matematického softwaru (např. v Mathcadu je to funkce `eigenvals()` a `eigenvecs()`).

Dále se někdy přepočítávají směrové vektory na rotace kolem jednotlivých souřadnicových os, vystupující v matici rotace (7). To nebylo pro výpočet potřebné, a proto to zde nebude uvedeno.

Elipsoid chyb byl ve výpočtech využit zejména jako podklad pro výpočet chyby  $m_{k97}$  (viz následující kapitola).

### 3.2.2 Chyba $m_{k97}$

Jak již bylo zmíněno v předcházející kapitole, není možno elipsoid chyb použít pro optimalizaci konfigurace a není ani příliš vhodný pro stručné posouzení přesnosti z důvodu své složité formy (v případě použití směrových vektorů je to 12 hodnot vyjadřujících přesnost jednoho bodu). Při hledání maximální přesnosti je nutné použít jednoznačné kritérium.

V [4] je uvedeno několik používaných charakteristik přesnosti, které vyjadřují přesnost pomocí jediné hodnoty, např. determinant kovarianční matice, funkce determinantu kovarianční matice, různé funkce stopy kovarianční matice (např. druhá odmocnina součtu prvků atp.). Žádná z těchto charakteristik ale nemá jednoznačnou vazbu na konkrétní pravděpodobnost.

Proto byla navržena jednodušší a jednoznačná charakteristika přesnosti, střední kulová chyba s 97 procentním intervalem spolehlivosti, dále označena  $m_{k97}$ .

Navrhovanou  $m_{k97}$  můžeme definovat jako poloměr koule s pravděpodobností výskytu náhodné veličiny 97 %. Tato hodnota hladiny spolehlivosti je navržena z důvodu, že v prostoru je pravděpodobnost tabelována pro 3-násobek parametru  $t$  právě 97 procent (viz tab. 1). Tato hodnota pravděpodobnosti je také v praxi často používaná.

Základní myšlenka této charakteristiky vychází ze zjednodušení užívaných také v rovině pro dvourozměrné chyby. Jedná se zejména o střední chybu souřadnicovou nebo polohovou. Nevýhodou těchto charakteristik je, že jejich použití je oprávněné pouze pro případy stejných velikostí extrém-

ních chyb (tedy spíše výjimečné případy). Důvodem je, že pro ostatní případy neodpovídá pravděpodobnost výskytu náhodných chyb v této kružnici hodnotám tabelovaným pro elipsu a ani funkce pravděpodobnosti není shodná z důvodu rozdílných integračních mezí. Stejně nedostatky jako má nahrazení elipsy chyb střední souřadnicovou chybou v rovině má i obdobná náhrada v prostoru. Proto nelze takto definovanou střední chybu zodpovědně používat. Navržená charakteristika tyto nedostatky odstraňuje.

Je zřejmé, že střední chyby v jednotlivých směrech extrémních chyb jsou rozdílné (např. z rozboru přesnosti), ale přesto je nutné zjednodušit charakteristiku přesnosti na jediné číslo. Je uvažována výchozí elipsoidická plocha pro funkci sdružené hustoty pravděpodobnosti a ta je taky použita pro výpočet pravděpodobnosti pro tuto kouli. Tato pravděpodobnost je ale obecně mírně odlišná od pravděpodobnosti pro elipsoid.

### 3.2.2.1 Výpočet chyby $m_{k97}$

Jako první přiblížení je možné využít obdobu střední souřadnicové chyby v prostoru

$$m_{k97}^I = 3 \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2}{3}}, \quad (11)$$

kde  $a, b, c$  jsou velikosti středních kvadratických chyb v extrémních směrech.

Respektive její trojnásobek, jelikož funkce hustoty pravděpodobnosti není pro kouli stejná jako pro elipsoid a není tedy potom možno tuto hodnotu poloměru (poloměr koule s 97 % pravděpodobností) snadno dopočítat. Navíc je tato funkce rozdílná pro každou kouli z důvodu rozdílné velikosti poloos elipsoidu.

Výhodou této aproximace je, že při rovnosti středních chyb v jednotlivých osách je pro tuto kouli přesně stejná pravděpodobnost výskytu náhodných chyb jako pro elipsoid chyb a tedy již tato první aproximace odpovídá přesně  $m_{k97}$ .

Pravděpodobnost pro kouli lze vypočítat ze sdružené hustoty pravděpodobnosti v prostoru omezené na kulové těleso pomocí integračních mezí

$$\Phi_{k97}^I = \int_0^{m_{k97}} \int_0^{\sqrt{(m_{k97})^2 - z^2}} \int_0^{\sqrt{(m_{k97})^2 - z^2 - y^2}} 8 \frac{1}{\sqrt{8\pi^3 a b c}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} \right)} dx dy dz. \quad (12)$$

Tato pravděpodobnost ale většinou neodpovídá přesně požadovaným 97 %, a proto je nutné ji s požadovanou přesností dopočítat postupnou iterací (97 % odpovídá pouze pro případ  $a = b = c$ ). Maximální rozdíl dosažené pravděpodobnosti od požadované můžeme volit (např. 0,4 %).

Další hodnotu chyby  $m_{k97}$  můžeme odhadnout např. z rovnice

$$m_{k97}^{II} = \frac{0,97}{\Phi_{97}^I} m_{k97}^I \quad (13)$$

a opět dopočítat odpovídající pravděpodobnost.

V Mathcadu byl k tomuto účelu vytvořen program (obr. 2).

### 3.2.2.2 Využití $m_{k97}$

Pro odhad přesnosti byl tedy použit elipsoid chyb a také odpovídající  $m_{k97}$ .

Pro optimalizaci byla použita  $m_{k97}$ .

## 4. Výpočet prostorových souřadnic objektu

Tento výpočet navazuje na článek [6] a [7]. Jedná se o dokončení teorie výpočtu souřadnic bodu zaměřených LAORS. Na základě těchto vztahů s využitím výsledků publikovaných v [6] bude v dalších kapitolách odvozen odhad přesnosti navrhovaného systému.

Z hlediska výpočtu je uvažována znalost koeficientů roviny ( $A, B, C$  a  $D$ ) a znalost souřadnic vstupní pupily kamery a z ní vypočtených směrů.

Z hlediska dalších výpočtů při rozbořech přesnosti je vhodné rozdělit tento výpočet do tří částí, a proto bude toto dělení dodrženo i v této kapitole.

V závěru každé podkapitoly bude pro přehlednost a další použití v modelech LAORS uveden zkratkový seznam vstupních a výstupních veličin.

### 4.1 Výpočet koeficientů roviny laseru

Tento výpočet je včetně rozborů přesnosti a konkrétního příkladu podrobně popsán v [6]. Zde je uveden z důvodu zachování integrity výkladu a jednotnosti v popisu vstupních a výstupních veličin modelu.

#### 4.1.1 Vstupní i výstupní veličiny

Vstupní:  $[\alpha, z, l]_{i, ABCD}$  – matice měření na podrobné body,  $\mathbf{X}_0$  – souřadnice stanoviska.

Výstupní:  $A, B, C, D$  – koeficienty definující rovinu v prostoru.

### 4.2 Průsečík roviny laseru se záměrnou přímkou

Tyto souřadnice se vypočtou jako průsečík optické přímky ze vstupní pupily kamery na měřený bod a roviny řezu (realizované laserem). Projekční centrum kamery je definováno jako střed vstupní pupily předmětového prostoru.

Jedná se o příklad z analytické geometrie, jehož součástí jsou popsány např. v [2] nebo [3]. Řešení bylo provedeno následovně:

Je dána rovina řezu koeficienty  $A, B, C$  a  $D$

$$A_x + B_y + C_z + D = 0 \quad (14)$$

a vypočten vektor přímky  $p$  na každý bod předmětu ze vstupní pupily  $P_0 [X_{P0}, Y_{P0}, Z_{P0}]$

$$p = (\sin z \cos \alpha; \sin z \sin \alpha; \cos z) = (px; py; pz). \quad (15)$$

Dále byla zapsána tato přímka v parametrickém tvaru

$$\begin{aligned} X &= X_{P0} + px t, \\ Y &= Y_{P0} + py t, \\ Z &= Z_{P0} + pz t. \end{aligned} \quad (16)$$

Vypočte se průsečík  $\mathbf{X}_{PR}$  této přímky s rovinou řezu dosažením rovnice přímky do rovnice roviny a výpočtem parametru  $t$  v bodě průsečíku –  $tp$

```

m97:= df97 ← 1
      m97p ← m97
      while |df97| > 0.004
      |   m97 ← m97p
      |   f97p ← ∫0m97 ∫0√[(m97)2-z2] ∫0√[(m97)2-y2-z2]
      |   m97p ← 0.97 · m97
      |   df97 ← 0.97 - f97p
      m97
  
```

$$8 \cdot \frac{1}{\sqrt{8 \cdot \pi^3 \cdot a \cdot b \cdot c}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} \right)} dx dy dz$$

Obr. 2 Program pro výpočet  $m_{k970}$

$$tp = \frac{A X_{P0} + B Y_{P0} + C Z_{P0} + D}{A px + B py + C pz}; \tag{17}$$

konečně následuje výpočet souřadnic průsečíku z rovnic přímky v parametrickém tvaru

$$\begin{aligned} X_{PR} &= X_{P0} + px \, tp, \\ Y_{PR} &= Y_{P0} + py \, tp, \\ Z_{PR} &= Z_{P0} + pz \, tp. \end{aligned} \tag{18}$$

#### 4.2.1 Výpočet souřadnic $X_{P0}$

Výpočet je popsán v literatuře [7]. Zde je uveden z důvodu nutnosti jeho použití v rozboru přesnosti.

Veškeré zde uvedené výpočty jsou definovány pro pravotočivou (matematickou) souřadnicovou soustavu. To je důležité vědět zejména při transformacích. Další předpoklady pro transformace jsou: Úhly rotace jsou uvažovány vždy kladné v matematicky kladném směru (proti směru chodu hodinových ručiček) a jsou definovány od osy soustavy, do které je transformováno.

Jedná se o shodnostní prostorovou transformaci, která je při našem značení formulována

$$\mathbf{X}_{P0} = \begin{pmatrix} X_{P0} \\ Y_{P0} \\ Z_{P0} \end{pmatrix} = \mathbf{R}(0, v_t, \alpha_t) \begin{pmatrix} e_x \\ e_y \\ e_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix}, \tag{19}$$

kde je  $v_t = z_t - 100$ ,  $\alpha_t$  směrnik, v našem případě pravotočivé soustavy přepočtený směrnik  $\alpha_t = 400 - \alpha_{tm}$ , kde  $\alpha_{tm}$  je naměřený směrnik a  $e_x$ ,  $e_y$  a  $e_z$  jsou souřadnice vstupní pupily v systému teodolitu.

