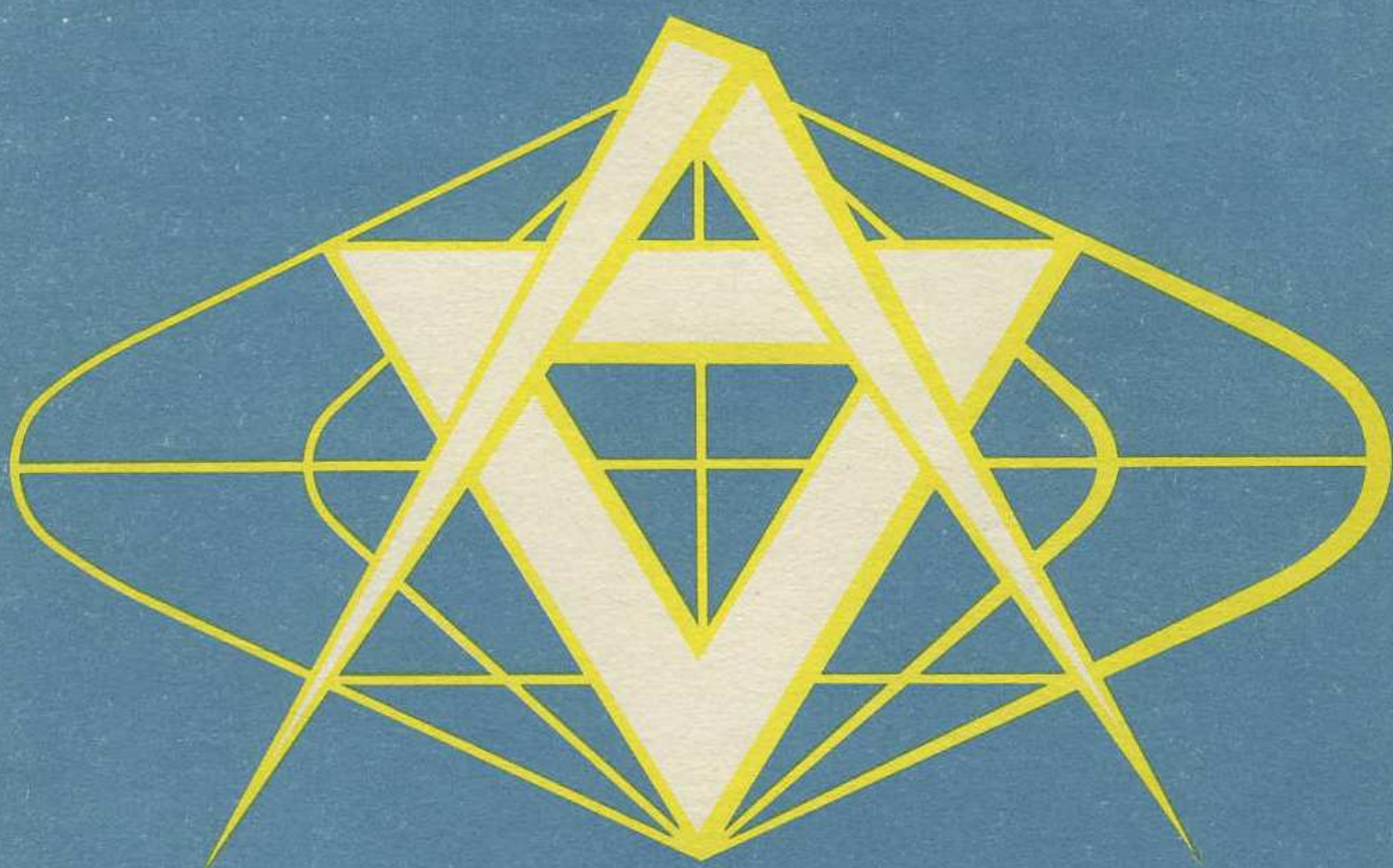


**SBORNÍK  
TOPOGRAFICKÉ  
SLUŽBY  
MNO**



**VOJENSKÝ  
TOPOGRAFICKÝ OBZOR**

**1/75**

## OBSAH

	Strana
<b>Pplk. ing. S. Kvasnička, CSc:</b> Tíhové anomálie ve vnějším prostoru z družicových dat . . . . .	1
<i>Recenzent: ing. M. Burša, DrSc.</i>	
<b>Doc. ing. Z. Nevosád, CSc:</b> Výpočet a přesnost délek měřených na československém úseku základny kosmické triangulace . . . . .	31
<i>Recenzent: pplk. ing. V. Martinák, CSc.</i>	
<b>Ing. M. Burša, DrSc:</b> Tížnicové odchylky na území ČSSR v geocentrickém souřadnicovém systému . . . . .	59
<b>Ing. M. Burša, DrSc, ing. Šimek, L. Kanda, R. Mařanová:</b> Složky tížnicových odchylek v systému S-42 na stanicích čs. časové služby . . . . .	69
<i>Recenzent: mjr. ing. D. Dušátko</i>	

Pplk. ing. Stanislav Kvasnička, CSc.

### Tíhové anomálie ve vnějším prostoru z družicových dat

#### 1. Úvod

Úkoly kosmické obrany a balistiky si vyžádaly, aby činnost Topografické služby ČSLA byla zaměřena také ke studiu a určování fyzikálních parametrů v okolozemském prostoru. Jedním z problémů, kterému je věnována pozornost, je určení tíhových hodnot a tíhových anomálií v kterémkoliv vnějším prostorovém bodě.

Tento příspěvek se zabývá analýzou a modelováním průběhu tíhového pole zemského tělesa na několika vnějších hladinových plochách volených ve výškách, které mohou být předmětem vojenského zájmu.

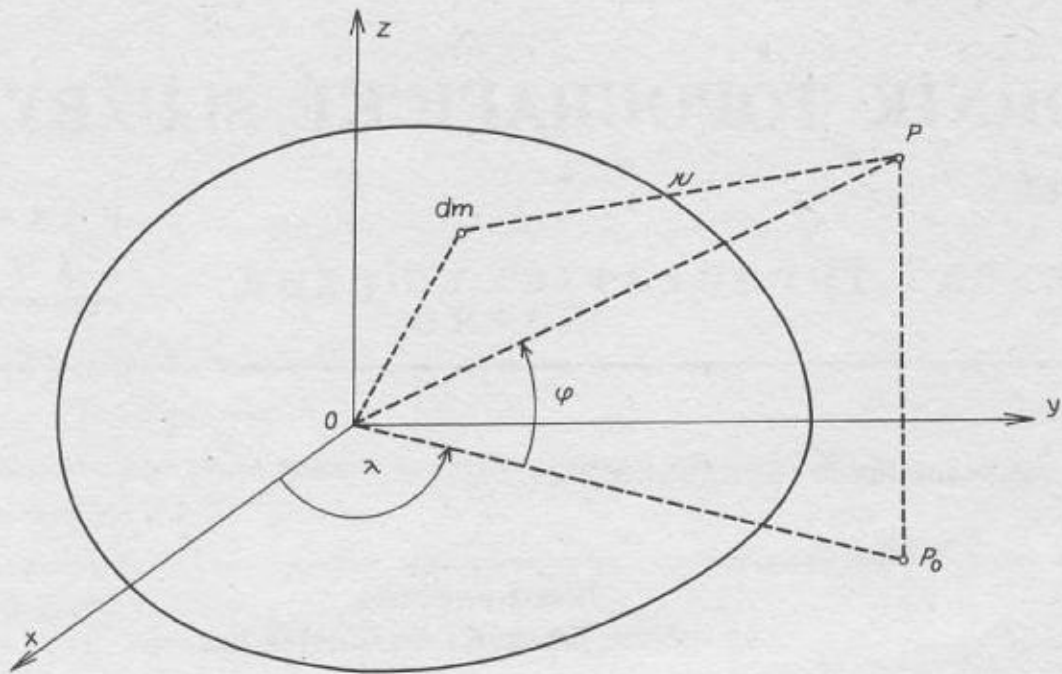
#### 2. Odvození tíhového zrychlení ve vnějším prostoru z družicových dat

Uvažme gravitační potenciál obecného tělesa na vnější potenciálový bod  $P$ , k jehož vyjádření předpokládáme souřadnicový systém v jeho hmotném středu

$$V = f \iiint_M \frac{dm}{r} + \frac{1}{2} \omega^2 \varrho^2 \cos^2 \varphi \quad (1)$$

kde je

- $dm$  - hmotný element tělesa,
- $r$  - vzdálenost  $dm$  od potenciálového bodu,
- $\omega$  - úhlová rychlost rotace tělesa,
- $\varrho$  - průvodič potenciálového bodu,
- $\varphi$  - geocentrická šířka potenciálového bodu.



Obr. 1

K rozvoji funkce  $\frac{1}{r}$  v (1) využijeme aparátu sférických funkcí. Znalost Stokesových dynamických koeficientů nám umožní vyjádřit gravitační a tíhový potenciál zemského tělesa. Je-li zmíněný souřadnicový systém zvolen tak, že jeho počátek leží ve hmotném středu Země a osa  $z$  je totožná s osou zemské rotace, dostaneme výraz pro tíhový potenciál zemského tělesa:

$$W = \frac{fM}{\varrho} \left\{ 1 + \sum_{n=2}^N \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^n \sum_{m=0}^n (J_{n,m} \cos m\lambda + S_{n,m} \sin m\lambda) P_{n,m} + \frac{1}{3} \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^3 q (1 - P_{2,0}) \right\}, \quad (2)$$

kde je

$fM$  - geocentrická konstanta,

$J_{n,m}$  a  $S_{n,m}$  - Stokesovy dynamické konstanty,

$a_0$  - délkový faktor /zpravidla velká poloosa zemského elipsoidu/,

$P_{n,m}$  - Legendreovy polynomy argumentu  $t = \sin \varphi$

$q = \frac{a_0^3 \omega^2}{fM}$  - rotační faktor v tíhovém potenciálu,

$\lambda$  - geocentrická délka potenciálového bodu.

Derivací vztahu (2) ve směru souřadnicových os, s uvažovanou přesností  $10^{-8}$  a s využitím známého vztahu

$$g = \sqrt{\left(\frac{\partial W}{\partial \varrho}\right)^2 + \frac{1}{\varrho^2} \left(\frac{\partial W}{\partial \varphi}\right)^2 + \frac{1}{\varrho^2 \cos^2 \varphi} \left(\frac{\partial W}{\partial \lambda}\right)^2} \quad (3)$$

dostaneme po úpravách

$$\begin{aligned} g = & \left\{ \left[ 1 - \frac{2}{3} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^3 \varrho + \frac{3}{5} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^4 J_{2,0}^2 + \frac{1}{15} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^6 \varrho^2 - \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{2}{5} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^4 J_{2,0} \varrho \right] + \left[ \frac{1}{21} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^6 \varrho^2 + \frac{3}{7} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^4 (J_{2,0})^2 - \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{2}{7} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^4 J_{2,0} \varrho + 3 \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^2 J_{2,0} + \frac{2}{3} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^3 \varrho \right] P_{2,0} + \right. \\ & \left. + \left[ 5 \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^4 J_{4,0} - \frac{36}{35} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^4 (J_{2,0})^2 - \frac{24}{35} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^4 J_{2,0} \varrho - \right. \right. \\ & \left. \left. - \frac{4}{35} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^6 \varrho^2 \right] P_{4,0} + 4 \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^3 J_{3,0} P_{3,0} + \sum_{n=5}^N (n+1) \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^n J_{n,0} P_{n,0} + \right. \\ & \left. + \sum_{n=2}^N (n+1) \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^n \sum_{m=1}^n (J_{n,m} \cos m\lambda + S_{n,m} \sin m\lambda) P_{n,m} \right\}, \quad (4) \end{aligned}$$

nebo také s ohledem na numerické aplikace

$$\begin{aligned} g = & a + b P_{2,0} + c P_{3,0} + d P_{4,0} + \sum_{n=5}^N e_n P_{n,0} + \\ & + \sum_{n=2}^N f_n \sum_{m=1}^n (J_{n,m} \cos m\lambda + S_{n,m} \sin m\lambda) P_{n,m}, \quad (5) \end{aligned}$$

kde

$$\begin{aligned} a = & \frac{fM}{\varrho^2} \left[ 1 - \frac{2}{3} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^3 \varrho + \frac{3}{5} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^4 (J_{2,0})^2 + \frac{1}{15} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^6 \varrho^2 - \right. \\ & \left. - \frac{2}{5} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^4 J_{2,0} \varrho \right], \end{aligned}$$

$$b = \frac{fM}{\varrho^2} \left[ \frac{1}{21} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^6 \varrho^2 + \frac{3}{7} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^4 (J_{2,0})^2 - \frac{2}{7} \left(\frac{a_0}{\varrho}\right)^4 J_{2,0} \varrho + \right.$$

$$+ 3 \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^2 J_{2,0} + \frac{2}{3} \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^3 q \Big] ,$$

$$c = \frac{fM}{\varrho^2} 4 \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^3 J_{3,0} ,$$

$$d = \frac{fM}{\varrho^2} \left[ 5 \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^4 J_{4,0} - \frac{36}{35} \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^4 (J_{2,0})^2 + \right. \\ \left. - \frac{24}{35} \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^4 J_{2,0} q - \frac{4}{35} \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^6 q^2 \right] , \quad (6)$$

$$e_n = \frac{fM}{\varrho^2} (n+1) \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^n J_{n,0} \quad \text{pro } n = 5, 6 \dots N ,$$

$$f_n = \frac{fM}{\varrho^2} (n+1) \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^n \quad \text{pro } n = 5, 6 \dots N .$$

Vztah (6) umožňuje výpočet tíže v libovolném vnějším bodě zemského tělesa z družicových pozorování, je-li dán geocentrickými souřadnicemi  $\varphi$ ,  $\lambda$  a průvodičem  $\varrho$ .

Vydeme-li ze vztahu (4) a dosadíme za průvodič  $\varrho$  rovnici určité plochy  $\varrho = f(\varphi, \lambda)$ , obdržíme tíhové zrychlení právě na této ploše. V našem případě budeme uvažovat plochu hladinovou o tíhovém potenciálu  $W_0$ , jejíž rovnici vyjádříme s označením

$$\frac{fM}{W_0} = R_0$$

ze vztahu (2)

$$\varrho = R_0 \left\{ 1 + \sum_{n=2}^N \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^n \sum_{m=0}^n (J_{n,m} \cos m\lambda + S_{n,m} \sin m\lambda) P_{n,m} + \frac{1}{3} \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^3 q (1 - P_{2,0}) \right\} . \quad (7)$$

Výraz (7) řešíme metodou postupných aproximací se zmíněnou přesností  $10^{-8}$  a po úpravách na tvar obdobný (5) dostaneme

$$\varrho = R_0 \left[ 1 + A + B P_{2,0} + C P_{3,0} + D P_{4,0} + \right. \\ \left. + \sum_{n=5}^N E_n P_{n,0} + \sum_{n=2}^N F_n \sum_{m=1}^n (J_{n,m} \cos m + S_{n,m} \sin m) P_{n,m} \right] , \quad (8)$$

kde

$$A = \frac{1}{3} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-3} q + \frac{2}{5} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-6} q^2 - \frac{1}{15} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-1} J_{2,0} q - \\ - \frac{2}{5} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^4 (J_{2,0})^2 ,$$

$$B = \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^2 J_{2,0} - \frac{1}{3} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^3 q - \frac{4}{7} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^4 (J_{2,0})^2 - \\ - \frac{4}{7} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-6} q^2 + \frac{5}{21} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-1} J_{2,0} q ,$$

$$C = \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^3 J_{3,0}$$

$$D = \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^4 J_{4,0} + \frac{6}{35} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-6} q^2 - \frac{6}{35} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-1} J_{2,0} q - \\ - \frac{36}{35} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^4 (J_{2,0})^2 ,$$

$$E_n = \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^n J_{n,0} \quad \text{pro } n = 5, 6, \dots, N,$$

$$F_n = \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^n \quad \text{pro } n = 5, 6, \dots, N.$$

Je zřejmé, že (8) je rovnicí hladinové plochy, přičemž rozměrový parametr  $R_0$  charakterizuje její měřítko. Soubor parametrů  $R_0, R_1, \dots, R_n$  a soubor Stokesových konstant  $J_{n,m}, S_{n,m}$  a parametr  $q$  definuje potom odpovídající soubor vnějších hladinových ploch.

V dalším budeme předpokládat, že základní plochou o parametru  $R_0$  je plocha geoidu.

Tedy po dosazení (8) do (6) bude

$$g = fM \left\{ \left[ \varphi^{-2} - \frac{2}{3} a_0^{-3} \varphi^1 q + \frac{3}{5} a_0^4 \varphi^{-6} (J_{2,0})^2 + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{15} a_0^{-6} \varphi^4 q^2 - \frac{2}{5} a_0^{-1} \varphi^{-1} J_{2,0} q \right] + \right. \\ \left. + \left[ \frac{1}{21} a_0^{-6} \varphi^4 q^2 + \frac{3}{7} a_0^4 \varphi^{-6} (J_{2,0})^2 - \frac{2}{7} a_0^{-1} \varphi^{-1} J_{2,0} q + \right. \right. \\ \left. \left. + 3 a_0^2 \varphi^4 J_{2,0} + \frac{2}{3} a_0^{-3} \varphi^1 q \right] P_{2,0} + \right.$$

$$\begin{aligned}
& + \left[ 5 a_0^4 \varrho^{-6} J_{4,0} - \frac{36}{35} a_0^4 \varrho^{-6} (J_{2,0})^2 + \right. \\
& + \left. \frac{24}{35} a_0^{-1} \varrho^{-1} J_{2,0} \varrho - \frac{4}{35} a_0^{-6} \varrho^4 \varrho^2 \right] P_{4,0} + \\
& + 4 a_0^3 \varrho^{-5} J_{3,0} P_{3,0} + \varrho^{-2} \sum_{n=5}^N (n+1) \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^n J_{n,0} P_{n,0} + \\
& + \varrho^{-2} \sum_{n=2}^N (n+1) \left( \frac{a_0}{\varrho} \right)^n \sum_{m=1}^n (J_{n,m} \cos m\lambda + \\
& + S_{n,m} \sin m\lambda) P_{n,m} \left. \right\} . \tag{9}
\end{aligned}$$

Po úpravě s vyjádřením  $\varrho^{-2}$  a s ohledem na zmíněnou přesnost dostaneme

$$\begin{aligned}
g = \frac{fM}{R_0^2} & \left\{ \left[ 1 - \frac{4}{3} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-3} \varrho - \frac{3}{5} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-6} \varrho^2 - \frac{2}{5} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^4 (J_{2,0})^2 + \right. \right. \\
& + \left. \frac{4}{15} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-1} J_{2,0} \varrho \right] + \left[ \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^2 J_{2,0} + \right. \\
& + \left. \frac{4}{3} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-3} \varrho - \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^4 (J_{2,0})^2 + \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-6} \varrho^2 - \right. \\
& - \left. \frac{8}{3} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-1} J_{2,0} \varrho \right] P_{2,0} + \\
& + \left[ 3 \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^4 J_{4,0} - \frac{18}{5} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^4 (J_{2,0})^2 - \frac{2}{5} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-6} \varrho^2 + \right. \\
& + \left. \frac{12}{5} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-1} J_{2,0} \varrho \right] P_{4,0} + \\
& + 2 \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^3 J_{3,0} P_{3,0} - \sum_{n=5}^N (n-1) \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^n J_{n,0} P_{n,0} + \\
& + \left. \sum_{n=2}^N (n-1) \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^n \sum_{m=1}^n (J_{n,m} \cos m\lambda + S_{n,m} \sin m\lambda) P_{n,m} \right\} . \tag{10}
\end{aligned}$$



Tím jsme dostali vztah pro určení tíže  $g$  na libovolné vnější hladinové ploše, dané parametrem  $R_0$ , souborem Stokesových konstant  $J_{n,m}$ ,  $S_{n,m}$  a rotačním parametrem  $q$ . Pro  $R_0 = 6\,363\,675$  m jde o plochu vyhlazeného geoidu.

Vztah (10) můžeme obecně vyjádřit

$$g = \bar{a} + \bar{b} P_{2,0} + \bar{c} P_{3,0} + \bar{d} P_{4,0} + \sum_{n=5}^N \bar{e}_n P_{n,0} + \sum_{n=2}^N f_n \sum_{m=1}^n (J_{n,m} \cos m\lambda + S_{n,m} \sin m\lambda) P_{n,m}, \quad (11)$$

kde

$$\begin{aligned} \bar{a} &= \frac{fM}{R_0^2} \left[ 1 - \frac{4}{3} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^3 q - \frac{3}{5} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^5 q^2 - \frac{2}{5} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^4 (J_{2,0})^2 + \right. \\ &\quad \left. + \frac{4}{15} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-1} J_{2,0} q \right], \\ \bar{b} &= \frac{fM}{R_0^2} \left[ \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^2 J_{2,0} + \frac{4}{3} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^3 q - \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^4 (J_{2,0})^2 + \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-6} q^2 - \right. \\ &\quad \left. - \frac{8}{3} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-1} J_{2,0} q \right], \\ \bar{c} &= \frac{fM}{R_0^2} 2 \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^3 J_{3,0}, \\ \bar{d} &= \frac{fM}{R_0^2} \left[ 3 \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^4 J_{4,0} - \frac{18}{5} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^4 (J_{2,0})^2 - \frac{2}{5} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^6 q^2 + \right. \\ &\quad \left. + \frac{12}{5} \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^{-1} J_{2,0} q \right], \\ \bar{e}_n &= \frac{fM}{R_0^2} (n-1) \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^n \quad \text{pro } n = 5, 6 \dots, N, \\ \bar{f}_n &= \frac{fM}{R_0^2} (n-1) \left( \frac{a_0}{R_0} \right)^n \quad \text{pro } n = 5, 6 \dots, N. \end{aligned} \quad (12)$$

Dosadíme-li za  $R_0$  hodnotu větší než je uvedená hodnota, rozměrově definující plochu geoidu, dostaneme příslušnou hladinovou plochu v prostoru nad geoidem. Tímto postupem lze vhodně modelovat vnější tíhové pole Země, vyjádřené tíží na vnějších hladinových plochách. Praktickým aplikacím je věnována následující kapitola.

Grafické vyjádření vypočtených anomálií je znázorněno na obr. 2 - 6.

Výpis z celkového rozsáhlého číselného operátu, obsahující diskrétní hodnoty s ekvidistantním krokem  $\Delta\varphi = 20^\circ$ ,  $\Delta\lambda = 20^\circ$  je obsažen v tabulkách 1 - 5.

Výpočty byly provedeny na samočinném počítači MINSK 22 ve Vojenském topografickém ústavu v Dobrušce.

Zpracování na samočinném počítači bylo provedeno v těchto etapách:

#### 1/ Vložení

- konstant  $a_0, \omega, fM$
- Stokesových konstant  $J_{n,m}, S_{n,m}$  do  $N = 21$ ,
- hodnot délkového rozměrového faktoru  $R_i$  pro  $i = 0, 1, \dots, 4$ ;

#### 2/ Výpočet

- Legendreových polynomů s krokem  $\Delta\varphi = 5^\circ$  od  $\varphi = 0^\circ$  do  $\varphi = \pm 90^\circ$ ,
- funkcí  $\sin$  a  $\cos$  s krokem  $\Delta\lambda = 5^\circ$  od  $\lambda = 0^\circ$  do  $\lambda = 360^\circ$ ,
- rotačního parametru  $q$
- koeficientů  $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{d}, \bar{e}_n, \bar{f}_n$  pro dané  $R_i$  (12),
- součtu zonálních členů řady od  $n = 5$  do  $N = 21$ ,
- součtu teserálních a sektorových členů řady od  $n = 2$  do  $n = 16$ ,
- součtu řady pro tíži  $g$  v plošných elementech  $5^\circ \times 5^\circ$  pro dané  $R_i$
- normální tíže  $\gamma$  a tíhové anomálie  $\Delta g$  (14);

#### 3/ Výstup

- souřadnic vrcholů plošných elementů  $5^\circ \times 5^\circ$  daných vnějších hladinových ploch,
- normální tíže  $\gamma$
- skutečné tíže  $g$
- tíhové anomálie  $\Delta g$ .

### 3. Praktické modelování vnějšího tíhového pole Země

Vzorce (10) použijeme pro vyjádření tíže na vnějších hladinových plochách o rozměrových parametrech

$$R_0 = 6\,363\,675 \text{ m,}$$

$$R_1 = 6\,373\,675 \text{ m,}$$

$$R_2 = 6\,500\,000 \text{ m,}$$

$$R_3 = 7\,500\,000 \text{ m,}$$

$$R_4 = 10\,000\,000 \text{ m.}$$

Vzhledem k dominující závislosti tíže na zeměpisné šířce je prakticky výhodné uvážit normální část pole zvlášť. K tomu definujme normální tíži

$$\gamma = \bar{a} + \bar{b} P_{2,0}. \quad (13)$$

Budeme tedy pracovat s tíhovými anomáliemi na vnějších hladinových plochách  $\Delta g$  definovanými vztahem

$$\Delta g = g - (\bar{a} + \bar{b} P_{2,0}) \quad (14)$$

Takto definované normální pole je vytvářeno normálním rotačním sféroidem 2. stupně o parametrech

$$fM, R_0 \text{ (nebo } a_0) \nu_{2,0}, \omega.$$

Námi definované anomálie nejsou - jak je zavedeno v běžné gravimetrické praxi - anomáliemi smíšenými, kdy se tíže skutečná a normální vztahují k různým bodům v prostoru, ale jsou anomáliemi pravými, v nichž se skutečná a normální tíže vztahuje ke stejným bodům.

#### 4. Z á v ě r

Provedenými pracemi a získanými výsledky bylo dokázáno, že na základě družicových dat lze určovat tíhové zrychlení v jednotlivých obecných vnějších prostorových bodech, jakož i na předem zadaných hladinových plochách v absolutní soustavě fyzikální.

Modelování vnějšího tíhového pole je vhodné uskutečňovat s pomocí pravých tíhových anomálií, které lze snadno vyjádřit graficky.

Skutečné hodnoty tíhového zrychlení ve vnějším prostoru lze buď číselně vyjádřit v argumentech  $(\rho, \varphi, \lambda)$  nebo vypočítat z grafického obrazu tíhových anomálií připočtením sférického a druhého zonálního členu v rozvoji tíhového zrychlení v řadu sférických funkcí.

