

vojenský topografický obzor



vydává MNO 17

1

1972

O B S A H

	Strana
Plk. Ing. Vladimír Vahala, CSc.: Transformace světových referenčních geodetických systémů	1
<i>Recenzent: Ing. Milan Burša, CSc.</i>	
Pplk. Ing. Jaroslav Prachař: K transformaci prostorových pravoúhlých souřadnic na souřadnice zeměpisné	35
<i>Recenzent: plk. prof. dr. Ing. Josef Vykutíl</i>	
Mjr. Ing. Libor Filipský: Přesná transformace souřadnic x, y na φ, λ (metoda pomocného bodu)	44
<i>Recenzent: pplk. Ing. Věnek Pavlica, CSc.</i>	
Mjr. Ing. Drahomír Dušátko: Některé vztahy mezi geodetickým referenčním systémem 1967 a systémem S-1942	57
<i>Recenzent: plk. prof. dr. Ing. Josef Vykutíl</i>	
Pplk. Ing. Vladimír Martinák, CSc.: Měření polygonových pořadů o dlouhých stranách za snížené viditelnosti	68
<i>Recenzent: pplk. Ing. Jan Kotva</i>	
Ing. Zdeněk Šimon: Směry zvyšování přesnosti gravimetrických měření	75
<i>Recenzent: Ing. Jan Flxel, CSc.</i>	
Plk. Ing. Erhart Srnka, CSc.: Teoretický rozbor otázky stanovení lhůt obnovy čs. topografických map	85
<i>Recenzent: pplk. Ing. František Kučera</i>	
Pplk. Ing. František Miklošík, CSc.: Problémy automatizace vyhodnocování informací o území	100
<i>Recenzent: pplk. Ing. Otokar Krásný</i>	
Pplk. Ing. Karel Kosař, CSc.: Zkrácení barevné stupnice při tisku map	116
<i>Recenzent: pplk. Ing. Jaroslav Baroňovský</i>	
Mjr. Ing. Ervín Vrábel: Světelné zdroje ve fotomechanickém procesu	124
<i>Recenzent: pplk. Ing. Karel Kosař, CSc.</i>	

Plk. ing. Vladimír V a h a l a, CSc.

Transformace světových referenčních geodetických systémů

1. Podstata problému

Zveřejněním některých výsledků získaných z pozorování umělých družic Země /UDZ/ a vzájemných charakteristik geoidu a referenčního elipsoidu bylo umožněno řešení tohoto náročného problému, a to na kterémkoli místě zemského povrchu, kde uvedené vztahy /referenční elipsoid - geoid/ jsou známy.

Tento problém může být řešen různými metodami, a to podle rozpracování potřebných teoretických úvah.

Základem řešení je určení souřadnicových rozdílů /posunů/ středů referenčních elipsoidů od hmotného středu Země /těžiště Země, geocentra/, tj. ΔX_{or} , ΔY_{or} , ΔZ_{or} v geocentrickém souřadnicovém systému X, Y, Z. Střed tohoto systému je v hmotném středu Země, osa X je rovnoběžná s rovinou nulového /Greenwichského/ astronomického meridiánu, osa Y je v rovině rovníku kolmá k ose X, orientovaná kladně ve směru východním a osa Z je totožná se střední rotační osou a směřuje k severu.

Přitom řešení zjednodušíme v prvním přiblížení v tom smyslu, že osy referenčních elipsoidů i geocentrického elipsoidu považujeme za absolutně rovnoběžné; ve skutečnosti však tomu tak zpravidla není. Požadovaná přesnost transformace toto zjednodušení zatím připouští.

V této práci je použito dvou metod založených na znalosti výšek geoidu nad referenčními elipsoidy, jejichž vzájemné vztahy chceme zkoumat. Zavedeme zde pro ně názvy - metoda přímá a metoda potenciálu. Principy obou metod budou vysvětleny v dalších kapitolách vždy při vlastním řešení.

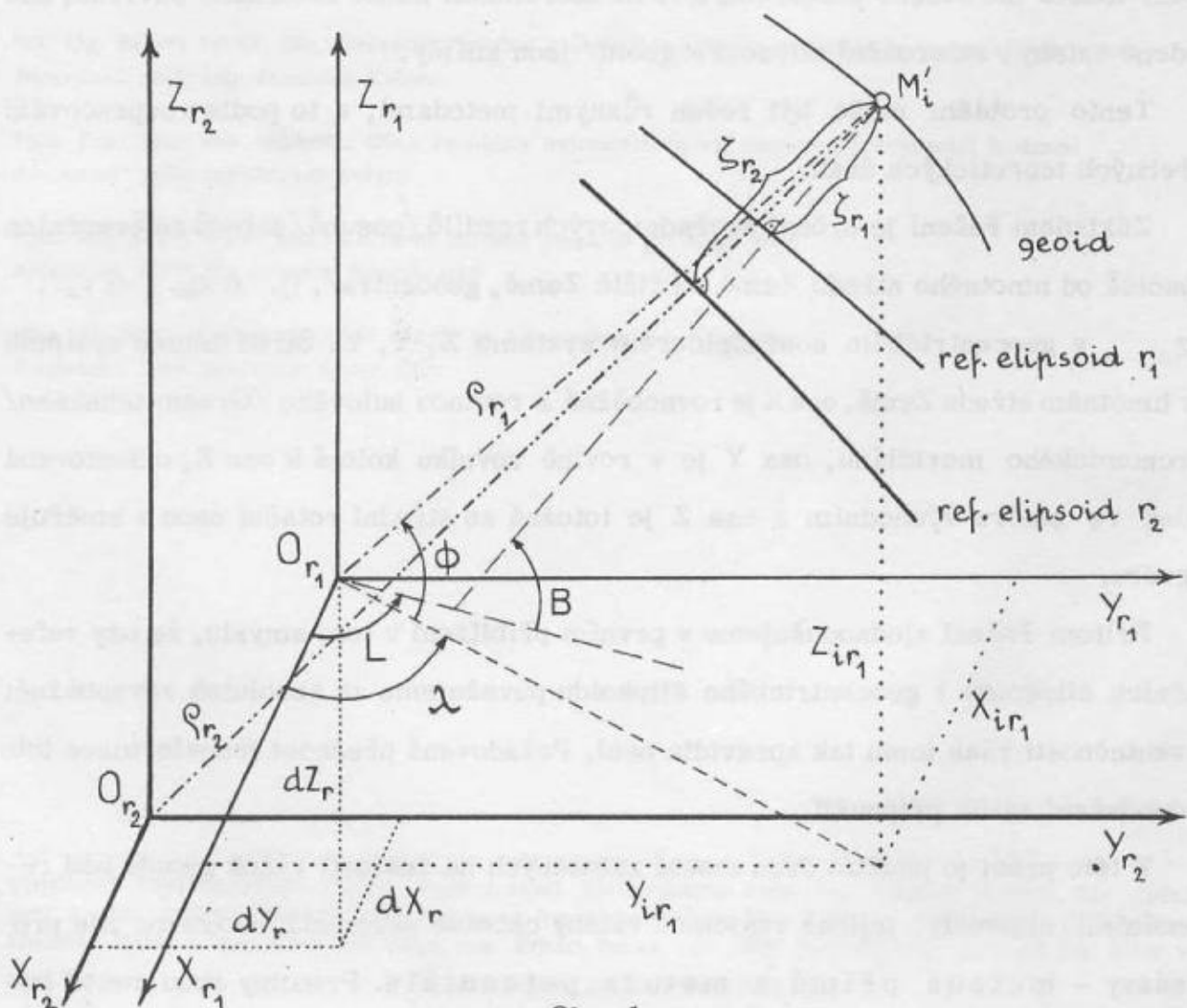
2. Metoda přímá

Základní výchozí informací pro možnost řešení transformace zde je

- určení obecného /tzv. planetárního/ geoidu z pozorování umělých družic Země, a tím i výšek tohoto geoidu nad zvoleným geocentrickým elipsoidem,
- určení výšek geoidu nad použitými geodetickými referenčními elipsoidy, tvořícími základ referenčních geodetických systémů, které chceme vzájemně transformovat.