Matice rotace je v tomto případě složena ze dvou matic rotací tvaru:

$$\mathbf{R}(0, v_t, \alpha_t) = \mathbf{R}_z(\alpha_t) \mathbf{R}_y(v_t) = \begin{pmatrix} \cos \alpha_t & -\sin \alpha_t & 0 \\ \sin \alpha_t & \cos \alpha_t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos v_t & 0 & \sin v_t \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha_t & 0 & \cos v_t \end{pmatrix}. \tag{20}$$

#### 4.2.2 Vstupní a výstupní veličiny

Vstupní:  $A, B, C, D$  – koeficienty roviny,  
 $\mathbf{X}_0$  – souřadnice stanoviska,  
 $a, z$  – vypočtené směry z  $\mathbf{X}_{P0}$  získané z digitálních snímků,  
 $e_x, e_y$  a  $e_z$  – souřadnice vstupní pupily  $\mathbf{X}_{P0}$  v souřadnicové soustavě teodolitu,  
 $\alpha_t, v_t$  – natočení teodolitu v okamžiku snímkování.

Výstupní:  $\mathbf{X}_{PR}$  – souřadnice průsečíku.

#### 4.3 Transformace do soustavy objektu

Pro každý snímek je potřeba vypočtené souřadnice v hlavní soustavě převést do rotující soustavy, která je vzhledem k objektu pevná. To se provede transformací.

Pro souřadnice každého snímku je nutné mít k dispozici buď středový úhel nebo čas rotace a úhlovou rychlost  $\omega$ . Potom je možné provést otočení o tento úhel kolem osy z.

Teoreticky by mohla rotace probíhat i v obecné poloze točny. To však není žádoucí, jelikož je nutná přesná znalost stočení podle jednotlivých os a tu není v obecné poloze snadné získat s dostatečnou přesností. Jednodušší je urovnání točny podle libely ve dvou na sebe kolmých směrech. Pro rozbor je samozřejmě uvažována plná 3D transformace.

Transformace je provedena v souladu s [8], maticově tedy

$$\begin{aligned} \mathbf{X}_{PR} &= \mathbf{T} + \mathbf{R} \mathbf{X}'_{PR}, \\ \mathbf{T} &= \mathbf{X}_{CR}, \end{aligned} \tag{21}$$

kde značí  $\mathbf{X}_{CR}$  souřadnice centra rotace,

$$\mathbf{X}_{CR} = \begin{pmatrix} X_{CR} \\ Y_{CR} \\ Z_{CR} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{R} = \begin{pmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{22}$$

a  $\kappa$  úhel rotace kolem souřadnicové osy Z.

Nyní je nutno ještě vyjádřit souřadnice  $\mathbf{X}'_{PR}$ ,

$$\begin{aligned}\mathbf{X}'_{PR} &= \mathbf{R}^T (\mathbf{X}_{PR} - \mathbf{X}_{CR}), \\ \mathbf{R}^{-1} &= \mathbf{R}^T.\end{aligned}\quad (23)$$

#### 4.3.1 Zaměření a výpočet centra rotace $\mathbf{X}_{CR}$

V předchozí kapitole vystupuje centrum rotace dále značené jen CR. Jak již název napovídá jedná se o rotační centrum točny, ale také se jedná o počátek souřadnicové soustavy modelu. Jeho přesná znalost je tedy velmi důležitá.

Nejprve bylo zvažováno jeho přímé zaměření teodolitem. Při praktické zkoušce se tato metoda ukázala nevhodná, jelikož CR točny je realizováno velmi hrubě. Dále ani není jisté, že toto zdánlivé CR odpovídá skutečnému.

Proto byla navržena metoda zaměření CR pomocí několika bodů po obvodu kružnice opsané tělesem na točně. Tato metoda odstraňuje oba předchozí problémy. Vhodnou volbou tělesa (např. převrácený připínáček) byl odstraněn problém hrubého cíle a princip metody zároveň zaručuje zaměření skutečného CR. Další výhodou této metody je možnost určení CR pomocí nadbytečného počtu měření a tedy kontroly a také kvalitního odhadu přesnosti.

Z důvodu zjednodušení je uvažována přesná vodorovnost točny. Tato podmínka sice není splněna úplně, ale vzhledem k urovnání točny přesnou tubicovou libelou na cca 0,0020 gon, je splněna dostatečně (rozměr točny cca 100 mm v průměru dělá při 20<sup>cc</sup> zhruba 0,003 mm odchylku v souřadnici Z).

##### 4.3.1.1 Výpočty

Z důvodů výše uvedených je výpočet proveden nezávisle pro souřadnice ( $X_{CR}$  a  $Y_{CR}$ ) a nezávisle pro souřadnice  $Z_{CR}$ . Výpočet všech tří souřadnic CR vychází z 3D souřadnic bodů. Ty je nejprve nutné vypočíst dle vztahů:

$$\begin{aligned}x &= X_0 + l \sin z \cos \alpha, \\ y &= Y_0 + l \sin z \sin \alpha, \\ z &= Z_0 + l \cos z,\end{aligned}\quad (24)$$

kde jsou  $X_0, Y_0, Z_0$  souřadnice počátku měření délek a úhlů,  $l$  měřená šikmá délka,  $z$  měřený zenitový úhel,  $\alpha$  měřený směrnik.

##### 4.3.1.1.1 Výpočet souřadnic $X_{CR}$ a $Y_{CR}$

Výpočet souřadnic CR se převádí na určení středu kružnice zaměřené nadbytečným počtem bodů. Středová rovnice kružnice v rovině je dána vztahem:

$$(x - X_{CR})^2 + (y - Y_{CR})^2 = r^2.\quad (25)$$

V této rovnici vystupují tři neznámé  $X_{CR}, Y_{CR}$  a  $r$ . K jejich určení je tedy nutné zaměřit tři body. Z důvodů kontroly a zpřesnění je zaměřeno více bodů a hodnoty neznámých jsou určeny z vyrovnání. Byla zvolena nejjobecnější metoda vyrovnání měření podmínkových s neznámými. Tato metoda je podrobně popsána v [1] a její aplikace je uvedena také v [6].

Rovnice (25) je převedena na tvar podmínky:

$$(x - X_{CR})^2 + (y - Y_{CR})^2 - r^2 = 0.\quad (26)$$

Výpočet přibližných hodnot nutných pro vyrovnání lze provést symbolickým řešením rovnice (26) pro tři body

$$\begin{aligned}X_{CR}^0 &= \frac{x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2 - (y_1 - y_2) \frac{x_1^2 - x_3^2 + y_1^2 - y_3^2}{y_1 - y_3}}{2(x_1 - x_2) - 2(y_1 - y_2) \frac{x_1 - x_3}{y_1 - y_3}}, \\ X_{CR} &= \frac{x_1^2 - x_2^2 - 2X_{CR}(x_1 - x_2) + y_1^2 - y_2^2}{2(y_1 - y_2)},\end{aligned}\quad (27)$$

$$r^0 = \sqrt{(x_1 - X_{CR})^2 + (y_1 - Y_{CR})^2},$$

nebo numericky, v Mathcadu např. funkce *Find()*. Další výpočet probíhá již podle metody vyrovnání iteracemi, dokud desetinasobek absolutní hodnoty přírůstku neznámé není menší než střední chyba příslušné neznámé, s platností pro všechny neznámé.

##### 4.3.1.1.2 Výpočet souřadnice $Z_{CR}$

Výpočet je proveden váženým průměrem dle [1]. Maticově lze řešení formulovat

$$Z_{CR} = \frac{\mathbf{e}^T \mathbf{P} \mathbf{Z}}{\mathbf{e}^T \mathbf{P} \mathbf{e}},\quad (28)$$

kde je  $\mathbf{e}$  jednotkový vektor,

$\mathbf{P}$  matice vah,

$\mathbf{Z}$  vektor souřadnice z.

##### 4.3.2 Vstupní a výstupní veličiny

Vstupní:  $\kappa$  – úhel rotace systému objektu (probíhá interval  $\langle 0; 2R \rangle$ ),

$\mathbf{X}_{PR}$  – souřadnice průsečíku,

$[\alpha, z, l]_{i, XCR}$  – měření k určení  $\mathbf{X}_{CR}$ .

Výstupní:  $\mathbf{X}'_{PR}$  – souřadnice bodu na objektu v soustavě objektu.

##### 4.4. Vstupní a výstupní veličiny všech výpočtů

Vstupní:  $\mathbf{X}_0$  – souřadnice stanoviska,

$[\alpha, z, l]_{i, ABCD}$  – matice měření na podrobné body,  $\alpha, z$  – směry získané ze snímku z bodu  $\mathbf{X}_{PO}$ .

$e_x, e_y$  a  $e_z$  – souřadnice vstupní pupily  $\mathbf{X}_{PO}$ ,

$v_i, \alpha_i$  – natočení teodolitu v okamžiku snímkování,

$[\alpha, z, l]_{i, XCR}$  – měření k určení  $\mathbf{X}_{CR}$ ,

$\kappa$  – úhel rotace systému objektu (probíhá interval  $\langle 0; 2R \rangle$ ).

Výstupní:  $\mathbf{X}'_{PR}$  – souřadnice bodu na objektu v soustavě objektu.

## 5. Rozbor přesnosti LAORS

Rozbor byl pro přehlednost rozdělen do tří samostatných částí, které odpovídají příslušným podkapitolám v kapitole výpočtů č. 4. První část zmiňuje rozbor přesnosti vyrovnání koeficientů roviny laseru (kapitola 4.1), druhá část se věnuje rozboru přesnosti průsečíku této roviny se záměrnou přímkou (výpočet podle kapitoly 4.2) a třetí část se věnuje rozboru přesnosti pro transformaci objektu do jeho souřadné soustavy (výpočet podle kapitoly 4.3).

V závěru každé podkapitoly jsou přehledně uvedeny všechny vstupující charakteristiky přesnosti.

## 5.1 Rozbor přesnosti určení koeficientů roviny

Jak již bylo zmíněno v odstavci 4.1, je tato problematika podrobně popsána v [6]. Přesto zde budou pro přehlednost uvedeny související charakteristiky přesnosti.

### 5.1.1 Vstupní a výstupní charakteristiky přesnosti

Vstupní:  $m_\alpha, m_z, m_l$  – střední chyby měření bodů roviny pro vytvoření  $\mathbf{M}_{mer}^2$

Výstupní:  $\mathbf{S}_{ABCD}$  – kovarianční matice vyrovnaných koeficientů laserové roviny.