## L I T E R A T U R A

- [1] V. V. Brovar, V. A. Magnickij, B. P. Šimbirev: Teorija figury Zemli. Izd. geod. lit., Moskva 1961
- [2] N. P. Grušinskij: Teorija figury Zemli. Izd. fiz.-mat. lit., Moskva 1963
- [3] N. I. Idelson: Teorija potenciala. OMTI 1936
- [4] E. M. Gaposchkin, K. Lambeck: 1969 Smithsonian Standart Earth II. SAO Sp. Rep. 315, 1970
- [5] M. Burša: Základy kosmické geodézie, díl II, TS ČSLA, Praha 1970
- [6] N. P. Makarov: Geodezičeskaja gravimetrija. Izd. Nědra, Moskva 1968
- [7] I. Mueller: Introduction to Satellite Geodesy. F. U. P. Co, New York, 1964
- [8] Jordan, Eggert, Kneissl: Handbuch der Vermessungskunde. Band IV - 1 und IV - 2

Tabulka I

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
0	0	978 038,64	978 038,09	0,55
	20	007,49		-30,61
	40	017,84		-20,27
	60	028,23		- 9,87
	80	7 967,37		-70,73
	100	8 054,48		16,39
	120	059,62		21,52
	140	066,42		28,33
	160	031,17		- 6,93
	180	026,74		-11,35
	200	041,22		3,12
	220	033,28		- 4,80
	240	015,64		-22,45
	260	040,05		1,95
	280	043,61		5,51
	300	043,43		5,33
	20	320		025,88
340		035,85	- 2,24	
0		629,74	978 638,31	- 8,59
20		653,68		15,35
40		640,92		2,61
60		627,90		-10,42
80		633,64		- 4,68
100		621,49		-16,83
120		649,25		10,93
140		643,90		5,58
160		623,07		-15,25
180		630,28		- 8,04
200		655,82		17,50
220		630,59		- 7,73
240		619,21		-19,11
260		645,21		6,89
280		632,77		- 5,56
300	609,27	-29,04		
20	320	629,28		- 9,04
	340	978 631,16	978 638,31	- 7,16

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
-20	0	978 650,16	978 638,31	11,85
	20	643,45		5,13
	40	640,73		2,41
	60	641,34		3,02
	80	628,19		-10,12
	100	615,66		-22,66
	120	646,73		8,41
	140	642,64		4,32
	160	661,44		23,12
	180	651,48		13,16
	200	637,46		- 0,86
	220	622,58		-15,74
	240	644,83		6,51
	260	652,74		14,42
40	280	628,76	- 9,56	
	300	653,45	15,13	
	320	644,32	6,01	
	340	616,81	-21,52	
	0	980 192,58	980 166,61	25,95
	20	181,68		15,06
	40	187,93		21,30
	60	157,58		- 9,04
	80	162,49		- 4,13
	100	152,26		-14,36
	120	172,29		5,68
	140	191,01		24,39
	160	146,13		-20,49
	180	169,59		2,98
200	155,55	-11,07		
220	153,05	-13,57		
240	171,00	4,39		
260	173,00	6,37		
-40	280	161,01	- 5,61	
	300	150,52	-16,10	
	320	193,95	27,33	
	340	185,57	18,96	
-40	0	980 165,53	980 166,61	- 1,09
	20	168,37		1,75
	40	202,18		35,55
-40	60	173,39	6,76	
	80	980 196,46	980 166,61	29,84

geocentrická		skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
šířka	délka			
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ ( mGal )	$\gamma$ ( mGal )	$\Delta g$ (mGal)
-40	100	980 167,84	980 166,61	1,21
	120	131,16		-35,46
	140	170,77		4,15
	160	160,60		- 6,02
	180	179,33		12,71
	200	181,07		14,45
	220	153,28		-13,34
	240	187,29		20,67
	260	163,68		- 2,93
	280	178,62		12,00
	300	184,64		18,02
	320	147,23		-19,39
	340	178,63		12,01
	60	0		981 930,50
20		913,58	- 5,82	
40		920,46	1,07	
60		922,99	3,61	
80		900,64	-18,75	
100		921,04	1,64	
120		920,13	0,74	
140		913,31	- 6,08	
160		949,59	30,20	
180		912,20	- 7,19	
200		942,91	23,52	
220		938,04	18,66	
240		904,27	-15,12	
260		891,99	-27,40	
280	888,07	-31,31		
300	917,68	- 1,71		
320	926,00	6,62		
340	939,64	20,25		
-60	0	981 918,40	981 919,40	- 0,98
	20	916,55		- 2,84
	40	924,00		4,61
	60	934,68		15,30
	80	943,69		24,30
	100	919,77		0,39
	120	896,28		-23,11
	140	911,04		- 8,35
	160	911,34		- 8,05
	-60	180		981 890,19

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
-60	200	981 895,83	981 919,40	-23,56
	220	919,81		0,42
	240	921,60		2,21
	260	913,58		- 5,82
	280	933,01		13,62
	300	934,29		14,89
	320	924,85		5,47
	340	932,80		13,41
90	0	983 230,75	983 229,02	1,73
	20	231,51		2,48
	40	232,15		3,13
	60	232,63		3,61
	80	232,88		3,86
	100	232,89		3,87
	120	232,63		3,61
	140	232,14		3,12
	160	231,46		2,43
	180	230,64		1,62
	200	229,82		0,80
	220	229,09		0,07
	240	228,56		- 0,46
	260	228,30		- 0,72
	280	228,35		- 0,67
	300	228,67		- 0,34
320	229,24	0,23		
340	229,97	0,95		
-90	0	983 211,54	983 229,09	-17,48
	20	211,51		-17,51
	40	211,24		-17,79
	60	210,75		-18,26
	80	210,16		-18,86
	100	209,53		-19,49
	120	208,96		-20,06
	140	208,53		-20,50
	160	208,25		-20,77
	180	208,16		-20,86
	200	208,23		-20,79
	220	208,44		-20,58
	240	208,78		-20,25
	260	209,23		-19,79
	280	209,76		-19,25
	300	210,34		-18,67
320	210,90	-18,12		
-90	340	983 211,31	983 229,02	-17,70



Tabulka 2

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
0	0	974 938,34	974 937,84	0,50
	20	907,74		-30,10
	40	917,81		-20,03
	60	927,84		-10,00
	80	868,15		-69,68
	100	953,79		15,95
	120	959,08		21,24
	140	965,73		27,89
	160	931,10		- 6,74
	180	926,69		-11,15
	200	940,87		3,03
	220	933,09		- 4,76
	240	915,69		-22,15
	260	939,68		1,83
	280	943,24		5,41
	20	0		975 532,24
20		555,51	15,04	
40		543,11	2,64	
60		530,26	-10,21	
80		535,65	- 4,82	
100		523,95	-16,52	
120		551,26	10,79	
140		546,13	5,66	
160		525,52	-14,95	
180		532,58	- 7,89	
200		557,60	17,13	
220		532,86	- 7,61	
240		521,64	-18,82	
260		547,27	6,80	
280		535,00	- 5,48	
300		511,80	-28,68	
320	531,53	- 8,94		
20	340	975 533,51	975 540,48	- 6,97

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
-20	0	975 552,11	975 540,48	11,64
	20	545,56		5,09
	40	542,82		2,35
	60	543,41		2,93
	80	530,54		- 9,93
	100	518,14		-22,34
	120	548,60		8,14
	140	544,88		4,41
	160	563,31		22,83
	180	553,55		13,07
	200	539,71		- 0,76
	220	525,00		-15,47
	240	546,87		6,39
	260	554,59		14,12
	280	531,20		- 9,27
	300	555,40		14,93
	320	546,24		5,77
340	519,38	-21,09		
40	0	977 100,60	977 074,89	25,71
	20	089,87		14,97
	40	095,97		21,08
	60	066,17		- 8,72
	80	070,78		- 4,11
	100	060,80		-14,09
	120	080,54		5,65
	140	099,00		24,11
	160	055,01		-19,88
	180	077,80		2,91
	200	064,16		-10,73
	220	061,62		-13,27
	240	079,23		4,34
	260	081,30		6,40
	280	069,37		- 5,52
	300	059,22		-15,68
	320	101,88		26,99
340	093,80	18,91		
-40	0	977 074,02	977 074,89	- 0,87
	20	076,88		1,98
	40	109,97		35,07
	60	081,86		6,96
-40	80	977 104,31	977 074,89	29,42

pokračování tab. 2

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
-40	100	977 076,13	977 074,89	1,24
	120	040,17		-34,72
	140	078,89		4,00
	160	069,23		- 5,66
	180	087,51		12,62
	200	089,17		14,27
	220	061,96		-12,93
	240	095,19		20,30
	260	072,13		- 2,77
	280	086,82		11,92
	300	092,67		17,78
	320	055,97		-18,93
	340	086,71		11,82
	60	0		978 845,74
20		829,16	- 5,52	
40		835,74	1,07	
60		838,05	3,38	
80		816,22	-18,46	
100		836,08	1,40	
120		835,34	0,66	
140		828,82	- 5,86	
160		864,17	29,49	
180		827,84	- 6,84	
200		857,79	23,11	
220		852,98	18,30	
240		819,86	-14,82	
260		807,72	-26,96	
280	803,95	-30,73		
300	833,03	- 1,65		
320	841,42	6,73		
340	854,74	20,06		
-60	0	978 833,82	978 834,68	- 0,86
	20	831,96		- 2,71
	40	839,36		4,68
	60	849,85		15,18
	80	858,63		23,95
	100	835,17		0,48
	120	812,02		-22,67
	140	826,33		- 8,35
	160	826,60		- 8,07
	180	805,92		-28,76
-60	200	978 811,44	978 834,68	-23,25

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
-60	220	978 834,98	978 834,68	0,30
	240	836,80		2,13
	260	828,92		- 5,76
	280	847,96		13,28
	300	849,33		14,64
	320	840,10		5,43
	340	847,85		13,17
90	0	980 151,02	980 149,56	1,47
	20	151,75		2,20
	40	152,38		2,82
	60	152,84		3,28
	80	153,07		3,52
	100	153,07		3,52
	120	152,82		3,27
	140	152,33		2,79
	160	151,67		2,12
	180	150,89		1,33
	200	150,08		0,54
	220	149,38		- 0,17
	240	148,87		- 0,68
	260	148,62		- 0,93
280	148,66	- 0,88		
300	149,01	- 0,55		
320	149,56	0,00		
340	150,26	0,71		
-90	0	980 132,04	980 149,56	-17,51
	20	132,02		-17,54
	40	131,75		-17,80
	60	131,28		-18,27
	80	130,69		-18,86
	100	130,07		-19,48
	120	129,51		-20,04
	140	129,08		-20,48
	160	128,80		-20,75
	180	128,71		-20,84
	200	128,77		-20,78
	220	128,97		-20,58
	240	129,31		-20,25
	260	129,75		-19,80
280	130,29	-19,27		
300	130,86	-18,70		
320	131,40	-18,15		
-90	340	980 131,83	980 149,56	-17,73

Hladinová plocha o rozměrovém faktoru  $R_2 = 6\,500\,000$  m

Tabulka 3

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
0	0	936 994,26	936 994,38	- 0,13
	20	969,76		-24,63
	40	976,89		-17,49
	60	983,07		-11,32
	80	936,24		-58,15
	100	7 005,41		11,03
	120	012,28		17,90
	140	017,36		22,97
	160	6 989,58		- 4,81
	180	985,24		- 9,15
	200	996,26		1,86
	220	989,97		- 4,41
	240	975,54		-18,85
	260	994,92		0,54
	280	998,52		4,13
	300	996,75		2,36
	320	982,68		-11,70
340	992,00	- 2,39		
20	0	937 622,09	937 626,63	- 4,54
	20	638,33		11,70
	40	629,48		2,86
	60	618,52		- 8,11
	80	620,48		- 6,15
	100	613,42		-13,21
	120	635,85		9,22
	140	633,00		6,36
	160	614,97		-11,66
	180	620,35		- 6,27
	200	639,79		13,16
	220	620,27		- 6,36
	240	610,95		-15,67
	260	632,24		5,62
	280	622,00		- 4,63
	300	602,13		-24,49
	320	618,89		- 7,75
340	621,75	- 4,88		
-20	0	937 636,00	937 626,63	9,37
	20	631,20		4,57
	40	628,35		1,71

geocentrická		skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
šířka	délka			
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
-20	60	937 628,69	937 626,63	2,06
	80	618,61		- 8,01
	100	607,86		-18,77
	120	631,97		5,34
	140	631,86		5,23
	160	646,25		19,62
	180	638,54		11,91
	200	626,84		0,21
	220	614,18		-12,45
	240	631,71		5,09
	260	637,54		10,91
	280	620,39		- 6,24
	300	639,22		12,60
	320	629,87		3,25
340	610,09	-16,54		
40	0	939 259,45	939 236,44	23,00
	20	250,50		14,06
	40	255,02		18,57
	60	231,15		- 5,29
	80	232,72		- 3,72
	100	225,41		-11,03
	120	241,90		5,46
	140	257,36		20,91
	160	223,06		-13,38
	180	238,78		2,34
	200	229,35		- 7,10
	220	226,55		- 9,90
	240	240,35		3,91
	260	243,02		6,58
280	232,01	- 4,43		
300	225,30	-11,14		
320	259,73	23,28		
340	254,63	18,19		
-40	0	939 237,97	939 236,44	1,53
	20	240,89		4,45
	40	266,30		29,86
	60	245,46		9,02
	80	261,26		24,81
	100	238,05		1,60
	120	209,76		-26,70
140	239,08	2,64		
-40	160	234,58	938 236,44	- 1,87

geocentrická šířka	geocentrická délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
-40	180	939 248,11	939 236,44	11,66
	200	248,80		12,36
	220	227,94		- 8,50
	240	252,84		16,39
	260	235,56		- 0,89
	280	247,57		11,12
	300	251,66		15,21
	320	222,64		-13,80
	340	246,34		9,89
	60	0		941 093,12
20		080,22	- 2,48	
40		083,74	1,04	
60		083,78	1,07	
80		067,36	-15,34	
100		081,65	- 1,06	
120		082,49	- 0,22	
140		079,14	- 3,57	
160		104,69	21,98	
180		079,29	- 3,41	
200		101,18	18,48	
220		097,03	14,32	
240		071,10	-11,60	
260		060,65	-22,06	
280	058,29	-24,42		
300	081,65	- 1,06		
320	090,43	7,73		
340	100,51	17,80		
-60	0	941 083,08	941 082,70	0,38
	20	081,38		- 1,32
	40	087,98		5,28
	60	096,40		13,70
	80	102,70		20,00
	100	084,02		1,32
	120	064,72		-17,99
	140	074,45		- 8,25
	160	074,51		- 8,19
	180	058,78		-23,92
	200	062,97		-19,74
	220	081,78		- 0,92
	240	083,84		1,13
	260	077,60		- 5,11
-60	280	941 092,36	941 082,70	9,66

geocentrická		skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
šířka	délka			
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ\text{E}$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
-60	300	941 094,54	941 082,70	11,83
	320	087,56		4,86
	340	093,29		10,59
90	0	942 460,72	942 462,19	- 1,46
	20	461,21		- 0,97
	40	461,62		- 0,57
	60	461,90		- 0,29
	80	462,02		- 0,18
	100	461,96		- 0,22
	120	461,75		- 0,44
	140	461,38		- 0,81
	160	460,89		- 1,30
	180	460,33		- 1,86
	200	459,78		- 2,41
	220	459,31		- 2,88
	240	458,98		- 3,20
	260	458,86		- 3,33
	280	458,95		- 3,24
	300	459,23		- 2,95
	320	459,66		- 2,52
340	460,19	- 2,00		
-90	0	942 444,37	942 462,19	-17,82
	20	444,38		-17,80
	40	444,20		-17,98
	60	443,85		-18,34
	80	443,37		-18,81
	100	442,86		-19,33
	120	442,37		-19,81
	140	441,98		-20,21
	160	441,71		-20,48
	180	441,59		-20,60
	200	441,60		-20,59
	220	441,75		-20,44
	240	442,01		-20,18
	260	442,38		-19,81
	280	442,83		-19,36
	300	443,32		-18,87
	320	443,79		-18,40
-90	340	942 444,16	942 462,19	-18,03



Tabulka 4

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ\text{E}$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
0	0	700 891,87	700 895,91	- 4,05
	20	886,30		- 9,61
	40	885,75		-10,17
	60	883,63		-12,28
	80	874,62		-21,30
	100	891,35		- 4,56
	120	898,72		2,81
	140	900,13		4,22
	160	893,38		- 2,53
	180	890,74		- 5,17
	200	892,31		- 3,61
	220	890,03		- 5,88
	240	886,47		- 9,45
	260	891,22		- 4,70
	280	893,06		- 2,86
	300	890,30		- 5,61
	20	320		886,47
340		890,69	- 5,23	
0		701 729,33	701 727,00	2,33
20		729,74		2,73
40		728,26		1,27
60		723,66		- 3,34
80		720,49		- 6,51
100		723,20		- 3,80
120		730,89		3,89
140		732,02		5,02
160		725,22		- 1,78
180		725,42		- 1,58
200		728,85		1,85
220		724,31		- 2,69
240		721,88		- 5,12
260		727,74		0,74
280		724,96		- 2,04
300	718,85	- 8,14		
-20	320	723,85		- 3,14
	340	727,49	0,49	
	0	701 729,36	701 727,00	2,36
20	728,84	1,84		

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
-20	40	701 727,24	701 727,00	0,24
	60	726,69		- 0,31
	80	723,72		- 3,29
	100	721,17		- 5,83
	120	727,01		0,01
	140	731,38		4,38
	160	734,62		7,62
	180	732,53		5,54
	200	728,53		1,52
	220	724,31		- 2,70
	240	727,85		0,85
	260	729,21		2,20
	280	728,10		1,09
	300	730,96		3,96
320	725,68	- 1,32		
340	723,70	- 3,30		
40	0	703 856,80	703 843,12	13,67
	20	854,29		11,17
	40	853,68		10,55
	60	847,46		4,34
	80	844,58		1,45
	100	843,98		0,86
	120	849,57		6,45
	140	854,17		11,04
	160	847,56		4,44
	180	847,71		4,59
	200	847,13		4,00
	220	845,45		2,32
	240	847,65		4,53
	260	849,17		6,05
280	845,21	2,09		
300	845,70	2,58		
320	854,69	11,56		
340	856,38	13,26		
-40	0	703 851,14	703 843,12	8,02
	20	853,03		9,91
	40	857,44		14,32
	60	854,95		11,82
	80	854,76		11,64
	100	847,76		4,64
-40	120	703 841,92	703 843,12	- 1,20

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	g (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
-40	140	703 846,97	703 843,12	3,85
	160	850,33		7,21
	180	852,17		9,05
	200	850,96		7,84
	220	847,38		4,26
	240	850,87		7,74
	260	849,13		6,01
	280	852,22		9,10
	300	852,40		9,28
	320	846,25		3,12
	340	850,06		6,94
60	0	706 276,02	706 270,05	5,98
	20	273,01		2,96
	40	270,88		0,83
	60	267,94		- 2,11
	80	264,79		- 5,26
	100	266,27		- 3,78
	120	268,51		- 1,55
	140	270,30		0,25
	160	273,16		3,11
	180	271,49		1,45
	200	273,68		3,63
	220	272,07		2,02
	240	267,12		- 2,93
	260	264,11		- 5,94
280	264,35	- 5,70		
300	270,10	0,06		
320	275,29	5,24		
340	277,72	7,67		
-60	0	706 271,90	706 270,05	1,86
	20	272,07		2,03
	40	274,38		4,34
	60	276,09		6,04
	80	275,98		5,93
	100	271,03		0,97
	120	265,21		- 4,84
	140	264,73		- 5,32
	160	264,44		- 5,61
	180	262,24		- 7,81
	200	263,04		- 7,02
-60	220	706 266,93	706 270,05	- 3,12

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
-60	240	706 268,35	706 270,05	- 1,70
	260	267,84		- 2,21
	280	270,80		0,75
	300	272,49		2,44
	320	271,74		1,69
	340	272,62		2,58
	90	0		708 070,50
20		070,50	-12,89	
40		070,48	-12,91	
60		070,43	-12,96	
80		070,36	-13,03	
100		070,28	-13,10	
120		070,21	-13,18	
140		070,15	-13,24	
160		070,09	-13,30	
180		070,05	-13,34	
200		070,03	-13,36	
220		070,03	-13,36	
240		070,06	-13,33	
260		070,12	-13,27	
280		070,21	-13,18	
300		070,31	-13,09	
320		070,39	-13,00	
340	070,46	-12,93		
-90	0	708 064,40	708 083,39	-18,99
	20	064,44		-18,95
	40	064,41		-18,98
	60	064,33		-19,06
	80	064,20		-19,19
	100	064,03		-19,36
	120	063,86		-19,53
	140	063,70		-19,69
	160	063,57		-19,82
	180	063,48		-19,91
	200	063,46		-19,93
	220	063,48		-19,90
	240	063,56		-19,82
	260	063,69		-19,70
	280	063,85		-19,54
	300	064,01		-19,37
	320	064,17		-19,21
-90	340	708 064,31	708 083,39	-19,08

Tabulka 5

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ\text{E}$	$g(\text{mGal})$	$\gamma(\text{mGal})$	$\Delta g(\text{mGal})$
0	0	387 958,38	387 971,05	-12,67
	20	957,84		-13,20
	40	957,15		-13,90
	60	956,15		-14,90
	80	955,49		-15,55
	100	957,32		-13,73
	120	959,35		-11,70
	140	960,02		-11,03
	160	959,35		-11,69
	180	958,68		-12,37
	200	958,34		-12,71
	220	957,72		-13,33
	240	957,42		-13,63
	260	957,94		-13,11
	280	958,18		-12,87
	20	0		389 184,50
20		184,14	0,63	
40		183,44	- 0,06	
60		182,25	- 1,25	
80		181,56	- 1,94	
100		182,66	- 0,85	
120		184,40	0,89	
140		184,93	1,43	
160		184,03	0,52	
180		183,56	0,05	
200		183,47	- 0,04	
220		182,86	- 0,65	
240		182,59	- 0,91	
260		183,11	- 0,39	
280		182,90	- 0,60	
-20		0	389 183,97	389 183,50
	20	183,98	0,48	

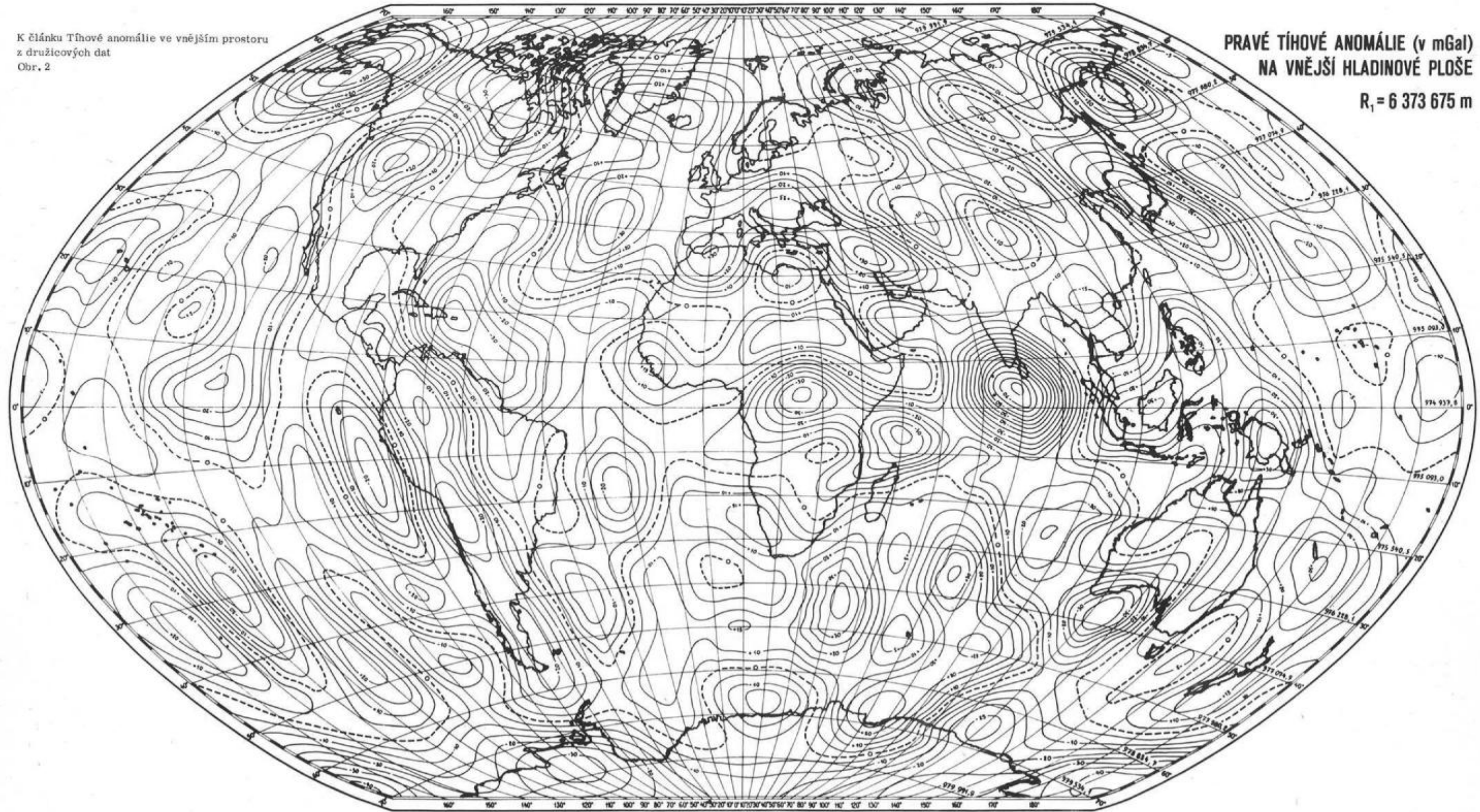
geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
-20	40	389 183,61	389 183,50	0,11
	60	183,11		- 0,39
	80	182,50		- 1,00
	100	182,63		- 0,88
	120	183,68		0,18
	140	184,75		1,25
	160	185,16		1,66
	180	184,77		1,27
	200	184,02		0,52
	220	183,35		- 0,15
	240	183,47		- 0,04
	260	183,81		0,30
	280	184,10		0,59
	300	183,99		0,49
40	320	183,25	- 0,25	
	340	183,36	- 0,14	
	0	392 287,16	392 270,68	16,48
	20	286,74		16,06
	40	286,00		15,32
	60	284,89		14,21
	80	284,16		13,48
	100	284,41		13,73
	120	285,47		14,78
	140	286,12		15,44
	160	285,68		15,00
	180	285,31		14,63
	200	285,12		14,44
	220	284,77		14,09
240	284,69	14,01		
260	284,78	14,10		
-40	280	284,56	13,88	
	300	284,92	14,25	
	320	286,14	15,46	
	340	287,00	16,31	
	0	392 286,20	392 270,68	15,52
	20	286,63		15,95
40	286,88	16,20		
60	286,65	15,97		
80	285,99	15,31		
100	285,04	14,36		
-40	120	392 284,63	392 270,68	13,95

geocentrická šířka	geocentrická délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)
-40	140	392 285,14	392 270,68	14,46
	160	285,78		15,10
	180	285,86		15,18
	200	285,49		14,81
	220	285,17		14,49
	240	285,36		14,68
	260	285,60		14,92
	280	285,97		15,29
	300	285,95		15,26
	320	285,49		14,81
	340	285,69		15,01
	60	0		395 812,25
20		811,80	0,52	
40		811,10	- 0,18	
60		810,33	- 0,95	
80		809,83	- 1,46	
100		809,86	- 1,43	
120		810,28	- 1,00	
140		810,70	- 0,58	
160		810,87	- 0,42	
180		810,83	- 0,45	
200		810,73	- 0,55	
220		810,46	- 0,82	
240		810,13	- 1,15	
260		809,95	- 1,33	
280	810,14	- 1,14		
300	810,84	- 0,44		
320	811,73	0,45		
340	812,27	0,99		
-60	0	395 811,34	395 811,28	0,06
	20	811,62		0,33
	40	811,85		0,57
	60	811,82		0,53
	80	811,38		0,10
	100	810,58		- 0,70
	120	809,81		- 1,47
	140	809,45		- 1,83
	160	809,37		- 1,91
	180	809,32		- 1,96
	200	809,38		- 1,90
	220	809,63		- 1,66
-60	240	395 809,91	395 811,28	- 1,38

geocentrická šířka	délka	skutečná tíže	normální tíže	pravá tíhová anomálie		
$\varphi^\circ$	$\lambda^\circ E$	$g$ (mGal)	$\gamma$ (mGal)	$\Delta g$ (mGal)		
-60	260	395 810,18	395 811,28	- 1,10		
	280	810,54		- 0,74		
	300	810,81		- 0,48		
	320	810,92		- 0,37		
	340	811,10		- 0,18		
90	0	398 422,73	398 456,73	-34,01		
	20	422,72		-34,01		
	40	422,71		-34,02		
	60	422,70		-34,04		
	80	422,69		-34,05		
	100	422,67		-34,06		
	120	422,66		-34,07		
	140	422,65		-34,08		
	160	422,65		-34,08		
	180	422,65		-34,08		
	200	422,66		-34,08		
	220	422,66		-34,07		
	240	422,68		-34,06		
	260	422,69		-34,05		
	280	422,70		-34,03		
	300	422,72		-34,02		
	320	422,72		-34,01		
	340	422,73		-34,01		
	-90	0		398 421,56	398 456,73	-35,18
20		421,56	-35,17			
40		421,56	-35,18			
60		421,54	-35,19			
80		421,52	-35,21			
100		421,49	-35,24			
120		421,47	-35,27			
140		421,44	-35,29			
160		421,42	-35,31			
180		421,41	-35,33			
200		421,41	-35,33			
220		421,41	-35,32			
240		421,43	-35,31			
260		421,45	-35,29			
280		421,47	-35,26			
300		421,50	-35,23			
320		421,53	-35,21			
-90		340	398 421,55	398 456,73		-35,19