2.1. Určení souřadnicových rozdílů /posunů/ středů referenčních geodetických elipsoidů

Vlastním východiskem pro určení uvedených souřadnicových rozdílů je transformační rovnice pro výšku geoidu při přechodu z jednoho elipsoidu na jiný. Symbolika i geometrická představa jsou patrné z obr. 1.



Obr. 1

Odvození transformační rovnice vychází ze závislosti změny výšky geoidu (ζ) nad referenčními elipsoidy, v důsledku

- vzájemného posunu středů referenčních elipsoidů a
- změn parametrů referenčních elipsoidů.

V obecné formě můžeme tuto závislost vyjádřit rovnicí

$$d\zeta = \frac{\partial \zeta}{\partial X_r} dX_r + \frac{\partial \zeta}{\partial Y_r} dY_r + \frac{\partial \zeta}{\partial Z_r} dZ_r + \frac{\partial \zeta}{\partial a_r} da_r + \frac{\partial \zeta}{\partial \alpha_r} d\alpha_r, \quad (1)$$

přičemž $d\zeta \doteq d\varrho_r$,

$$\varrho_r^2 = X_r^2 + Y_r^2 + Z_r^2.$$

Derivací rovnice (1) dostaneme

$$2\varrho_r d\varrho_r = 2X_r dX_r + 2Y_r dY_r + 2Z_r dZ_r, \quad (2)$$

odkud můžeme přímo psát parciální derivace /B, L jsou geodetické souřadnice, ϕ je úhel průvodiče ϱ_r s rovinou rovníku, λ je geocentrická délka/.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial X_r} &= \frac{\partial \varrho_r}{\partial X_r} = \frac{X_r}{\varrho_r} = \frac{\varrho_r \cos \phi \cos \lambda}{\varrho_r} = \cos \phi \cos \lambda \doteq \cos B \cos L, \\ \frac{\partial \zeta}{\partial Y_r} &= \frac{\partial \varrho_r}{\partial Y_r} = \frac{Y_r}{\varrho_r} = \frac{\varrho_r \cos \phi \sin \lambda}{\varrho_r} = \cos \phi \sin \lambda \doteq \cos B \sin L, \\ \frac{\partial \zeta}{\partial Z_r} &= \frac{\partial \varrho_r}{\partial Z_r} = \frac{Z_r}{\varrho_r} = \frac{\varrho_r \sin \phi}{\varrho_r} = \sin \phi \doteq \sin B. \end{aligned} \quad (3)$$

Výrazy pro $\frac{\partial \zeta}{\partial a_r}$ a $\frac{\partial \zeta}{\partial \alpha_r}$ můžeme převzít např. z [6], odkud

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial a_r} &= -\sqrt{1 - e_r^2 \sin^2 B}, \\ \frac{\partial \zeta}{\partial \alpha_r} &= \frac{\sin^2 B}{\sqrt{1 - e_r^2 \sin^2 B}} a_r (1 - \alpha_r). \end{aligned} \quad (4)$$

Přitom $d\zeta = \zeta_{r_2} - \zeta_{r_1}$, ($d\varrho = \varrho_{r_2} - \varrho_{r_1}$),

$$\begin{aligned} dX_r &= X_{r_2} - X_{r_1} = (X - \Delta X_{or_2}) - (X - \Delta X_{or_1}) = \\ &= \Delta X_{or_1} - \Delta X_{or_2} = \Delta (\Delta X_o)_{r_{12}}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dY_r &= Y_{r_2} - Y_{r_1} = (Y - \Delta Y_{or_2}) - (Y - \Delta Y_{or_1}) = \\ &= \Delta Y_{or_1} - \Delta Y_{or_2} = \Delta (\Delta Y_o)_{r_{12}}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dZ_r &= Z_{r_2} - Z_{r_1} = (Z - \Delta Z_{or_2}) - (Z - \Delta Z_{or_1}) = \\ &= \Delta Z_{or_1} - \Delta Z_{or_2} = \Delta (\Delta Z_o)_{r_{12}}, \end{aligned}$$

$$da_r = a_{r_2} - a_{r_1} = \Delta a_{r_{21}},$$

$$d\alpha_r = \alpha_{r_2} - \alpha_{r_1} = \Delta \alpha_{r_{21}}.$$

Dosažením všech těchto závislostí do rovnice (1) dostaneme konečný tvar rovnice

$$\begin{aligned} \zeta_{ir_2} = & \zeta_{ir_1} + \cos B_i \cos L_i \Delta(\Delta X_o)_{r_{12}} + \cos B_i \sin L_i \Delta(\Delta Y_o)_{r_{12}} + \\ & + \sin B_i \Delta(\Delta Z_o)_{r_{12}} - \sqrt{1 - e_{r_1}^2 \sin^2 B_i} \Delta a_{r_{21}} + \\ & + \frac{\sin^2 B_i}{\sqrt{1 - e_{r_1}^2 \sin^2 B_i}} a_{r_1} (1 - \alpha_{r_1}) \Delta \alpha_{r_{21}}, \end{aligned} \quad (5)$$

kde jsou

ζ_{ir_2} - výška geoidu v bodě M_i daném souřadnicemi B_i, L_i nad druhým referenčním elipsoidem

ζ_{ir_1} - výška geoidu v bodě M_i nad prvním referenčním elipsoidem

$\Delta X_{or_1}, \Delta Y_{or_1}, \Delta Z_{or_1}$ - souřadnice středu prvního referenčního elipsoidu vzhledem ke geocentru

$\Delta X_{or_2}, \Delta Y_{or_2}, \Delta Z_{or_2}$ - souřadnice středu druhého referenčního elipsoidu vzhledem ke geocentru

a_{r_1} - velká poloosa prvního referenčního elipsoidu

a_{r_2} - velká poloosa druhého referenčního elipsoidu

α_{r_1} - zploštění prvního referenčního elipsoidu

α_{r_2} - zploštění druhého referenčního elipsoidu

e_{r_1} - excentricita prvního referenčního elipsoidu.

Prostředníkem k určení vztahů mezi dvěma referenčními elipsoidy nám bude v dalším sloužit geocentrický elipsoid a výšky geoidu nad ním (ζ_{io}).