## 5.2 Rozbor přesnosti určení průsečíku

### 5.2.1 Sestavení vztahů pro rozbor a přenosové matice

#### 5.2.1.1 Sestavení vztahů

V kapitole 4.2 je uveden výpočet souřadnic průsečíku roviny a přímk. Pro možnost rozboru přesnosti je tam také uveden výpočet souřadnic vstupní pupily  $\mathbf{X}_{P0}$ . Pokud ve vztahu (18) dosadíme za všechny neznámé kromě  $\mathbf{X}_{P0}$  vztahy (15) a (17), získáme rovnice

$$\begin{aligned} X_{PR} &= X_{P0} - \sin z \cos \alpha \frac{A X_{P0} + B Y_{P0} + C Z_{P0} + D}{A \sin z \cos \alpha + B \sin z \sin \alpha + C \cos z}, \\ Y_{PR} &= Y_{P0} - \sin z \sin \alpha \frac{A X_{P0} + B Y_{P0} + C Z_{P0} + D}{A \sin z \cos \alpha + B \sin z \sin \alpha + C \cos z}, \\ Z_{PR} &= Z_{P0} - \cos z \frac{A X_{P0} + B Y_{P0} + C Z_{P0} + D}{A \sin z \cos \alpha + B \sin z \sin \alpha + C \cos z}. \end{aligned} \quad (29)$$

Pokud také vyjádříme výpočet  $\mathbf{X}_{P0}$  podle vztahů (19) a (20), získáme rovnice popisující výpočet na základě vstupních veličin  $e_x, e_y, e_z, v_i$  a  $\alpha_i$ . Zdálo by se, že rozbor přesnosti výpočtu průsečíku lze provádět odděleně, stejně jako je proveden odděleně samotný výpočet. Hlubším studiem [7] byla odhalena závislost těchto vztahů a tedy nutnost provádět ZHV vcelku (viz kap. 3.1).

V [7] je totiž výsledný směr zaměřený kamerou definován vztahy

$$\begin{aligned} Hz &= \varphi + o + \arctan\left(\frac{x'_T}{f}\right) + dH + odH, \\ Z &= z + \arctan\left(\frac{y'_T}{\sqrt{f^2 + x'^2_T}}\right) + dV + odV, \end{aligned} \quad (30)$$

kde je  $\varphi$  směr odečtený na teodolitu,  
 $o$  orientační posun,  
 $x'_T, y'_T$  snímkové souřadnice opravené o redukcii na počátek a náklon,  
 $dH, dV$  oprava rozdílného směru záměrné přímk. teodolitu a kamery,  
 $odH, odV$  korekční členy opravující vady ze zobrazení,  
 $f$  konstanta komory.

Vztahy (30) přepíšeme do formulace používané v tomto dokumentu a zjednodušíme do, pro nás potřebné, formy

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha_i + \alpha_k, \\ z &= v_i + 100 + z_k. \end{aligned} \quad (31)$$

V (31) jsme v kamery měřený směr formálně rozdělili na směr měřený teodolitem ( $\alpha$ , a  $v_i$ ), který vystupuje také v rovnicích výpočtu  $\mathbf{X}_{P0}$  a na jeho korekce ( $\alpha_k$  a  $z_k$ ). Tyto vztahy je již možné dosadit do rovnic (29) společně s přesným vyjádřením výpočtu  $\mathbf{X}_{P0}$ .

Tím získáme velmi rozsáhlé výrazy pro výpočet  $\mathbf{X}_{PR}$  na které již můžeme aplikovat ZHV. Z důvodu tohoto velkého rozsahu tyto rovnice zde nejsou uvedeny, ale podle výše uvedeného textu je možné je sestavit.

Při zavedení rovnic (31) do výpočtu je potřeba ujasnit, že tyto vztahy jsou jen formální úpravou pro rozbor přesnosti a k výpočtu průsečíku nejsou používány. Pro potřebu rozboru lze hodnotu  $\alpha_k$  a  $z_k$  získat přímo z těchto vztahů a jejich střední chyby rozepsáním těchto vztahů podle zákona hromadění středních chyb (v [7] je totiž uvedena střední chyba  $\alpha$  a  $z$  – výsledná přesnost kamerou získaných směrů bez vyloučení vlivu určení souřadnic stanoviska, ale ne  $\alpha_k$  a  $z_k$ ). Pokud vyjdeme ze vztahů (31) lze  $m_{ck}$  a  $m_{zk}$  zapsat

$$\begin{aligned} m_{ck}^2 &= m_\alpha^2 - m_{\alpha_i}^2, \\ m_{zk}^2 &= m_z^2 - m_{v_i}^2. \end{aligned} \quad (32)$$

Korelace mezi  $\alpha$  a  $z$  je v [7] zanedbána, zřejmě pro malou velikost a přílišnou náročnost výpočtu, a proto nebude ani zde uvažována.

### 5.2.1.2 Sestavení přenosové matice

Na vztahy vytvořené podle předešlého odstavce (5.2.1.1) je již možné aplikovat ZHV. Proto je nejdříve nutné sestavit přenosovou matici  $\mathbf{H}_P$ . Ta vzniká derivací těchto vztahů postupně podle jednotlivých vstupních veličin a vyčíslením. V tomto případě jsou výchozí vztahy i derivace velmi rozsáhlé a proto není možné jednotlivé derivace obecně vyjadřovat. Při výpočtu v programu Mathcad tyto derivace také nebyly vyjádřeny, ale pouze vyčísleny.

Všechny vztahy byly derivovány podle proměnných  $A, B, C, D, \alpha_k, z_k, e_x, e_y, e_z, \alpha_i$  a  $v_i$ .

### 5.2.2 Sestavení kovarianční matice

Dále je pro ZHV nutné sestavit kovarianční matici vstupních veličin. Tu nazveme například  $\mathbf{S}_{VP}$  (VP – vstupní průsečík), a bude složena ze středních chyb nebo kovariančních matic jednotlivých vstupních veličin (veličiny podle kapitoly 4.2.2).

Je složena diagonálně v tomto případě z matic  $\mathbf{S}_{ABCD}$  (ta je výsledkem z předcházejícího vyrovnání), kvadrátů středních chyb korekcí měření směrů ze snímků  $m_{ck}$  a  $m_{zk}$ , kvadrátů středních chyb excentricity vstupní pupily  $m_{ex}, m_{ey}$  a  $m_{ez}$  a kvadrátů středních chyb měření směrů teodolitem  $m_{\alpha_i}$  a  $m_{v_i}$ .

### 5.2.3 Aplikace ZHV

Aplikací ZHV získáme kovarianční matici průsečíku

$$\mathbf{S}_{PRUS} = \mathbf{H}_P \mathbf{S}_{VP} \mathbf{H}_P^T. \quad (33)$$

### 5.2.4 Vstupní a výstupní charakteristiky přesnosti

Vstupní:  $\mathbf{S}_{ABCD}, m_{ck}, m_{zk}, m_{ex}, m_{ey}, m_{ez}, m_{\alpha_i}, m_{v_i}$ .

Výstupní:  $\mathbf{S}_{PRUS}$ .

### 5.3 Rozbor přesnosti rotace

V kapitole 4.3 je uveden postup výpočtu transformace (výsledkem je  $\mathbf{X}'_{PR}$ ) a centra rotace značeného CR ( $\mathbf{X}_{CR}$ ). V tomto odstavci je také vhodné rozdělit řešení na tyto dvě části, protože v tomto případě je můžeme řešit samostatně. První je nutné řešit výpočet CR, protože kovarianční matice  $\mathbf{S}_{CR}$  je vstupní hodnotou pro výpočet rozboru chyb transformace.

#### 5.3.1 Aplikace ZHV při výpočtu CR

V tomto odstavci je řešena zajímavá problematika skloubení rozborů přesnosti několika různých druhů vyrovnání. V tomto případě se jedná o vyrovnání podmínkových měření s neznámými a přímého vyrovnání pomocí váženého průměru. Problémem je právě korelace vstupních veličin těchto dvou nezávislých výpočtů. Tato korelace sice neovlivní výsledky vyrovnání, ale může ovlivnit korelační vazbu charakteristik přesnosti. Přesněji řečeno, neovlivní velikost variancí, ale výskyt a velikost kovariancí. To má pro výslednou elipsu chyb  $\mathbf{X}_{CR}$  viditelný dopad v poloosách v řádu desítek procent. Proto je nutné tuto korelaci uvažovat.

V úvodu odstavce 4.3.1.1 jsou uvedeny vztahy pro výpočet souřadnic, které budou v dalších výpočtech vystupovat jako měření. Aplikací ZHV (viz 3.1) na tyto vztahy získáme kovarianční matici souřadnic, která je vstupní veličinou obou vyrovnání. Pro jednodušší práci jsou rovnice seřazeny tak, aby výsledná kovarianční matice souřadnic  $\mathbf{S}_{merCR}$  obsahovala nejprve variance všech souřadnic  $x$  a  $y$  a potom až souřadnic  $z$ .

##### 5.3.1.1 Aplikace ZHV při výpočtu $X_{CR}$ a $Y_{CR}$

Jak bylo uvedeno v 4.3.1.1.1, jsou souřadnice  $X_{CR}$  a  $Y_{CR}$  společně s poloměrem  $r$  řešeny pomocí vyrovnání měření podmínkových s neznámými. Tato problematika je podrobně řešena v [1], odkud bylo také čerpáno, a její aplikace v návaznosti na tuto problematiku je řešena také v [6].

Podle těchto publikací získáme matici váhových koeficientů vyrovnaných neznámých

$$\mathbf{Q}_{XYCR} = \mathbf{Q}_{hh} = (\mathbf{B}^T (\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_{merXYCR} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{B})^{-1}. \quad (34)$$

V našem případě je matice váhových koeficientů vstupujících veličin  $\mathbf{Q}_{merXYCR}$ , získána jako submatice z výše definované  $\mathbf{Q}_{merCR}$  pro výpočet  $x$  a  $y$ .

Také z výsledné matice  $\mathbf{Q}_{XYCR}$  je nutné vyjmout submatici souřadnic  $X_{CR}$  a  $Y_{CR}$ , jelikož střední chyba poloměru  $r$  není potřebná.

Z hlediska úvah v [6] byla k výpočtu použita  $m'_0$  (apriorní), z důvodu zaměření relativně malého počtu bodů (pět).

##### 5.3.1.2 Aplikace ZHV při výpočtu $Z_{CR}$

Střední chyba  $Z_{CR}$  se vypočte podle vztahu:

$$m_{ZCR} = \frac{1}{\sqrt{\mathbf{e}^T \mathbf{P}_z \mathbf{e}}}, \quad (35)$$

kde je  $\mathbf{e}$  jednotkový vektor,  $\mathbf{P}_z$  váhová matice souřadnic  $z_i$ ,  $\mathbf{P}_z = \mathbf{S}_z^{-1}$  a  $\mathbf{S}_z$  je souřadnicím  $z_i$  příslušná submatice kovarianční matice  $\mathbf{S}_{merCR}$ .

##### 5.3.1.3 Aplikace ZHV při společném rozboru pro $X_{CR}$ , $Y_{CR}$ a $Z_{CR}$

V úvodu odstavce 5.3.1 byla zmíněna problematika zjištění kovariancí mezi nezávisle vyrovnanými veličinami ( $X_{CR}$  a  $Y_{CR}$ ) a  $Z_{CR}$ . Výše byl uveden postup bez uvážení této korelace. Pro teoreticky správný postup je nutné najít jiné vyjádření výpočtu kovarianční matice výsledků u obou vyrovnání, které bude přesně odpovídat ZHV.