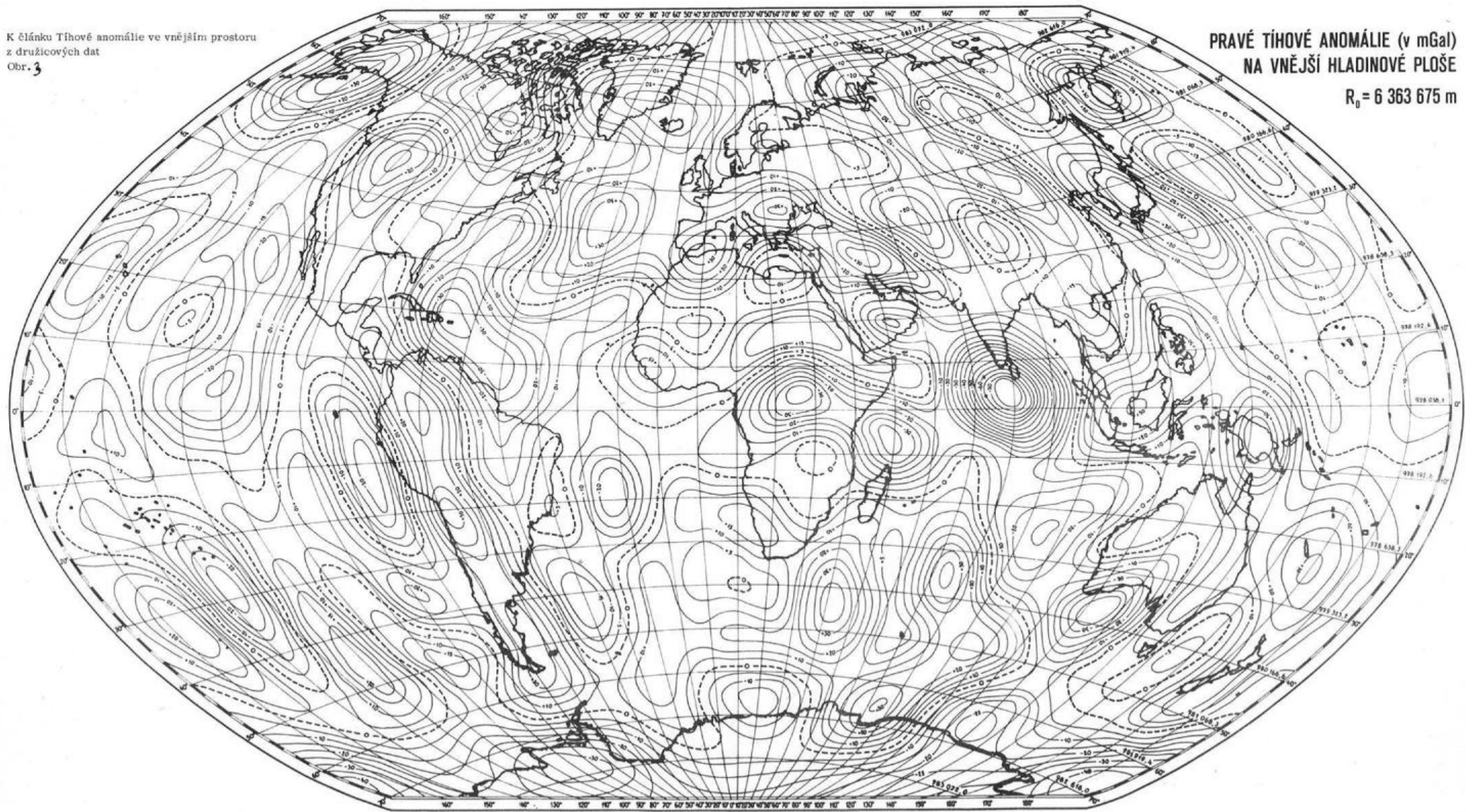
K článku Tíhové anomálie ve vnějším prostoru  
z družicových dat  
Obr. 2



PRAVÉ TÍHOVÉ ANOMÁLIE (v mGal)  
NA VNĚJŠÍ HLADINOVÉ PLOŠE

$R_1 = 6\,373\,675\text{ m}$

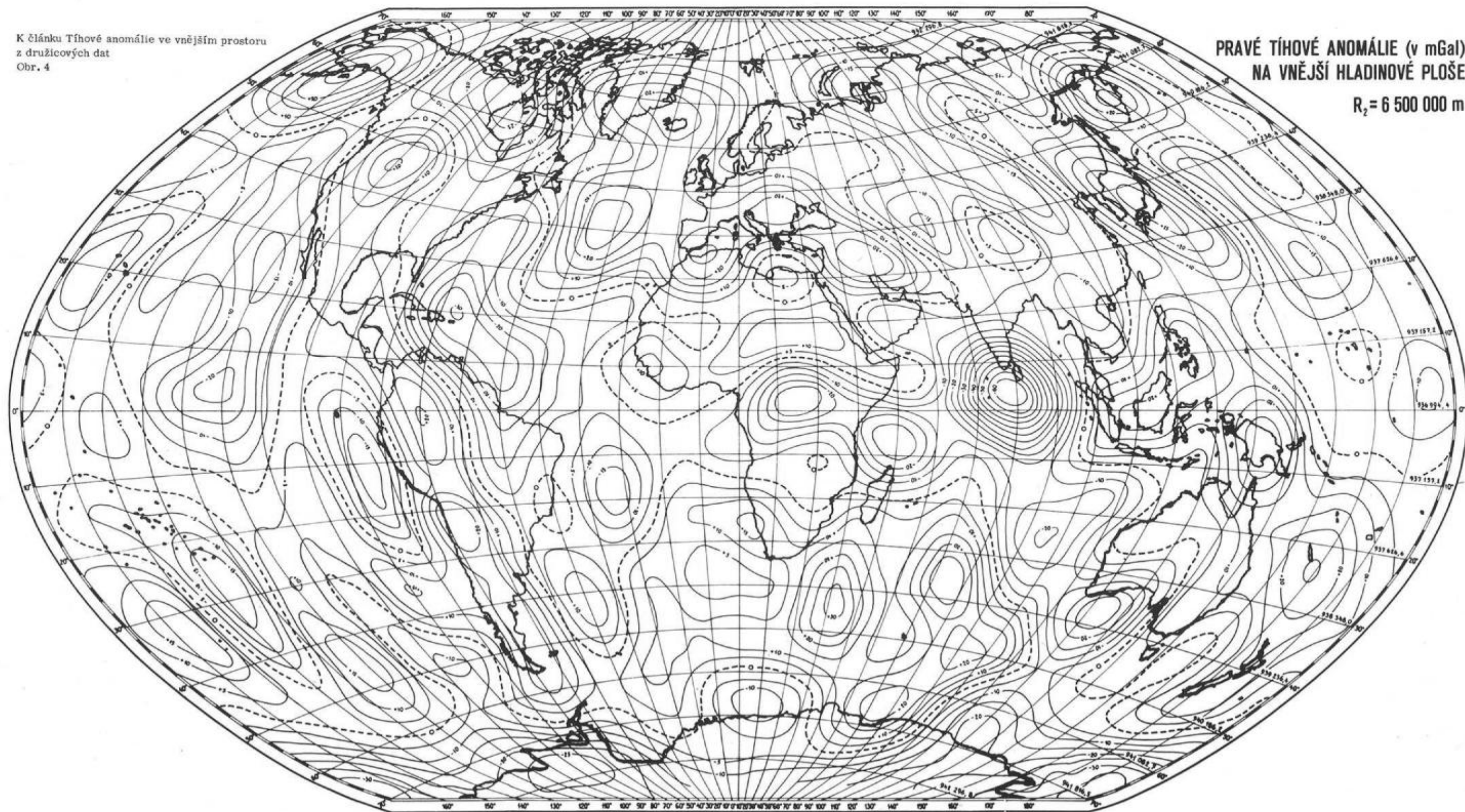
K článku Tíhové anomálie ve vnějším prostoru  
z družicových dat  
Obr. 3



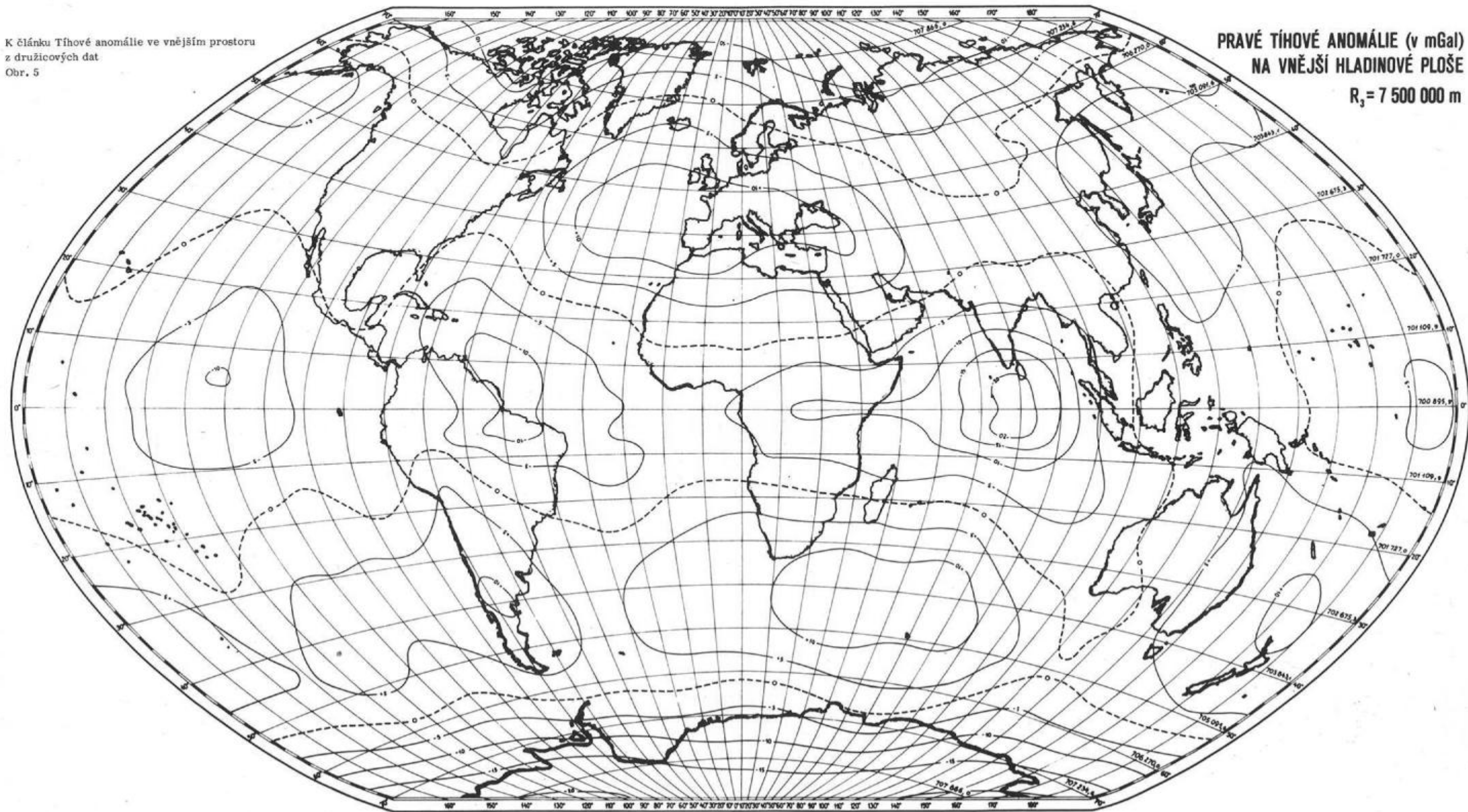
PRAVÉ TÍHOVÉ ANOMÁLIE (v mGal)  
NA VNĚJŠÍ HLADINOVÉ PLOŠE

$R_0 = 6\,363\,675\text{ m}$

K článku Tíhové anomálie ve vnějším prostoru  
z družicových dat  
Obr. 4

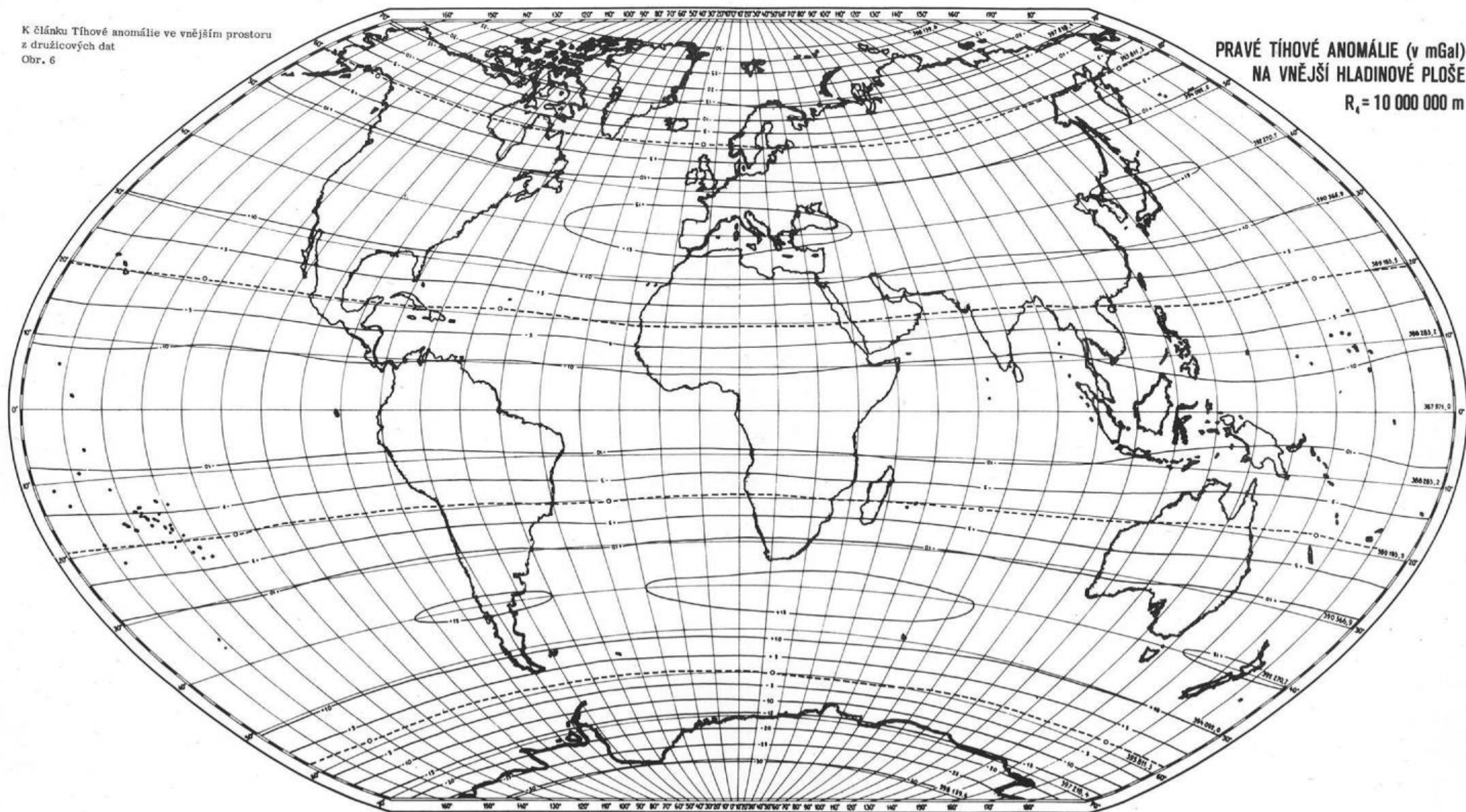


K článku Tíhové anomálie ve vnějším prostoru  
z družicových dat  
Obr. 5



PRAVÉ TÍHOVÉ ANOMÁLIE (v mGal)  
NA VNĚJŠÍ HLADINOVÉ PLOŠE  
 $R_3 = 7\,500\,000$  m

K článku Tíhové anomálie ve vnějším prostoru  
z družicových dat  
Obr. 6



PRAVÉ TÍHOVÉ ANOMÁLIE (v mGal)  
NA VNĚJŠÍ HLADINOVÉ PLOŠE  
 $R_e = 10\,000\,000\text{ m}$

## Výpočet a přesnost délek měřených na československém úseku základny kosmické triangulace

(Referát přednesen na geodetickém semináři VA AZ v r. 1973)

### 1. Úvod

K určení československé části kosmické základny bylo měřeno v letech 1968 až 1972 celkem 37 vzdáleností. 32 délky polygonových stran sloužily přímo k určení délky základny a 5 délek k připojení základny ke dvěma geodetickým základnám.

Měřických prací se zúčastnily: Geodetický ústav v Praze, Geodetický ústav v Bratislavě a Vojenský topografický ústav v Dobrušce. K měření vzdáleností bylo použito 8 světelných dálkoměrů: geodimetr NASM 2A /GÚ Praha/, přístroje EOD, EOS /VTOPÚ/, geodimetry AGA 6 6425 /GÚ Praha/, AGA 6 6316 /GÚ Bratislava/, AGA 6A 61222 /GÚ Praha/, AGA 6A 61044 /GÚ Praha/ a AGA 8 /GÚ Praha/. Přehled o počtu vzdáleností měřených jednotlivými dálkoměry poskytuje tabulka 1,1.

Tabulka 1,1. Počet vzdáleností měřených různými světelnými dálkoměry

Světelný dálkoměr	Počet vzdáleností měřených v letech					Celkový počet
	1968	1969	1970	1971	1972	
NASM 2A	5	13	8	3	-	29
EOD	3	1	-	-	-	4
EOS	-	14	7	8	-	29
AGA 6 6425	-	2	2	-	-	4
AGA 6 6316	-	1	-	5	-	6
AGA 6A 61044	-	-	3	-	-	3
AGA 6A 61222	-	-	-	3	-	3
AGA 8	-	-	-	-	1	1

Z přehledu je patrné, že největší počet vzdáleností byl měřen dálkoměry NASM 2A a EOS. Všechny vzdálenosti byly měřeny alespoň dvěma různými přístroji, čtyři vzdálenosti dokonce třemi světelnými dálkoměry /č. 11, 20, 30, 34/. Každá vzdá-

lenost byla měřena stejným dálkoměrem v jedné sezóně, zpravidla v období několika po sobě jdoucích nocí, pouze u jedné vzdálenosti /č. 12/ došlo k měření stejným přístrojem ve dvou sezónách. Tabulka 1,2 podává celkové údaje o počtu observačních nocí u jednotlivých vzdáleností.

Tabulka 1,2. Počet observačních nocí použitých k zaměření jedné vzdálenosti

Počet nocí	Počet vzdáleností	Celkový počet nocí
3	1	3
4	17	68
5	10	50
6	5	30
7	3	21
8	1	8
<b>Celkem</b>	<b>37</b>	<b>180</b>

Počet měřických sérií, uskutečněných během každé pozorovací noci, byl značně rozdílný a pohyboval se od 1 série až do 22 sérií. Přehledně jsou počty měřických sérií v jednotlivých pozorovacích nocích uspořádány v tabulce 1,3.

Tabulka 1,3. Počet měřických sérií v jednotlivých pozorovacích nocích

Počet měřických sérií	Počet pozorovacích nocí	Celkový počet sérií
1	4	4
2	2	4
3	4	12
4	13	52
5	11	55
6	19	114
7	11	77
8	69	552
9	12	108
10	23	230
11	5	55
12	2	24
13	1	13
14	1	14
16	1	16
18	1	18
22	1	22
<b>Celkem</b>	<b>180</b>	<b>1370</b>

Z tabulky 1,2 a 1,3 je patrné, že celkový počet všech observačních nocí byl 180 a celkový počet měřických sérií 1370. Každá vzdálenost byla tedy měřena průměrně ve 4,9 /4,865/ pozorovacích nocích a ve 37,0 měřických sériích. Průměrný počet měřických sérií za jednu pozorovací noc je 7,6.

Sečteme-li u všech vzdáleností celkový počet měřických sérií získaných všemi dálkoměry, získáme tabulku 1,4.

Tabulka 1,4. Počet měřických sérií u měřených vzdáleností

Počet měřických sérií	Počet vzdáleností	Celkový počet sérií
29	1	29
31	1	31
32	7	224
33	4	132
34	9	306
35	4	140
36	2	72
37	2	74
38	1	38
41	1	41
46	1	46
47	1	47
51	1	51
57	1	57
82	1	82
Celkem	37	1370

## 2. Výpočet středních chyb

Měření vzdáleností v rozsahu 10,8 km až 22,6 km poskytuje statistický materiál k analýze přesnosti. Z měřického souboru je možno odhadnout vnitřní a z velké části i vnější přesnost délek a usuzovat na velikost jejich vah. Nejobtížnějším úkolem zůstává spolehlivé určení /odhad/ velikosti systematických chyb.

Jedna pozorovací noc tvoří základní jednotku matematického zpracování měřených vzdáleností. Pro každou měřickou sérii byly vypočteny redukované šikmé vzdálenosti a převedeny na odpovídající délku na elipsoidu. Ze všech sérií zaměřených v jedné pozorovací noci byl vytvořen prostý aritmetický průměr, vypočteny opravy



a odpovídající střední chyby. Protože centrační prvky v jednotlivých pozorovacích nocích a především u různých dálkoměrů jsou různé, není možno sloučit pro rozbor přesnosti přímo měřické série ze všech pozorovacích nocí do společných souborů. Nejdříve byly opraveny průměry o centrační prvky a převedeny na centrické délky  $s_1$ . Podle průměrů byly převedeny do společného souboru i všechny výsledky měřických sérií  $l_i$ .

## 2.1 Rozdíly délek

Základním ukazatelem kvality měření délek různými dálkoměry byly během celého pětiletého období rozdíly délek  $\Delta s$  průměrů  $s_r$  /4,3/ získaných dvojicemi dálkoměrů. U 37 měřených délek, z nichž 33 byly měřeny dvěma a 4 třemi dálkoměry, je možno sestavit celkem 45 rozdílů  $\Delta s$  pro různé dvojice světelných dálkoměrů. Přípustný rozdíl mezi průměry neměl překročit relativní chybu 1:300 000. Přehled rozdílů délek  $\Delta s$  pro vybrané dvojice dálkoměrů, jimiž byly měřeny alespoň 4 vzdálenosti, poskytuje tabulka 2,1.

Tabulka 2,1. Rozdíly  $\Delta s$  délek  $s_r$  měřených různými dvojicemi dálkoměrů

A/ NASM 2A - EOS:

Číslo délky	Rozdíl $\Delta s$ /mm/		$\Delta s^2$	Přípustný rozdíl /mm/
	+	-		
1		27	729	54
2		14	196	49
3		30	900	50
4		43	1849	43
5		17	289	56
7	10		100	49
8	25		625	61
9	18		324	64
15	18		324	56
16		0	0	58
17		33	1089	63
18	30		900	63
/20/	65		4225	62
21	4		16	36
22	5		25	51

## Pokračování tabulky

Číslo délky	Rozdíl $\Delta s$ /mm/		$\Delta s^2$	Přípustný rozdíl /mm/
	+	-		
28		4	16	66
29	13		169	64
/30/	27		729	44
36	42		1764	65
37	37		1369	75
	+294	-168	15638	
	+126			

## B/ NASM 2A - EOD:

Číslo délky	Rozdíl $\Delta s$ /mm/		$\Delta s^2$	Přípustný rozdíl /mm/
	+	-		
6		24	576	42
10		12	144	55
31	28		784	56
32	4		16	40
	+32	-36	1520	
		-4		

## C/ AGA 6 6425 - EOS:

Číslo délky	Rozdíl $\Delta s$ /mm/		$\Delta s^2$	Přípustný rozdíl /mm/
	+	-		
/11/		27	729	42
12	27		729	43
/34/		55	3025	38
35	10		100	53
	+37	-82	4583	
		-45		

## D/ NASM 2A - AGA 6 6316:

Číslo délky	Rozdíl $\Delta s$ /mm/		$\Delta s^2$	Přípustný rozdíl /mm/
	+	-		
23		31	961	43
24		3	9	49
25		1	1	36
26		15	225	45
27	19		361	48
/30/		13	169	44
	+19	-63	1726	
		-44		

Čísla v závorkách označují vzdálenosti měřené třemi dálkoměry, protože u těchto délek byly vypočteny všechny tři možné rozdíly  $\Delta s$ . Rozdíly  $\Delta s$  byly získány vždy odečtením délky určené druhým dálkoměrem od délky zaměřené prvním dálkoměrem. Pro všechny dvojice dálkoměrů, kterými bylo měřeno alespoň několik vzdáleností, byly vypočteny průměrné a střední kvadratické rozdíly  $\Delta s'_o$  a  $\Delta s'_m$ . Obě hodnoty jsou sestaveny v tabulce 2,2.

Tabulka 2,2. Průměrné rozdíly  $\Delta s'_o$  a střední kvadratické rozdíly  $\Delta s'_m$ .

Dvojice dálkoměrů	Průměrný rozdíl $\Delta s'_o$ /mm/	Počet rozdílů				Střední rozdíl $\Delta s'_m$ /mm/
		$\Sigma$	+	-	0	
NASM 2A - EOS	+ 6,3	20	12	7	1	28,0
NASM 2A - EOD	- 1,0	4	2	2	-	19,5
NASM 2A - 6 6316	- 7,3	6	1	5	-	17,0
6 6425 - EOS	-11,2	4	2	2	-	33,8
6A 61044 - EOS	- 7,0	3	1	2	-	13,7
6A 61222 - EOS	-16,7	3	-	3	-	20,5

Chceme-li určit průměrný a střední kvadratický rozdíl  $\Delta s_o$ ,  $\Delta s_m$  ze všech dvojic dálkoměrů, musíme sečíst nejprve všechny příslušné rozdíly a jejich kvadráty v tabulce 2,1 bez rozdílů délek, které byly měřeny třemi dálkoměry. Oba výsledné rozdíly vypočteme pomocí tabulky 2,3.

Tabulka 2,3. Součet rozdílů  $\Delta s$  a jejich kvadrátů pro různé dvojice světelných dálkoměrů

Dvojice dálkoměrů	Počet délek	$\Delta s$ /mm/		$\Delta s^2$	Počet rozdílů			
		+	-		$\Sigma$	+	-	0
NASM 2A - EOS	18	34		10684	18	10	7	1
NASM 2A - EOD	4		4	1520	4	2	2	-
NASM 2A - 6 6316	5		31	1557	5	1	4	-
6 6425 - EOS	2	37		829	2	2	-	-
6A 61044 - EOS	2		30	482	2	-	2	-
6A 61222 - EOS	2		20	362	2	-	2	-
$\Sigma$	33		-14	15434	33	15	17	1

Celkové součty ve třetím a čtvrtém sloupci tabulky 2,3 vydělíme počtem rozdílů a dostaneme průměrný rozdíl  $\Delta s_0 = - 0,4$  mm a kvadrát středního rozdílu  $\Delta s_m^2 = 468$  mm<sup>2</sup>. Po odmocnění je střední rozdíl  $\Delta s_m = \pm 21,6$  mm.

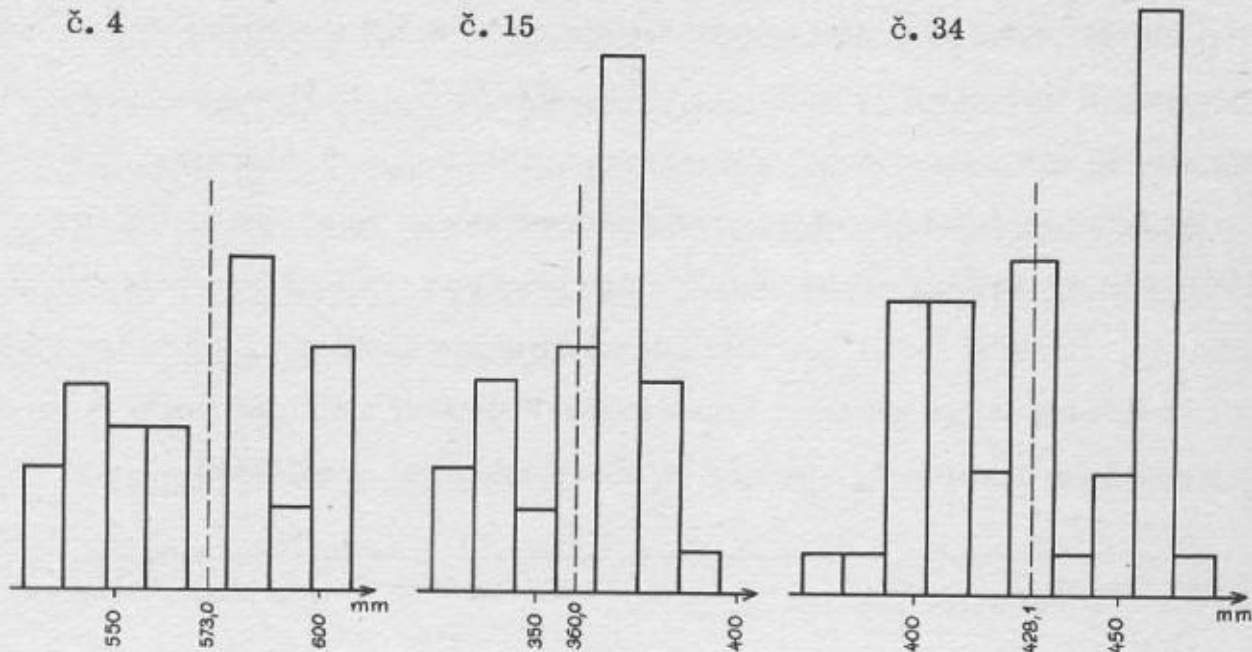
Součet kladných a záporných znamének dosvědčuje, že ve výsledcích získaných jednotlivými ústavami není patrný stálý systematický vliv. To také potvrzuje průměrný rozdíl  $\Delta s_0$ . Střední rozdíl  $\Delta s_m$  dosahuje relativně malé hodnoty, z čehož lze usuzovat, že v měření nejsou přítomny hrubší chyby. Průměrný a střední rozdíl je jen dílčím a neúplným ukazatelem dosažené přesnosti měřených vzdáleností.

## 2.2 Histogramy četnosti

Histogramy četnosti poskytují názorný přehled o vlastnostech souborů měřických sérií. K získání základních informací o kvalitě výsledků bylo sestaveno 37 histogramů četnosti, odpovídajících vždy výběrovým souborům všech měřických sérií u jednotlivých délek. Důležitým předpokladem je správný odhad základního délkového intervalu pro sestavení sloupců četnosti. Vzhledem k empirické hodnotě nejvhodnějšího počtu intervalů  $2\sqrt[3]{n}$ , průměrnému počtu všech měřických sérií jedné délky  $n=37$  a průměrnému rozptylu souborů byla zvolena šířka intervalů 10 mm.