Vzájemný vztah obou výšek je dán rovnicí, svou strukturou analogickou rovnicí (5):

$$\begin{aligned} \zeta_{io} = & \zeta_{ir} + \cos B_i \cos L_i \Delta X_{or} + \cos B_i \sin L_i \Delta Y_{or} + \\ & + \sin B_i \Delta Z_{or} - \sqrt{1 - e_r^2 \sin^2 B_i} \Delta a_{or} + \\ & + \frac{\sin^2 B_i}{\sqrt{1 - e_r^2 \sin^2 B_i}} a_r (1 - \alpha_r) \Delta \alpha_{or}, \end{aligned} \quad (6)$$

kde jsou

ζ_{ir} - výška geoidu nad referenčním elipsoidem

ζ_{io} - výška geoidu nad geocentrickým elipsoidem určená z pozorování UDZ

$\Delta X_{or}, \Delta Y_{or}, \Delta Z_{or}$ - souřadnice středu referenčního elipsoidu vzhledem ke geocentru

e_r - excentricita referenčního elipsoidu

a_r - velká poloosa referenčního elipsoidu

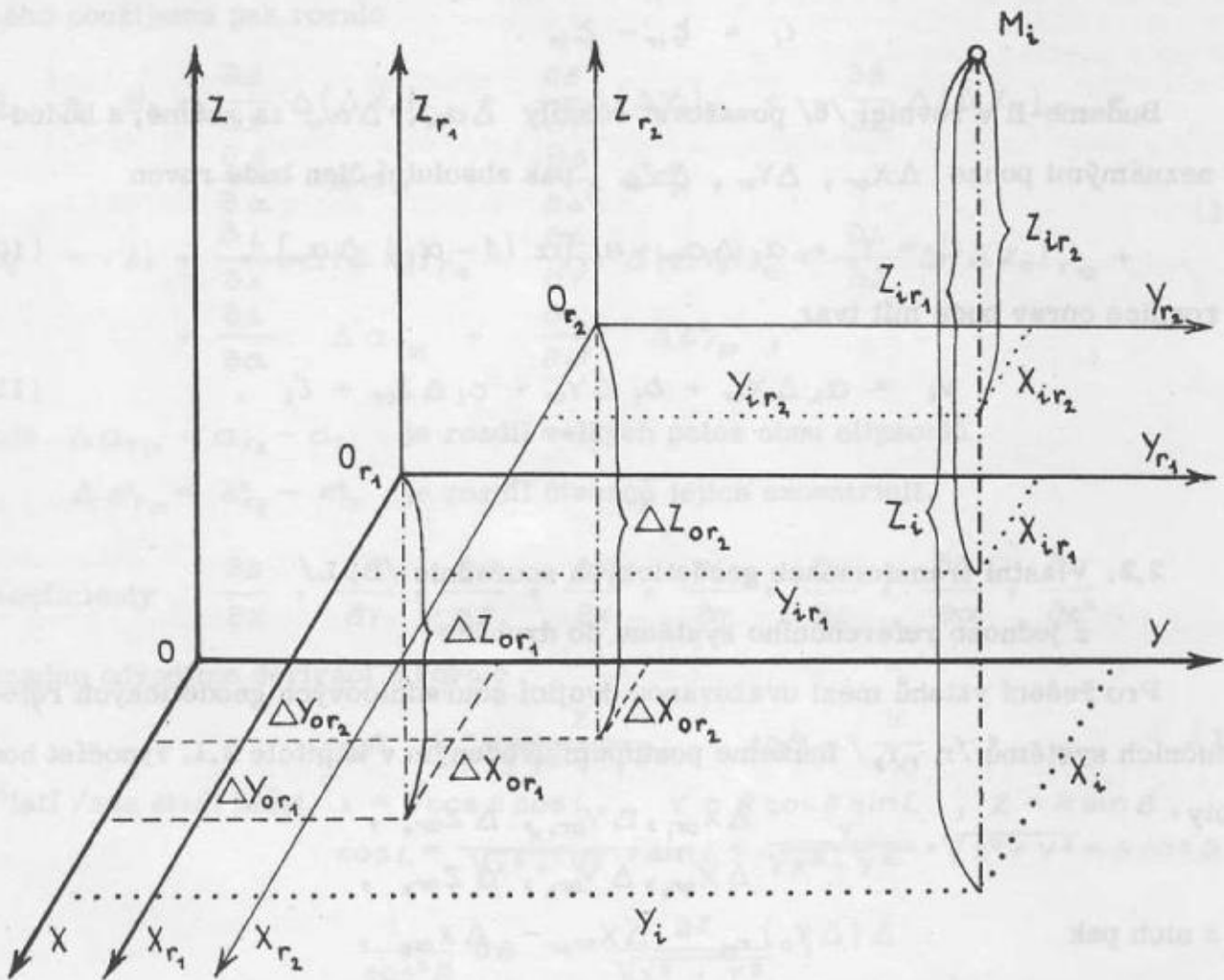
a_o - velká poloosa geocentrického elipsoidu

$$\Delta a_{or} = a_o - a_r$$

α_o - zploštění geocentrického elipsoidu

α_r - zploštění referenčního elipsoidu

$$\Delta \alpha_{or} = \alpha_o - \alpha_r$$



Obr. 2

Posuny ΔX_{or} , ΔY_{or} , ΔZ_{or} jsou /viz obr. 2/ souřadnice středu referenčního elipsoidu v geocentrickém systému. Pro souřadnice jakéhokoli bodu pak platí

$$X_i = X_{ir} + \Delta X_{or}, \quad Y_i = Y_{ir} + \Delta Y_{or}, \quad Z_i = Z_{ir} + \Delta Z_{or}. \quad (7)$$

Rovnici oprav pro výpočet neznámých hodnot posunů středu referenčního elipsoidu od geocentra můžeme pak napsat ve tvaru

$$v_i = a_i \Delta X_{or} + b_i \Delta Y_{or} + c_i \Delta Z_{or} + d_i \Delta \alpha_{or} + e_i [\alpha (1 - \alpha_r) \Delta \alpha_{or}] + l_i, \quad (8)$$

v ní

$$\begin{aligned} a_i &= \cos B_i \cos L_i, \\ b_i &= \cos B_i \sin L_i, \\ c_i &= \sin B_i, \\ d_i &= -\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_i}, \\ e_i &= \frac{\sin^2 B_i}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B_i}}, \\ l_i &= \zeta_{ir} - \zeta_{io}. \end{aligned} \quad (9)$$

Budeme-li v rovnici /8/ považovat rozdíly $\Delta \alpha_{or}$, $\Delta \alpha_{or}$ za známé, a budou-li neznámými pouze ΔX_{or} , ΔY_{or} , ΔZ_{or} , pak absolutní člen bude roven

$$l'_i = l_i + d_i \Delta \alpha_{or} + e_i [\alpha (1 - \alpha_r) \Delta \alpha_{or}], \quad (10)$$

a rovnice oprav bude mít tvar

$$v_i = a_i \Delta X_{or} + b_i \Delta Y_{or} + c_i \Delta Z_{or} + l'_i. \quad (11)$$

2.2. Vlastní transformace geodetických souřadnic /B, L/ z jednoho referenčního systému do druhého

Pro řešení vztahů mezi uvažovanou dvojicí souřadnicových geodetických referenčních systémů / r_1 , r_2 / můžeme postupem uvedeným v kapitole 2.1. vypočíst hodnoty

$$\Delta X_{or_1}, \Delta Y_{or_1}, \Delta Z_{or_1},$$

$$\Delta X_{or_2}, \Delta Y_{or_2}, \Delta Z_{or_2},$$

a z nich pak

$$\Delta (\Delta X_o)_{r_{12}} = \Delta X_{or_1} - \Delta X_{or_2},$$

$$\Delta (\Delta Y_o)_{r_{12}} = \Delta Y_{or_1} - \Delta Y_{or_2}, \quad (12)$$

$$\Delta (\Delta Z_o)_{r_{12}} = \Delta Z_{or_1} - \Delta Z_{or_2},$$

což jsou rozdíly souřadnic středů obou referenčních elipsoidů a výchozí veličiny pro vzájemnou transformaci.