Proto musíme odvodit samostatně přenosovou matici  $\mathbf{H}$  těchto vyrovnání a po nezbytných úpravách je spojit.

##### 5.3.1.3.1 Přenosová matice pro $X_{CR}$ a $Y_{CR}$

U vyrovnání měření podmínkových s neznámými je v literatuře [1] pro výpočet kovarianční matice uveden vztah (34), je formou v nesouladu se zákonem přenášení vah (3). Pokud vyjdeme ze vztahu pro výpočet přírůstků hledaných neznámých

$$d\mathbf{h} = \mathbf{Q}_{hk} \mathbf{u}, \quad (36)$$

kde je  $\mathbf{Q}_{hk}$  je  $(\mathbf{B}^T (\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_m \mathbf{A})^{-1} \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T (\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_m \mathbf{A})^{-1}$ .

Uzávěr  $\mathbf{u}$  můžeme rozepsat

$$\mathbf{u} = f(\mathbf{I}^T) = f(\mathbf{I}_0 + d\mathbf{I}^T) = f(\mathbf{I}_0) + \mathbf{A}^T d\mathbf{l}, \quad (37)$$

kde je  $\mathbf{I}_0$  přibližná hodnota vstupních veličin a  $d\mathbf{l}$  elementární přírůstek vstupních veličin.

Pokud vztah (36) a (37) roznásobíme a vynecháme členy nezávislé na vstupních veličinách, získáme lineární vztah, který představuje závislost elementární změny vstupních veličin na výsledky vyrovnání neboli hledanou přenosovou matici

$$d\mathbf{l} = (\mathbf{B}^T (\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_m \mathbf{A})^{-1} \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T (\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_m \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T d\mathbf{l}, \\ \mathbf{H} = (\mathbf{B}^T (\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_m \mathbf{A})^{-1} \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T (\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_m \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T. \quad (38)$$

Pro naše značení přepíšeme vztah

$$\mathbf{H}_{XYCR1} = (\mathbf{B}^T (\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_{merXYCR} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T (\mathbf{A}^T \mathbf{Q}_{merXYCR} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T. \quad (39)$$

Ještě upravíme  $\mathbf{H}_{XYCR1}$  na  $\mathbf{H}_{XYCR}$  přidáním 1/3 nulových sloupců za stávající matici jako derivací podle  $z_i$ , aby tato přenosová matice byla v souladu s kovarianční maticí  $\mathbf{S}_{merCR}$ .

##### 5.3.1.3.2 Přenosová matice pro $Z_{CR}$

Podle [1] výpočet střední chyby průměru je dán vzorcem (35). Pokud se ale podíváme na maticovou formulaci výpočtu (vzorec (28)) zjistíme, že tento přímo představuje lineární funkci přenosu elementárních změn vstupních veličin na výsledky. Potom tedy:

$$\mathbf{H}_{ZCR1} = (\mathbf{e}^T \mathbf{P}_z \mathbf{e})^{-1} \mathbf{e}^T \mathbf{P}_z. \quad (40)$$

Nyní upravíme  $\mathbf{H}_{ZCR1}$  na  $\mathbf{H}_{ZCR}$  přidáním 2/3 nulových sloupců před stávající matici jako derivací podle  $x_i$  a  $y_i$ , aby tato přenosová matice byla v souladu s kovarianční maticí  $\mathbf{S}_{merCR}$ .



## 5.3.1.3.3 Sestavení kovarianční matice

Jako kovarianční matice v takto upraveném ZHV vystupuje přímo matice  $\mathbf{S}_{merCR}$ .

## 5.3.1.3.4 Aplikace ZHV

Nejprve je nutné složit společnou přenosovou matici  $\mathbf{H}_{XYZCR}$  z matic  $\mathbf{H}_{XYCR}$  a  $\mathbf{H}_{ZCR}$ . To se provede jednoduše sloučením do jedné matice nad sebe; symbolicky

$$\mathbf{H}_{XYZCR} = \begin{pmatrix} \mathbf{H}_{XYCR} \\ \mathbf{H}_{ZCR} \end{pmatrix}. \quad (41)$$

Potom je již možné provést výpočet  $\mathbf{S}_{XYZCR}$  podle ZHV

$$\mathbf{S}_{XYZCR} = \mathbf{H}_{XYZCR} \mathbf{S}_{merCR} \mathbf{H}_{XYZCR}^T. \quad (42)$$

Dále je ještě nutné vyjádřit pouze submatici pro  $X_{CR}$ ,  $Y_{CR}$  a  $Z_{CR}$ , protože poloměr  $r$  se v dalších výpočtech nepoužívá, kterou nazveme například  $\mathbf{S}_{CR}$ .

## 5.3.1.4 Shrnutí

Pro všechny další rozborů přesnosti ve výpočtech s  $\mathbf{X}_{CR}$  bude použita kovariační matice  $\mathbf{S}_{CR}$ , vypočtená podle odstavce 5.3.1.3.

## 5.3.2 Sestavení vztahů pro rozbor a tvorba přenosové matice transformace

V odstavci 4.3 je uveden vztah pro výpočet  $\mathbf{X}'_{PR}$  (23) v maticové podobě, kde je uvažována rotace pouze kolem osy  $z$ . Je zde také vysvětleno, že v rámci plánované přesnosti urovnání točny není potřeba provádět rotaci kolem ostatních souřadnicových os.

Jiná situace nastává u rozboru přesnosti, kde přesnost urovnání točny vystupuje jako další veličina výpočtu, a proto je nezbytné uvažovat plnou matici rotace. V maticovém zápisu zůstane výpočetní vztah stejný, dojde pouze k nahrazení matice  $\mathbf{R}$  maticí  $\mathbf{R}_{ZXY}$ . Tuto matici rotace můžeme rozepsat:

$$\mathbf{R}_{ZXY} = \mathbf{R}_Z(\kappa) \mathbf{R}_Y(\varphi) \mathbf{R}_X(\omega),$$

$$\mathbf{R}_{ZXY} = \begin{pmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa & 0 \\ \sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 & \sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega \end{pmatrix}, \quad (43)$$

$$\mathbf{R}_{XYZ}^T = \begin{pmatrix} \cos \kappa & \cos \varphi & \sin \kappa & \cos \varphi & -\sin \varphi \\ -\sin \kappa \cos \omega + \cos \kappa \sin \varphi \sin \omega & \cos \kappa \cos \omega + \sin \kappa \sin \omega & \cos \varphi \sin \omega \\ \sin \kappa \sin \omega \cos \kappa \sin \varphi \cos \omega & -\cos \kappa \sin \omega + \sin \kappa \sin \varphi \cos \omega & \cos \varphi \cos \omega \end{pmatrix}.$$

Matici vyjádříme ve výsledném vztahu a roznásobíme

$$\mathbf{X}'_{PR} = \mathbf{R}_{XYZ}^T (\mathbf{X}_{PR} - \mathbf{X}_{CR}). \quad (44)$$

K vytvoření matice  $\mathbf{H}_R$  je nutné ještě tyto rovnice derivovat podle jednotlivých vstupních veličin  $X_{PR}$ ,  $Y_{PR}$ ,  $Z_{PR}$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$ ,  $X_{CR}$ ,  $Y_{CR}$ ,  $Z_{CR}$ .

## 5.3.3 Sestavení kovarianční matice

Kovarianční matice vstupních veličin  $\mathbf{S}_{VR}$  (vstupní rotace) musí odpovídat složení  $\mathbf{H}_R$ . Proto bude složena diagonálně z charakteristik přesnosti  $\mathbf{S}_{PRUS}$ ,  $m_\omega^2$ ,  $m_\varphi^2$ ,  $m_\kappa^2$ ,  $\mathbf{S}_{CR}$ .

## 5.3.4 Aplikace ZHV

Aplikací ZHV získáme kovarianční matici výsledného bodu objektu

$$\mathbf{S}_o = \mathbf{H}_R \mathbf{S}_{VR} \mathbf{H}_R^T. \quad (45)$$

## 5.3.5 Vstupní a výstupní charakteristiky přesnosti

Vstupní:  $\mathbf{S}_{PRUS}$ ,  $m_\omega$ ,  $m_\varphi$ ,  $m_\kappa$ ,  $\mathbf{S}_{CR}$ .  
Výstupní:  $\mathbf{S}_o$ .

## 5.4 Vstupní a výstupní charakteristiky přesnosti všech rozborů

Vstupní:  $m_\omega$ ,  $m_z$ ,  $m_l$  – střední chyby měření bodů roviny pro vytvoření  $\mathbf{M}_{mer}^2$ ,  
 $m_{ck}$ ,  $m_{zk}$  – střední chyby korekčních členů u směrů získaných z kamery,  
 $m_{ex}$ ,  $m_{ey}$ ,  $m_{ez}$  – střední chyby excentricity vstupní pupily kamery,  
 $m_{ca}$ ,  $m_{vt}$  – střední chyby odečtení směru teodolitem,  
 $m_\omega$  – střední chyba v určení úhlu rotace souřadnicové soustavy objektu,  
 $m_\varphi$ ,  $m_\kappa$  – střední chyba v urovnání točny;  
souhrnně:  $m_\omega$ ,  $m_z$ ,  $m_l$ ,  $m_{ck}$ ,  $m_{zk}$ ,  $m_{ex}$ ,  $m_{ey}$ ,  $m_{ez}$ ,  $m_{ca}$ ,  $m_{vt}$ ,  $m_\omega$ ,  $m_\varphi$ ,  $m_\kappa$ .

Výstupní:  $\mathbf{S}_o$ .

## 6. Matematický model LAORS

Výpočetní model má proti reálnému měření výhody i nevýhody. Nevýhodou je například pouze přibližnost reálnému řešení, nemožnost kontroly praktické proveditelnosti navrhovaných postupů (ty jsou v praxi při pokusných měřeních často modifikovány) nebo nemožnost posouzení dosažené přesnosti postupu porovnáním aposteriori a priori středních chyb. Výhodou je naopak možnost provádět odhady přesnosti výsledků bez provedení konkrétních měření a snadná modifikovatelnost navrhované konfigurace.

Níže popsané modely přesnosti mohou tedy být použity pro posouzení přesnosti navrhovaného LAORS v první zamýšlené konfiguraci (dané např. hardwarovým vybavením, instinktivním zvolením konfigurace atp.), vyhledávání optimální konfigurace (s největší přesností výsledků) a zhodnocení kvality rozboru jejich porovnáním s provedeným měřením.

V závěru kapitoly jsou souhrnně uvedeny všechny vstupující veličiny a všechny vstupující charakteristiky přesnosti modelu. Tyto lze v použitém programu libovolně měnit.