Průměrné hodnoty délek  $S$  byly počítány pomocí obecných aritmetických průměrů  $/4, 7/, /4, 12/$ . V histogramech četnosti byly průměry  $S$  zvoleny vždy uprostřed intervalu.

Z histogramů četnosti je patrné, že v souborech měření se většinou vyskytují systematické chyby, které deformují ve značné míře předpokládaný průběh četností. Nejméně v polovině výběrových souborů se zřetelně projevují systematické chyby, které často vytvářejí dva anebo více vrcholů četnosti anebo dokonce dvě oddělené části histogramu. V některých dalších histogramech má skutečná četnost naprosto odlišnou tendenci než teoretická četnost. Porovnání teoretické a skutečné četnosti opět dokazuje přítomnost systematických vlivů. Příklady histogramů četnosti jsou uvedeny na obr. 1 pro výběrové soubory měřených délek č. 4, 15 a 34.



Obr. 1

2.3 Střední chyby  $m$  jednoho měření a  $m_j$  průměrů  $s_j$  z pozorovacích nocí

Základními kritérii dosažené přesnosti měření v jednotlivých pozorovacích nocích jsou střední chyby  $m$  jednoho měření /měřické série/, vypočtené z oprav  $v_i$  měření  $l_i$  vzhledem k prostému aritmetickému průměru  $s_j$  podle vzorce [1]

$$m^2 = \frac{[vv]}{n_j - 1} \quad , \quad (2,1)$$

kde  $n_j$  značí počet měřických sérií v jedné pozorovací noci.

Střední chyba  $m$  charakterizuje pouze vnitřní přesnost měření, protože zpravidla zahrnuje jen vliv nahodilých chyb  $\varepsilon_i$ . Systematické chyby nejsou v opravách  $v_i$  a středních chybách  $m_j$  aritmetických průměrů  $s_j$  buď vůbec obsaženy, protože během několika hodin nočního měření vzdálenosti nabývají téměř stálé velikosti, nebo jejich složky jsou menší než vliv nahodilých chyb. Proto jsou střední chyby jednoho měření, odvozené ze vztahu (2,1) malé. Ještě výrazněji se uvedené skutečnosti projevují ve středních chybách  $m_j$  aritmetických průměrů  $s_j$ , kde nabývají velice nízkých hodnot. Střední chyby  $m_j$  se počítají podle známého vzorce [1]

$$m_j = \frac{m}{\sqrt{n_j}} \equiv \sqrt{\frac{[vv]}{n_j^2 - n_j}} \quad . \quad (2,2)$$

Hodnoty všech středních chyb  $m$  a  $m_j$  byly vypočteny pro všechny pozorovací noci s počtem měřických sérií  $n_j = 2$  až 22, tedy celkem pro 176 nocí. Ve 4 pozorovacích nocích nemohly být obě chyby určeny, protože byla měřena pouze 1 měřická série. Sečteme-li kvadráty uvedených středních chyb z pozorovacích nocí všech vzdáleností měřených stejným dálkoměrem a dělíme-li součty celkovým počtem pozorovacích nocí, dostáváme kvadráty středních hodnot  $m_d^2$  a  $m_{j_d}^2$  pro každý dálkoměr. Odmocněním vypočteme střední hodnoty  $m_d$  střední chyby jedné měřické série a  $m_{j_d}$  střední chyby aritmetických průměrů  $s_j$ . Přibližnost výpočtu spočívá ve skutečnosti, že střední chyby jsou určovány z různého počtu měřických sérií. Vypočtené střední hodnoty středních chyb poskytují zajímavý materiál pro srovnání vnitřní přesnosti jednotlivých dálkoměrů a jsou uvedeny v tabulce 2,4.

Tabulka 2,4. Střední hodnoty  $m_d$  a  $m_{j_d}$  středních chyb jednoho měření /měřické série/ a aritmetických průměrů  $s_j$  pro každý světelný dálkoměr

Dálkoměr	Počet pozor. nocí	$[m^2]$	$[m_j^2]$	$m_d^2$	$m_{j_d}^2$	$m_d$	$m_{j_d}$
NASM 2A	63	4 355,6	602,0	69,1	9,6	8,3	3,1
EOS	69	1 862,8	266,7	27,0	3,9	5,2	2,0
EOD	11	15 173,2	2011,2	1379,4	182,9	37,1	13,5
6 6425	7	765,7	113,0	109,4	16,1	10,5	4,0
6 6316	14	2 306,8	286,1	164,8	20,4	12,8	4,5
6A 61044	5	197,6	26,0	39,5	5,2	6,3	2,3
6A 61222	6	296,4	46,5	49,4	7,8	7,0	2,8
AGA 8	1	61,2	12,2	61,2	12,2	7,8	3,5
$\Sigma$	176	25 019,3	3363,7				

I když střední hodnoty  $m_d$  střední chyby  $m$  jsou odvozeny u většiny dálkoměrů z malého počtu pozorovacích nocí, je patrná rozdílná vnitřní přesnost světelných dálkoměrů. Nejvyšší vnitřní přesnost vykazuje světelný dálkoměr EOS a nejnižší světelný dálkoměr EOD. Jak bude později prokázáno, vnější přesnost je prakticky u všech dálkoměrů podobná.

Z celkových součtů  $m^2$ ,  $m_j^2$  vypočteme konečné střední hodnoty  $m_o$ ,  $m_{j_o}$

$$m_o = \sqrt{\frac{25019}{176}} = \pm 11,9 \text{ mm},$$

$$m_{j_o} = \sqrt{\frac{3364}{176}} = \pm 4,4 \text{ mm}.$$
(2,3)

Střední hodnota  $m_o = \pm 11,9$  mm střední chyby jedné měřické série dokazuje, že vnitřní přesnost měřených délek je během pozorovacích nocí značně velká, podstatně větší než střední chyba metody měření. Tento závěr potvrzuje již několik let známou skutečnost, že konstrukce přesných světelných dálkoměrů je na tak vysoké úrovni, že dalšímu zvyšování přesnosti brání nízká přesnost znalosti vnějších fyzikálních podmínek.

Střední hodnota  $m_{j_o} = \pm 4,4$  mm je jen značně přibližným odhadem přesnosti vnitřních průměrů  $s_j$ . Spolehlivěji bychom odhadli střední hodnoty chyb  $m_{j_d}$  ze střední chyby  $m_o$  podle vztahu

$$m_{j_n} = \frac{m_o}{\sqrt{n_j}}.$$
(2,4)

Teoretickou přesnost očekávaných chyb  $m_{j_n}$  najdeme v tabulce 2,5.

Tabulka 2,5. Odhad střední hodnoty střední chyby  $m_{j_n}$  odvozené ze střední chyby  $m_o$ .

Počet sérií $n_j$	$m_o^2 : n_j$ (mm <sup>2</sup> )	$m_{j_n}$ (mm)
1	142,2	11,9
2	71,1	8,4
3	47,4	6,9
4	35,6	6,0
5	28,4	5,3
6	23,9	4,9
7	20,3	4,5
8	17,8	4,2
9	15,8	4,0
10	14,2	3,8
11	12,9	3,6
12	11,8	3,4
13	10,9	3,3
14	10,2	3,2
15	9,5	3,1
16	8,9	3,0
18	7,9	2,8
22	6,5	2,5

## 2.4 Střední chyby $M'_j$ délek $s_j$ a $M'_r$ průměrů $s'_r$

Očekávané střední chyby  $m_{j_d}$  průměrů  $s_j$  měřických sérií  $l_i$  v jednotlivých pozorovacích nocích postihují vesměs jen nahodilé chyby. Přesnost průměrů  $s_j$  je možno také odhadnout z jejich oprav  $v'_j$  vzhledem k průměrům  $s'_r$  vypočteným zvlášť pro každý dálkoměr. Hodnoty  $s'_r$  jsou počítány prostým aritmetickým průměrem z průměrů  $s_j$  podle vzorce (4,2).

Opravy

$$v'_j = s'_r - s_j \quad (2,5)$$

jsou tvořeny jak nahodilými chybami, tak systematickými složkami. Systematické vlivy jsou způsobeny stálými systematickými chybami  $c_j$  v jednotlivých pozorovacích nocích. Za různých meteorologických podmínek a dostatečného počtu pozorovacích nocí nabývají systematické chyby zčásti nahodilého charakteru. Je-li počet pozorovacích nocí malý, jako tomu bylo při měření vzdáleností pro základnu kosmické triangulace, vliv systematických chyb se sníží, ale jejich přítomnost se ještě stále zřetelně projevuje. Z tohoto důvodu mají střední chyby  $M'_j$  charakter dílčích úplných chyb, pro něž platí vztah

$$M_j'^2 = m_j^2 + c_j'^2, \quad (2,6)$$

kde

$$M'_j = \pm \sqrt{\frac{[v'_j v'_j]}{k_i - 1}}, \quad (2,7)$$

$c_j$  značí systematické složky úplné chyby  $M'_j$  a  $k_i$  je počet pozorovacích nocí jedním dálkoměrem.

Odhady středních chyb  $M'_r$  průměrů  $s'_r$  se počítají ze vzorce

$$M'_r = \pm \sqrt{\frac{[v'_j v'_j]}{k_i^2 - k_i}}. \quad (2,8)$$

Odhady středních chyb  $M'_j$ ,  $M'_r$  byly vypočteny pro všechny použité dálkoměry a pro všechny vzdálenosti měřené ve dvou až šesti pozorovacích nocích. Z uvedených chyb pak byly vypočteny jejich střední hodnoty  $M'_{j_d}$ ,  $M'_{r_d}$  pro všechny dálkoměry. Střední hodnoty jsou sestaveny v tabulce 2,6.



Tabulka 2,6. Odhad středních hodnot  $M'_{jd}$ ,  $M'_{rd}$  středních chyb  $M'_j$ ,  $M'_r$  pro jednotlivé světelné dálkoměry.

Světelný dálkoměr	Počet délek	$[M'_j{}^2]$	$[M'_r{}^2]$	$M'_{jd}$ (mm)	$M'_{rd}$ (mm)
NASM 2A	29	3595,2	1641,8	11,1	7,5
EOS	27	2442,2	951,6	9,5	5,9
EOD	4	1348,8	451,7	17,8	10,2
AGA 6 6425	3	112,2	51,2	6,1	4,1
AGA 6 6316	6	1146,1	564,3	13,8	9,7
AGA 6A 61044	2	30,6	15,3	3,9	2,8
AGA 6A 61222	3	33,5	15,0	3,3	2,2
$\Sigma$	74	8708,6	3690,9		

Z tabulky je zřejmé, že jen u dálkoměrů NASM 2A a EOS je odhad středních hodnot  $M'_{jd}$  do určité míry spolehlivý. U zbývajících dálkoměrů je počet měřených vzdáleností tak malý, že odhad je značně nejistý.

Z celkových součtů  $M_j'^2$ ,  $M_r'^2$  je možno vypočítat střední hodnoty chyb

$$M'_{j0} = \pm \sqrt{117,7} = \pm 10,8 \text{ mm}, \quad (2,9)$$

$$M'_{r0} = \pm 7,1 \text{ mm}.$$

Jestliže střední hodnoty  $M'_{jd}$ ,  $M'_{j0}$  jsou odhady středních chyb průměrů  $s_j$ , pak střední chyby  $M'_r$ ,  $M'_{r0}$  je třeba považovat jen za přibližné charakteristiky přesnosti aritmetických průměrů  $s'_r$ . Lepší odhad středních chyb  $M'_{r0}$  bychom získali ze střední chyby  $M'_j$  podle vztahu

$$M'_{r0} = \frac{M'_{j0}}{\sqrt{k_i}} \quad (2,10)$$

Přehled o očekávané velikosti střední chyby  $M'_{r0}$  dává tabulka 2,7.

Tabulka 2,7. Odhad střední chyby  $M'_{r0}$  průměrů  $s'_r$  vypočtených z měřené vzdálenosti stejným dálkoměrem (2,10).

Počet nocí $k_i$	$M'_{j0}{}^2 : k_i$ (mm <sup>2</sup> )	$M'_{r0}$ (mm)
1	117,7	10,8
2	58,8	7,7
3	39,2	6,3
4	29,4	5,4
5	23,5	4,9
6	19,6	4,4

Přítomnost systematických chyb vyplývá z porovnání úplných chyb  $M'_j$  s odpovídajícími chybami  $m_j(2,2), (2,7)$ . Pro všechny vzdálenosti a světelné dálkoměry byly určeny systematické složky  $c'_j$ . Střední kvadratická hodnota systematické chyby  $c'_{j_0}$  je vyjádřena hodnotou

$$c'_{j_0} = \pm \sqrt{113,8} = \pm 10,7 \text{ mm.} \quad (2,11)$$

## 2.5 Střední chyby $M''_j$ délek $s_j$ a $M_2$ průměrů $S_2$

Počítají-li se výsledné délky  $S_2$  prostým aritmetickým průměrem z průměrů  $s_j$ , odvozených zvlášť pro každý dálkoměr z průměrů pozorovacích nocí  $s_j$  podle vzorců (4,2), (4,1), můžeme vypočítat z oprav

$$v''_j = S_2 - s_j \quad (2,12)$$

střední chyby  $M_j$  jednoho průměru  $s_j$  a střední chyby  $M_2$  konečných délek  $S_2$ . Stejně jako v předcházející stati mají i střední chyby  $M'_j$  vlastnosti úplných chyb, takže je vyjádříme vztahem

$$M''_j{}^2 = m_j^2 + c''_j{}^2, \quad (2,13)$$

kde  $c''_j$  označuje dílčí souhrn systematických složek.

Střední chyby  $M''_j, M_2$  byly vypočteny pro všechny měřené vzdálenosti podle vzorců

$$M''_j = \sqrt{\frac{[v''_j v''_j]}{k_j - 1}}, \quad (2,14)$$

$$M_2 = \sqrt{\frac{[v''_j v''_j]}{k_j^2 - k_j}},$$

kde  $k_j$  značí počet všech pozorovacích nocí nebo odpovídající počet průměrů  $s_j$ .

Ze 37 měřených vzdáleností byly odvozeny střední kvadratické hodnoty  $M''_{j_0}, M_{2_0}$  střední chyby  $M_j$  a střední chyby  $M_2$  průměru  $S_2$ . Nebereme-li v úvahu rozdílný počet pozorovacích nocí použitých k zaměření každé vzdálenosti, dostaneme odhady uvedených chyb

$$M''_{j_0} = \pm 16,5 \text{ mm,} \quad (2,15)$$

$$M_{2_0} = \pm 7,4 \text{ mm.}$$

Spolehlivější odhad střední chyby  $M_{2j}$  získáme pomocí střední chyby  $M''_{j_0}$ :

$$M_{2j} = \frac{M''_{j_0}}{\sqrt{k_j}}. \quad (2,16)$$

Pro různý počet pozorovacích nocí  $k_j = 3$  až 8 vypočteme

$$M_{23} = \pm 9,5 \text{ mm},$$

$$M_{26} = \pm 6,8 \text{ mm},$$

$$M_{24} = \pm 8,3 \text{ mm},$$

$$M_{27} = \pm 6,2 \text{ mm},$$

$$M_{25} = \pm 7,4 \text{ mm},$$

$$M_{28} = \pm 5,8 \text{ mm}.$$

Porovnáme-li střední chybu  $M_{j_0}'' = \pm 16,5$  mm s odpovídající střední chybou  $M_{j_0}' = \pm 10,8$  mm vypočtenou v předcházející stati, zjišťujeme, že střední chyba  $M_{j_0}''$  je zatížena větší systematickou chybou než chyba  $M_{j_0}'$ . Systematická chyba  $c_j'$  úplných chyb  $M_j''$  aritmetických průměrů  $S_2$  je tedy tvořena jak systematickou složkou  $c_j'$ , zjištěnou z úplných chyb  $M_j''$  průměrů  $s_j$ , tak systematickou složkou  $c_2$ , uplatňující se jen u úplných chyb  $M_2$  průměrů  $S_2$ . Z této úvahy by mohlo být dedukováno, že systematická složka  $c_j'$  je způsobena systematickými vlivy spočívajícími v rozdílnosti dálkoměrů a jejich adičních konstant. Při hlubším rozboru výsledků měření docházíme k správnějšímu názoru, že systematická složka  $c_j'$  je tvořena pravděpodobněji systematickými složkami v určení meteorologických podmínek, především v teplotě. Teprve ve druhé řadě se uplatňují systematické vlivy z rozdílného určení konstant dálkoměrů, jiných přístrojových chyb, centračních prvků apod. Stejnými dálkoměry byly vzdálenosti zpravidla měřeny ve stejném časovém údobí, často jen během několika pozorovacích nocí jdoucích těsně za sebou nebo v odstupech dvou, tří dnů, takže meteorologické podmínky byly často podobné. Teprve při měření stejných vzdáleností různými dálkoměry i ústavy dochází k potřebnému střídání meteorologických podmínek. Mnoho vzdáleností bylo měřeno v různých ročních obdobích, dokonce i v jiných rocích.

Systematickou složku  $c_2$  vypočteme ze vztahu

$$c_2^2 = M_{j_0}''^2 - M_{j_0}'^2. \quad (2,17)$$

Po dosazení dostáváme

$$c_2 = \sqrt{155,7} = \pm 12,5 \text{ mm}. \quad (2,18)$$

## 2.6 Střední chyby $M$ jedné měřické série a průměrů $S_3$

Střední chyby  $M$  a  $M_3$  počítáme z oprav

$$V_i = S_3 - l_i, \quad (2,19)$$

kde  $S_3$  je výsledná délka odvozená prostým aritmetickým průměrem z průměrů  $s_r$  (4,3). Průměry  $s_r$  jsou vypočteny opět prostým aritmetickým průměrem ze všech měřických sérií  $l_i$  jedním dálkoměrem. Opravy  $V_i$  zahrnují také systematické složky, protože měření  $l_i$  jsou zatížena proměnlivými systematickými chybami, jejichž hodnota je teoreticky různá pro jednotlivé pozorovací noci. Úplné střední chyby  $M$  a  $M_3$  počítáme podle vztahů

$$\begin{aligned} M &= \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}}, \\ M_3 &= \sqrt{\frac{[VV]}{n^2-n}}. \end{aligned} \quad (2,20)$$

Střední chyby  $M$  a  $M_3$  byly vypočteny opět pro každou délku. Chyby  $M$  mají rozsah od  $\pm 7,5$  mm do  $\pm 54,4$  mm, podle toho, jakého vlivu dosahují systematické chyby. Ze součtu kvadrátů  $[M^2]$  a  $[M_3^2]$  byly odvozeny střední hodnoty  $M_0$  a  $M_{3_0}$  bez zřetele na počet měřických sérií

$$\begin{aligned} M_0 &= \pm \sqrt{365,6} = \pm 19,1 \text{ mm}, \\ M_{3_0} &= \pm \sqrt{10,3} = \pm 3,2 \text{ mm}. \end{aligned} \quad (2,21)$$

Z porovnání středních chyb  $M_0$  a  $M_{3_0}$  zjišťujeme, že přesnost jednotlivých měření /měřických sérií/ je jen o málo nižší než přesnost aritmetických průměrů  $s_j$ , vypočtených z jednotlivých pozorovacích nocí. Je to způsobeno především přítomností systematických chyb.

Ze středních chyb  $m_0$  a  $M_0$  vypočteme systematickou složku  $c_0$  podle vztahu

$$c_0^2 = M_0^2 - m_0^2, \quad (2,22)$$

takže bude

$$c_0 = \pm \sqrt{224,2} \doteq \pm 15,0 \text{ mm}. \quad (2,23)$$

Druhá střední chyba  $M_{3_0}$  nemá praktický význam, protože necharakterizuje ani vnitřní přesnost výsledných průměrů.

## 2.7 Střední chyby $M_s$ délek měřených jedním dálkoměrem a $M_x$ průměru $S_3$

Důležitou charakteristikou přesnosti jsou střední chyby  $M_s$  průměrů  $s_r$  vypočtených z měření jedním dálkoměrem a střední chyby  $M_x$  výsledných délek  $S_3$  odvozených opět prostým aritmetickým průměrem z průměrů  $s_r$  (4,3). K výpočtu chyby  $M_s$  a  $M_x$  byly tentokrát použity rozdíly  $\Delta s$  průměrů  $s_r$  pro délky zaměřené jen dvěma dálkoměry, nebo opravy

$$v_d = S_3 - s_r \quad (2,24)$$

jednotlivých průměrů  $s_r$  vůči průměru  $S_3$ .

Střední chyby  $M_s, M_x$  nejsou vhodnými kritérii přesnosti měřených délek, protože byly získány jen z dvojice nebo trojice průměrů  $s_r$ . Spolehlivější charakteristikou přesnosti jsou střední hodnoty  $M_{s_0}, M_{x_0}$  vypočtené ze všech 37 délek:

$$\begin{aligned} M_{s_0} &= \pm 16,7 \text{ mm,} \\ M_{x_0} &= \pm 11,3 \text{ mm.} \end{aligned} \quad (2,25)$$

Základním kritériem přesnosti je střední chyba  $M_{s_0}$ , vyjadřující přesnost průměrů  $s_r$  vypočtených z měření jedním dálkoměrem. Porovnáme-li střední chybu  $M_{s_0}$  s chybami odvozenými v předcházejících dvou statích, zjišťujeme, že je prakticky shodná se střední chybou  $M_{j_0}$  průměrů délek  $s_j$ , vypočtenou z oprav  $v_j$  ( $= S_2 - s_j$ ). Střední chyby  $M_{s_0}, M_0, M_{j_0}$  zřetelně prokazují, že systematické části uvedených chyb jsou nutně větší než nahodilé složky.

### 3. Zdroje systematických chyb

Rozbor různých druhů středních chyb potvrdil, že měření delších vzdáleností je v jednotlivých pozorovacích nocích zatíženo systematickými chybami, které zpravidla nepřesahují střední chyby metody měření délek, ale které jsou často větší než vnitřní přesnost měření. Tato skutečnost je dnes všeobecně známá a jsou proto hledány cesty ke snížení relativně velkých systematických chyb v úplných chybách.

Při přesném měření vzdáleností světelnými dálkoměry lze uvažovat prakticky dva hlavní zdroje systematických chyb. V první řadě vznikají systematické chyby v určování středních hodnot meteorologických prvků, především teploty a tlaku vzduchu [6] a v druhé řadě bývají zdrojem systematických chyb v jednotlivých pozorovacích nocích nepřesně určené centrační prvky, výšky stanic, konstanty dálkoměrů apod.

K hledání systematických vlivů ve výběrovém souboru 37 délek byly vybrány tyto veličiny a podmínky: absolutní teplota, teplotní výškový stupeň, rozdíl mezi maximální teplotou během odpoledne před měřením a teplotou při měření, stavy izotermie a teplotné inverze, výška dálkoměrů a odrazných systémů od povrchu terénu nebo objektu, absolutní barometrický tlak, barometrický výškový stupeň, absolutní index lomu, síla větru, profil terénu, střední výška záměry nad terénem, převýšení koncových bodů a časový průběh rozdílů délek měřených dvojicemi dálkoměrů. Zkoumání zdrojů

systematických chyb bylo rozděleno do čtyř oblastí. Nejdříve byly hledány závislosti výsledků měřických sérií  $l_i$  v jednotlivých pozorovacích nocích na teplotě a jiných meteorologických veličinách. Pak byla věnována pozornost závislostem průměrů pozorovacích nocí  $s_j$  převážně na meteorologických podmínkách. Podobné závislosti byly zkoumány i u průměrů délek vypočtených pro jednotlivé dálkoměry. Nakonec byla zjišťována závislost rozdílů délek  $\Delta s$  získaných dvojicemi dálkoměrů na různých faktorech. Naprostá většina zkoumaných závislostí byla negativní, anebo se neprojevila u relativně malého výběrového souboru 37 délek. Z tohoto důvodu budou dále uvedeny jen jasně patrné a prokázané korelace.

a/ Korelace mezi střední teplotou vzduchu a výsledky měření se zřetelně projevily v řadě pozorovacích nocí. Nejdříve bylo otestováno 16 pozorovacích nocí se zvláště patrným jednoznačným chodem výsledků měřických sérií. V 11 nocích byla shodná tendence výsledků měření s tendencí teploty, jen ve dvou nocích byla tendence opačná a ve třech nocích nebyla tendence teploty patrná. Ještě výraznější závislost byla zjištěna při deformacích výsledků měření /pokles nebo vzrůst/ na počátku nebo na konci noci na teplotě. Celkem je ze 30 pozorovacích nocí se zřetelnou deformací výsledků ve 23 nocích deformace shodná s tendencí teploty, v 6 nocích nelze tendenci teploty určit /teplota je téměř konstantní/ a jen v jedné noci má tendence teploty opačný průběh.

Funkční vztah zjištěné korelace nelze spolehlivě určit vzhledem k omezenému počtu pozorovacích nocí, ve kterých lze závislost sledovat. Ze vzorců pro fyzikální redukci délek [12] vyplývá, že kladná chyba vzdálenosti je způsobena kladnou chybou v určení střední teploty.

b/ Měřené meteorologické údaje byly posouzeny hydrometeorologickými ústavy v Praze a Bratislavě. Oba ústavy shledaly chyby ve středních teplotách vzduchu celkem v 54, tj. 32,3% ze 167 pozorovacích nocí. V naprosté většině, tj. v 48 nocích byly naměřené teploty vyšší v rozmezí 1 °C až 3 °C. Pouze v 6 pozorovacích nocích byly měřené teploty nižší. Přesnost posouzení teplot je udávána hodnotou  $\pm 1$  °C. Zpravidla jde o vyzařování teploty povrchem terénu a objekty, které se zvláště projevuje při malých výškách přístrojů postavených na stativu nebo na zděných pilířích.

S malou výškou jedné nebo obou stanic byly měřeny vzdálenosti ve 125 pozorovacích nocích /69,4%/. Ve 22 pozorovacích nocích /12,2%/ byly malé výšky stanic

na obou koncových bodech a ve 103 nocích /57,2%/ byla malá výška jen jedné stanice.

Porovnáme-li údaje hydrometeorologických ústavů s výškami stanic v pozorovacích nocích, zjišťujeme ve 37 nocích /68,5%/ shodu chybně určených středních teplot vzduchu s měřením teplot v přízemních vrstvách vzduchu, kde jedna nebo obě stanice byly ve výškách 0,26 m až 1,81 m nad terénem nebo zděnými objekty. Pouze v 17 nocích /31,5%/ byly podle hydrometeorologických ústavů naměřeny nepřesné teploty u vzdáleností, kdy výška obou stanic byla dostatečně vysoko nad terénem.

Na základě posouzení měřených teplot hydrometeorologickými ústavu je možno vyslovit závěr, že řada středních teplot, vypočtených z měření na koncových bodech, je zatížena systematickými chybami, zpravidla kladnými.

c/ Průběh indexů lomu vzduchu  $N$  a velikost průměrů  $s_j$  pozorovacích nocí zvláště pro každý dálkoměr byly porovnány v 75 případech. Z toho ve 22 případech /29,3%/ byla tendence shodná, ve 40 případech /53,3%/ opačná a ve 13 případech /17,3%/ nebylo možno průběh jednoznačně porovnat. Lze předpokládat, že systematicky vyšší teploty ve 48 pozorovacích nocích mají i vliv na zvýšený počet případů s opačným průběhem indexu lomu vzduchu  $N$  a se stejným průběhem průměrů vzdáleností  $s_j$ .

d/ Další systematický vliv byl nalezen při chronologickém uspořádání rozdílů délek  $\Delta s$  zaměřených dvojicemi dálkoměrů. U světelného dálkoměru EOS je patrný systematický vliv na počátku a konci měření; prvních sedm rozdílů délek v roce 1969 je systematicky záporných, kdežto posledních sedm rozdílů v roce 1971 je systematicky kladných. I když je zřetelně narušena posloupnost znamének rozdílů  $\Delta s$ , nelze zatím jednoznačně určit, který z celé řady systematických rozdílů je příčinou tohoto jevu.

#### 4. Výpočet měřených vzdáleností

Měřené vzdálenosti byly předběžně počítány prostými aritmetickými průměry. Nejprve byly vypočteny aritmetické průměry  $s_r$  ze všech sérií  $l_i$  měřených stejným dálkoměrem a výsledná délka byla opět určena prostým průměrem ze dvou nebo tří průměrů  $s_r$  (4, 3). Uvedený způsob výpočtu předpokládal, že každým dálkoměrem bylo měřeno ve 2 pozorovacích nocích po 8 sériích. Tento předpoklad však nemohl být dodržen vzhledem k obtížným pozorovacím podmínkám.