Při jejich určení /viz obr. 2/ vycházíme z rovnic (7), podle nichž

$$\begin{aligned} X_i &= X_{1i} + \Delta X_{or_1} = X_{2i} + \Delta X_{or_2} , \\ Y_i &= Y_{1i} + \Delta Y_{or_1} = Y_{2i} + \Delta Y_{or_2} , \\ Z_i &= Z_{1i} + \Delta Z_{or_1} = Z_{2i} + \Delta Z_{or_2} , \end{aligned} \quad (13)$$

a tedy

$$\begin{aligned} X_{2i} &= X_{1i} + (\Delta X_{or_1} - \Delta X_{or_2}) = X_{1i} + \Delta(\Delta X_o)_{r_{12}} , \\ Y_{2i} &= Y_{1i} + (\Delta Y_{or_1} - \Delta Y_{or_2}) = Y_{1i} + \Delta(\Delta Y_o)_{r_{12}} , \\ Z_{2i} &= Z_{1i} + (\Delta Z_{or_1} - \Delta Z_{or_2}) = Z_{1i} + \Delta(\Delta Z_o)_{r_{12}} . \end{aligned} \quad (14)$$

Pro transformaci souřadnic B, L z jednoho souřadnicového systému do druhého použijeme pak rovnic

$$\begin{aligned} B_2 &= B_1 + \frac{\partial B}{\partial X} \Delta(\Delta X_o)_{r_{12}} + \frac{\partial B}{\partial Y} \Delta(\Delta Y_o)_{r_{12}} + \frac{\partial B}{\partial Z} \Delta(\Delta Z_o)_{r_{12}} + \\ &\quad + \frac{\partial B}{\partial a} \Delta a_{r_{21}} + \frac{\partial B}{\partial e^2} \Delta e^2_{r_{21}} , \\ L_2 &= L_1 + \frac{\partial L}{\partial X} \Delta(\Delta X_o)_{r_{12}} + \frac{\partial L}{\partial Y} \Delta(\Delta Y_o)_{r_{12}} + \frac{\partial L}{\partial Z} \Delta(\Delta Z_o)_{r_{12}} + \\ &\quad + \frac{\partial L}{\partial a} \Delta a_{r_{21}} + \frac{\partial L}{\partial e^2} \Delta e^2_{r_{21}} , \end{aligned} \quad (15)$$

kde $\Delta a_{r_{21}} = a_{r_2} - a_{r_1}$ je rozdíl velikých polos obou elipsoidů

$\Delta e^2_{r_{21}} = e^2_{r_2} - e^2_{r_1}$ je rozdíl čtverců jejich excentricit.

Koeficienty $\frac{\partial B}{\partial X}$, $\frac{\partial B}{\partial Y}$, $\frac{\partial B}{\partial Z}$, $\frac{\partial L}{\partial X}$, $\frac{\partial L}{\partial Y}$, $\frac{\partial L}{\partial Z}$, $\frac{\partial L}{\partial a}$, $\frac{\partial L}{\partial e^2}$

snadno odvodíme derivací z rovnic

$$\operatorname{tg} B \doteq \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} , \quad \operatorname{tg} L = \frac{Y}{X} . \quad (16)$$

Platí /zde stačí klást $X = R \cos B \cos L$, $Y = R \cos B \sin L$, $Z = R \sin B$,

$$\cos L = \frac{X}{\sqrt{X^2 + Y^2}} , \quad \sin L = \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Y^2}} , \quad \sqrt{X^2 + Y^2} = R \cos B /$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\cos^2 B} \frac{\partial B}{\partial Z} &= \frac{\partial Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} , \\ \frac{\partial B}{\partial Z} &= \cos^2 B \frac{1}{R \cos B} = \frac{1}{R} \cos B , \\ \frac{1}{\cos^2 B} \frac{\partial B}{\partial X} &= - \frac{XZ}{(\sqrt{X^2 + Y^2})^3} \partial X , \\ \frac{\partial B}{\partial X} &= - \cos^2 B \operatorname{tg} B \cos L \frac{1}{R \cos B} = - \frac{1}{R} \sin B \cos L , \\ \frac{1}{\cos^2 B} \frac{\partial B}{\partial Y} &= - \frac{YZ}{(\sqrt{X^2 + Y^2})^3} \partial Y , \\ \frac{\partial B}{\partial Y} &= - \cos^2 B \operatorname{tg} B \sin L \frac{1}{R \cos B} = - \frac{1}{R} \sin B \sin L , \end{aligned} \quad (17)$$

a dále

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\cos^2 L} \partial L &= \frac{\partial Y}{X} , \\
 \frac{\partial L}{\partial Y} &= \cos^2 L \frac{1}{X} = \cos^2 L \frac{1}{\cos L} \frac{1}{R \cos B} = \frac{1}{R} \sec B \cos L , \\
 \frac{1}{\cos^2 L} \partial L &= -\frac{Y}{X^2} \partial X , \\
 \frac{\partial L}{\partial X} &= -\cos^2 L \operatorname{tg} L \frac{1}{\cos L} \frac{1}{R \cos B} = -\frac{1}{R} \sec B \sin L , \\
 \frac{\partial L}{\partial Z} &= 0 .
 \end{aligned} \tag{18}$$

Zavedeme-li místo R příslušný poloměr křivosti elipsoidu /M,N/, dostaneme tyto vztahy v poněkud přesnějším tvaru:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial B}{\partial X} &= -\frac{1}{M} \sin B \cos L , \\
 \frac{\partial B}{\partial Y} &= -\frac{1}{M} \sin B \sin L , \\
 \frac{\partial B}{\partial Z} &= +\frac{1}{M} \cos B , \\
 \frac{\partial L}{\partial X} &= -\frac{1}{N} \sec B \sin L , \\
 \frac{\partial L}{\partial Y} &= +\frac{1}{N} \sec B \cos L , \\
 \frac{\partial L}{\partial Z} &= 0 , \quad \frac{\partial L}{\partial a} = 0 , \quad \frac{\partial L}{\partial e^2} = 0 , \\
 M &= \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 B)^{3/2}} , \\
 N &= \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B}} .
 \end{aligned} \tag{19}$$

Koeficienty $\frac{\partial B}{\partial a}$, $\frac{\partial B}{\partial e^2}$ převezmeme z [6].

Platí

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial B}{\partial a} &= \frac{e^2}{a} \sin B \cos B , \\
 \frac{\partial B}{\partial e^2} &= \frac{(2-e^2 \sin^2 B)}{2(1-e^2)} \sin B \cos B .
 \end{aligned} \tag{20}$$

2.3. Praktický postup při transformaci:

- a/ V souřadnicovém geodetickém referenčním systému r , určíme na několika bodech /minimálně na třech/ - jejichž souřadnice B_i, L_i známe - výšky geoidu nad použitým referenčním elipsoidem $r_i / \xi_{ir} /$.
- b/ Pro tytéž body určíme výšky geoidu nad geocentrickým elipsoidem $/ \xi_{io} /$. Vzhledem k tomu, že v rovnici oprav (8) ve čtvrtém a pátém členu nevystupují parametry geocentrického elipsoidu přímo, nýbrž pouze difference parametrů vzhledem k referenčnímu elipsoidu $/ \Delta a_{or}, \Delta \alpha_{or} /$, naskytá se možnost vyloučit tyto dva členy z dalšího řešení tím, že pro výpočet výšek geoidu nad geocentrickým elipsoidem použijeme parametrů totožných s parametry referenčního elipsoidu. Nevýhodou tohoto řešení je, že výšky geoidu nad geocentrickým elipsoidem nutno počítat pro každý z transformovaných referenčních geodetických systémů zvlášť; přitom se však další výpočty značně zjednoduší.