Kvalita výsledného modelu je dána jeho podrobností a přehledností. Bohužel tyto dvě charakteristiky jsou protichůdné. Navržený model byl koncipován spíše jako více podrobný se snahou o účelný popis všech charakteristik, které mohou ovlivnit výslednou přesnost.

## 6.1 Model zaměření laserové roviny

Tato část je velmi specifická, protože se nejedná o jednoduchý výpočet, ale o vyrovnání. Tomuto problému je věnována část [6].

### 6.1.1 Výpočet

Výpočet probíhá podle [6]. K výpočtu je nutné nejdříve nahradit měření vstupních veličin jejich výpočtem.

#### 6.1.1.1 Vstupní veličiny a jejich nahrazení

Pro model jsou důležité zejména vstupní veličiny. Ty podle 4.1.1 jsou  $[\alpha, z, l]_{i,ABCD}$ , tj. matice měření na podrobné body,  $\mathbf{X}_0$  souřadnice stanoviska.

V modelu musíme tato měření nahradit. V případě  $\mathbf{X}_0$  je volba libovolná. V případě měření na podrobné body nejprve zvolíme vzdálenost na CR  $s_{OCR}$ . Dále zvolíme směrnik z  $\mathbf{X}_0$  na  $\mathbf{X}_{CR}$   $\alpha_{OCR}$ . Zenitový úhel  $z_{OCR}$  je pro jednoduchost volen 100 gon. Zvolíme směrnik laserové roviny, u které předpokládáme svislost  $\alpha_p$ . Dále zvolíme počet řádků a vzdálenost bodů v řádku  $n_{radek}$ ,  $d_{radek}$  a počet sloupců a vzdálenost bodů ve sloupci  $n_{sloupec}$ ,  $d_{sloupec}$ .

V modelu jsou podrobné body rozloženy pravidelně kolem bodu  $\mathbf{X}_{CR}$  a současně leží v rovině laseru definované směrníkem.

V modelu je nutné dopočítat tyto veličiny  $\mathbf{X}_{CR}$  a  $[\alpha, z, l]_{i,ABCD}$ .  $\mathbf{X}_{CR}$  se vypočte podle vztahů (24). Pro výpočet  $[\alpha, z, l]_{i,ABCD}$  byl vytvořen algoritmus, který vypočte souřadnice bodů pravidelně rozložené kolem bodu  $\mathbf{X}_{CR}$  a ležící v rovině definované laserem. Z těchto souřadnic jsou potom z rovnic (24) vyjádřeny virtuální měření takto:

$$d_i = \sqrt{(x_i - X_0)^2 + (y_i - Y_0)^2 + (z_i - Z_0)^2},$$

$$z_i = \arccos\left(\frac{z_i - Z_0}{d_i}\right),$$

$$\alpha_i = \arctan\left(\frac{y_i - Y_0}{x_i - X_0}\right).$$

#### 6.1.1.2 Vstupní veličiny modelu

Vstupní veličiny modelu výpočtu jsou  $\mathbf{X}_0$ ,  $s_{OCR}$ ,  $\alpha_{OCR}$ ,  $\alpha_R$ ,  $n_{radek}$ ,  $d_{radek}$ ,  $n_{sloupec}$ ,  $d_{sloupec}$ .

#### 6.1.2 Rozbor přesnosti

Tento probíhá opět beze změny tak, jak je popsán v [6]. Vstupní charakteristiky přesnosti odpovídají odstavci 5.1.1.

### 6.2 Model výpočtu průsečíku

#### 6.2.1 Výpočet

Výpočet průsečíku odpovídá odstavci 4.2. Vstupní veličiny byly nahrazeny přibližnými hodnotami z modelu.

#### 6.2.1.1 Vstupní veličiny a jejich nahrazení

Původní vstupní veličiny jsou

$A, B, C, D$  – koeficienty roviny,  
 $\mathbf{X}_0$  – souřadnice stanoviska,  
 $\alpha, z$  – vypočtené směry z  $\mathbf{X}_{PO}$ ,  
 $e_x, e_y$  a  $e_z$  – souřadnice vstupní pupily  $\mathbf{X}_{PO}$ ,  
 $\alpha_i, v_i$  – natočení teodolitu v okamžiku snímkování.

$A, B, C, D$  a  $\mathbf{X}_0$  jsou jednoznačně dány z předcházejících výpočtů. Zenitový úhel  $z$  je opět volen 100 gon pro zjednodušení modelu.

První přepočtení nastává u hodnoty  $\alpha$ . Aby zůstala zachovaná geometrie LAORS je  $\alpha$  dopočtena jako o něco menší směrnik než  $\alpha_{OCR}$ . V naší situaci volíme odhadovanou velikost poloměru měřeného objektu  $roz$ . Z tohoto rozměru a se znalostí  $s, \alpha_{OCR}, \alpha_R$  lze postupnou aplikací kosinové a sinové věty vypočítat odpovídající změnu směrníku  $\alpha_{OCR}$ , kterou nazveme  $delta$ .

$$\alpha = \alpha_{OCR} - delta. \quad (47)$$

Souřadnice vstupní pupily  $e_x, e_y$  a  $e_z$  a  $e_z$  jsou dány podle [7].

Natočení teodolitu v okamžiku snímkování je voleno

$$\alpha_i = \alpha_{OCR},$$

$$v_i = z_{OCR} - 100. \quad (48)$$

#### 6.2.1.2 Vstupní veličiny modelu

Nové vstupní veličiny modelu výpočtu jsou:  $z = 100$  gon,  $roz$ ,  $e_x, e_y$  a  $e_z$ .

#### 6.2.2 Rozbor přesnosti

Ten probíhá přesně v souladu s odstavcem 5.2.

### 6.3 Model výpočtu transformace

#### 6.3.1 Výpočet

Výpočet průsečíku odpovídá odstavci 4.3. Vstupní veličiny byly nahrazeny přibližnými hodnotami z modelu.

#### 6.3.1.1 Vstupní veličiny a jejich nahrazení

Původní vstupní veličiny jsou

$\kappa$  – úhel rotace systému objektu (probíhá interval  $\langle 0; 2R \rangle$ ),  
 $\mathbf{X}_{PR}$  – souřadnice průsečíku,  
 $[\alpha, z, l]_{i,ABCD}$  – měření k určení  $\mathbf{X}_{CR}$ .  
Souřadnice průsečíku jsou dány z předcházejících výpočtů.

Úhel rotace  $\kappa$  je možno libovolně volit. Tato volba neovlivní velikost výsledné charakteristiky přesnosti.

Centrum rotace  $\mathbf{X}_{CR}$  je již definováno v předcházejících odstavcích.

#### 6.3.2.1 Vstupní veličiny modelu

Nové vstupní veličiny modelu výpočtu jsou  $\kappa = 0$  gon.

#### 6.3.2 Rozbor přesnosti

Ten probíhá přesně v souladu s odstavcem 5.3.

Jediným rozdílem je určení kovarianční matice CR, je výsledkem vyrovnání a její výpočet by opět vyžadoval složité modelování konfigurace bodů jako v případě zaměření roviny. V tomto případě, ale není předpoklad pro velkou variabilitu této konfigurace a možnost výrazně měnit výslednou přesnost kovarianční matice. Proto byla kovarianční matice vypočtena pouze jednou pro případ pěti bodů na základě měření a byla použita pro následující odhady přesnosti.

### 6.4 Seznam vstupních veličin modelu

Zde je uveden seznam veličin vstupujících do modelu. U veličin, u kterých je rovnou přiřazena určitá, pro model definiující, hodnota (nelze ji měnit), je příslušná hodnota uvedena.

Vstupní:  $X_0, s_{0CR}, \alpha_{0CR}, \alpha_R, n_{radek}, d_{radek}, n_{sloupec}, d_{sloupec}, roz, e_x, e_y, e_z$  (velikost podle [7]).

Vstupní pevně definované:  $Z_{CR} = 100$  gon.

### 6.5 Seznam vstupních charakteristik přesnosti modelu

Ten odpovídá seznamu v odstavci 5.4.

Jediným rozdílem je rovnou převzatá kovarianční matice souřadnic  $X_{CR}$  nazvaná  $S_{CR}$ , která tedy nebude určována z vyrovnání zaměřeni nadbytečného počtu modelovaných bodů  $[\alpha, z, l]_{i, XCR}$  (viz 4.3.1) a příslušných rozborů přesnosti, ale bude přímo převzata z jednoho konkrétního vyrovnání.

Vstupní charakteristiky přesnosti modelu tedy jsou:  $m_{co}, m_z, m_l, m_{ck}, m_{zk}, m_{ex}, m_{ey}, m_{ez}, m_{ot}, m_{vt}, m_{or}, m_{q}, m_{k}, S_{CR}$ . Podrobnější popis jednotlivých charakteristik viz 5.4.

### 6.6 Seznam sledovaných výstupních charakteristik přesnosti

Základní přínos matematického modelu LORS jsou odhady přesnosti výstupních veličin. To jsou v našem případě souřadnice. Pro snazší odhalení jednotlivých vlivů budou uváděny charakteristiky přesnosti koeficientů rovnice roviny  $A, B, C, a, D, X_{PR}$  a  $X'_{PR}$ .

S přihlédnutím k odstavci 3.2 budou použity níže uvedené charakteristiky přesnosti:

Pro koeficienty rovnice roviny  $A, B, C, a, D$   $S_{ABCD}, m_A, m_B, m_C, m_D$ ,

pro  $X_{PR}$   $S_{PRUS}, m_{XPRUS}, m_{YPRUS}, m_{ZPRUS}, a, b, c, R$  (matice vlastních vektorů),  $m_{k97PR}$ ,

pro  $X'_{PR}$   $S_O, m_{XO}, m_{YO}, m_{ZO}, a, b, c, R, m_{k97O}$ .

## 7. Příklad

V této kapitole uvedeme výsledky výpočtu modelu a jeho charakteristik přesnosti pro konkrétní příklad.

Výpočet byl proveden v software Mathcad 2001i Professional. Zde vytvořený program umožňuje flexibilní použití.

Výpočet byl proveden přesně v souladu s odstavcem 4 – Výpočet prostorových souřadnic objektu a [6].

Rozbor přesnosti byl proveden podle odstavce 5 – Rozbor přesnosti LAORS a [6].

Vstupní veličiny byly modelovány způsobem uvedeným v odstavci 6 – Matematický model LAORS a odpovídají tam uvedenému seznamu vstupních veličin modelu 6.4.

### 7.1 Vstupní hodnoty modelu

Seznam vstupních hodnot podle 6.4 (tab. 2).

Vstupní:  $X_0, s_{0CR}, \alpha_{0CR}, \alpha_R, n_{radek}, d_{radek}, n_{sloupec}, d_{sloupec}, roz, e_x, e_y, e_z$  (velikost podle [7]),  $\kappa, z$ ,

Vstupní pevně definované:  $Z_{CR} = 100$  gon.