Při různém množství měřických sérií /1 až 22/ a různém počtu pozorovacích nocí /3 až 8/ pro každou vzdálenost je možno použít k výpočtu vyrovnané délky řadu přibližných způsobů. Základní přibližné metody výpočtu výsledné délky  $S_i$  shrneme do šesti skupin a uvedeme vztahy, podle nichž se počítají

$$a/ \quad s_j = \frac{\sum l_i}{n_j}, \quad S_1 = \frac{\sum s_j}{k_j}, \quad (4,1)$$

$$b/ \quad s'_r = \frac{\sum i s_j}{k_i}, \quad S_2 = \frac{\sum s'_r}{r}, \quad (4,2)$$

$$c/ \quad s_r = \frac{\sum l_i}{n_r}, \quad S_3 = \frac{\sum s_r}{r}, \quad (4,3)$$

$$d/ \quad S_4 = \frac{\sum l_i}{n}, \quad (4,4)$$

$$e/ \quad S_5 = \frac{[\rho_j s_j]}{[\rho_j]}, \quad (4,5)$$

$$f/ \quad S_6 = \frac{[\rho_r s_r]}{[\rho_r]}. \quad (4,6)$$

Ve vzorcích značí:

$l_i$  - výsledek měřické série,

$s_j$  - aritmetický průměr pozorovacích nocí,

$s'_r$  - aritmetický průměr z průměrů  $i s_j$  pro jeden světelný dálkoměr,

$s_r$  - aritmetický průměr ze sérií  $l_i$  měřených jedním dálkoměrem,

$n$  - počet všech sérií  $l_i$  zaměřených všemi dálkoměry,

$n_j$  - počet sérií  $l_i$  zaměřených během pozorovacích nocí,

$k_j$  - počet všech pozorovacích nocí,

$k_i$  - počet pozorovacích nocí při měření jedním dálkoměrem,

$r$  - počet použitých dálkoměrů,

$\rho_j$  - váha aritmetického průměru  $s_j$ ,

$\rho_r$  - váha aritmetického průměru  $s_r$ .

Výpočet délky  $S_1$  (4,1) je vhodný pro snížení systematických chyb  $c_j$ , kterými jsou zatíženy průměry  $s_j$ . Počet  $n_j$  měřických sérií  $l_i$  v pozorovacích nocích má být přibližně stejný.

Metodika výpočtu délky  $S_2$  (4,2) je vytvořena pro měření vzdáleností dvěma nebo více dálkoměry, kdy systematické chyby jednotlivých dálkoměrů mají převládající velikost.

Použití vzorců (4,3) pro určení délky  $S_3$  je výhodné jen pro takové případy



měření vzdáleností, kdy jsou konstantní jak počty  $n_j$  měřických sérií v pozorovacích nocích, tak počty  $k_i$  pozorovacích nocí jednotlivými dálkoměry.

Vzorec (4,4) má spíše teoretický význam, protože platí přesně za předpokladu, že v měřeních nejsou přítomny systematické chyby.

Poslední dva vztahy (4,5), (4,6) pro výpočet délek  $S_5$  a  $S_6$  jsou určeny pro různé počty  $n_j$  měřických sérií v pozorovacích nocích a pro různé počty  $k_i$  pozorovacích nocí jednotlivými dálkoměry. K správnému použití obou vzorců je třeba s dostatečnou spolehlivostí odhadnout váhy  $\rho_j$  a  $\rho_r$ .

Protože vnitřní přesnost měřených délek značně převyšuje vnější přesnost, byla vypracována zvláštní metoda výpočtu výsledných délek  $S$  postupnými obecnými aritmetickými průměry.

Nejprve se vypočtou délky  $s_n$  z průměrů  $s_j$  pozorovacích nocí se stejným dálkoměrem podle vzorce

$$s_n = \frac{[\rho_n s_j]}{[\rho_n]}, \quad (4,7)$$

kde váhy  $\rho_n$  se odvozují pomocí vztahu

$$\rho_n = \frac{k'}{m_{j_n}^2 + c'^2}. \quad (4,8)$$

Jmenovatel vzorce je kvadrátem úplné střední chyby  $M'_{j_n}$

$$M_{j_n}'^2 = m_{j_n}^2 + c'^2, \quad (4,9)$$

přičemž  $m_{j_n}$  je odhad střední chyby aritmetického průměru  $s_j$  pro různý počet  $n_j$  měřických sérií [(2,4), tabulka 2,5] a  $c'$  je systematickou složkou úplné střední chyby  $M'_{j_n}$  (4,9).

Pro předepsaný počet měřických sérií v jedné pozorovací noci  $n_j = 8$  bude (2,4)

$$m_{j(8)}^2 = \frac{m_0^2}{8} = 17,8 \text{ mm}^2.$$

Protože  $M_{j_0}'^2 = 117,7 \text{ mm}^2$  (2,9), je

$$c'^2 = 99,9 \text{ mm}^2. \quad (4,10)$$

Kvadrát systematické chyby  $c'$  je přibližně 5,6 krát větší než kvadrát střední chyby  $m_{j(8)}$ .

Zvolíme-li ve vzorci (4,8)

$$k' = m_{j(8)}'^2 + c'^2, \quad (4,11)$$

bude váha  $\rho_{(8)}$  průměru  $s_{(8)}$  pro počet sérií  $n_j = 8$  rovna jedné. Zbývající váhy  $\rho_n$  pro  $n_j = 1$  až 22 určíme v tabulce 4,1.

Tabulka 4,1. Váhy  $\rho_n$  pro výpočet obecného aritmetického průměru délky  $s_n$  měřené jedním dálkoměrem podle vztahů (4,7), (4,8).

Početní měření $n_j$	$8:n_j$	$m_{j_n}^2 + c'^2$	$6,6:(m_{j_n}^2 + c'^2)$	Zaokrouhlené váhy $\rho_n$
1	8,000	13,600	0,485	0,5
2	4,000	9,600	0,688	0,7
3	2,666	8,266	0,798	0,8
4	2,000	7,600	0,868	0,9
5	1,600	7,200	0,917	0,9
6	1,333	6,933	0,952	1,0
7	1,143	6,743	0,979	1,0
8	1,000	6,600	1,000	1,0
9	0,888	6,488	1,017	1,0
10	0,800	6,400	1,031	1,0
11	0,727	6,327	1,043	1,0
12	0,666	6,266	1,053	1,1
13	0,615	6,215	1,062	1,1
14	0,571	6,171	1,071	1,1
16	0,500	6,100	1,082	1,1
18	0,444	6,044	1,092	1,1
22	0,364	5,964	1,107	1,1

Výsledné délky  $S$  odvodíme opět aritmetickým průměrem

$$S = \frac{[\rho'_n s_n]}{[\rho'_n]}, \quad (4,12)$$

kde  $\rho'_n$  jsou váhy průměrů  $s_n$ .

Váhy  $\rho'_n$  určíme podobně jako váhy  $\rho_n$  ze vztahu

$$\rho'_n = \frac{k''}{m_{s_k}^2 + c''^2}, \quad (4,13)$$

kde  $m_{s_k}$  značí střední chybu aritmetického průměru  $s_n$ , odvozeného z  $k_i$  pozorovacích nocí a  $c''$  systematickou složku úplné střední chyby  $M_s$  průměru  $s_n$ .

Střední chyby  $m_{s_k}$  ve vzorci (4,13) jsou závislé na počtu pozorovacích nocí  $k_i$ , v nichž byla vzdálenost měřena stejným dálkoměrem. Střední chybu  $m_{s_k}$  průměru  $s_n$  pro různý počet pozorovacích nocí stejným dálkoměrem je možno odhadnout pomocí střední hodnoty  $M'_{j_0}$  středních chyb  $M'_j$ , které charakterizují rozptyl průměrů  $s_j$  /v jednotlivých pozorovacích nocích/ vzhledem k průměrům  $s'_r$  /pro jednotlivé dálkoměry/.

$$m_{s_k}^2 = \frac{M'_{j_0}}{k_i} \quad (4,14)$$

Pro předepsaný počet pozorovacích nocí každým dálkoměrem  $k_i = 2$  dostáváme (2,9)

$$m_{s_{(2)}}^2 = \frac{117,7}{2} = 58,8 \text{ mm}^2. \quad (4,15)$$

Střední chybu  $m_{s_{(2)}}$  průměrů  $s'_r$  porovnáme s odpovídající střední hodnotou úplné střední chyby  $M_{s_0}$  (2,25), odvozenou z rozdílů délek  $\Delta s$  nebo oprav  $v_d$  (2,24). Úplná střední chyba  $M_{s_0}$  je vyjádřena vztahem

$$M_{s_0}^2 = m_{s_{(2)}}^2 + c''^2, \quad (4,16)$$

kde  $c''$  označuje systematickou složku.

Po dosazení vypočteme (2,25), (4,15)

$$c''^2 = 280,2 - 58,8 = 221,4 \text{ mm}^2. \quad (4,17)$$

Kvadrát systematické chyby  $c''$  je přibližně 3,8krát větší než kvadrát střední chyby  $m_{s_{(2)}}$ . Zvolíme-li konstantu  $k''$  v rovnici (4,13)

$$k'' = m_{s_{(2)}}^2 + c''^2, \quad (4,18)$$

bude váha  $\rho'_n$  průměru  $s_n$  odvozeného ze dvou pozorovacích nocí rovna jedné. Váhy pro jiné počty pozorovacích nocí  $k_i$  jsou uvedeny v tabulce 4,2.

Tabulka 4,2. Váhy  $\rho'_n$  pro výpočet výsledných délek  $S$  obecným aritmetickým průměrem (4,13).

Počet nocí $k_i$	$2:k_i$	$m_{s_k}^2 + c''^2$	$4,8:(m_{s_k}^2 + c''^2)$	Zaokrouhlené váhy $\rho'_n$
1	2,000	5,800	0,828	0,8
2	1,000	4,800	1,000	1,0
3	0,666	4,466	1,075	1,1
4	0,500	4,300	1,116	1,1
5	0,400	4,200	1,143	1,1
6	0,333	4,133	1,161	1,2

Odvozená přibližná metoda výpočtu délek  $S$  obecnými aritmetickými průměry, kdy váhy jsou závislé jak na počtu měřických nocí, tak na počtu použitých dálkoměrů, je vhodná ke konečnému zpracování délek měřených v ZKT i v AGS. Několikaletá praxe měření větších vzdáleností světelnými dálkoměry na území ČSSR prokázala, že meteorologické podmínky nedovolují měřit konstantní počet sérií v pozorovacích nocích. Často se vyskytují zcela rozdílné počty měřických sérií v pozorovacích nocích a v důsledku toho se také mění počet pozorovacích nocí.

#### 5. Možnosti zvýšení kvality přesného měření dlouhých vzdáleností

Z několikaletého měření velkých vzdáleností přesnými světelnými dálkoměry v československém úseku ZKT byly získány cenné zkušenosti, jejichž zobecněním a spojením se zkušenostmi a výzkumy v zahraničí je možno stanovit hlavní zásady ke zkvalitnění měřických prací a dosažení vyšší vnější přesnosti výsledků.

Vyjmenujme hlavní klady a zjištěné nedostatky, které se objevily při měření vzdáleností anebo při analýze výsledků měření a uveďme zásady, které vedou ke zvýšení jakosti měřických prací.

a/ Měření každé vzdálenosti alespoň dvěma dálkoměry a různými ústavy zabezpečovalo nezávislost měření a značné snížení možných systematických chyb. Vzhledem k časové náročnosti úkolu a špatným podmínkám přímé viditelnosti bylo často měřeno stejným dálkoměrem ve dvou po sobě následujících nocích nebo za přibližně stejných meteorologických podmínek. Vnější přesnost by bylo možno zvýšit výběrem pozorovacích nocí s různými meteorologickými podmínkami i pro stejný typ světelného dálkoměru a stejnou obsluhu přístrojů.

b/ Vnější přesnost vypočtených délek je závislá na velikosti systematických chyb středního indexu lomu, převážně na systematické chybě ze střední teploty vzduchu. Měření teploty je možno zlepšit a dosáhnout jeho vyšší přesnosti několika cestami. K dosažení vyšší spolehlivosti měření je třeba vybrat vhodné podmínky, nejlépe ve spolupráci s hydrometeorologickými ústavy. Za optimální podmínky počasí je možno považovat vítr, který promíchává vzduchové vrstvy, a oblačné počasí /souvislá vrstva mraků/. Za nevhodné počasí lze považovat např. kupovitou oblačnost a bouřkové počasí v letním období apod., kdy izotermické plochy vzduchu mají zcela nepravidelný průběh.

Nevhodné podmínky k měření vzdáleností jsou za bezvětří, zvláště v letních měsících.

V této souvislosti je třeba upozornit na nutnost vhodného výběru pozorovací doby u laserových dálkoměrů AGA 8 a Kvarc, kterými je možno měřit prakticky v kteroukoliv denní a noční dobu. Při nasazení laserových dálkoměrů je již nutné úzce spolupracovat s hydrometeorologickými ústavy a ověřovat si optimální výběr pozorovací doby jak před měřením, tak i znovu po skončení měřických prací. Ve spolupráci s hydrometeorologickými ústavy je třeba kontrolovat měření teploty, tlaku vzduchu a objektivně posoudit charakter počasí.

Stanoviska dálkoměrů i odrazných systémů je třeba volit zásadně ve vyšší výšce nad terénem a nad zděnými objekty. Jinak dochází k vyzařování teploty ve večerních hodinách povrchem země a naměřené teploty na koncových bodech mohou být až o několik stupňů vyšší.

c/ Značnou pozornost je třeba věnovat technologii měření meteorologických veličin a komparaci měřidel. Při odečítání teplot je třeba vyloučit osobní vlivy a chyby. Zjištění vlivu vyzařování země lze někdy zjistit měřením teplot ve 2 až 3 různých výškách na obou koncích měřené vzdálenosti. Velkou péči je třeba věnovat i měření tlaku vzduchu pomocí aneroidů. Mělo by být pravidlem, že na každém stanovišti dálkoměru a odrazného systému se používá k určení tlaku vzduchu souprava 2 aneroidů s jedním aneroidem záložním.

d/ Pokud se v měření nevyskytují omyly nebo hrubé chyby, nemá se vylučovat žádná měřická série ze souboru výsledků. Větší rozptyl měřických výsledků není důkazem špatného měření. Jestliže existují pochybnosti o kvalitě a spolehlivosti měření, je vhodnější rozšířit počet měřických sérií a teprve po podrobném početním zpracování všech výsledků a rozboru rozhodnout o jejich použitelnosti. V praxi dochází zejména k úvahám, zda pozorovací noci jen s jedním nebo se dvěma měřickými sériemi mají být začleněny do měřického elaborátu nebo z něho vyloučeny. Chybový rozbor dokázal, že začlenění takových pozorovacích nocí do výběrového souboru je vhodné a žádoucí, protože vede ke snížení systematických chyb výsledných průměrů. Podmínkou ovšem je dodržení předepsané metodiky a technologie měření.

e/ Při měření dvěma různými světelnými dálkoměry je třeba dodržovat zásadu, aby druhým dálkoměrem se měřily vzdálenosti za zcela odlišných podmínek, nejlépe až po několika měsících, nebo alespoň v odlišném ročním období.

f/ Se stoupající přesností dálkoměrů je třeba věnovat větší pozornost i přesnému určování adiční konstanty a kalibraci fázoměrné stupnice. Metodika měření obou parametrů je dostatečně známá. V této souvislosti vystupuje do popředí otázka, zda srovnávací základna ve Hvězdě zůstává vzhledem ke svému profilu vhodnou základnou pro přesnější laserové dálkoměry.

V uvedených bodech byly vyznačeny hlavní cesty ke zvýšení kvality a přesnosti měřených vzdáleností. Ve výčtu nebyly opakovány již známé a dodržované zásady metodiky a technologie měření.

## 6. Závěr

Střední chyby nebo váhy dlouhých vzdáleností měřených světelnými dálkoměry je možno určit několika různými cestami. Nejspolehlivějším způsobem je stanovení přesnosti z dlouhodobých pozorování vzdáleností, které jsou známy s vyšší přesností než je přesnost zkoumaných světelných dálkoměrů. Dostatečně dlouhé srovnávací základny však nejsou v ČSSR k dispozici a zpravidla ani v jiných státech.

Všechny ostatní metody stanovení středních chyb vzdáleností nejsou již tak spolehlivé, protože nezahrnují všechny složky systematických chyb. V praxi jsme nuceni volit k odhadu přesnosti některý z přibližných způsobů. Střední chyby se obvykle odvozují ze statistického vyhodnocení vybraných vzdáleností zaměřovaných ve velkém počtu sérií a za různých podmínek, z vyrovnání vhodně zvolené délkové sítě s množstvím nadbytečně měřených délek nebo z testovacích sítí různého druhu, kde jsou měřeny i úhly nebo směry jako další nadbytečné veličiny. Jinou možností je stanovení úplné střední chyby metody měření vzdáleností z jednotlivých dílčích chyb nahodilého i systematického charakteru. Určení přesnosti měření dlouhých vzdáleností se ještě komplikuje skutečností, že střední chyby jsou do určité míry závislé na klimatických a geografických podmínkách. Různý charakter krajiny a podnebí nebo mikroklimatu, zeměpisné polohy apod. má vliv na vytváření různých typů tzv. atmosférických modelů. V důsledku toho nemusí být shodná přesnost vzdáleností měřených v různých typech území.

Při hledání nejvhodnějšího způsobu odhadu vnější přesnosti měřených vzdáleností byly zvažovány reálné možnosti, které by vedly k zjištění úplných středních chyb.

Největší pozornost byla věnována určování dílčích systematických chyb a především zjišťování jejich zdrojů. Podrobný rozbor prokázal ve shodě se zahraničními výzkumy, že hlavním zdrojem systematických chyb je nepřesné stanovení indexu lomu, což bývá důsledkem především nesprávně určené střední teploty vzduchu. Hydrometeorologické ústavy v Praze a v Bratislavě shledaly v mnoha pozorovacích nocích systematické, převážně kladné chyby ve středních teplotách vzduchu.

Chybový rozbor prokázal velké hodnoty dílčích systematických chyb. Vnitřní přesnost měřických sérií je dána hodnotou  $\pm 11,9$  mm a očekávaná střední chyba  $m_j$  aritmetického průměru  $s_j$  z osmi měřických sérií je  $\pm 4,2$  mm. Úplné střední chyby zahrnující systematické chyby jsou značně vyšší; např. úplné střední chyby  $M_j', M_j''$  aritmetických průměrů  $s_j$  dosahují již středních hodnot  $M_{j_o}' = \pm 10,8$  mm,  $M_{j_o}'' = \pm 16,5$  mm. Názorně a jednoznačně prokazují přítomnost větších systematických chyb histogramy četnosti.

Při hledání zdrojů systematických chyb byla prokázána závislost výsledků měřických sérií  $l_i$  na střední teplotě  $t_o$ , i když 37 délek tvoří příliš malý výběrový soubor pro testování různých korelací.

V letech 1969 a 1971 se projevil jednostranné systematické vlivy u světelného dálkoměru EOS při chronologickém srovnávání výsledných průměrů dosažených tímto dálkoměrem s obdobnými průměry druhého světelného dálkoměru.

K určení vnější přesnosti délek měřených pro ZKT bylo použito odhadu hlavních systematických a nahodilých složek tvořících úplnou střední chybu. Pro průměrnou délku 16 396 m měřenou na ZKT byla odhadnuta střední chyba  $m_{d_o} = \pm 19$  mm a odhad úplné střední chyby vypočtené průměrné délky AGS 40 178 m je  $M_{d_o} = \pm 49$  mm. Obě úplné střední chyby jsou určeny jen přibližně. Přesto není ještě dnes možné použít dokonalejšího způsobu určení vnější přesnosti určovaných délek AGS.

Postupné shromažďování výsledků umožnilo sledovat kvalitu měření a odhalovat některé omyly nebo chyby. Tak např. byly zjištěny systematické chyby v měření tlaku vzduchu u vzdáleností č. 21 v pozorovacích nocích 14.6.1971, 21.6.1971, 30.6.1971, 23.6.1971, 24.6.1971 a 1.7.1971 při měření světelným dálkoměrem EOS. Podobně byly nalezeny nesouhlasy v zařazení některých měřických sérií délek č. 6, 12, 15, 17, 21 a 28. Tyto závady byly dne 9.10. 1973 oznámeny koordináční komisi.

Podrobný rozbor přesnosti vedl k odhadu středních chyb měřených vzdáleností

a odvozených délek stran AGS. Dokud nebude stanovena spolehlivější hodnota úplných středních chyb, doporučuji ji použít pro mezinárodní vyrovnání JAGS v Moskvě, popřípadě i při jiných vyrovnáních celostátního charakteru, a to jako společnou úplnou střední chybu pro všechny odvozené délky AGS.

Rozbor přesnosti umožnil připravit návrh přibližné metody výpočtu a vyrovnání měřených vzdáleností obecným aritmetickým průměrem. Metodika výpočtu byla schválena na jaře r. 1973 a znovu potvrzena koordinační komisí v říjnu téhož roku. Návrh výpočtu a vyrovnání byl také v témže roce předán na poradě v Moskvě zúčastněným zástupcům geodetických služeb socialistických států. Metodika výpočtu a vyrovnání měřených vzdáleností nebyla součástí výzkumného úkolu XXV-C-1 a byla zpracována z praktické potřeby kvalitního zpracování různorodých měřických výsledků.

V roce 1974 je třeba zabezpečit analýzu přesnosti délek zvolených stran AGS. Vzhledem k tomu, že se již přímo měří celé délky stran AGS laserovými dálkoměry, je možno očekávat jinou výslednou přesnost měřených vzdáleností.

V závěru je třeba poděkovat jak pracovníkům MNO GŠ/TO, ČÚGK, SÚGK, tak především pracovníkům GÚ Praha, GÚ Bratislava a VTOPÚ Dobruška, kteří mně vycházeli všemožně vstříc ve všech požadavcích v zabezpečení výzkumu rozboru přesnosti, umožnili mně přístup ke všem potřebným měřickým materiálům a věnovali mně potřebný čas při konzultacích a informacích, týkajících se praktického měření vzdáleností.

Došlo 28.2.1974.

#### LITERATURA

- [1] Böhm J.: Vyrovnávací počet. Praha 1964
- [2] Cimbálník M.: K základně kosmické triangulace. Výzkumná zpráva č. 315. Praha 1968
- [3] Delong B.: Studie o měření základen triangulace. Výzkumná zpráva č. 200. Praha 1966
- [4] Eger R.: Einsatz des EOS für die Messung langer Strecken. Berlin 1970



- [5] Filip R.: Studie vlivu náhodných a systematických chyb při měření základny kosmické triangulace. Diplomová práce, Brno 1970
- [6] Jordan, Eggert, Kneissl: Handbuch der Vermessungskunde, VI. díl, Stuttgart 1966
- [7] Krauter A.: Laboratorische Versuche zur Ermittlung des durchschnittlichen Brechungskoeffizienten mittels Dispersionsverfahrens. Budapest 1970
- [8] Provorov K.L.: Radiogeodezija. Moskva 1965
- [9] Veličko V.A., Genike A.A., Lobačev V.M., Pultorak V.K.: Fazovyje sposoby izmerenija rasstojanij v geodeziji. Moskva 1963
- [10] Vykutil J.: Vyrovnávací počet. Brno 1964
- [11] Zschiesche K.: Opyt opredělenija i učeta instrumentalnych ošibok svetodalnomena EOS. Varšava 1970
- [12] Nevosád Z.: Rádiové a světelné dálkoměry, I. a II. díl. Brno 1968 a 1969
- [13] Nevosád Z., Fixel J.: Úvodní zpráva k výzkumnému úkolu X-C-1. Nové vyrovnání Jednotné astronomicko-geodetické sítě /JAGS/. Brno 1970
- [14] Nevosád Z.: Základna kosmické triangulace a její význam pro astronomicko-geodetickou síť. Vojenský topografický obzor 1971, č. 1
- [15] Nevosád Z.: Dílčí zpráva k výzkumnému úkolu HÚ XXV-C-1: Nové vyrovnání Jednotné astronomicko-geodetické sítě /JAGS/. Délky měřené elektronickými dálkoměry v ZKT a jejich přesnost. Brno 1971

## Tížnicové odchylky na území ČSSR v geocentrickém souřadnicovém systému

### 1. Úvod

V [1] jsou popsány práce, jak byly na území ČSSR s použitím astronomicko-geodetických a tíhových údajů vytvořeny mapy složek tížnicových odchylek v geodetickém referenčním systému S-42, tj. vzhledem k elipsoidu Krasovského s orientací ve výchozím bodu Pulkovo z r. 1942 [2,3]. Mapy byly vyhotoveny v měřítku 1:500 000 a 1:1 000 000. Diskrétní hodnoty, z nichž byly izočáry tvořeny, jsou rozmístěny ve vrcholech elementů  $10' \times 15'$  a v jejich středních bodech /celkem 742 body/. Jejich přesnost lze pro celé území ČSSR charakterizovat střední chybou asi  $\pm 0,3''$  [4].

Pro některé úlohy je však zapotřebí mít k dispozici tížnicové odchylky v systému geocentrickém. Transformace tížnicových odchylek ze systému S-42 do systému geocentrického je právě předmětem této práce.

### 2. Vztah mezi geodetickým referenčním systémem a systémem geocentrickým

Uvažujme geocentrický pravoúhlý prostorový souřadnicový systém  $x, y, z$ . Počátek  $O$  je v geocentru, osa  $z$  je totožná se střední osou rotace Země, rovina  $/x, z/$  je rovnoběžná s rovinou výchozího /Greenwichského/ astronomického poledníku,  $y$  míří směrem na východ.

Střed  $O_r$  geodetického referenčního elipsoidu nechť má v systému  $x, y, z$  souřadnice  $\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta z_0$  a referenční geodetické osy nechť jsou  $X, Y, Z$ . Mezi polohovým vektorem v systému geocentrickém ( $\vec{r}$ ) a polohovým vektorem v systému referenčním ( $\vec{R}$ ) platí vztah [5].

$$\vec{r} = \Delta r_0 + \psi E \Omega \vec{R}, \quad (1)$$

kde  $\Delta r_0$  je polohový vektor středu  $O_r$  s počátkem  $O$  a

$$\Psi_{E\Omega} = \begin{vmatrix} 1 & \omega & -\psi \\ -\omega & 1 & \varepsilon \\ \psi & -\varepsilon & 1 \end{vmatrix}, \quad (2)$$

jsou-li  $\varepsilon, \psi, \omega$  malé úhly Eulerova typu dle definice v [5], vyjadřující směrovou netotožnost příslušných os geodetického referenčního a geocentrického systému.

Geodetický referenční systém, jehož základem je referenční elipsoid  $E_r(a_r, \alpha_r)$ , je tedy /vzhledem k  $x, y, z$  / definován těmito osmi parametry:  $\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta z_0, \varepsilon, \psi, \omega, a_r, \alpha_r$ .

Nyní uvažujme ještě elipsoid geocentrický  $E(a, \alpha)$  o parametrech  $a, \alpha$  a zabývejme se vztahem mezi složkami tížnicových odchylek a výškami geoidu v obou systémech. Označme

$\xi_r, \eta_r$  - složky tížnicové odchylky v poledníku a prvním vertikálu v geodetickém systému referenčním - vzhledem k referenčnímu elipsoidu  $E_r(a_r, \alpha_r)$ ;

$\xi, \eta$  - složky tížnicové odchylky v systému geocentrickém vzhledem k elipsoidu  $E(a, \alpha)$ ;

$\zeta_r$  - výšku geoidu v systému referenčním, vzhledem k  $E_r(a_r, \alpha_r)$

$\zeta$  - výšku geoidu v systému geocentrickém, vzhledem k  $E(a, \alpha)$

Dle známých diferenciálních rovnic pro metodu promítací [2] máme s označením geodetických souřadnic  $B, L$  a poloměrů křivosti v rovině poledníku a prvním vertikálu elipsoidu  $M, N$

$$\xi - \xi_r = \frac{\partial \xi}{\partial x} \Delta x_0 + \frac{\partial \xi}{\partial y} \Delta y_0 + \frac{\partial \xi}{\partial z} \Delta z_0 + \frac{\partial \xi}{\partial a} (a - a_r) + \frac{\partial \xi}{\partial \alpha} (\alpha - \alpha_r) + \delta \xi (\varepsilon, \psi, \omega),$$

$$\eta - \eta_r = \frac{\partial \eta}{\partial x} \Delta x_0 + \frac{\partial \eta}{\partial y} \Delta y_0 + \delta \eta (\varepsilon, \psi, \omega),$$

$$\zeta - \zeta_r = \frac{\partial \zeta}{\partial x} \Delta x_0 + \frac{\partial \zeta}{\partial y} \Delta y_0 + \frac{\partial \zeta}{\partial z} \Delta z_0 + \frac{\partial \zeta}{\partial a} (a - a_r) + \frac{\partial \zeta}{\partial \alpha} (\alpha - \alpha_r),$$

kde

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{\varrho''}{M} \sin B \cos L, \quad \frac{\partial \xi}{\partial y} = \frac{\varrho''}{M} \sin B \sin L,$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial Z} = -\frac{\varphi''}{M} \cos B, \quad \frac{\partial \xi}{\partial a} = -\frac{\varphi''}{a} e^2 \sin B \cos B,$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial \alpha} = -\varphi'' (2 - e^2 \sin^2 B) (1 - \alpha)^{-1} \sin B \cos B,$$

$$e^2 = 2\alpha - \alpha^2,$$

$$\delta \xi (\varepsilon, \psi, \omega) = -\varepsilon \sin L + \psi \cos L,$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial X} = \frac{\varphi''}{N} \sin L, \quad \frac{\partial \eta}{\partial Y} = -\frac{\varphi''}{N} \cos L,$$

$$\delta \eta (\varepsilon, \psi, \omega) = -\omega \cos B + (\varepsilon \cos L + \psi \sin L) \sin B,$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial X} = \cos B \cos L, \quad \frac{\partial \zeta}{\partial Y} = \cos B \sin L, \quad \frac{\partial \zeta}{\partial Z} = \sin B,$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial a} = -\frac{N}{a} (1 - e^2 \sin^2 B),$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial \alpha} = \frac{M}{1 - \alpha} (1 - e^2 \sin^2 B) \sin^2 B$$

Korekční členy  $\delta \xi (\varepsilon, \psi, \omega)$  a  $\delta \eta (\varepsilon, \psi, \omega)$  [5] vyjadřují vliv směrové netotožnosti příslušných souřadnicových os  $X, Y, Z$  s  $x, y, z$ . Prakticky je zde uvažovat nebudeme pro nedostatek potřebných údajů.