Výšku geoidu nad geocentrickým elipsoidem lze vyjádřit s dostatečnou přesností jako rozdíl

$$\xi_o = \varrho_{\text{geoidu}} - \varrho_{\text{elipsoidu}} \quad , \quad (21)$$

kde značí

ϱ_{geoidu} - průvodič bodu geoidu,

$\varrho_{\text{elipsoidu}}$ - průvodič korespondujícího bodu geocentrického elipsoidu.

Průvodič hodnoty geoidu $/\varrho_{\text{geoidu}}/$ byl vypočítán z družicových údajů, např. v [5].

Lze jej vyjádřit rozvojem:

$$\varrho_{\text{geoidu}} = R_o \left[1 + A_o^{(0)} + \sum_{n=2}^{15} (A_n^{(k)} \cos k \lambda + B_n^{(k)} \sin k \lambda) P_n^{(k)}(\sin \phi) \right], \quad (22)$$

kde značí

ϕ, λ - geocentrické sférické souřadnice bodů geoidu

$A_o^{(0)}, A_n^{(k)}, B_n^{(k)}$ - známé koeficienty, uvedené např. v [4], které jsou funkcemi Stokesových koeficientů $J_n^{(k)}, S_n^{(k)}$ a úhlové rychlosti rotace Země $/\omega/$

$P_n^{(k)}(\sin \phi)$ - Legendrovy polynomy n -tého stupně a k -tého řádu

$$R_o = \frac{GM}{W_o} = /6\,363\,675 \pm 8/m$$

GM - geocentrická konstanta $/GM = 398\,603 \cdot 10^9 m^3 s^{-2} /$

W_o - potenciál na ploše geoidu odvozený z geocentrických souřadnic a nadmořských výšek 13 družicových stanic SAO;

$$W_0 = 62\,637,23 \pm 0,08 / \cdot 10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}, \text{ viz [5]}$$

ω - úhlová rychlost rotace Země / $\omega = 72\,921,15 \cdot 10^{-9} \text{ rad/sec}$ /.

Průvodič hodnoty geocentrického elipsoidu / ϱ elipsoidu/ vypočteme ze vzorce

$$\varrho \text{ elipsoidu} = \varrho_e = \frac{a \sqrt{1-e^2}}{\sqrt{1-e^2 \cos^2 \phi}}, \quad (23)$$

který plyne z rovnice rotačního elipsoidu

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{a^2(1-e^2)} = 1, \quad (24)$$

čili $(x^2 + y^2)(1-e^2) + z^2 = a^2(1-e^2),$

a poněvadž

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 &= \varrho_e^2 \cos^2 \phi, \\ z^2 &= \varrho_e^2 \sin^2 \phi, \end{aligned}$$

dostaneme po dosazení

$$\varrho_e^2 - e^2 \varrho_e^2 \cos^2 \phi = a^2(1-e^2),$$

a tedy

$$\varrho_e^2 (1 - e^2 \cos^2 \phi) = a^2 (1 - e^2). \quad (25)$$

V projednávaném případě se koeficienty d, e rovnice oprav (8) rovnají nule a absolutní členy $l'_i = l_i = \xi_{ir} - \xi_{io}.$

Rovnice oprav (8) bude tedy mít tvar:

$$v_i = a_i \Delta X_{or} + b_i \Delta Y_{or} + c_i \Delta Z_{or} + l_i \quad (26)$$

c/ Pro všechny body $M_{1i} / B_{1i}, L_{1i} /$ vypočteme podle rovnic (9) koeficienty rovnic oprav $a_i, b_i, c_i, l_i.$

d/ Z koeficientů rovnic oprav vypočteme koeficienty normálních rovnic.

e/ Řešením normálních rovnic vypočteme neznámé posuny $\Delta X_{or_1}, \Delta Y_{or_1}, \Delta Z_{or_1}$ a příslušné střední chyby $m_{or_1}, m_{\Delta X_{or_1}}, m_{\Delta Y_{or_1}}$ a $m_{\Delta Z_{or_1}}.$

f/ Uvedený postup a/ - e/ opakujeme pro druhý geodetický referenční systém $r_2,$ čímž dostaneme hodnoty $\Delta X_{or_2}, \Delta Y_{or_2}, \Delta Z_{or_2}$ a potřebné střední chyby $m_{or_2}, m_{\Delta X_{or_2}}, m_{\Delta Y_{or_2}}$ a $m_{\Delta Z_{or_2}}$

g/ Podle rovnic (12) vypočteme rozdíly souřadnic středů obou referenčních elipsoidů.

h/ Vypočteme /ve vteřinách/ koeficienty transformačních rovnic (19)

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\partial B}{\partial X} = -\frac{Q''}{M} \sin B \cos L, \\
 B &= \frac{\partial B}{\partial Y} = -\frac{Q''}{M} \sin B \sin L, \\
 C &= \frac{\partial B}{\partial Z} = \frac{Q''}{M} \cos B, \\
 D &= \frac{\partial B}{\partial \alpha} = \frac{Q'' e^2}{a} \sin B \cos B, \\
 E &= \frac{\partial B}{\partial e^2} = \frac{Q'' (2 - e^2 \sin^2 B)}{2(1 - e^2)} \sin B \cos B, \\
 F &= \frac{\partial L}{\partial X} = -\frac{Q''}{N} \sec B \sin L, \\
 G &= \frac{\partial L}{\partial Y} = +\frac{Q''}{N} \sec B \cos L, \\
 H &= \frac{\partial L}{\partial Z} = 0, \\
 I &= \frac{\partial L}{\partial \alpha} = 0, \\
 J &= \frac{\partial L}{\partial e^2} = 0,
 \end{aligned} \tag{27}$$

a hodnoty

$$\begin{aligned}
 \Delta a_{r_{21}} &= a_{r_2} - a_{r_1}, \\
 \Delta e^2_{r_{21}} &= e^2_{r_2} - e^2_{r_1}.
 \end{aligned} \tag{28}$$

Přitom za α i e nejlépe použijeme průměrných hodnot parametrů obou referenčních elipsoidů:

$$\begin{aligned}
 a_r &= \frac{1}{2} (a_{r_1} + a_{r_2}), \\
 e_r^2 &= \frac{1}{2} (e_{r_1}^2 + e_{r_2}^2), \\
 Q'' &= 206\,265'' .
 \end{aligned} \tag{29}$$

i/ Sestavíme transformační rovnice a provedeme příslušné transformace z prvního systému do systému druhého:

$$\begin{aligned}
 B_2 &= B_1 + A \Delta(\Delta X_0)_{r_{12}} + B \Delta(\Delta Y_0)_{r_{12}} + C \Delta(\Delta Z_0)_{r_{12}} + \\
 &\quad + D \Delta \alpha_{r_{21}} + E \Delta e^2_{r_{21}}, \\
 L_2 &= L_1 + F \Delta(\Delta X_0)_{r_{12}} + G \Delta(\Delta Y_0)_{r_{12}} .
 \end{aligned} \tag{30}$$

Vzhledem k přesnosti, které touto metodou můžeme dosáhnout - s uvážením, že výšky geoidu určené z družic mohou mít několikametrové chyby - jeví se opět výhodné převést početní transformaci na řešení grafické.

j/ Závěrem je nutno určit chyby, které v transformaci můžeme očekávat. Nutno ovšem uvážit, že jde o funkce vyrovnaných veličin.

Přitom hodnoty $(\Delta \alpha_{r_{21}})$ a $(\Delta e_{r_{21}}^2)$ považujeme z hlediska těchto chybových úvah za bezchybné.