Tab. 2 Seznam vstupních hodnot modelu

Veličina	Hodnota	Veličina	Hodnota
$X_0$	10.000 m	$d_{sloupec}$	0.100 m
$Y_0$	10.000 m	$roz$	0.100 m
$Z_0$	10.000 m	$z_{0CR}$	100.0000 gon
$s_{0CR}$	2.000 m	$z$	100.0000 gon
$\alpha_{0CR}$	318.0000 gon	$e_x$	0.0841 m
$\alpha_R$	355.5000 gon	$e_y$	-0.0006 m
$n_{radek}$	6	$e_z$	0.0863 m
$d_{radek}$	0.250 m	$\kappa$	0.0000 gon
$n_{sloupec}$	5		

Tab. 3 Seznam hodnot vstupních charakteristik přesnosti

Veličina	Hodnota	Veličina	Hodnota
$m_{co}$	0.0030 gon	$m_{vt}$	0.0010 gon
$m_z$	0.0030 gon	$m_{ot}$	0.0800 gon
$m_l$	0.0006 m	$m_{\delta}$	0.0020 gon
$m_{ck}$	0.0210 gon	$m_{\epsilon}$	0.0020 gon
$m_{zk}$	0.0200 gon	$S_{CR}$	
$m_{ex}$	0.0007 m	Z vyrovnání, pro orientaci je uvedeno:	
$m_{ey}$	0.0001 m	$m_{XCR}$	0.00024 m
$m_{ez}$	0.0001 m	$m_{YCR}$	0.00027 m
$m_{ot}$	0.0010 gon	$m_{ZCR}$	0.00008 m

### 7.2 Hodnoty vstupních charakteristik přesnosti modelu

Seznam vstupních charakteristik přesnosti modelu odpovídá odstavci 6.5, přesnosti tab. 3.

### 7.3 Hodnoty výstupních charakteristik přesnosti

Budou uvedeny hodnoty výstupních charakteristik přesnosti podle odstavce 6.6.

#### 7.3.1 Koeficienty rovnice roviny

Kovarianční matice  $S_{ABCD}$  má tvar

$$S_{ABCD} = \begin{pmatrix} 1,901461E-8 & -1,598345E-8 & 0,000000 & -7,376191E-8 \\ -1,598345E-8 & 1,343549E-8 & 0,000000 & 6,200337E-8 \\ 0,000000 & 0,000000 & 1,311383E-7 & -1,311383E-6 \\ -7,376191E-8 & 6,200337E-8 & -1,311383E-6 & 1,340382E-5 \end{pmatrix}$$

Střední chyby jednotlivých koeficientů jsou  $m_A = 0,000138, m_B = 0,000116, m_C = 0,000362, m_D = 0,003661$ .

#### 7.3.2 Souřadnice průsečíku $X_{PR}$

Kovarianční matice  $S_{PRUS}$  má tvar

$$S_{PRUS} = \begin{pmatrix} 0,0000006611 & -0,0000005599 & -0,0000000000 \\ -0,0000005591 & 0,0000004829 & -0,0000000000 \\ 0,0000000000 & -0,0000000000 & -0,0000003437 \end{pmatrix}$$

Střední chyby v jednotlivých souřadnicích, extrémní chyby  $(a, b, c)$  a  $m_{k97O}$  v tab. 4.

Tab. 4 Hodnoty charakteristik přesnosti průsečíku

$m'_{XPRUS}$	0.00081 m	$a$	0.00107 m	$m_{k97}$	0.00236 m
$m'_{YPRUS}$	0.00069 m	$b$	0.00008 m		
$m'_{ZPRUS}$	0.00059 m	$c$	0.00059 m		

Tab. 5 Hodnoty charakteristik přesnosti výsledného bodu

$m'_{XPRUS}$	0.00085 m	$a$	0.00028 m	$m_{k97O}$	0.00245 m
$m'_{YPRUS}$	0.00075 m	$b$	0.00059 m		
$m'_{ZPRUS}$	0.00059 m	$c$	0.00110 m		

Matice rotace vlastních vektorů  $\mathbf{R}$  má tvar:

$$\mathbf{R}_{PRUS} = \begin{pmatrix} 0,761 & 0,649 & 0,000 \\ -0,649 & 0,761 & -0,000 \\ -0,000 & 0,000 & 1,000 \end{pmatrix}$$

### 7.3.3 Souřadnice výsledného bodu objektu $\mathbf{X}'_{PR}$

Kovarianční matice  $\mathbf{S}_O$ , má tvar

$$\mathbf{S}_O = \begin{pmatrix} 0,0000007267 & -0,0000005619 & 0,0000000053 \\ -0,0000005619 & 0,0000005624 & -0,0000000182 \\ 0,0000000053 & -0,0000000182 & 0,0000003506 \end{pmatrix}$$

Střední chyby v jednotlivých souřadnicích, extrémní chyby ( $a, b, c$ ) a  $m_{k97O}$  jsou uvedeny v tab. 5.

Matice rotace vlastních vektorů  $\mathbf{R}$  má tvar

$$\mathbf{R}_O = \begin{pmatrix} 0,653 & 0,039 & 0,756 \\ 0,756 & 0,016 & -0,654 \\ 0,038 & -0,999 & 0,018 \end{pmatrix}$$

### 7.4 Shrnutí

Ukazuje se, že rozhodujícím prvkem ovlivňujícím výslednou přesnost bodu objektu je průsečík optické přímky z kamery a laserové roviny. Následná transformace ovlivnila výslednou přesnost pouze nepatrně.

Při určení průsečíku vystupuje ve vztazích optická přímka a rovina laseru. Jednoduchým rozбором lze zjistit, že střední chyba ve směru určeném optickou přímkou je přibližně 10x větší než ve směru určeném laserovou rovinou. Proto je potřeba uvážit použití jiné kamery nebo výraznou změnu prostorové konfigurace.

## 8. Optimalizace

Optimalizace je proces hledání nejlepšího řešení problému za předem určených podmínek.

V našem případě je nejlepším řešením to, které má největší přesnost a tedy nejmenší velikost charakteristiky přesnosti  $m_{k97O}$  výsledného bodu měřeného objektu. Dané podmínky můžeme v našem případě chápat jako dané hardwarové vybavení, tedy zejména použitá kamera, teodolit, točna atp. Vstupní veličinou optimalizace jsou charakteristiky přesnosti těchto přístrojů.

Řešením v našem případě rozumíme určení prostorové konfigurace celého systému.

V této kapitole nebude řešena celá problematika optimalizace, která je velmi obsáhlá, budou pouze načrtnuty možnosti optimalizace na jednom konkrétním případě. Více by se měl optimalizaci LAORS věnovat některý z dalších příspěvků.

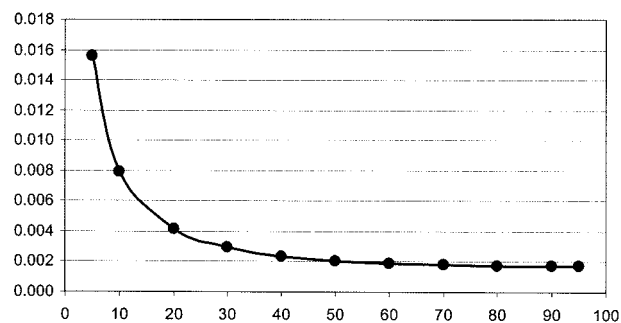
Nezbytnou součástí optimalizace je existence matematického modelu problému a vyřešená problematika přenosu středních chyb, což bylo hlavním tématem tohoto příspěvku.

### 8.1 Optimalizace úhlu protnutí záměrné přímky a laserové roviny

Jedním ze základních měnitelných prvků prostorové konfigurace je úhel protnutí  $u_p$ . Ten je v modelu definován jako rozdíl směrnic roviny  $\alpha_R$  a směrnic spojnice počátku měření a CR  $\alpha_{OCR}$ . Tedy

$$u_p = \alpha_R - \alpha_{OCR} \quad (49)$$

Úhel protnutí budeme modifikovat například změnou  $\alpha_R$  tak, aby dosáhl požadovaných hodnot v intervalu (5;95) gon. Ostatní hodnoty vstupních veličin modelu jsou shodné jako u příkladu v odstavci 7. Pro každou hodnotu  $u_p$  byl proveden výpočet celého modelu a zapsána chyba  $m_{k97O}$  (tab. 6); její velikost v závislosti na veličině  $u_p$  je znázorněna na obr. 3.



Obr. 3 Chyba  $m_{k97}$  v závislosti na úhlu protnutí

Tab. 6 Optimalizace úhlu protnutí

$u_p$ [gon]	$m_{k97PR}$ [m]	$m_{k97O}$ [m]
5	0.01561	0.01562
10	0.00788	0.00791
20	0.00406	0.00411
30	0.00282	0.00290
40	0.00225	0.00234
50	0.00195	0.00205
60	0.00179	0.00189
70	0.00170	0.00179
80	0.00165	0.00175
90	0.00163	0.00173
95	0.00163	0.00173

## 8.2 Shrnutí

Je nutné si uvědomit, že výše uvedená optimalizace je svou formou pouze matematická. Nezohledňuje tedy všechny aspekty zúčastňující se daného problému, ale pouze minimální  $m_{k970}$ . V našem případě například není při optimalizaci brán zřetel na se zvětšujícím se úhlem protnutí zvětšující se míru zakrytí laserové stopy samotným předmětem a také na zhoršující se čitelnost stopy. Proto je nutné nejprve všechny výsledky matematických optimalizací konfrontovat s ostatními aspekty problému.

Na základě výše uvedených výpočtů je pro LAORS navržen úhel protnutí v intervalu (20,50) gonů v závislosti na požadované přesnosti výsledků a charakteru měřeného objektu.

## 9. Závěr

V kapitole 2 je stručně popsán vyvíjený systém LAORS.

V kap. 3 jsou popsány teoretické základy použité v rozbořech. Je navržena a odvozena dále používaná vlastní charakteristika přesnosti prostorového bodu.

V kap. 4 je podrobně popsán celý výpočet prostorových souřadnic bodů na objektu, včetně uvedení všech použitých matematických vztahů. Jedná se o rozsáhlý výpočet, do kterého několikrát vstupuje vyrovnání. Výpočet je pro větší přehlednost rozčleněn do tří částí. U každé z nich jsou vypsány všechny vstupní a výstupní veličiny.

V následující kap. 5 je podle uvedených výpočetních vztahů proveden rozbor přesnosti celého systému. Rozbor přesnosti je také rozčleněn na části podle předchozí kapitoly.

V kap. 6 je uveden matematický model systému LAORS. Tento zjednodušující model umožňuje popsat konfiguraci systému s použitím menšího počtu parametrů, než je tomu ve skutečnosti. Pro tento model byl vytvořen program v Mathcadu, který umožňuje jeho flexibilní použití.