### 3. Aplikace na geodetický referenční systém S-42

Geocentrický systém budeme uvažovat ve třech variantách podle hodnot použitých parametrů  $a, \alpha$ :

I.  $a = 6\,378\,160$  m,  $\alpha = 1:298,247$  /označení IAG 1967/

/parametry přijaté r. 1967 na XIV. Valném shromáždění Mezinárodní asociace geodetické, tehdy jako nejpravděpodobnější [6]/;

II.  $a = 6\,378\,139$  m,  $\alpha = 1:298,257$

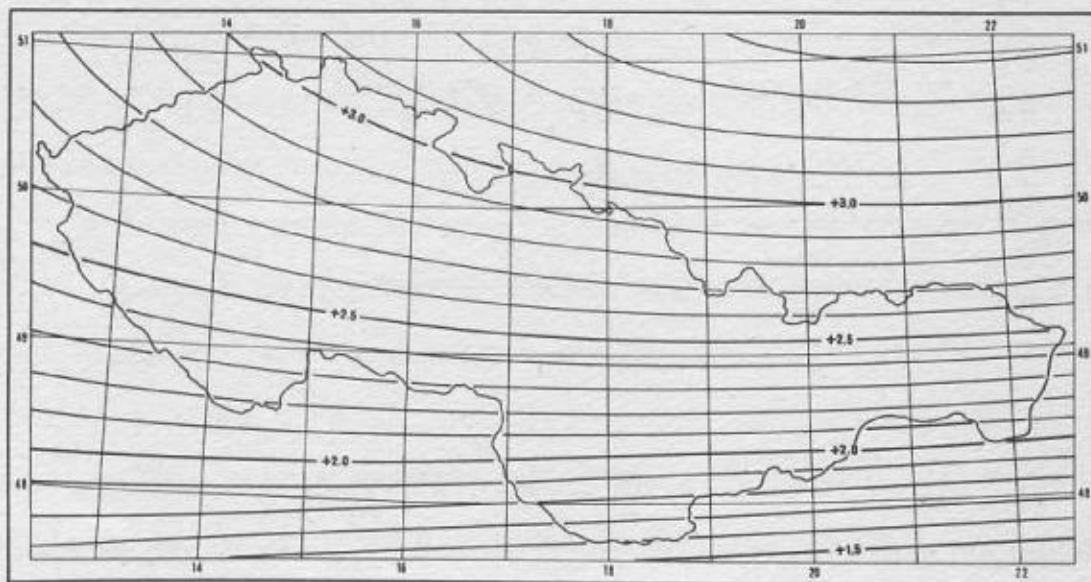
/parametry, jeví se jako nejpravděpodobnější z pozdější analýzy družicových a terestrických dat [7]/;

III.  $a = 6\,378\,245$  m,  $\alpha = 1:298,3$

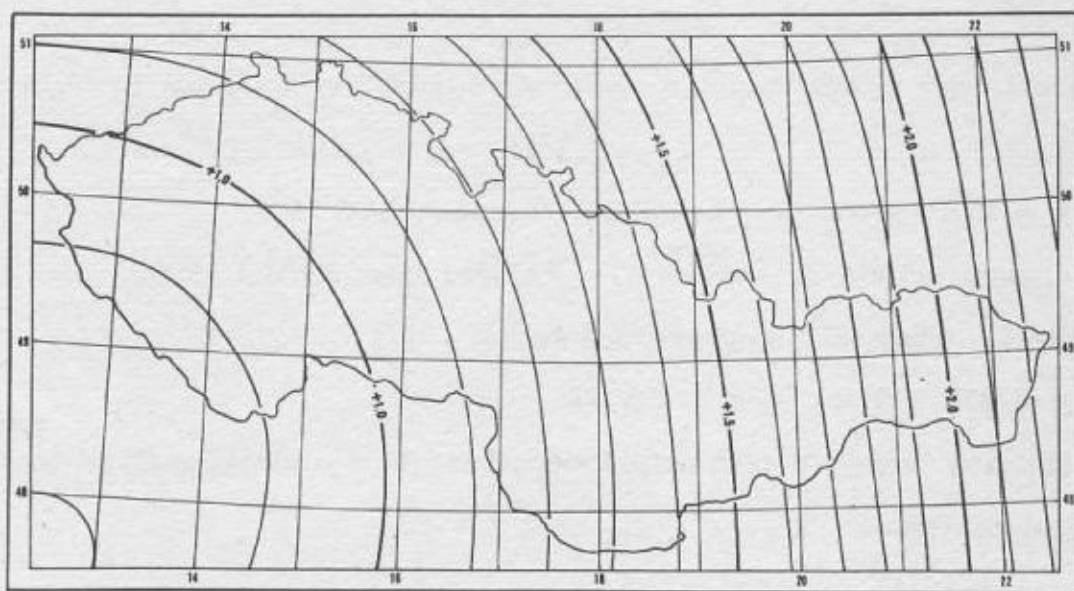
/parametry elipsoidu Krasovského [2,3]/.

Pro geodetický referenční systém S-42 máme jen parametry  $a = 6\,378\,245$  m,  $\alpha = 1:298,3$ . Další parametry, především ty, které definují polohu  $O_r$  vůči  $O$ , musíme odvodit, k čemuž použijeme údajů [3, 8-15], dále tížnicových odchylek na území ČSSR v systému S-42 [1] a údajů družicových [16 - 18]. Vliv malých úhlů  $\varepsilon$ ,  $\psi$ ,  $\omega$  v této práci zanedbáme.

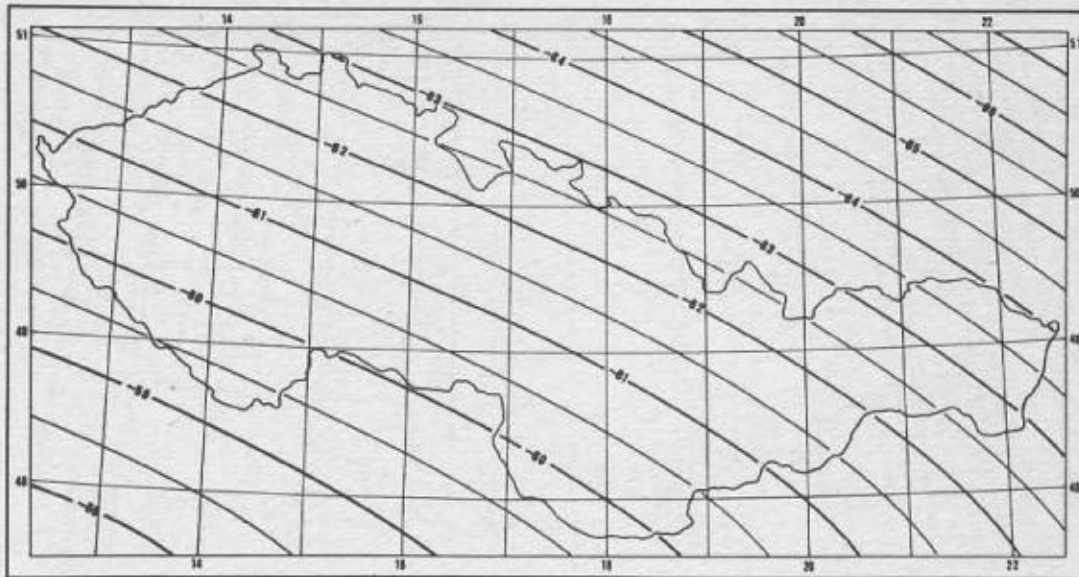
Na obr. 1 - 3 jsou charakteristiky generalizovaného geoidu na našem území, jak byly vyvozeny v [15] z družicových dat [17, 18] vzhledem ke geocentrickému elipsoidu III /tedy s parametry  $a, \alpha$  elipsoidu Krasovského/.



Obr. 1 - Složky tížnicových odchylek v poledníku /ve vteřinách/

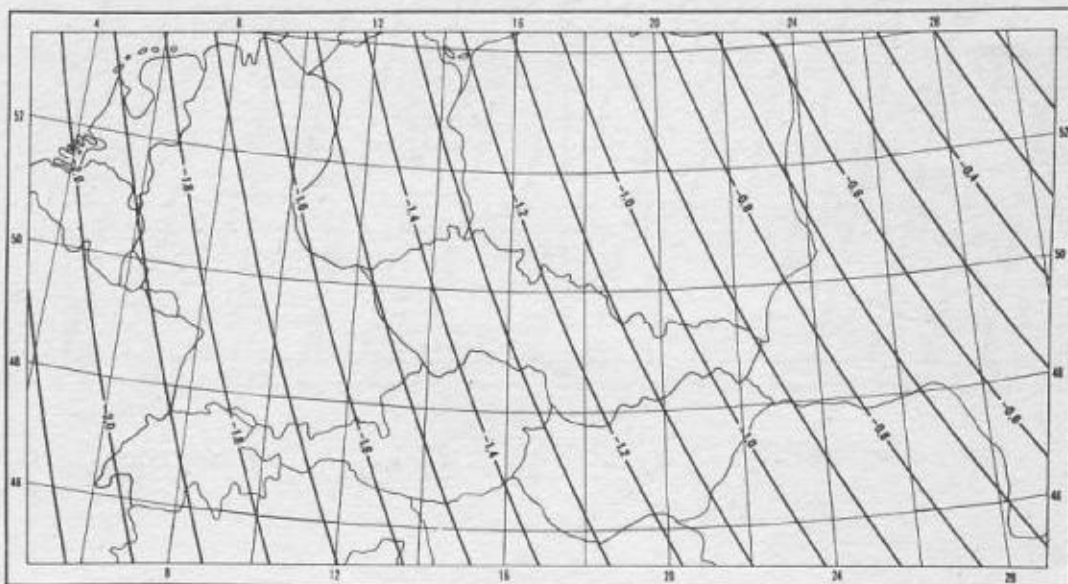


Obr. 2 - Složky tížnicových odchylek v prvním vertikálu /ve vteřinách/

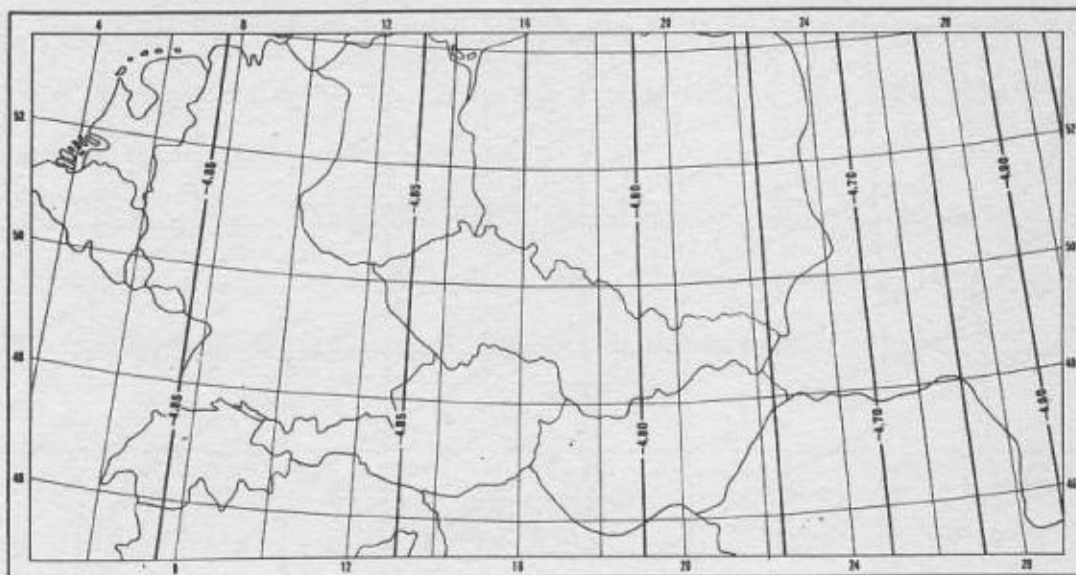


Obr. 3 - Výšky geoidu /v metrech/

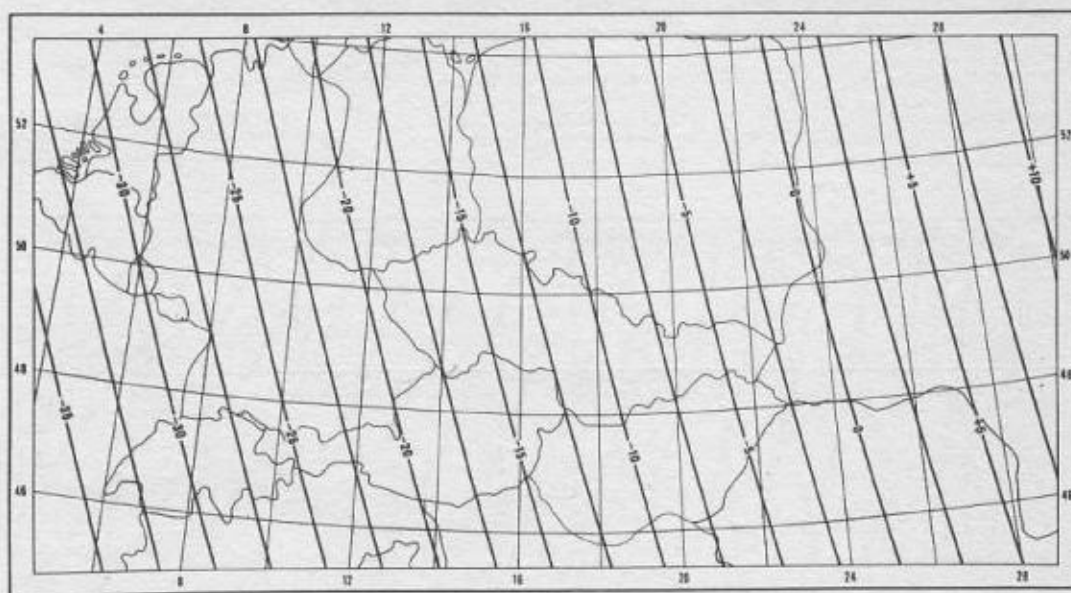
Na obr. 4 - 6 jsou rozdíly charakteristik geoidu v geodetickém referenčním systému S-42 a v systému geocentrickém I. /IAG 1967/;



Obr. 4 - Rozdíly  $\xi_{S-42} - \xi_1$  (IAG 1967) /ve vteřinách/

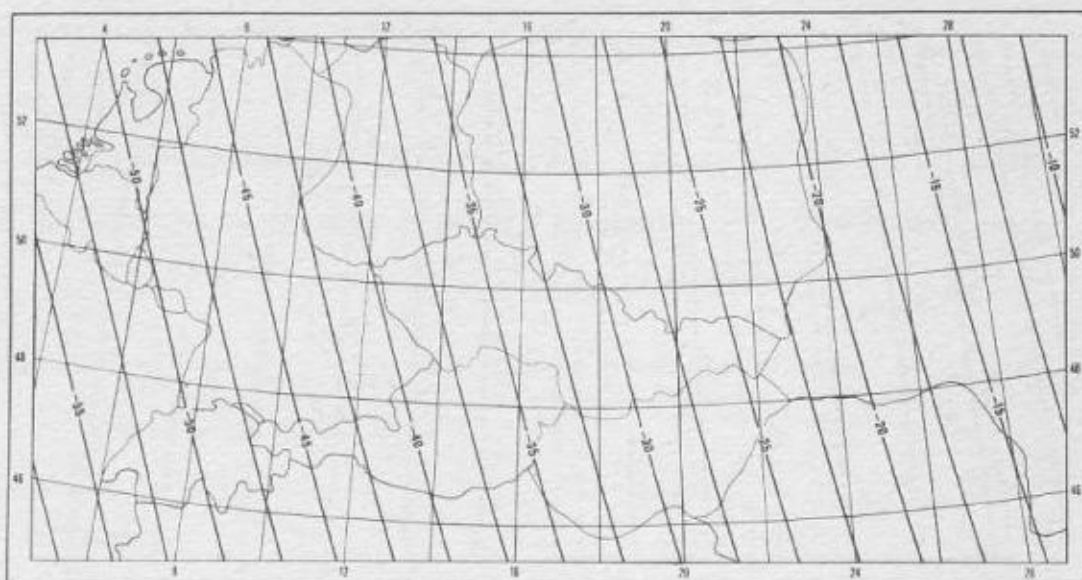


Obr. 5 - Rozdíly  $\eta_{S-42} - \eta_I$  (IAG 1967) /ve vteřinách/



Obr. 6 - Rozdíly  $\xi_{S-42} - \xi_I$  (IAG 1967) /v metrech/

Na obr. 7 jsou analogické rozdíly při použití geocentrického systému II.:



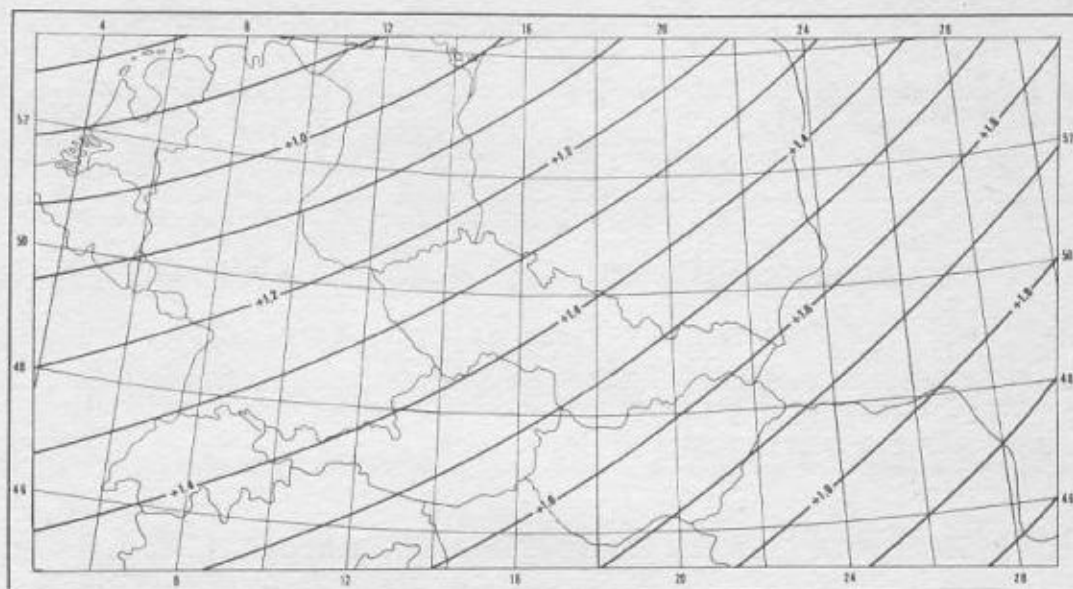
Obr. 7 - Rozdíly  $\xi_{S-42} - \xi_{II}$  /v metrech/

Pokud jde o rozdíly ve složkách  $\xi$  a  $\eta$ , je zřejmé, že  $\eta_{S-42} - \eta_{II} =$

$$= \eta_{S-42} - \eta_I \text{ (IAG 1967) a } \xi_{S-42} - \xi_{II} \doteq \xi_{S-42} - \xi_I \text{ (IAG 1967)}$$

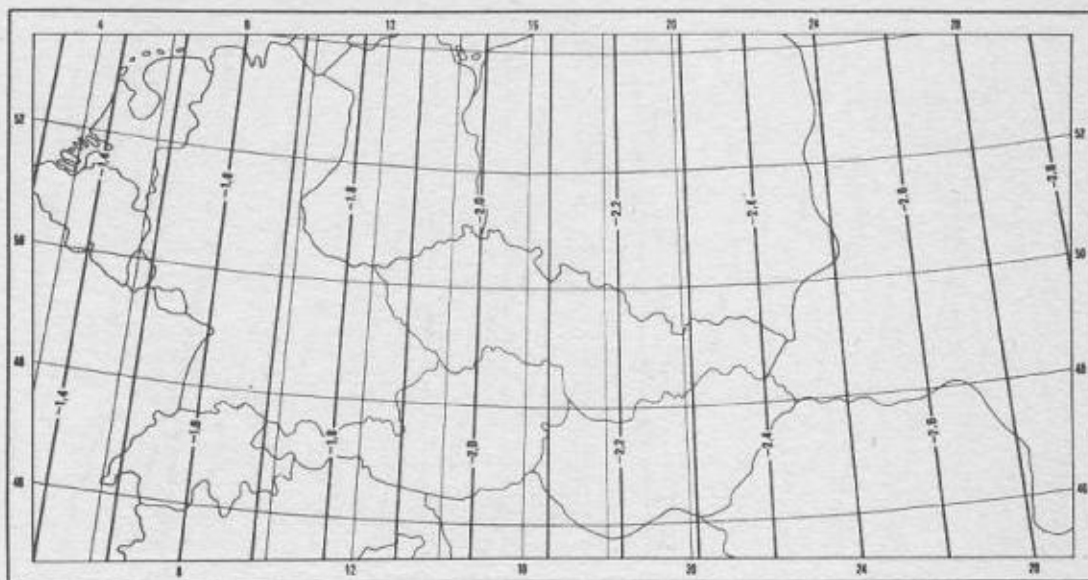
/rozdíl ve složce  $\xi$  činí na území střední Evropy maximálně 0,024"/.

Vzhledem k tomu, že na území ČSSR byly vypočteny složky tížnicových odchylek i v tzv. evropském referenčním systému /označení EUR/, jehož základem je elipsoid Hayfordův /  $a = 6\,378\,388$  m,  $\alpha = 1:297$  / s výchozím bodem v Postupimi [9,11], uvádíme na obr. 8 a 9 rozdíly složek tížnicových odchylek v systémech S-42 a EUR.



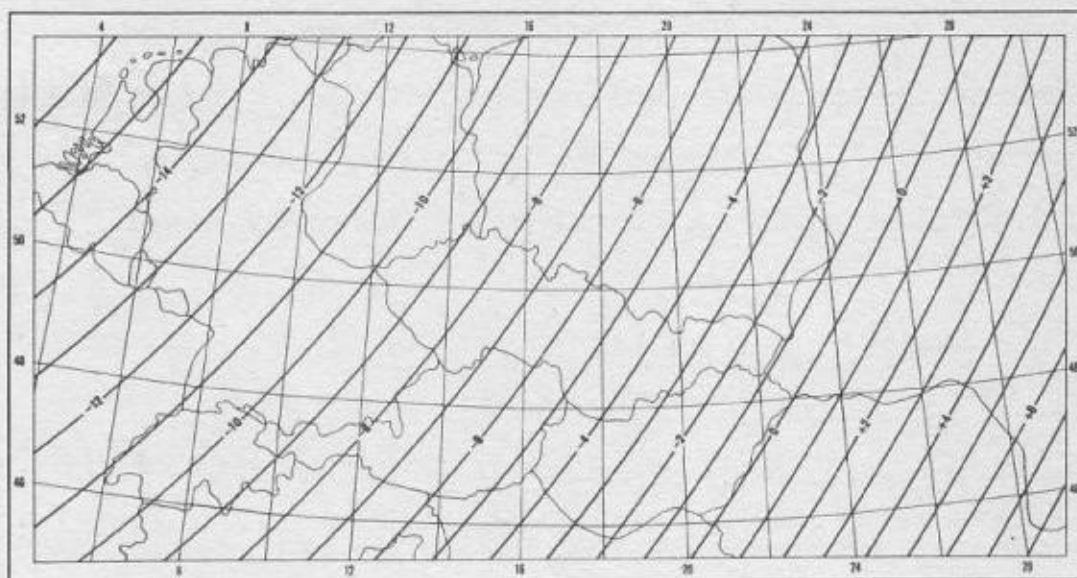
Obr. 8 - Rozdíly  $\xi_{S-42} - \xi_{EUR}$  /ve vteřinách/





Obr. 9 - Rozdíly  $\eta_{S-42} - \eta_{EUR}$  /ve vteřinách/

Pro úplnost uvádíme i příslušné rozdíly ve výškách geoidu:



Obr. 10 - Rozdíly  $\xi_{S-42} - \xi_{EUR}$  /v metrech/

4. Tížnicové odchylky na území ČSSR v geocentrických systémech I /IAG 1967/ a II a geodetickém referenčním systému EUR

S využitím průběhu rozdílů složek tížnicových odchylek na obr. 4, 5, 8, 9 převedli

jsme mapy složek  $\xi_{s-42}$ ,  $\eta_{s-42}$  [1] do geocentrického systému I /IAG 1967/, resp. II\* a do geodetického referenčního systému EUR. Výsledky jsou na obr. 11 - 14. které jsou zařazeny v příloze na konci sborníku.

Je mi milou povinností poděkovat svým spolupracovníkům L. Kandovi, R. Mařanové a V. Teršové za všechny výpočty i rozsáhlé práce grafické.

\*Poznámka: Složky  $\eta_I$  (IAG 1967) a  $\eta_{II}$  jsou shodné, složky  $\xi_I$  (IAG 1967) a  $\xi_{II}$  se liší méně než o 0,02".