Napišme tedy znovu transformační vztahy, a sice jen členy, které jsou zatíženy chybami:

$$\Delta B_{21} = A \Delta(\Delta X_o)_{r_{12}} + B \Delta(\Delta Y_o)_{r_{12}} + C \Delta(\Delta Z_o)_{r_{12}}, \quad (31)$$

$$\Delta L_{21} = F \Delta(\Delta X_o)_{r_{12}} + G \Delta(\Delta Y_o)_{r_{12}},$$

neboli
$$\Delta B_{21} = A(\Delta X_{or_1} - \Delta X_{or_2}) + B(\Delta Y_{or_1} - \Delta Y_{or_2}) + C(\Delta Z_{or_1} - \Delta Z_{or_2}), \quad (32)$$

$$\Delta L_{21} = F(\Delta X_{or_1} - \Delta X_{or_2}) + G(\Delta Y_{or_1} - \Delta Y_{or_2}),$$

nebo dále

$$\Delta B_{21} = [A \Delta X_{or_1} + B \Delta Y_{or_1} + C \Delta Z_{or_1}] - [A \Delta X_{or_2} + B \Delta Y_{or_2} + C \Delta Z_{or_2}], \quad (33)$$

$$\Delta L_{21} = [F \Delta X_{or_1} + G \Delta Y_{or_1}] - [F \Delta X_{or_2} + G \Delta Y_{or_2}].$$

Veličiny ΔB_{21} , ΔL_{21} jsou tedy funkce vyrovnaných veličin ΔX_{or_1} , ΔY_{or_1} , ΔZ_{or_1} , ΔX_{or_2} , ΔY_{or_2} , ΔZ_{or_2} . Počítáme tedy střední chyby funkcí vyrovnaných veličin.

Potom
$$m_{\Delta B}^2 = (m_{or_1})^2 [A^2 Q_{11r_1} + B^2 Q_{22r_1} + C^2 Q_{33r_1} + 2ABQ_{12r_1} + 2ACQ_{13r_1} + 2BCQ_{23r_1}] + (m_{or_2})^2 [A^2 Q_{11r_2} + B^2 Q_{22r_2} + C^2 Q_{33r_2} + 2ABQ_{12r_2} + 2ACQ_{13r_2} + 2BCQ_{23r_2}], \quad (34)$$

$$m_{\Delta L}^2 = (m_{or_1})^2 [F^2 Q_{11r_1} + G^2 Q_{22r_1} + 2FGQ_{12r_1}] + (m_{or_2})^2 [F^2 Q_{11r_2} + G^2 Q_{22r_2} + 2FGQ_{12r_2}].$$

Vzhledem k tomu, že koeficienty A, B, C, D, F, G jsou proměnné, jsou i střed-

ní chyby $m_{\Delta B}$, $m_{\Delta L}$ proměnnými, tj. jsou závislé na poloze v daném transformačním poli. To znamená, že přesnost řešené transformace není tedy konstantní, a nás bude zajímat závislost chyb $m_{\Delta B}$, $m_{\Delta L}$ na poloze. Tato závislost bude nejlépe patrna z mapek izočar sestrojených pro $|m_{\Delta B}| = \text{const.}$ a $|m_{\Delta L}| = \text{const.}$

Celkové limitní charakteristiky přesnosti je možné určit, dosadíme-li za proměnné hodnoty koeficientů A - G jejich maximální hodnoty a za M minimální hodnotu $[\alpha(1-e^2)]$.

Rovnice (34) pak bude mít tvar:

$$\begin{aligned}
 m_{\Delta B}^2 &= m_{or_1}^2 \left(\frac{Q''}{\alpha(1-e^2)} \right)^2 [Q_{11r_1} + Q_{22r_1} + Q_{33r_1} + 2Q_{12r_1} - 2Q_{13r_1} - 2Q_{23r_1}] + \\
 &+ m_{or_2}^2 \left(\frac{Q''}{\alpha(1-e^2)} \right)^2 [Q_{11r_2} + Q_{22r_2} + Q_{33r_2} + 2Q_{12r_2} - 2Q_{13r_2} - 2Q_{23r_2}] , \\
 m_{\Delta L}^2 &= m_{or_1}^2 \left(\frac{Q''}{\alpha(1-e^2)} \right)^2 [Q_{11r_1} + Q_{22r_1} - 2Q_{12r_1}] + \\
 &+ m_{or_2}^2 \left(\frac{Q''}{\alpha(1-e^2)} \right)^2 [Q_{11r_2} + Q_{22r_2} - 2Q_{12r_2}] .
 \end{aligned}
 \tag{35}$$

3. Metoda potenciálu

Tato metoda je nepoměrně složitější a její náznak byl uveden v [5]. Princip řešení je v geometrické názornosti prakticky stejný jako u přímého řešení, avšak místo převýšení geoidu nad geocentrickým referenčním elipsoidem / ξ_{io} / vystupuje zde rozdíl potenciálů.

Navržené řešení bylo možno realizovat teprve po určení a zveřejnění dostatečně velkého souboru dynamických koeficientů Země /Stokesových konstant./

Základní princip této transformace záleží v tom, že z pozorování umělých družic Země můžeme poměrně přesně vypočítat hodnotu potenciálu na ploše geoidu, která je konstantní pro všechny body plochy / W_o /.

Dosadíme-li však do rovnic pro výpočet tohoto potenciálu souřadnice bodů na referenčním elipsoidu, nikoli tedy na geoidu, dostaneme pro každý bod a každý referenční elipsoid jiné hodnoty potenciálu W_{or} . Z jejich rozdílu $[W_{or} - W_o]$ a ze známých hodnot relativních výšek geoidu nad referenčními elipsoidy můžeme vypočíst vzájemné transformační vztahy mezi různými referenčními elipsoidy, a tím i mezi různými souřadnicovými systémy.

Dále se budeme zabývat aplikací této metody pouze za účelem kontrolního řešení dané úlohy.

3.1. Výpočet potenciálu

Pro výpočet tíhového potenciálu /geopotenciálu/ platí rovnice uvedená v [7].

$$W = \frac{GM}{\varrho} \left\{ 1 + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{k=0}^n \left(\frac{a_0}{\varrho} \right)^n (J_n^{(k)} \cos k\lambda + S_n^{(k)} \sin k\lambda) P_n^{(k)}(\sin \phi) \right\} + \frac{1}{2} \omega^2 \varrho^2 \cos^2 \phi . \quad (36)$$

Částečně rozepsaná rovnice nabývá tvaru:

$$\begin{aligned} W = \frac{GM}{\varrho} & \left\{ 1 + \left(\frac{a_0}{\varrho} \right)^2 J_2^{(0)} P_2^{(0)}(\sin \phi) + \right. \\ & + \left(\frac{a_0}{\varrho} \right)^2 (J_2^{(1)} \cos \lambda + S_2^{(1)} \sin \lambda) P_2^{(1)}(\sin \phi) + \\ & + \left(\frac{a_0}{\varrho} \right)^2 (J_2^{(2)} \cos 2\lambda + S_2^{(2)} \sin 2\lambda) P_2^{(2)}(\sin \phi) + \\ & + \left(\frac{a_0}{\varrho} \right)^3 J_3^{(0)} P_3^{(0)}(\sin \phi) + \left(\frac{a_0}{\varrho} \right)^3 (J_3^{(1)} \cos \lambda + S_3^{(1)} \sin \lambda) P_3^{(1)}(\sin \phi) + \\ & + \left(\frac{a_0}{\varrho} \right)^3 (J_3^{(2)} \cos 2\lambda + S_3^{(2)} \sin 2\lambda) P_3^{(2)}(\sin \phi) + \\ & + \left(\frac{a_0}{\varrho} \right)^3 (J_3^{(3)} \cos 3\lambda + S_3^{(3)} \sin 3\lambda) P_3^{(3)}(\sin \phi) + \\ & + \left(\frac{a_0}{\varrho} \right)^4 J_4^{(0)} P_4^{(0)}(\sin \phi) + \left(\frac{a_0}{\varrho} \right)^4 (J_4^{(1)} \cos \lambda + S_4^{(1)} \sin \lambda) P_4^{(1)}(\sin \phi) + \\ & + \left(\frac{a_0}{\varrho} \right)^4 (J_4^{(2)} \cos 2\lambda + S_4^{(2)} \sin 2\lambda) P_4^{(2)}(\sin \phi) + \\ & + \left(\frac{a_0}{\varrho} \right)^4 (J_4^{(3)} \cos 3\lambda + S_4^{(3)} \sin 3\lambda) P_4^{(3)}(\sin \phi) + \\ & + \left(\frac{a_0}{\varrho} \right)^4 (J_4^{(4)} \cos 4\lambda + S_4^{(4)} \sin 4\lambda) P_4^{(4)}(\sin \phi) + \\ & \left. + \dots \right\} + \frac{1}{2} \omega^2 \varrho^2 \cos^2 \phi . \quad (37) \end{aligned}$$