V kap. 7 je vytvořený model využit k výpočtu odhadu přesnosti systému pro navrženou konfiguraci. U tohoto návrhu byla dosažena apriorní přesnost charakterizovaná chybou  $m_{k970}$  velikosti 0,0023 m, pro předměty rozměru až 0,45 m ve vodorovném směru a 0,30 m ve svislém směru.

V kap. 8 je nejprve představena problematika optimalizace konfigurace systému a potom je s využitím matematického modelu vypočten optimální úhel protnutí záměrné přímký a laserové roviny. Tento úhel vychází v intervalu (20,50) gon v závislosti na požadované přesnosti výsledků a charakteru měřeného objektu.

*Pozn.: Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu GA ČR 103/02/0357.*

## LITERATURA:

- [1] BÖHM, J.–RADOUCH, V.–HAMPACHER, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha, GKP 1990. 416 s.
- [2] BUDINSKÝ, B.–CHARVÁT, J.: Matematika I. Praha, ČVUT 1994. 218 s.
- [3] BRONŠTEJN, L. N.–SEMENĎAJEV, K. A.: Příručka matematiky pro inženýrov a pre studujících. Bratislava, Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry 1964.
- [4] VOBOŘILOVÁ, P.: Matice přesnosti. WWW.http://slon.fsy.cvut.cz/~pavla/maticepre/maticepre.html [18. 1. 2004].
- [5] BUBENÍK, F.–PULTAR, M.–PULTAROVÁ, I.: Matematické vzorce a metody. Praha, ČVUT 1997.

- [6] KOSKA, B.–ŠTRONER, M.–POSPÍŠIL, J.: Algoritmy určování rovnice obecné roviny pro laserové skenování včetně rozborů přesnosti. Stavební obzor, 13, 2004, č. 2, s. 55–60.
- [7] ŠTRONER, M.: Návrh a kalibrace měřicího systému tvořeného teodolitem a digitální kamerou. Stavební obzor, 12, 2003, č. 2, s. 56–60.
- [8] PAVELKA, K.: Fotogrammetrie 10. 2. vyd. Praha, ČVUT 2002. 191 s.

Do redakce došlo: 27. 5. 2004

Lektoroval:  
Prof. Ing. Alojz Kopáček, PhD.,  
Katedra geodézie SvF STU v Bratislave

## DISKUSIE, NÁZORY, STANOVISKÁ

### Príspevok k otázke geografického názvoslovía v Tatrách

528:801.311:556

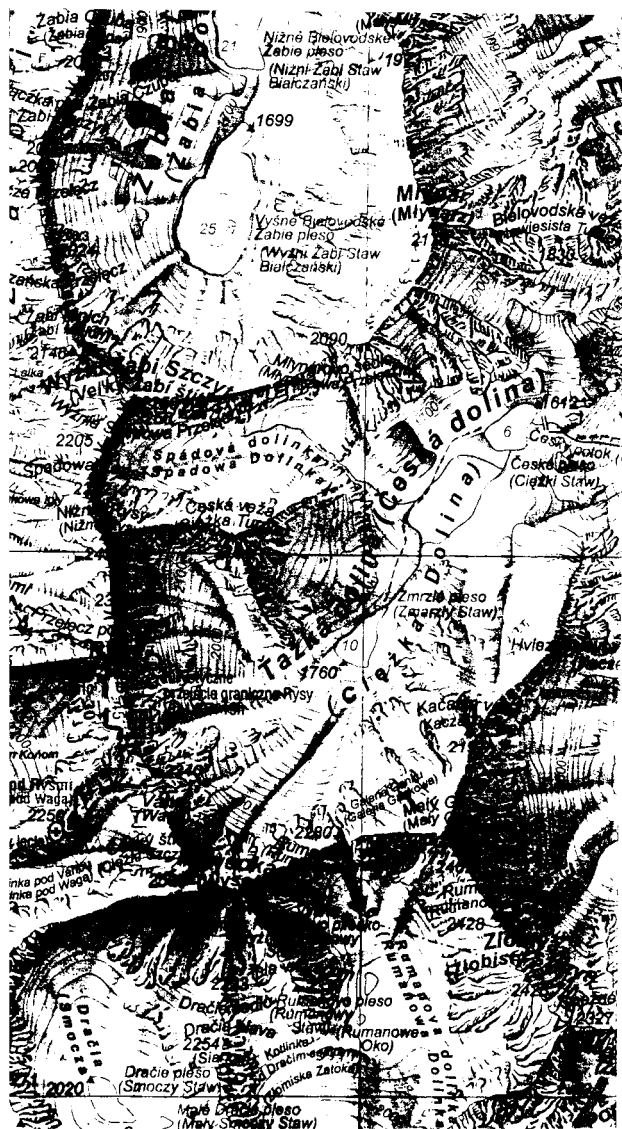
Príspevok sa podrobnejšie zameriava jednak na názvoslovie z oblasti Českej (Ťažkej) doliny, ako aj na nedôsledné – neúplné názvy tatranských plies z hľadiska ich bližšej lokalizácie.

Jazyk, ako základný prostriedok dorozumievania sa medzi ľuďmi, je živý, a preto aj napriek záväznosti geografického názvoslovía, ako normy pre všetkých jeho používateľov, sa občas vynára potreba jeho úpravy a štandardizácie v optimálnej podobe zodpovedajúcej súčasnému stavu poznania. Pretože ako jednotlivé slová tak aj samotné názvoslovie sa skúma z rozličných hľadísk. Jedným je rozsah geografického a sociálneho používania, kam patria slová nárečové (dialektizmy), z hľadiska pôvodu domáce a cudzojazyčné.

Geografické názvoslovie určuje a identifikuje stručne a jasne geografické javy, tak v písanej ako aj hovorovej podobe, čím umožňuje a uľahčuje orientáciu v teréne i na mape. Kartografické dielo musí teda obsahovať skutočne používané názvy, aby bolo zrozumiteľné a prakticky použiteľné [1]. Názvoslovná komisia pri Slovenskom úrade geodézie, kartografie a katastra v spolupráci s Ministerstvom vnútra Slovenskej socialistickej republiky a odborními vnútorných vecí Okresných národných výborov (ONV) i s jednotlivými mestskými a miestnymi národnými výbormi mali zabezpečiť do roku 1990 úpravu najmä inojazyčných a nárečových podôb názvov. Ako určitý prejav lahostajnosti voči niektorým geografickým názvom, a tým aj voči vlastnému jazyku, možno hodnotiť pretrvávanie názvov Českej doliny, plesa, štítu a veže vo Vysokých Tatrách, ktoré vydržalo s menšími prestávkami už vyše jedného storočia.

V zmysle uvedených zásad možno konštatovať, že Názvoslovná komisia pri ONV Poprad „úpravu inojazyčných a nárečových podôb názvov“ v prípade názvov Českej doliny, plesa a štítu nezvládla. Dnes je už vedľajšie, či išlo o poplatnosť názvoslovej komisie ONV vtedajšiemu režimu, alebo o podľahnutie tlakom zástupcov horolezectva a turistiky v Československom výbore pre telesnú výchovu. Okrem toho chýba akákoľvek geografická súvislosť alebo miestne prepojenie na zdôvodnenie dovtedy používaných názvov. Podstatou problému je zámena poľských slov „ciežki“ a „czeski“, ktoré majú prakticky rovnakú výslovnosť pre tých, čo neovládajú jemnosti poľského jazyka. Nosovka e a písmeno ž vyžadujú výslovnosť cienzka pre slovo ťažký; naše č sa v poľštine píše prevážne ako cz (ojedinele ako ć), preto czeski, Czech, czerwony. Je preto logickým dôsledkom, že v oblasti poľského Podhalia na slovenskej strane Vysokých Tatirov sú správne slovenské ekvivalenty poľských názvov. Vysoké Tatry sú typickým pohraničným horstvom a popri obciach a dedinách regiónov Liptov, Orava a Špiš zaberá značnú časť aj poľské Podhalie s poľsky hovoriacim obyvateľstvom. V minulosti, keď ešte neboli názvoslovné komisie, mali pri tvorbe názvoslovía v mapách rozhodujúcu úlohu miestni znalci chotára z domáceho obyvateľstva.

Je známe, že už v 17. storočí severné doliny Tatirov vypásali miestni goralí a najvyššiu bočnú dolinu v rozčlenenom údolí Bialky nazývali Ťažkou dolinou, resp. do Ťažkého, pretože posledný úsek nástupu do nej je úzky a veľmi strmý [2, 3, 4]. Nesprávne pochopenie – nesprávny preklad poľského slova „ťažký“ na „český“ sa pripisuje pruskému vojenskému topografovi Albrechtovi Wilhelmovi von Sydow-ovi, ktorý opísal svoje putovanie v diele „Bemerkungen



Obr. 1 Výrez z mapy Tatry Wysokie słowackie i polskie, 1:25 000. Polkart 2004/2005

auf einer Reise im Jahre 1827 durch die Beskiden über Krakau und Wieliczka nach die Central-Karpathen“ (Berlin 1830), doplnenom mapou v mierke okolo 1:200 000 [5]. Podobne postupovali viedenskí vojenský topografovia, ktorí mapovali Tatry v 19. storočí (1822 a 1823, 1876, 1895 až 1897). Keď miestni obyvatelia uviedli názov Tažkej doliny ako ciežka, topograf si ho preložil na „česká“ – čiže Böhmisches Tal, v čom ho utvrdili aj staršie mapy. Tieto mapové podklady slúžili po roku 1919 na spracovanie prvých reambulovaných listov mapy ČSR v mierke 1:25 000 a z nich odvodených máp 1:75 000, ktoré boli základnými vojenskými a turistickými mapami. Tak sa pomenovanie Česká dolina a ďalšie odvodeniny zaužívali. Pritom každému, kto navštívil túto dolinu je zrejme, že posledný úsek nástupu do nej je tak strmý, že ho rozhodne nehodnotí ako „český“. Nadväzuje na to aj povzdych miestneho gorala „ciežke žyćie na gorach“, ktorý zrejme nik nechápe ako, že „život na horách je český“.