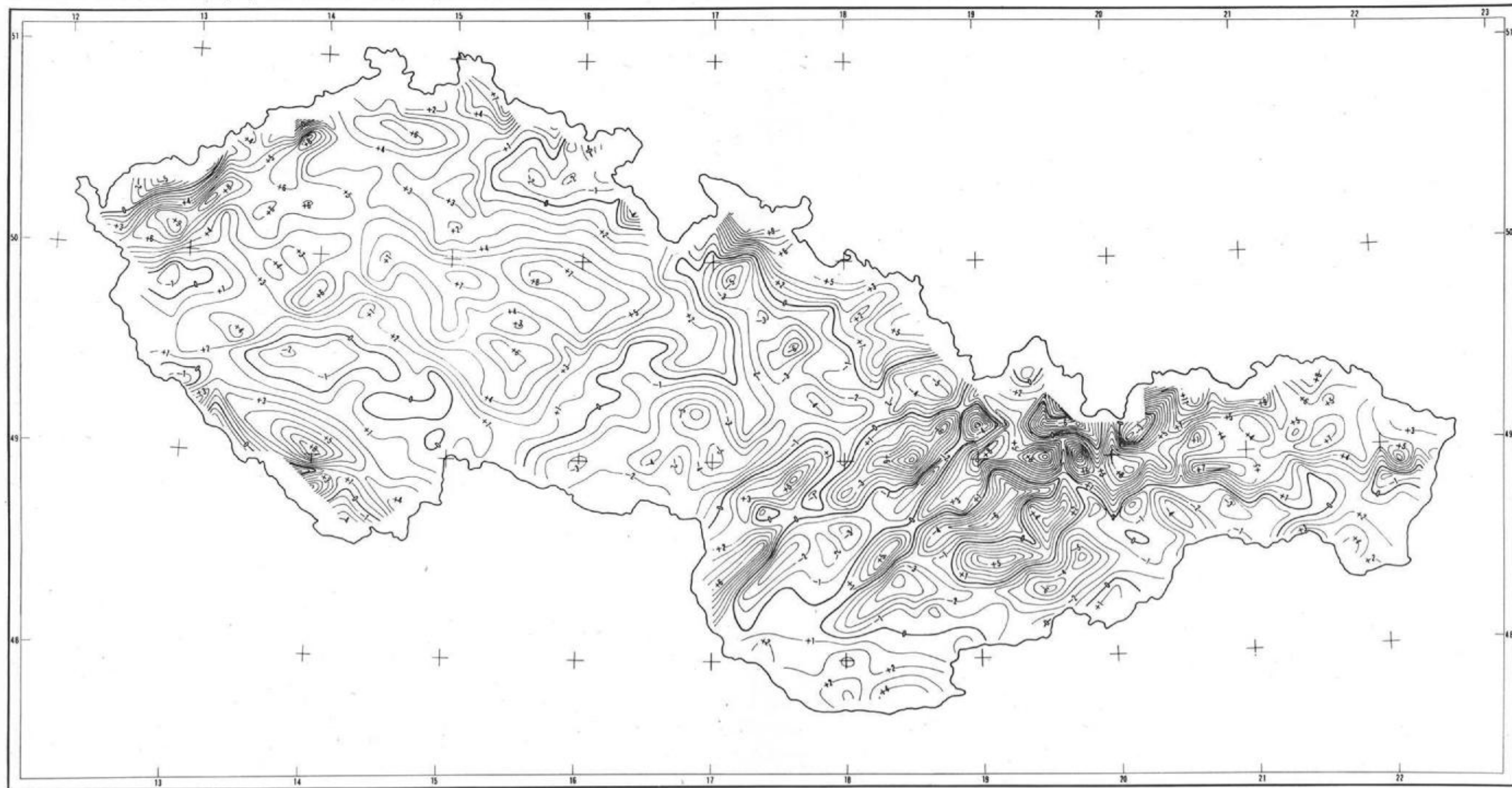
Došlo 19.12.1973

#### LITERATURA

- [1] M. Burša, L. Kanda, R. Mařanová: Tížnicové odchylky a výšky kvazigeoidu na území ČSSR a teorie jejich určování. II. - Technologické postupy a praktické výsledky. Díl A - Tížnicové odchylky. Edice VÚGTK - řada 4, Praha 1972
- [2] A.A. Izotov: Forma i razmery Zemli po sovremennym dannym. Trudy CNIIGAiK 73, Moskva 1960
- [3] A. A. Izotov: Reference-Ellipsoid and the Standard Geodetic Datum Adopted in the USSR. Bull. géod., /1959/, No. 53
- [4] M. Burša: The Interpolation Error of Quasigeoidal Heights on the Territory of Czechoslovakia. Travaux Inst. Géophys. Acad. Tchécosl. Sci. No 288, Geofyzikální sborník 1968, Academia, Praha 1969
- [5] M. Burša: Základy kosmické geodézie. Díl I. Kosmická geodézie geometrická. Vojenský zeměpisný ústav, Praha 1967
- [6] Geodetic Reference System 1967. Bull. géod., publ. spéciale
- [7] M. Burša: Potential of the Geoidal Surface, the Scale Factor for Lengths and Earth's Figure Parameters from Satellite Observations. Studia geoph. et geod., 13 /1969/, 337

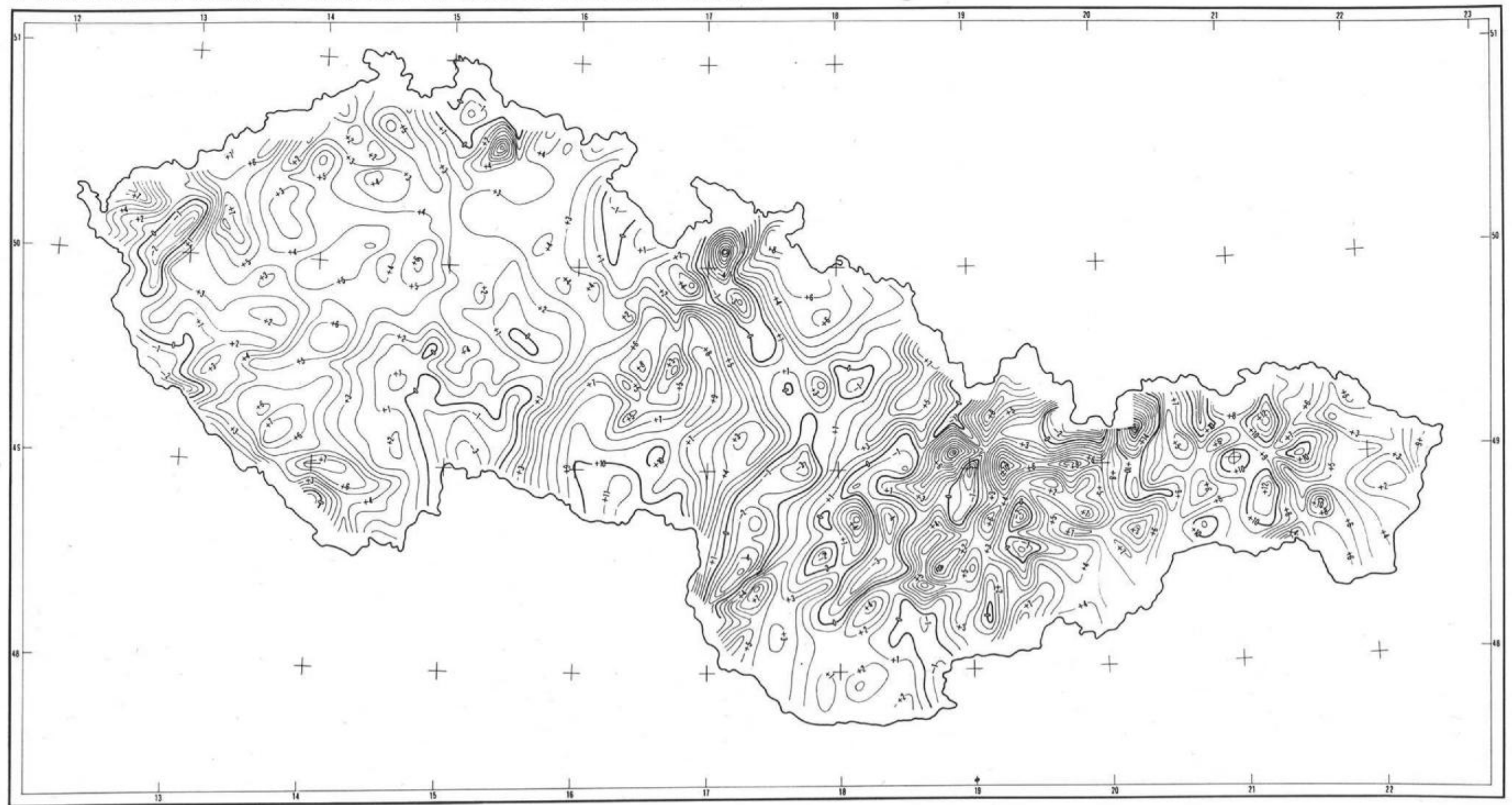
- [8] G. Bomford: Les déviations de la verticale 1954-1956 et rapport du groupe spécial d'études No 10. Travaux l'Association Internationale de Géodésie, tome 20, Paris 1958
- [9] Association Internationale de Géodésie: Liste des stations de déviation de la verticale rattachées au Réseau Européen, 1971
- [10] M. Pick: Transformation der relativen Lotabweichungen aus einem Bezugssystem in ein anderes. Travaux Inst. Géophys. Thécosl. Sci. No 40, Geofysikální sborník 1956, NČSAV, Praha 1957
- [11] H. Wolf: Astronomisch-geodatische Lotabweichungen im mittleren Europa. Deutsche Geod. Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Mitteilung Nr. 22, Frankfurt am Main 1957
- [12] V. Vahala: Geodetické sítě malého rozsahu, jejich transformace a transformace světových referenčních geodetických systémů. Kandidátská disertační práce, 1971
- [13] J.G. Marsh, B.C. Douglas, S.M. Klosko: The Relation of the European Datum to a Geocentric Reference System. Referát na XV. Valném shromáždění UGGI, Moskva 1971
- [14] M. Lefebvre: Comparative Analysis of Different Results on the European Datum from Spatial Geodesy. Referát na zasedání COSPAR, Praha 1969
- [15] M. Burša: Geopotential, Geoidal Surface and Earth's Figure Parameters as Determined from Satellite and Terrestrial Data. *Studia geoph. et geod.*, 14 /1970/, 203
- [16] M. Burša: Fundamental Geodetic Parameters of the Earth's Figure and the Structure of the Earth's Gravity Field Derived from Satellite Data. *Studia geoph. et geod.*, 16 /1972/, 10
- [17] E.M. Gaposchkin, K. Lambeck: 1969 Smithsonian Standard Earth /II/. SAO Sp. Rep. 315, 1970
- [18] K. Lambeck: Comparisons and Combinations of Geodetic Parameters Estimated from Dynamic and Geometric Satellite Solutions and from Mariner Flights. *Dynamics of Satellites /1969/. Symp. Prague COSPAR-IAU-IAG/IUGG-IUTAM.* Springer - Vlg., Berlin-Heidelberg-New York 1970, 170.

K článku Tížnicové odchylky na území ČSSR v geocentrickém souřadnicovém systému



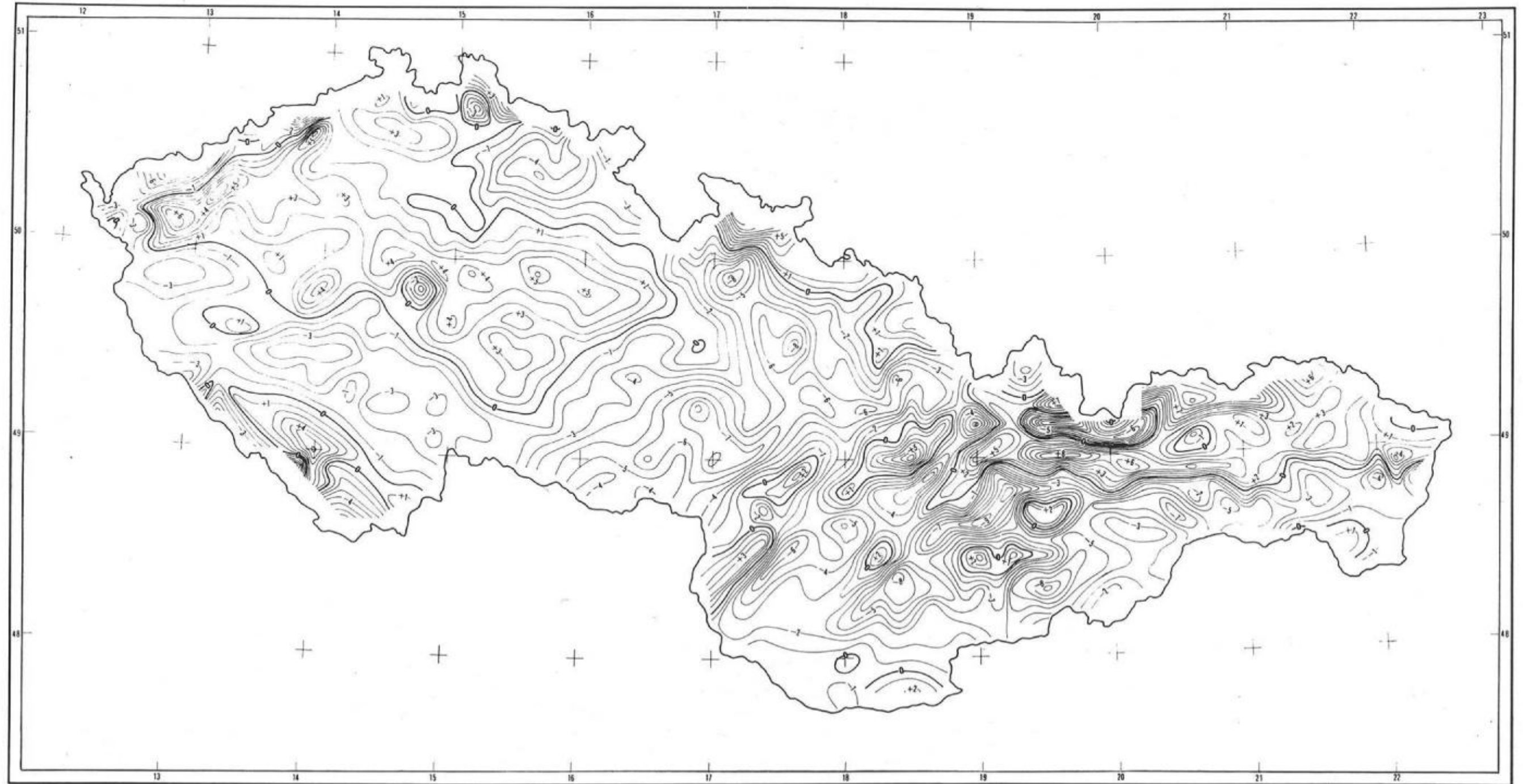
Obr. 11 - Složky tížnicových odchylek v poledníku  $\xi_1$  (IAG 1967) v geocentrickém systému I /IAG 1967/, jehož základem je geocentrický elipsoid o parametrech  $a = 6\,378\,160$  m,  $\alpha = 1:298,247$  ;

K článku Tížnicové odchylky na území ČSSR v geocentrickém souřadnicovém systému



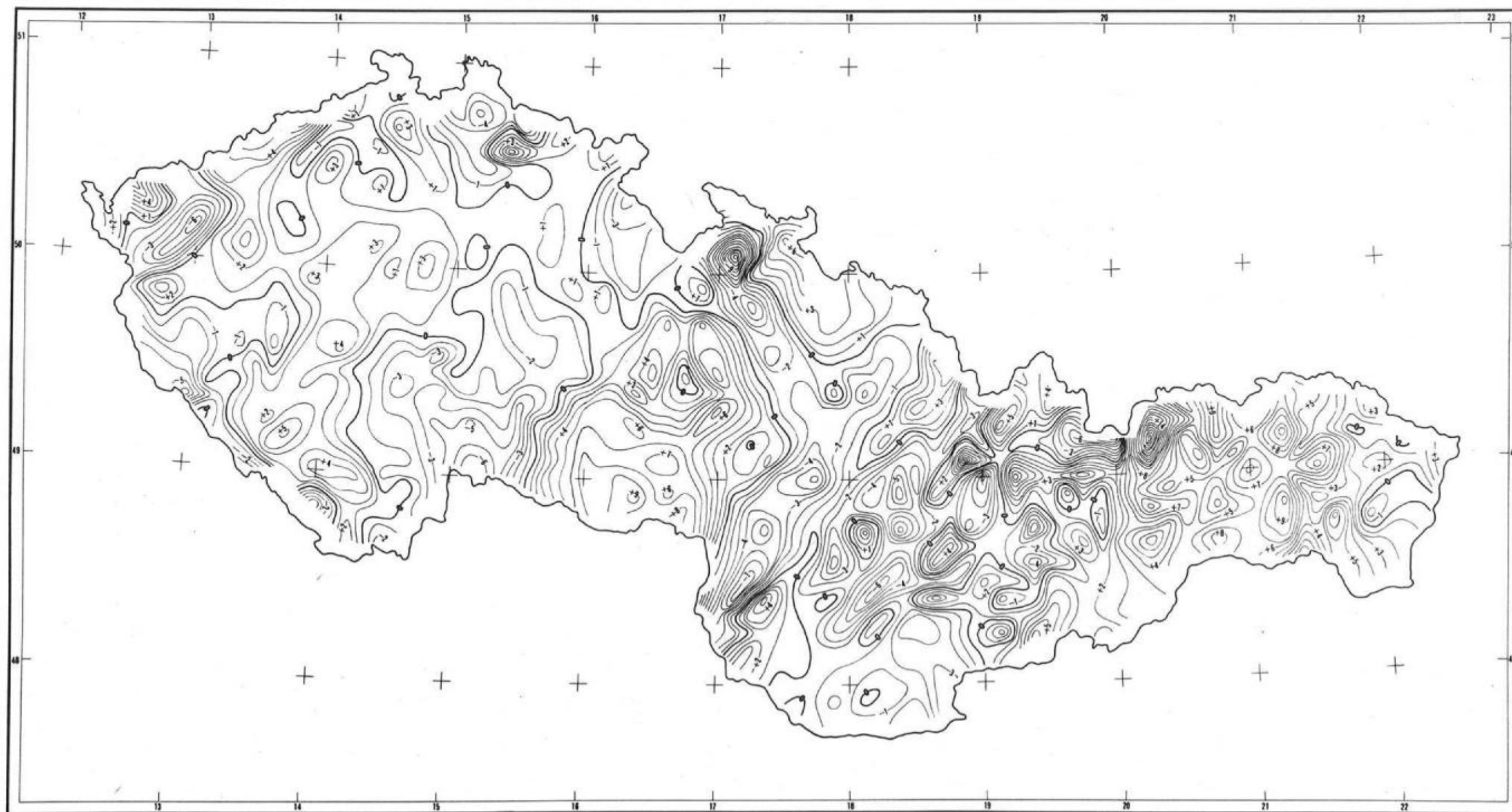
Obr. 12 - Složky tížnicových odchylek v prvním vertikálu  $\eta_1$  (IAG 1967) /základem je geocentrický rotační elipsoid o libovolných parametrech, neboť složka  $\eta$  nezávisí na parametrech  $a, \alpha$  /;

K článku Tíznicové odchylky na území ČSSR v geocentrickém souřadnicovém systému



Obr. 13 - Složky tíznicových odchylek v poledníku  $\xi_{EUR}$  v geodetickém referenčním systému EUR, jehož základem je Hayfordův elipsoid /  $a = 6\,378\,388\text{ m}$   
 $\alpha = 1:297$  / s orientací v Postupimi ,

K článku Tížnicové odchylky na území ČSSR v geocentrickém souřadnicovém systému



Obr. 14 - Složky tížnicových odchylek v prvním vertikálu  $\eta_{EUR}$  v geodetickém referenčním systému EUR, jehož základem je Hayfordův elipsoid  
 $/a = 6\,378\,388, \alpha = 1:297/$  s orientací v Postupimi.

## Složky tížnicových odchylek v systému S - 42 na stanicích československé časové služby

### 1. Úvod

Při souborném vyrovnání astronomicko-geodetických sítí většího rozsahu /rozsahu kontinentu/ je žádoucí kromě obvyklých klasických podmínek azimutálních formulovat i některé další podmínky, na astronomická pozorování vázané. Jimi mohou být např. podmínky pro přímo měřené rozdíly astronomických délek a za jistých předpokladů podmínky pro délky samotné. V posledním případě však přicházejí v úvahu jen stacionární, vysoce přesná astronomická pozorování na astronomických stanicích časových služeb, kde je používáno nejdokonalejší astrometrie.

Ponecháme stranou otázku, zda geodetickým délkám, vypočteným z pozorovaných délek astronomických, lze přisoudit váhu nekonečně velkou nebo jak je vůbec do vyrovnání včlenit.

V každém případě je však nutné astronomické délky s nejvyšší možnou přesností redukovat na geodetické - a to právě v onom geodetickém referenčním systému, v němž se vyrovnání uskutečňuje. Tyto redukce spočívají v uvážení vlivu tížnicové odchylky v referenčním geodetickém systému. Kromě toho je z hlediska dosažení maximální přesnosti žádoucí z případné skupiny dostatečně blízkých astronomických stanic vytvořit jedinou stanicí.

Právě této otázce je věnována předložená práce, konkrétně stanicím čs. časové služby a u nás aktuálnímu souřadnicovému systému S-42.



## 2. Stanice čs. časové služby

Vzhledem k praktickým aspektům budeme uvažovat jen skupinu poměrně blízkých čs. časových stanic, aby z nich mohla být dobře /tj. s vysokou přesností/ vybudována jakási stanice jediná, reprezentativní. K tomuto omezenému řešení se uchylujeme pro možnost snadného vyloučení chyb systematické povahy.

Máme na mysli tyto tři čs. astronomické časové stanice:

Stanice Astronomického ústavu ČSAV, Praha, označíme I.

Stanice ČVUT, Praha, označíme II.

Stanice VÚGTK, Ondřejov /Pecný/, označíme III.

Neuvažujeme zde tedy pro tyto účely stanici SVŠT v Bratislavě, čímž si úlohu podstatně zjednodušujeme.

Stanice I je umístěna v budově observatoře Astronomického ústavu matematicko-fyzikální fakulty Karlovy univerzity v Praze 5, Švédská 8 /  $\varphi \doteq 50^{\circ}04,6$ ,  $\lambda \doteq 14^{\circ}23,7$ ,  $H \doteq 270$  m/.

Stanice II : Budova rektorátu ČVUT, ústav astronomie a základů geofyziky, Praha 1, Karlovo nám. 13 /  $\varphi \doteq 50^{\circ}04,7$ ,  $\lambda \doteq 14^{\circ}25,2$ ,  $H \doteq 240$  m/.

Stanice III : Geodetická observatoř VÚGTK Pecný /Ondřejov/, /  $\varphi \doteq 49^{\circ}54,9$ ,  $\lambda \doteq 14^{\circ}47,4$ ,  $H \doteq 546$  m/.

## 3. Výpočet složek tížnicových odchylek v systému S-42

### 3.1. Výchozí podklady

Využijeme pro tyto účely již provedených prací /1-3/. Vzhledem k tomu, že naší snahou je docílit vysoké přesnosti /řádu  $\pm 0,1$ /, nepostačí omezit se zde jen na využití stávajících map složek tížnicových odchylek ČSSR a to ani jejich částí s vyloučením vlivu hmot v nejbližším okolí časových stanic.

Proto jsme především vytvořili novou interpolační a integrační oblast /č. 30, viz obr. 1/ a to tak, aby všechny tři zkoumané astronomické body /stanice I, II, III/ ležely uvnitř ní. Kromě těchto bodů leží uvnitř nové interpolační oblasti tyto astronomicko-geodetické body: 14 /Malý Tok/, 16 /Džbán/, 35 /Veliš/, 37 /Melechov/, 21 /Ladví/, 31 /Sadská/, 36 /Vysoká/.

Kromě toho jsme k interpolaci složek tížnicových odchylek  $\xi$ ,  $\eta$  na stanicích I a II využili již dříve zpracovaných oblastí č. 1, 2, 4, 15, 16 (1).

Všechny integrace byly provedeny postupem popsáním v (1). Pro integraci v centrální kruhové oblasti o poloměru 5 km bylo použito tří typů bodových průsvitek definovaných v (1), kde jsou označeny jako varianta I, II, III. Integrace ve vnější oblasti  $\Sigma$  byla provedena pomocí průsvitky o 32 sektorech, popsané a vyobrazené v (1).

Jako podkladů bylo použito tíhových a topografických map jako v (1), tj. Státní tíhová mapa ČSSR 1:200 000 /hustota cca 1 bod/5 km<sup>2</sup>/ a výsledky zhušťovacích tíhových měření v okolí astronomických bodů, mapa Bouguerových anomálií 1:500 000, hypsometrické mapy v měřítkách 1:200 000 a 1:500 000.

Spolehlivost astronomických podkladů lze částečně posoudit srovnáním oprav  $v(\Delta\xi_{\Sigma})$ ,  $v(\Delta\eta_{\Sigma})$  na jednotlivých astronomicko-geodetických bodech /tabulka 1, 2/ a středních chyb rozdílů  $m(\Delta\xi_{\Sigma})_0$ ,  $m(\Delta\eta_{\Sigma})_0$  před vyrovnáním a  $m(\Delta\xi_{\Sigma})$ ,  $m(\Delta\eta_{\Sigma})$  po vyrovnání /tab. 3, kde  $R$  značí poloměr oblasti  $\omega$ /.

Systematický charakter oprav  $v(\Delta\xi_{\Sigma})$ ,  $v(\Delta\eta_{\Sigma})$  na některých astronomicko-geodetických bodech dovoluje soudit o pravděpodobných chybách v astronomických šířkách a délkách /např. šířka a délka bodu č. 36, šířka bodu 14/. Bylo by tedy možné pozorované astronomické hodnoty  $\varphi$ ,  $\lambda$  v některých případech opravit a tudíž zpřesnit. Nečiníme to však vzhledem k tomu, že by se výsledné hodnoty patrně nezměnily, klesly by pouze hodnoty středních chyb uvedené v tab. 3.

## 3.2. Číselné výsledky

### 3.2.1. Výsledky převzaté z (1)

Pokud jde o průběh rozdílů složek astronomicko-geodetických a gravimetrických tížnicových odchylek  $\Delta\xi_{\Sigma}$ ,  $\Delta\eta_{\Sigma}$  v již zpracovaných oblastech č. 1, 2, 4, 15, 16 /obr. 1/, převzali jsme příslušné interpolační funkce z (1):

Interpolační oblast I

$$B_0 = 50^{\circ}00'00'',00$$

$$L_0 = 13^{\circ}30'00'',00$$

$$\Delta \xi_{\Sigma}'' = -1,07 (B - B_0)^\circ + 0,87 (L - L_0)^\circ \cos B_0 + 0,82,$$

$$\Delta \eta_{\Sigma}'' = +0,38 (B - B_0)^\circ - 1,61 (L - L_0)^\circ \cos B_0 - 1,71;$$

Interpolační oblast 2:

$$B_0 = 50^\circ 25' 00'',00$$

$$L_0 = 14^\circ 37' 30'',00$$

$$\Delta \xi_{\Sigma}'' = -2,46 (B - B_0)^\circ + 1,11 (L - L_0)^\circ \cos B_0 + 2,24,$$

$$\Delta \eta_{\Sigma}'' = +1,23 (B - B_0)^\circ - 2,54 (L - L_0)^\circ \cos B_0 - 1,10;$$

Interpolační oblast 4:

$$B_0 = 50^\circ 00' 00'',00$$

$$L_0 = 15^\circ 30' 00'',00$$

$$\Delta \xi_{\Sigma}'' = -1,33 (B - B_0)^\circ - 0,97 (L - L_0)^\circ \cos B_0 + 1,63,$$

$$\Delta \eta_{\Sigma}'' = +1,02 (B - B_0)^\circ - 1,85 (L - L_0)^\circ \cos B_0 - 1,18;$$

Interpolační oblast 15:

$$B_0 = 50^\circ 30' 00'',00$$

$$L_0 = 14^\circ 00' 00'',00$$

$$\Delta \xi_{\Sigma}'' = -3,46 (B - B_0)^\circ + 0,93 (L - L_0)^\circ \cos B_0 + 1,31,$$

$$\Delta \eta_{\Sigma}'' = +2,41 (B - B_0)^\circ - 3,05 (L - L_0)^\circ \cos B_0 - 1,19;$$

Interpolační oblast 16:

$$B_0 = 49^\circ 30' 00'',00$$

$$L_0 = 14^\circ 00' 00'',00$$

$$\Delta \xi_{\Sigma}'' = -0,86 (B - B_0)^\circ + 0,59 (L - L_0)^\circ \cos B_0 + 0,80,$$

$$\Delta \eta_{\Sigma}'' = +0,35 (B - B_0)^\circ - 1,69 (L - L_0)^\circ \cos B_0 - 1,43.$$

$B, L$  jsou geodetické souřadnice proměnných bodů,  $B_0, L_0$  jsou geodetické souřadnice konvenčního počátku příslušné oblasti  $\sigma$ , voleného vždy v blízkosti jejího středu.

Přesnost výpočtu  $\xi, \eta$  v jednotlivých oblastech  $\sigma$  lze ilustrovat např. srovnáním hodnot  $\xi, \eta$  vypočtených v překrytových částech. Poloha bodů v překrytových částech oblastí je patrna z obr. 2 /černé kroužky/, vlastní hodnoty jsou uvedeny v tab. 4.

### 3.2.2. Zpracování nově vytvořené oblasti č. 30

Interpolační oblast č. 30 obsahuje 8 astronomicko-geodetických bodů /obr. 2/;

Opravy v  $(\Delta \xi_x)$  z vyrovnání v oblastech  $\sigma$  /ve vteřinách/

Tabulka 1

Astr.- geod. bod č.		Číslo interpolační oblasti													
		14	1	15	16	2	3	17	4	5	19	18	20	6	7
14	-0,35	-0,21		-0,30		-0,45									
16	+0,01	-0,01	+0,28												
21		-0,16	-0,17		-0,04				+0,14						
30				+0,17		+0,07	-0,19	+0,31			+0,21				
35					+0,06				-0,74		-0,40				
36							+0,24	+0,32			+0,35				
37						+0,31	-0,15	+0,03		-0,01	-0,19				

Opravy v ( $\Delta\tau_z$ ) z vyrovnání v oblastech  $\sigma$  /ve vteřinách/

Tabulka 2

Astr.- geod. bod č.	číslo interpolační oblasti													
	14	1	15	16	2	3	17	4	5	19	18	20	6	7
14	-0,13	-0,28		0,00		+0,07								
16	+0,14	+0,35	+0,08											
21		+0,42	-0,01		+0,31			+0,50						
30				+0,04		-0,04	-0,06	0,00			+0,15			
31					-0,20			-0,25			-0,03			
35					-0,10			-0,17			+0,19			
36							-0,35	-0,68			-0,57			
37						+0,19	+0,74	+0,32	-0,01	-0,28	+0,27			

Střední chyby rozdílů  $\Delta\xi_{\Sigma}, \Delta\eta_{\Sigma}$  před vyrovnáním a po vyrovnání

Tabulka 3

Interpolační oblast č. /obr. 1/	Počet hodnot		$R_{km}$	$m(\Delta\xi_{\Sigma})_o$	$m(\Delta\eta_{\Sigma})_o$	$m(\overline{\Delta\xi_{\Sigma}})$	$m(\overline{\Delta\eta_{\Sigma}})$
	$\varphi$	$\lambda$					
1	9	10	70	$\pm 0,26''$	$\pm 0,36''$	$\pm 0,15''$	$\pm 0,20''$
2	4	6	53	0,16	0,33	0,14	0,23
4	9	9	72	0,45	0,41	0,26	0,24
15	4	5	45	0,43	0,15	0,37	0,12
16	7	7	69	0,26	0,26	0,17	0,17

Části složek astronomicko-geodetických tížnicových odchylek  $\xi - \xi^{(0-5\text{km})}$  v rovině poledníku a  $\eta - \eta^{(0-5\text{km})}$  v rovině prvního vertikálu na podrobných bodech, vypočtené v interpolačních oblastech  $\sigma$ . Vliv hmot v centrální kruhové oblasti o poloměru 5 km je vyčleněn. Číselné hodnoty jsou uvedeny ve vteřinách.