V uvedených rovnicích jsou

- GM - geocentrická konstanta /součin gravitační konstanty G a hmoty Země M /
- $J_n^{(k)}$, $S_n^{(k)}$ - dynamické koeficienty /Stokesovy konstanty/ Země n -tého stupně a k -tého řádu; jejich soubor, odvozený v poslední době z družicového pozorování, je uveřejněn např. v [4]

$P_n^{(k)}(\sin \phi)$ - sférická funkce /Legendrův polynom/ n-tého stupně a k-tého řádu, např.

$$\begin{aligned}
 P_2^{(0)}(\sin \phi) &= \frac{3}{2} \sin^2 \phi - \frac{1}{2} , \\
 P_2^{(1)}(\sin \phi) &= 3 \sin \phi \sqrt{1 - \sin^2 \phi} = 3 \sin \phi \cos \phi , \\
 P_2^{(2)}(\sin \phi) &= 3 (1 - \sin^2 \phi) = 3 \cos^2 \phi , \\
 P_3^{(0)}(\sin \phi) &= \frac{5}{2} \sin^3 \phi - \frac{3}{2} \sin \phi , \\
 P_3^{(1)}(\sin \phi) &= \sqrt{1 - \sin^2 \phi} \left(\frac{15}{2} \sin^2 \phi - \frac{3}{2} \right) = \\
 &= \frac{3}{2} \cos \phi (5 \sin^2 \phi - 1) , \\
 P_3^{(2)}(\sin \phi) &= 15 \sin \phi (1 - \sin^2 \phi) = 15 \sin \phi \cos^2 \phi , \\
 P_3^{(3)}(\sin \phi) &= 15 (1 - \sin^2 \phi)^{\frac{3}{2}} = 15 \cos^3 \phi , \quad (38) \\
 P_4^{(0)}(\sin \phi) &= \frac{1}{4} \left(\frac{35}{2} \sin^4 \phi - 15 \sin^2 \phi + \frac{3}{2} \right) , \\
 P_4^{(1)}(\sin \phi) &= \frac{5}{2} \sqrt{1 - \sin^2 \phi} (7 \sin^3 \phi - 3 \sin \phi) = \\
 &= \frac{5}{2} \sin \phi \cos \phi (7 \sin^2 \phi - 3) , \\
 P_4^{(2)}(\sin \phi) &= \frac{15}{2} (1 - \sin^2 \phi) (7 \sin^2 \phi - 1) = \\
 &= \frac{15}{2} \cos^2 \phi (7 \sin^2 \phi - 1) , \\
 P_4^{(3)}(\sin \phi) &= 105 \sin \phi (1 - \sin^2 \phi)^{\frac{3}{2}} = \\
 &= 105 \sin \phi \cos^3 \phi , \\
 P_4^{(4)}(\sin \phi) &= 105 (1 - \sin^2 \phi)^2 = 105 \cos^4 \phi ,
 \end{aligned}$$

ω - úhlová rychlost rotace Země / $\omega = 72\,921,15 \cdot 10^{-9}$ rad/sec/

ϱ, ϕ, λ - souřadnice /sférické/ libovolného bodu M, jehož potenciál počítáme, jsou v těchto známých a zřejmých vztazích s pravoúhlými prostorovými geocentrickými souřadnicemi X, Y, Z:

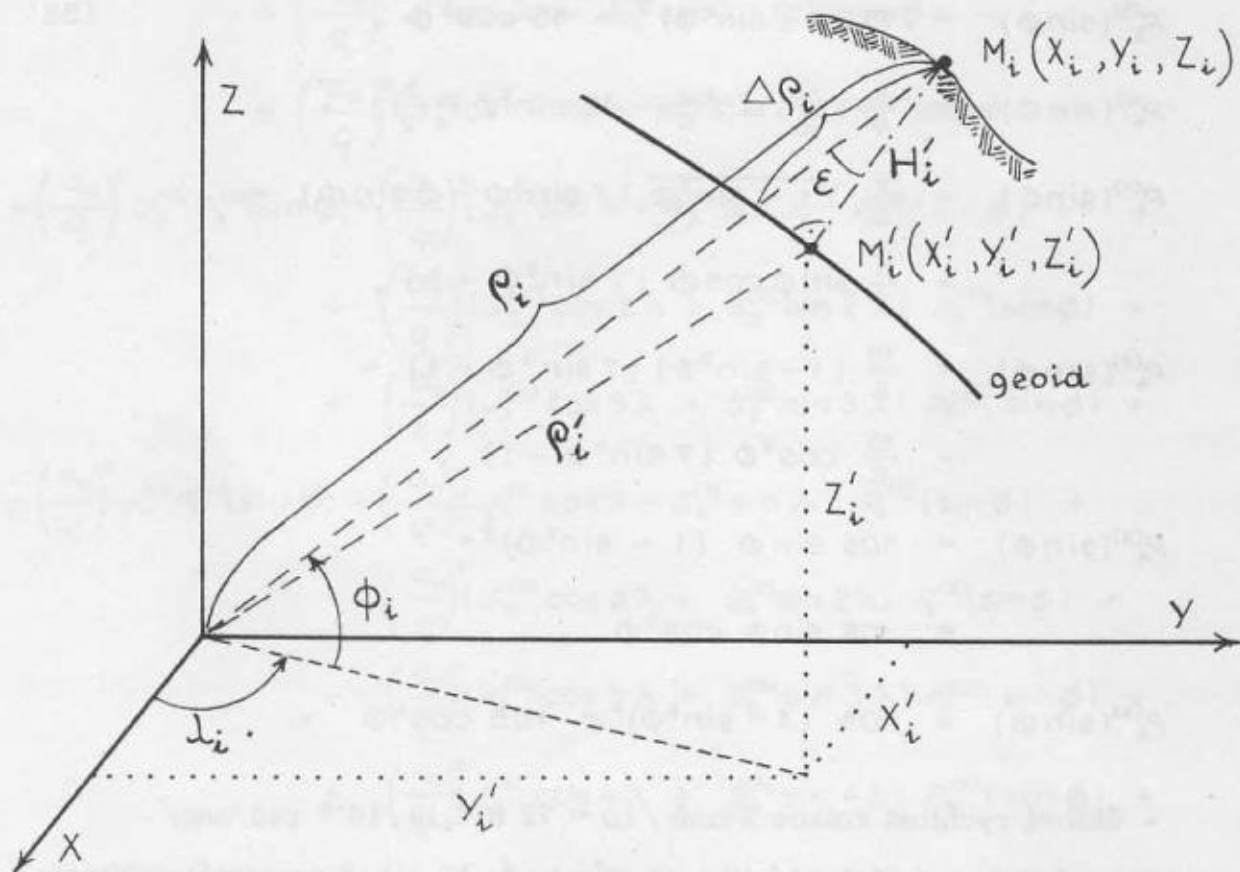
$$\begin{aligned}
 \operatorname{tg} \phi &= \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} , & X &= \varrho \cos \phi \cos \lambda , \\
 \operatorname{tg} \lambda &= \frac{Y}{X} , & Y &= \varrho \cos \phi \sin \lambda , \quad (39) \\
 \varrho &= \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} , & Z &= \varrho \sin \phi .
 \end{aligned}$$

Dosadíme-li za ϱ, ϕ, λ do rovnice (36) souřadnice libovolného bodu geoidu $M' (\varrho', \phi', \lambda')$, určíme potenciál geoidu W_0 .