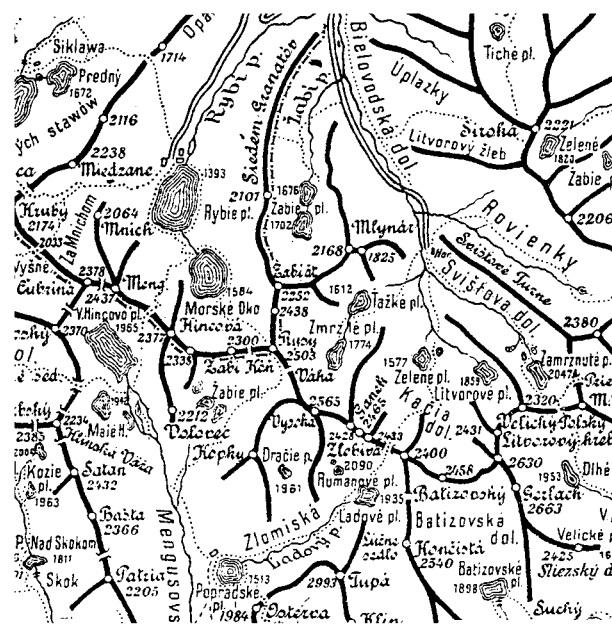
Predchádzajúce úvahy potvrdzuje aj najnovšie poľské vydanie turistickej mapy Vysokých Tatier v mierke 1:25 000 (obr. 1) s názvom Tažká dolina a v zátvorkách sú názvy Česká a Ciežka spolu s názvom plesa, veže a štítu. Z dostupných starších máp s názvom „tažký,-á-é“ možno uviesť mapu Vysokých Tatier z roku 1920 autorov M. Jánoška-V. Mrázek ako prílohu k článku: Nárys Tatranskej turistiky v Almanachu lázeňskom Československé republiky (obr. 2).

Pritom je zaujímavé, že tak v mape Vysokých Tatier v mierke 1:25 000 z III. vojenského mapovania (IV. vydanie), ako aj v Detail Karte des Tatra Gebietes v mierke 1:25 000 z rokov 1896 a 1897 je namiesto názvu Česká dolina použitý názov Český stav – teda poľský ekvivalent pre pleso. Vychádzajúc z uvedených faktov, použili sme pri fotogrametrickom meraní tatranských plies v rokoch 1960 až 1965 [Katedra geodézie Stavebnej fakulty (SvF) Slovenskej vysokej školy technickej (SVŠT), Výskumná stanica TANAP] názov Tažké pleso (obr. 3).

Dôkladným štúdiom tatranských názvov sa zaoberali Witold Henryk Paryski a Ivan Bohuš [2, 3, 4], ktorí upozornili na nesprávny názov Česká dolina. W. H. Paryski použil vo svojom 24-zväzkovom horolezeckom sprievodcovi [6] názvy Tažká dolina, Tažké pleso atď., hoci v ostatnom názvosloví slovenskej časti Tatier rešpektuje slovenské názvy, aj keď v niektorých prípadoch sú poľské názvy odlišné od slovenských, čo vzniklo tradíciou z podstatne väčšej návštevnosti Tatier poľskými horolezcami a turistami, v období pred 1. svetovou vojnou, spojenou s opisom nových horolezeckých výstupov a vydávaním horolezeckých sprievodcov po Vysokých Tatrách. Takisto odmietol názvy zavedené Uhorským Karpatkým Spolkom a jeho nemeckými sekciami z obdobia pred 1. svetovou vojnou, ale používané aj v povojnovom období, hoci už od roku 1911 bol k dispozícii Sprievodca po Tatrách v slovenčine [7] a následne nové vydania máp ČSR. Pre zaujímavosť uvádzame typický príklad násilného potlačenia slovenských a poľských názvov. Vysokú (poľsky Vysoka) premenovali na Róth Márton csúcs – Martin Róth Spitze.

Navrhovaná zmena na správny tvar názvu Tažká dolina a jeho používanie v poľskej odbornej aj turistickej literatúre vyvolali v šesťdesiatych rokoch minulého storočia v našej turistickej tlači polemiku, málo vecnú ale o to viacej národnostne zameranú. Kompetentné miesta postupovali podľa príslovia „aby sa vlk nažral a koza zostala celá“. Záverom bolo stanovisko, že Tažká dolina je historicky správny názov, ale je účelné dať prednosť novovzniklému zaužívanému názvu.

Názvoslovných nesprávností je v mapách Tatier celý rad, ale za podstatnú pokladáme predovšetkým úpravu v názvoch plies. V Tatrách máme niekoľko Žabích, Zelených, Dlhých, Ladových plies atď., pričom sa dôsledne pridrižujeme Geografického názvoslovia okresov [8] použitého aj v mape VKU, š. p., Harmenec z roku 2000. Pre budúce vydania máp by bolo účelné urobiť v názvosloví určité zmeny podložené názvosloviom hlavnej lokality plesa. Ak používame názov Bieloľudské Žabie pleso, takisto by mali byť prijateľné názvy Krivánske Zelené pleso, Kežmarské Zelené pleso, Kačacie Zelené pleso, Javorové Zelené pleso. Podobne Velické Dlhé pleso, Zbojnickej Dlhé pleso, Popradské (alebo Zlomiskové) Ladové pleso atď. Tiež do množstva Žabích plies možno vniesť systém, napríklad: Mengusovské Veľké (Malé) Žabie pleso, Javorové Veľké (Malé) Žabie pleso. Vonkoncom nesprávna je v mape 1:25 000 zámena názvov plies vo Veľkej Studenej doline. Pri Zbojnickej chate je logicky jedno Zboj-



Obr. 2 Vysoké Tatry 1:100 000. Mapa M. Jánoška z roku 1920



Ťažké pleso			
Mierka	1:1000	Dátum merania	júli 1954
Plachňa	1,98 ha	Metóda	Pozemná fotogrametria
Kubetúra	19800 m <sup>3</sup>	Snímky	Fototeodolit TAN
Šírka	125 m	Vyhoanovanie	Stereoaograf 1318
Max. dĺžka	222 m		
Hĺbka	6,2 m		
Vyhotovil	SVŠT BRATISLAVA KATEDRA GEODÉZIE		

Obr. 3 Ťažké pleso. Bratislava, Katedra geodézie SvF SVŠT 1964

nické pleso, lebo blízke občasne vodou naplnené preliačiny na Zbojníckej pláni patria už minulosti, tak ako napr. Lievikové pleso pod Lomnickým štítom. Skupine plies v kare západne od chaty prislúcha názov Sesterské plesá [2, 3, 4, 9]. Oprávnenosť tohto názvu je zrejmá – dve zdanlivo najväčšie plesá sú v skutočnosti jedným plesom, čo dokazuje rovnaká nadmorská výška obidvoch vodných plôch navzájom spojených prirodzeným kanálom a s týmto dvojplesom sú potom prítokmi prirodzene spojené ďalšie tri menšia plesá.

## LITERATÚRA:

- [1] Geografické názvoslovie ZM ČSSR 1 : 50 000 z územia Slovenskej socialistickej republiky. Kartografické informácie 11. Bratislava, 1981 SÚGK, 165 s.
- [2] BOHUŠ, I.: Od A po Z o názvoch Vysokých Tatier. Tatranská Lomnica 1996.
- [3] PARYSKA, Ž.-R.–PARYSKI, W. H.: Encyklopedia Tatrzańska. Warszawa 1973.
- [4] PARYSKA, Ž.-R.–PARYSKI, W. H.: Wielka Encyklopedia Tatrzańska. Poronin 1995.

- [5] Kol.: První české výškopisné mapy Karla Kořistky (část Mapa Vysokých Tatier 1863). Praha, Vojenský zeměpisný ústav 1974.
- [6] PARYSKI, W. H.: Tatr Wysokie, przewodnik taternicki. Tom 1–24. Warszawa 1951–1983.
- [7] JANOŠKA, M.: Sprievodca po Tatrách. Liptovský Mikuláš 1911.
- [8] Geografické názvoslovie okresov: Dolný Kubín 1994. 95 s. Liptovský Mikuláš. 1990. 126 s. Poprad 1988. 146 s. Bratislava SÚGK.
- [9] Lukniš, M.: Relief Vysokých Tatier a ich predpolia. Bratislava 1973.

Doc. Ing. Viktor Gregor, PhD.,  
Bratislava,  
RNDr. Jiří Pacl, CSc.,  
Červená Řečice

## SPOLEČENSKO-ODBORNÁ ČINNOST

## Mozaika z jubilejních čtyřicátých Geodetických dnů v Brně

061.3:528(437.2)

Mimořádnou účast téměř 200 odborníků měly jubilejní 40. Brněnské geodetické dny, jež se uprostřed druhého listopadového týdne r. 2004 konaly v důstojném prostředí zdejší Spořitelny akademie. Na tradiční zeměměřické setkání přijela generalita z Českého úřadu zeměměřického a katastrálního téměř v nejsilnější sestavě. Prvním přednášejícím byl předseda ČÚZK Karel Večeře (obr. 1; obr. 1. až 6. viz 4. str. obálky), který uvedl, že v roce 1962, kdy se konaly první geodetické dny, mu byl necelý rok. Předseda vyzval ke spolupráci všech geodetů – konkrétně těch, kteří působí ve státní správě v resortu ČÚZK, s těmi, jež pracují mimo resort. „Na odborných setkáních podobným geodetickým dnům by mohli vystoupit i zástupci úspěšných soukromých firem a pohovořit například o firemní ekonomice a řízení, neboť tyto zkušenosti mohou být poučné i pro státní správu,“ navrhl Karel Večeře.

Čtyřicetiny informačních dnů v Brně připomenul pamětník odborných akcí Milan Klimeš (obr. 2) „Dnes jsou sborníky z konferencí a katalogy z výstav zlepšovacích návrhů dokumentem doby,“ poznamenal Milan Klimeš.

K dalším přednáškám přistupovali postupně pracovníci ČÚZK z první řady – (obr. 3) – zleva informatik Josef Jirman, místopředseda ČÚZK Oldřich Pašek, muž zodpovědný za informatiku resortu ČÚZK Vít Suchánek, vedle nichž jednání sledovali senioři František Hofman a Milan Klimeš.

Místopředseda ČÚZK Oldřich Pašek (obr. 4) si posteskyl, že 72,3 % katastrálních map zůstává v analogovém tvaru, přičemž velkou část map nelze zatím vůbec zpracovat pro nedokončená zcelení, přiděly a pozemkové úpravy. Posluchači (obr. 5) se dozvěděli, že resort stále pro zeměměřiče zhušťuje bodová pole tak, aby se měření dala vhodně připojit z dostupných bodů. Předpokládá se, že brzy si budou moci zeměměřiči rezervovat parcelní čísla i pomocí elektronické pošty.

Součástí jubilejních odborných dnů v Brně byla doprovodná výstava, jíž se zúčastnilo několik firem představujících své programy, služby a nabízející převážně dovezenou techniku (obr. 6).

Text a foto:  
Ing. Petr Škála,

Fakulta lesnická a environmentální ČZU Praha

## TISKOVÁ OPRAVA

Nedopatřením byly ve vložce GaKO, 2004, č. 12 zaměněny funkce v redakční radě časopisu pro rok 2004. Správně má být „Ing. Juraj Kadlic, PhD. (předseda), Ing. Jiří Černožorský (místopředseda), ...“

Omlouváme se Ing. Kadlicovi, PhD., Ing. Černožorskému i čtenářům časopisu.

Redakce

## Z jubilejních čtyřicátých Geodetických dnů v Brně



*Obr. 1*



*Obr. 4*



*Obr. 2*



*Obr. 5*



*Obr. 3*



*Obr. 6*