B	L	$\xi - \xi^{(0-5\text{km})}$					$\eta - \eta^{(0-5\text{km})}$							
		Interpolační oblast č.					Interpolační oblast č.							
		1	2	4	15	16	1	2	4	15	16			
49° 10' 00"	13° 30' 00"	+1,9				+1,9	-1,0							-1,2
50° 20' 00"	13° 45' 00"	+4,4			+4,1		-0,9						-1,2	
50° 30' 00"	13° 45' 00"	+4,9			+4,5		-2,1						-1,9	
50° 40' 00"	13° 45' 00"	-0,8			-1,4		+1,8						+2,1	
49° 45' 00"	14° 07' 30"	+1,8				+2,0	+0,3							-0,1
49° 55' 00"	14° 07' 30"	+2,8				+3,1	-0,7							-0,7
50° 05' 00"	14° 07' 30"	+2,4			+2,6		+0,4						-0,2	
50° 15' 00"	14° 07' 30"	+3,6			+3,8		-0,4						-0,8	
50° 25' 00"	14° 07' 30"	+2,9			+2,9		-1,5						-1,4	
50° 00' 00"	14° 15' 00"	+2,5				+2,8	0,0							-0,1
50° 10' 00"	14° 15' 00"	+3,1	+3,6				+0,4	+0,2						
50° 20' 00"	14° 15' 00"	+3,1	+3,0				-1,2	-1,5						
50° 30' 00"	14° 15' 00"		+1,8		+1,8			-1,8					-1,8	
50° 40' 00"	14° 15' 00"		+3,8		+3,6			-2,1					-1,5	
49° 55' 00"	14° 22' 30"	+3,8				+3,9	-1,2							-1,3
49° 50' 00"	14° 30' 00"	+2,8		+2,9			-1,2			-1,3				
50° 00' 00"	14° 30' 00"	+4,3	+4,5	+5,0			-1,1	-1,3	-1,3					
50° 10' 00"	14° 30' 00"		+2,6	+3,1				-0,5	-0,3					
50° 20' 00"	14° 30' 00"		+2,2		+1,6			-1,9					-1,3	
50° 30' 00"	14° 30' 00"		+2,1		+1,8			-1,4					-1,1	
50° 40' 00"	14° 30' 00"		+3,4		+3,6			-0,1					+0,1	
50° 10' 00"	14° 45' 00"		+2,1	+2,6				-0,8	-0,6					
50° 10' 00"	15° 00' 00"		+1,1	+1,2				-1,7	-1,6					
50° 20' 00"	15° 00' 00"		+1,7	+1,2				-1,8	-1,6					

Tabuľka 5

Číslo oblasti	Č. astr. geod. b.	Název astro-nomického-geodetickeho bodu	$\theta$	$\varphi$	$\xi^*$	$(\xi_x^{kp})$ (0-5km)				Primer	$(\xi_x^{\Delta\delta_{at}})$ (0-5km)		Výsl.	$\delta_{\xi}$	$(\xi_x^{(0-5km)})$	$\xi_x^{kh}$	$\xi_x^{\Delta\delta_{at}}$	$\xi_x$	$\Delta\xi_x$
						I	II	III	IV		III	IV							
30	14	Malý Tok	20 28 49° 39' 20",58		-1",70	-1",57	-1",62	-1",92	-1",65	-1",67	-0",14	-0",14	0",01	-1",82	-0",94	-1",74	-4",50	+2",80	
30	16	Džbán	14 58 50° 12' 18",02		+3",44	-0",68	-0",73	-0",55	-0",71	-0",68	+0",34	+0",34	0",00	-0",34	+3",08	+0",62	+3",37	+0",07	
30	21	Ládví	11 21 50° 08' 13",32		+2",11	-0",64	-0",58	-0",66	-0",70	-0",64	-0",22	-0",22	0",00	-0",86	+2",82	-0",99	+0",96	+1",15	
30	30	Pecný	52 50 49° 54' 56",28		+3",78	-1",02	-1",02	-0",96	-0",62	-0",92	+0",44	+0",44	0",00	-0",48	+2",40	-0",01	+1",91	-1",87	
30	35	Veliš	01 86 50° 25' 00",58		-1",28	+0",55	+0",40	+0",26	+0",15	+0",37	-0",76	-0",76	0",00	-0",39	-0",99	-0",79	-2",17	+0",89	
30	36	Vysoká	34 73 49° 56' 40",20		+5",47	+0",77	+0",87	+0",63	+0",51	+0",71	+0",21	+0",21	0",00	+0",92	+4",03	-0",84	+4",11	+1",36	
30	37	Melechov	39 28 49° 38' 45",05		+5",77	+1",69	+1",65	+1",68	+1",91	+1",74	+0",33	+0",33	0",00	+2",07	+0",80	-0",01	+2",86	+2",91	



Tabulka 6

Číslo oblasti	Č. astr. geod. b.	Název astro-nomického bodu	$L$ $\lambda$	$\eta^*$	$(\eta_{\Sigma}^{KH})_{(0-5km)}$				Průměr	$(\eta_{\Sigma}^{\Delta g_{stat}})_{(0-5km)}$		Výsl.	$\delta_{\eta}$	$(\eta_{\Sigma}^{(0-5km)})$	$\eta_{\Sigma_i}^{KH}$	$\eta_{\Sigma_i}^{\Delta g_{stat}}$	$\eta_{\Sigma}$	$\Delta \eta_{\Sigma}$
					I	II	III	IV		III	IV							
30	14	Malý Tok	48 49 13° 50' 47",96	-0",34	+0",33	+0",25	+0",32	+0",30	+0",29	-0",02	-0",02	0",00	+0",27	-0",12	+0",42	+0",57	-0",91	
30	16	Džbán	13 03 13° 45' 09",59	-2",20	-0",60	-0",46	-0",78	-0",56	-0",58	+0",05		0",00	-0",53	-0",29	-1",40	-2",22	+0",02	
30	21	Ladví	58 42 14° 27' 57",79	-0",40	+0",27	+0",25	-0",02	+0",28	+0",21	+0",07		0",00	+0",28	-0",20	+0",36	+0",44	-0",84	
30	30	Pecný	19 43 14° 47' 21",56	+1",37	+0",32	+0",30	+0",21	+0",24	+0",28	+0",69		0",00	+0",97	-0",06	+1",35	+2",46	-1",09	
30	31	Sadská	37 37 14° 58' 35",81	-1",00	0",00	+0",06	+0",03	+0",05	+0",04	+0",05		0",00	+0",09	+0",38	-0",56	-0",09	-0",91	
30	35	Velš	59 11 15° 18' 56",75	-1",50	+0",83	+0",61	+0",59	+0",68	+0",71	+0",02		0",00	+0",71	-0",82	-0",19	-0",30	-1",20	
30	36	Vysoká	25 13 15° 11' 23",58	-1",00	+0",41	+0",41	+0",50	+0",33	+0",41		-0",24	0",00	+0",17	+1",10	-1",45	-0",18	-0",82	
30	37	Melechov	11 45 15° 19' 08",03	-2",21	+0",53	+0",21	+0",51	+0",68	+0",46	+0",25		0",00	+0",71	+0",11	-0",64	+0",18	-2",39	

výpočty gravimetrických složek  $\xi_x$ ,  $\eta_x$  a rozdílů  $\Delta\xi_x, \Delta\eta_x$  na těchto bodech dokumentují tab. 5, 6, v nichž značí:

$B$  - geodetická šířka v systému S-42,

$\varphi$  - astronomická šířka,

$L$  - geodetická délka v systému S-42,

$\lambda$  - astronomická délka,

$\xi^*$  - složka astronomicko-geodetické tížnicové odchylky v systému S-42 v rovině poledníku,

$\eta^*$  - složka astronomicko-geodetické tížnicové odchylky v systému S-42 v rovině prvního vertikálu,

$(\xi_x^{KH})^{(0-5km)}$  - část složky  $\xi_x$ , způsobená hypsometrickým členem v centrální oblasti /0-5 km/,

$(\eta_x^{KH})^{(0-5km)}$  - část složky  $\eta_x$ , způsobená hypsometrickým členem v centrální oblasti /0-5 km/,

I - metoda numerické integrace při použití bodové průsvitky varianty I /1/,

II - metoda numerické integrace při použití bodové průsvitky varianty II /1/,

III - metoda numerické integrace při použití bodové průsvitky varianty III /1/,

IV - metoda numerické integrace při použití bodové průsvitky varianty IV /1/,

V - metoda numerické integrace při použití bodové průsvitky varianty V /1/,

Průměr - vážený průměr z hodnot v předcházejících čtyřech sloupcích, přičemž hodnotám v prvních dvou sloupcích je přiřazena váha  $\rho = 5$ , v druhých dvou  $\rho = 3$ ,

$(\xi_x^{\Delta g_{B+t}})^{(0-5km)}$  - část složky  $\xi_x^{\Delta g_{B+t}}$ , způsobená anomáliemi  $\Delta g_{B+t}$  v centrální oblasti /0-5 km/,

$(\eta_x^{\Delta g_{B+t}})^{(0-5km)}$  - část složky  $\eta_x^{\Delta g_{B+t}}$ , způsobená anomáliemi  $\Delta g_{B+t}$  v centrální oblasti /0-5 km/,

Výsl. - opsaná hodnota z jednoho z předcházejících dvou sloupců,

$\delta_\xi$  - korekce složky  $\xi$  z kondenzace topografických hmot na hladinovou plochu, jdoucí astronomickým bodem /1/,

$\delta_\eta$  - korekce složky  $\eta$  z kondenzace topografických hmot na hladinovou plochu, jdoucí astronomickým bodem /1/,

$$(\xi_x)^{(0-5km)} = (\xi_x^{KH})^{(0-5km)} + (\xi_x^{\Delta g_{B+t}})^{(0-5km)},$$

$$(\eta_{\Sigma})^{(0-5\text{km})} = (\eta_{\Sigma}^{\text{KH}})^{(0-5\text{km})} + (\eta_{\Sigma}^{\Delta g_{B+t}})^{(0-5\text{km})},$$

$\xi_{\Sigma_1}^{\text{KH}}$  - část složky  $\xi_{\Sigma}$ , způsobená hypsometrickým členem v oblasti  $\Sigma_1 = \Sigma - /0-5 \text{ km/}$ ,

$\eta_{\Sigma_1}^{\text{KH}}$  - část složky  $\eta_{\Sigma}$ , způsobená hypsometrickým členem v oblasti  $\Sigma_1 = \Sigma - /0-5 \text{ km/}$ ,

$\xi_{\Sigma_1}^{\Delta g_{B+t}}$  - část složky  $\xi_{\Sigma}^{\Delta g_{B+t}}$ , způsobená anomáliemi  $\Delta g_{B+t}$  ve vnější oblasti  $\Sigma_1 = \Sigma - /0-5 \text{ km/}$ ,

$\eta_{\Sigma_1}^{\Delta g_{B+t}}$  - část složky  $\eta_{\Sigma}^{\Delta g_{B+t}}$ , způsobená anomáliemi  $\Delta g_{B+t}$  ve vnější oblasti  $\Sigma_1 = \Sigma - /0-5 \text{ km/}$ ,

$\Delta g_{B+t}$  - Bouguerova anomálie s opravou na nerovnosti terénu,

$\xi_{\Sigma}$  - složka gravimetrické tížnicové odchylky v rovině poledníku, vypočtená z tíhových anomálií v oblasti  $\Sigma$ ,

$\eta_{\Sigma}$  - složka gravimetrické tížnicové odchylky v rovině prvního vertikálu, vypočtená z tíhových anomálií v oblasti  $\Sigma$ ,

$$\Delta \xi_{\Sigma} = \xi^* - \xi_{\Sigma},$$

$$\Delta \eta_{\Sigma} = \eta^* - \eta_{\Sigma}.$$

Vyrovnaním byly odvozeny interpolační funkce

$$\Delta \xi_{\Sigma}'' = -3,25 (B - B_0)^0 - 0,97 (L - L_0)^0 \cos B_0 + 1,48,$$

$$\Delta \eta_{\Sigma}'' = +1,38 (B - B_0)^0 - 1,19 (L - L_0)^0 \cos B_0 - 0,87.$$

I když pro daný účel by stačilo počítat pouze složky tížnicových odchylek  $\eta$  v prvním vertikálu, věnujeme se zde i složkám v poledníku  $\xi$ , neboť gravimetrické složky  $\xi_{\Sigma}$ ,  $\eta_{\Sigma}$  jsou počítány ze stejných vstupních údajů a mohou v některých případech poskytnout představu o přesnosti výchozích podkladů.

Opravy  $v(\Delta \xi_{\Sigma})$ ,  $v(\Delta \eta_{\Sigma})$  z vyrovnaní v interpolační oblasti č. 30 jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7

Astr.- geod. bod č.	$v(\Delta \xi_{\Sigma})$	$v(\Delta \eta_{\Sigma})$
14	-0,45	+0,06
16	+0,46	0,00
21	-0,13	+0,19
30	-0,01	-0,12
35	-0,46	+0,29
36	+0,56	-0,65
37	+0,03	+0,41
31	-	-0,13

Jejich hodnoty jsou v dobré shodě s hodnotami oprav, jak vyšly z vyrovnání v dílčích oblastech jiných /tab. 1, 2/. Střední chyby rozdílů  $\Delta\xi_x, \Delta\eta_x$  před vyrovnáním jsou  $m(\Delta\xi_x)_0 = \pm 0''49$ ,  $m(\Delta\eta_x)_0 = \pm 0''40$ , po vyrovnání  $m(\overline{\Delta\xi_x}) = \pm 0''32$ ,  $m(\overline{\Delta\eta_x}) = \pm 0''24$ .

### 3.2.3. Výpočet složek $\xi_x, \eta_x$ gravimetrických tížnicových odchylek a rozdílů $\Delta\xi_x, \Delta\eta_x$ na stanicích I, II

Gravimetrické složky tížnicových odchylek na stanicích I, II čs. časové služby byly vypočteny stejnými metodami, jak je popsáno v /1/. Některé dílčí výsledky a konečné hodnoty těchto složek, jakož i výsledné složky astronomicko-geodetické  $\xi = \xi_x + \Delta\xi$ ,  $\eta = \eta_x + \Delta\eta_x$ , jsou uvedeny v tab. 8, 9, kde  $\alpha, \beta$  značí dvě různé metody mechanických kvadratur definované v /4/, ostatní označení jsou stejná jako v 3.2.2.

Vzhledem k tomu, že stanice I a II jsou značně blízké, je užitečné porovnat i rozdíly  $\xi_I - \xi_{II}$  a  $\eta_I - \eta_{II}$ . Srovnání je provedeno v tab. 10. Překvapuje značná velikost těchto rozdílů, přestože stanice I a II jsou od sebe vzdáleny jen asi 1,5 km. Ukazuje se, že rozdíl je téměř výlučně způsoben hypsometrickým členem v centrální kruhové oblasti /0-5 km/. Charakter terénu v nejbližším okolí stanice I a II je znázorněn na obr. 3 a 4 pomocí profilů, proložených stanicemi I a II v azimutech  $45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  a  $180^\circ$ .

Pro výpočet co nejpřesnějších hodnot částí složek tížnicových odchylek způsobených vlivem hmot v nejbližším okolí obou stanic, tj.  $(\xi_x^{KH})^{(0-5km)}$  a  $(\eta_x^{KH})^{(0-5km)}$ , bylo provedeno 8 integrací pomocí tří typů bodových průsvitek /rozpracovaných s použitím dvou různých metod mechanických kvadratur v /4/ a popsaných v /1/, kde jsou označeny jako varianta I, II, III/. Výsledné hodnoty byly pak vypočteny jako obecný aritmetický průměr, přičemž hodnotám získaným integrací v jednotlivých variantách I, II, III byly přiřazeny váhy vyplývající z počtu uzlů /zcela obdobně jako v /1/, tj. variantě I váha 5, variantě II váha 6 a variantě III váha 7. Střední chyby aritmetického průměru jsou:

stanice I		stanice II	
$m_{\xi_x^{KH} (0-5km)}$	= $\pm 0''05$	$m_{\xi_x^{KH} (0-5km)}$	= $\pm 0''03$
$m_{\eta_x^{KH} (0-5km)}$	= $\pm 0''03$	$m_{\eta_x^{KH} (0-5km)}$	= $\pm 0''02$

Int. obl. č.	Staniční	$(\xi_{\Sigma}^{NH}) (0-5km)$												Prům.	$(\xi_{\Sigma}^{0.5km}) (0-5km)$		Prům.	$\delta_{\xi}$	$\xi_{\Sigma}^{(0-5km)}$	$\xi_{\Sigma}^{NH}$	$\xi_{\Sigma}^{0.5km}$	$\xi_{\Sigma}$	$\Delta \xi_{\Sigma}$	$\xi_{\Sigma} + \Delta \xi_{\Sigma}$
		I		II		III		I		Prům.	$\alpha$	$\beta$												
		$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$															
1	I	-0"98	-1"05	-1"03	-1"01	-0"82	-0"76	-0"72	-0"73	-0"87	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	-0"84	+3"71	-1"92	+0"95	+1"24	+2"19		
1	II	+0"33	+0"41	+0"24	+0"22	+0"36	+0"29	+0"40	+0"49	+0"36	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	+0"36	+3"71	-1"93	+1"25	+1"25	+3"39		
2	I	-0"98	-1"05	-1"03	-1"01	-0"82	-0"76	-0"72	-0"73	-0"87	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	-0"84	+1"50	-1"03	-0"37	+2"93	+2"56		
2	II	+0"33	+0"41	+0"24	+0"22	+0"36	+0"29	+0"40	+0"49	+0"36	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	+0"36	+1"53	-1"09	+0"80	+2"93	+3"73		
4	I	-0"98	-1"05	-1"03	-1"01	-0"82	-0"76	-0"72	-0"73	-0"87	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	-0"84	+3"70	-1"63	+1"23	+1"62	+2"85		
4	II	+0"33	+0"41	+0"24	+0"22	+0"36	+0"29	+0"40	+0"49	+0"36	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	+0"36	+3"59	-1"62	+2"33	+1"60	+3"93		
15	I	-0"98	-1"05	-1"03	-1"01	-0"82	-0"76	-0"72	-0"73	-0"87	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	-0"84	+0"84	-0"81	-0"81	+3"01	+2"20		
15	II	+0"33	+0"41	+0"24	+0"22	+0"36	+0"29	+0"40	+0"49	+0"36	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	+0"36	+0"87	-0"75	+0"48	+3"02	+3"50		
16	I	-0"98	-1"05	-1"03	-1"01	-0"82	-0"76	-0"72	-0"73	-0"87	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	-0"84	+4"87	-1"99	+2"04	+0"46	+2"50		
16	II	+0"33	+0"41	+0"24	+0"22	+0"36	+0"29	+0"40	+0"49	+0"36	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	+0"36	+4"87	-1"99	+3"24	+0"46	+3"70		
30	I	-0"98	-1"05	-1"03	-1"01	-0"82	-0"76	-0"72	-0"73	-0"87	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	-0"84	+2"70	-0"73	+1"13	+1"19	+2"32		
30	II	+0"33	+0"41	+0"24	+0"22	+0"36	+0"29	+0"40	+0"49	+0"36	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	0"00	+0"36	+2"72	-0"67	+2"41	+1"19	+3"60		

Int. obl. č.	Stanice č.	$(\gamma_{\Sigma}^{KH})^{(0-5km)}$												Prům.	$(\gamma_{\Sigma}^{\Delta\delta_{st}})^{(0-5km)}$		Prům.	$\delta\gamma$	$\gamma_{\Sigma}^{(0-5km)}$	$\gamma_{\Sigma}^{KH}$	$\gamma_{\Sigma}^{\Delta\delta_{st}}$	$\gamma_{\Sigma}$	$\Delta\gamma_{\Sigma}$	$\gamma = \gamma_{\Sigma} + \Delta\gamma_{\Sigma}$
		I			II			III			$\alpha$	$\beta$												
		$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$																	
1	I	+2"09	+2"18	+2"01	+2"20	+2"19	+2"22	+2"01	+2"19	+2"01	+2"22	+2"01	+2"19	+2"13	-0"02	-0"01	+3"44	-0"58	+4"94	-2"61	+2"33			
1	II	+0"12	+0"09	+0"14	-0"01	+0"04	+0"07	+0"00	0"00	+0"00	+0"07	+0"00	0"00	+0"05	-0"02	-0"03	+3"24	-0"53	+2"74	-2"63	+0"11			
2	I	+2"09	+2"18	+2"01	+2"20	+2"19	+2"22	+2"01	+2"19	+2"01	+2"22	+2"01	+2"19	+2"13	-0"02	-0"01	+1"32	-0"12	+3"28	-1"14	+2"14			
2	II	+0"12	+0"09	+0"14	-0"01	+0"04	+0"07	0"00	0"00	0"00	+0"07	0"00	0"00	+0"05	-0"02	-0"03	+1"15	-0"14	+1"04	-1"18	-0"14			
4	I	+2"09	+2"18	+2"01	+2"20	+2"19	+2"22	+2"01	+2"19	+2"01	+2"22	+2"01	+2"19	+2"13	-0"02	-0"01	+0"28	-0"53	+1"83	+0"21	+2"04			
4	II	+0"12	+0"09	+0"14	-0"01	+0"04	+0"07	0"00	0"00	0"00	+0"07	0"00	0"00	+0"05	-0"02	-0"03	+0"29	-0"51	-0"19	+0"18	-0"01			
15	I	+2"09	+2"18	+2"01	+2"20	+2"19	+2"22	+2"01	+2"19	+2"01	+2"22	+2"01	+2"19	+2"13	-0"02	-0"01	+2"76	-0"12	+4"72	-2"98	+1"74			
15	II	+0"12	+0"09	+0"14	-0"01	+0"04	+0"07	0"00	0"00	0"00	+0"07	0"00	0"00	+0"05	-0"02	-0"03	+2"63	-0"07	+2"59	-3"02	-0"43			
16	I	+2"09	+2"18	+2"01	+2"20	+2"19	+2"22	+2"01	+2"19	+2"01	+2"22	+2"01	+2"19	+2"13	-0"02	-0"01	+2"36	-0"81	+3"63	-1"66	+1"97			
16	II	+0"12	+0"09	+0"14	-0"01	+0"04	+0"07	0"00	0"00	0"00	+0"07	0"00	0"00	+0"05	-0"02	-0"03	+2"27	-0"80	+1"50	-1"69	-0"19			
30	I	+2"09	+2"18	+2"01	+2"20	+2"19	+2"22	+2"01	+2"19	+2"01	+2"22	+2"01	+2"19	+2"13	-0"02	-0"01	+0"91	-0"22	+2"77	-0"68	+2"09			
30	II	+0"12	+0"09	+0"14	-0"01	+0"04	+0"07	0"00	0"00	0"00	+0"07	0"00	0"00	+0"05	-0"02	-0"03	+0"75	-0"20	+0"58	-0"70	-0"12			

### 3.2.4. Konečné výsledky

Výsledné hodnoty složek astronomicko-geodetických tížnicových odchylek v systému S-42 na stanicích I, II, jak vyšly z řešení v jednotlivých oblastech  $\sigma$ , jsou přehledně uvedeny v tab. 11.

Tabulka 10

Rozdíly složek astronomicko-geodetických tížnicových odchylek  $\xi, \eta$  mezi stanicemi I a II

Interpol. oblast č.	$\xi_I$ $\xi_{II}$	$\eta_I$ $\eta_{II}$
1	-1,20	+2,22
2	-1,17	+2,28
4	-1,08	+2,05
15	-1,30	+2,17
16	-1,20	+2,16
30	-1,28	+2,21

Tabulka 11

Složky astronomicko-geodetických tížnicových odchylek  $\xi, \eta$  vypočtené v interpolačních oblastech  $\sigma$ .

Interpol. oblast č.	stanice I		stanice II	
	$\xi$	$\eta$	$\xi$	$\eta$
1	+2,19	+2,33	+3,39	+0,11
2	+2,56	+2,14	+3,73	-0,14
4	+2,85	+2,04	+3,93	-0,01
15	+2,20	+1,74	+3,50	-0,43
16	+2,50	+1,97	+3,70	-0,19
30	+2,32	+2,09	+3,60	-0,12

Střední hodnoty a jejich střední chyby jsou

$$\xi_I = + 2,44 \pm 0,10 \qquad \eta_I = + 2,05 \pm 0,08$$

$$\xi_{II} = + 3,64 \pm 0,08 \qquad \eta_{II} = - 0,13 \pm 0,07$$

Pro daný účel je třeba ještě určit rozdíly složek  $\eta$  mezi stanicí III a stanicemi I, II. Tyto rozdíly jsou uvedeny v tab. 12.

Tabulka 12

Interpol. obl. č.	$\eta_{\text{III}} - \eta_{\text{I}}$	$\eta_{\text{III}} - \eta_{\text{II}}$
1	-0,96	+1,26
2	-0,77	+1,51
4	-0,67	+1,38
15	-0,37	+1,80
16	-0,60	+1,56
30	-0,72	+1,49

Střední hodnoty rozdílů jsou

$$\eta_{\text{III}} - \eta_{\text{I}} = -0,68,$$

$$\eta_{\text{III}} - \eta_{\text{II}} = +1,50.$$

#### 4. Závěr

Výsledky ukazují, že s použitím detailních tíhových údajů lze určovat rozdíly složek tížnicových odchylek s poměrně vysokou přesností, alespoň  $\pm 0,1$  a kromě toho i v některých případech korigovat astronomická pozorování na astronomicko-geodetických bodech.

Došlo dne 20. 6. 1974



## L I T E R A T U R A

- [1] Burša, M., Kanda, L., Mařanová, R.: Tížnicové odchylky a výšky kvazi-geoidu na území ČSSR a teorie jejich určování. II. Technologické postupy a praktické výsledky. A. Tížnicové odchylky. EDICE VÚGTK, řada 4 - Praha 1972.
- [2] Burša, M.: K možnosti využití tíhových údajů při hodnocení přesnosti československého astronomického operátu. EDICE VÚGTK, řada 3 - Praha 1972.
- [3] Burša, M., Kanda, L.: Hodnocení přesnosti astronomického operátu v oblasti jihozápadní Moravy. EDICE VÚGTK, řada 3 - Praha 1973.
- [4] Burša, M.: On the Determination of Gravimetric Deflections of the Vertical for the Centre Area. Travaux Inst. Géophys. Acad. Tchécosl. Sci. No 23, Geofyzikální sborník 1967, Academia, Praha 1968.
- [5] Burša, M.: The Interpolation Error of Quasigeoidal Heights on the Territory of Czechoslovakia. Travaux Inst. Géophys. Acad. Tchécosl. Sci. No 288, Geofyzikální sborník 1968, Academia, Praha 1971.
- [6] Burša, M.: Accuracy of Differences of Astrogeodetic and Gravimetric Deflections of the Vertical on the Territory of Czechoslovakia. Travaux Inst. Géophys. Acad. Tchécosl. Sci. No 319, Geofyzikální sborník 1970; Academia, Praha 1972.
- [7] Burša, M.: Undulations of the Geoid Due to Deep Anomalous Masses on the Territory of Czechoslovakia. Travaux Inst. Géophys. Acad. Tchécosl. Sci. No 345, Geofyzikální sborník 1971, Academia, Praha 1973.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Квасничка:</b> Аномалии силы тяжести во внешнем пространстве с спутниковых данных	1
<b>Невосад:</b> Исчисление и точность длин измеряемых на чехословацком участке базиса космической триангуляции	31
<b>Бурша:</b> Уклонение отвеса на территории ЧССР в геоцентрической системе координат	59
<b>Бурша, Шимек, Канда, Маржанова:</b> Составляющие уклонений отвеса в системе С-42 на пунктах чехословацкой временной службы	69

---

## INHALT

<b>Kvasnička:</b> Schwereanomalien im äusseren Raum von den Satellitendaten	1
<b>Nevosád:</b> Berechnung und Genauigkeit der auf dem tchechoslowakischen Abschnitt der kosmischen Triangulationsbasis gemessenen Strecken	31
<b>Burša:</b> Lotabweichungen auf dem Gebiet der ČSSR im geozentrischen Koordinatensystem	59
<b>Burša, Šimek, Kanda, Mařanová:</b> Komponenten der Lotabweichungen im System S-42 auf den Stationen des tschechoslowakischen Zeitdienstes	69