Rovnice /36/ bude mít pak tvar

$$W_0 = \frac{GM}{\varrho'} \left\{ 1 + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{k=0}^n \left(\frac{a_0}{\varrho'} \right)^n (J_n^{(k)} \cos k\lambda' + S_n^{(k)} \sin k\lambda') P_n^{(k)}(\sin \phi') \right\} + \frac{1}{2} \omega^2 \varrho'^2 \cos^2 \phi'. \quad (40)$$

Geopotenciál W_0 byl vypočten na bodech /družicových stanic/ M_i /viz obr.3/, u nichž z pozorování UZ byly určeny jejich geocentrické souřadnice $/X_i, Y_i, Z_i/$ a pozemní nivelací nadmořské výšky H_i x/.



Obr. 3

Pro bod M_i platí:

$$\begin{aligned} \rho_i &= \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2}, \\ \operatorname{tg} \phi_i &= \frac{Z_i}{\sqrt{X_i^2 + Y_i^2}}, \\ \operatorname{tg} \lambda_i &= \frac{Y_i}{X_i}. \end{aligned} \quad (41)$$

x/ Poznámka: Přesněji řečeno měli bychom zde uvažovat kvazigeoid Moloděnského a výšky normální, avšak při našem řešení s přesností několika metrů můžeme geoid a kvazigeoid nerozlišovat.

Pro bod M'_i na geoidu přibližně platí:

$$\begin{aligned} \varrho'_i &\doteq \varrho_i - H_i, \\ \phi'_i &\doteq \phi_i, \\ \lambda'_i &\doteq \lambda_i. \end{aligned} \quad (42)$$

Chyba, které se touto nepřesností dopustíme, nepřesahuje 0,10 m a je pro naše další vývody nepodstatná, jak plyne z těchto zřejmých jednoduchých vztahů:

$$\begin{aligned} H_{i \max} &= 8 \text{ km}, \quad |\varepsilon| < 15', \\ \Delta \varrho_i \cos \varepsilon &= H_i, \end{aligned} \quad (43)$$

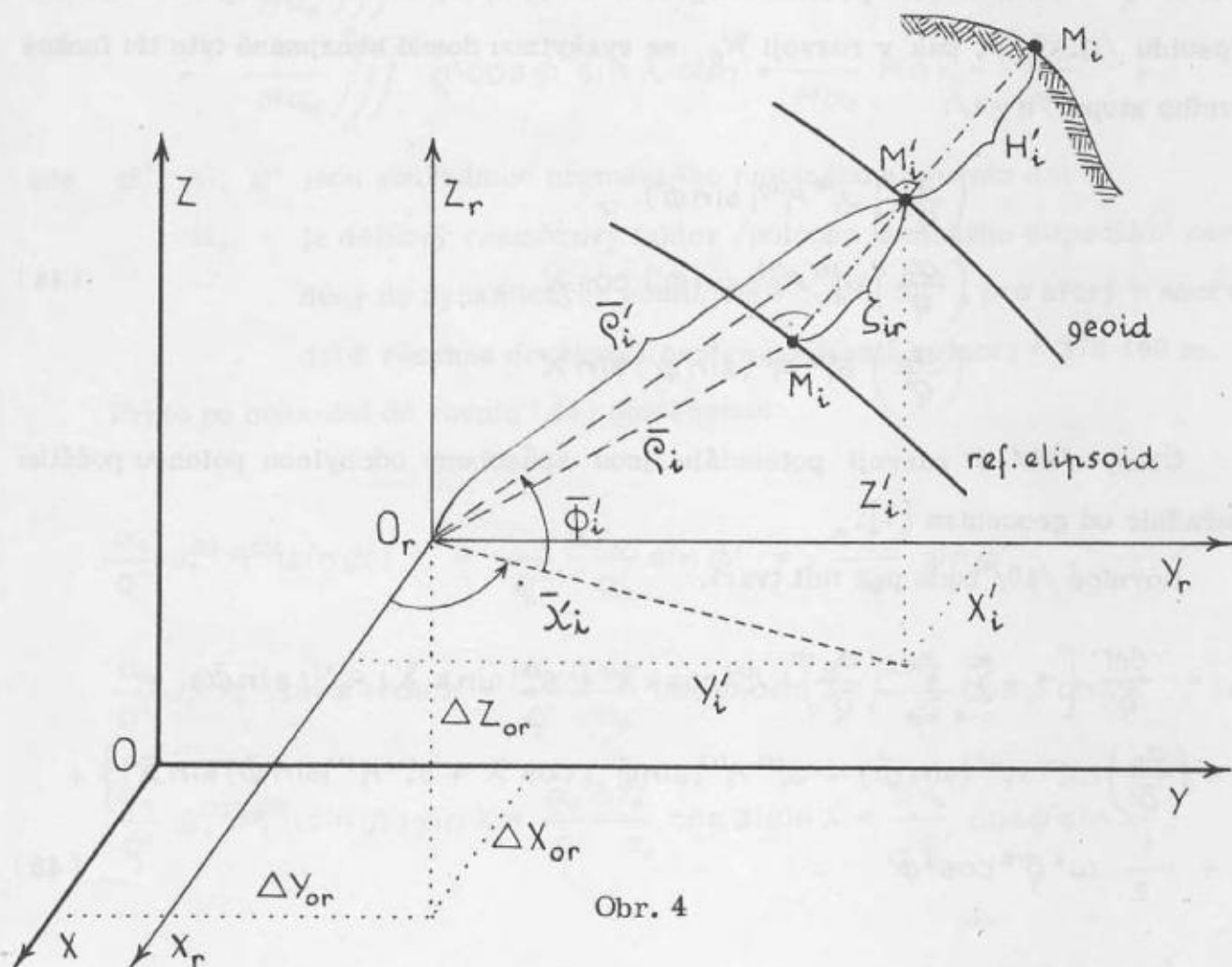
$$\Delta \varrho_i \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{2} + \dots\right) = H_i$$

$$\Delta \varrho_i - H_i = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon^2}{\varrho_i^2} \Delta \varrho_i < 0,10 \text{ m},$$

kde značí ϱ' - radián v minutách

ε - úhel mezi průvodičem a tížnicí /viz obr. 3/

3.2. Určení souřadnicových rozdílů /posunů/ středů referenčních elipsoidů



Obr. 4

Označení v obr. 4:

ξ_{ir} - výška geoidu nad referenčním elipsoidem v bodu M'_i

$\bar{\varrho}_i$ - průvodič bodu elipsoidu \bar{M}'_i , což je pata normály vedené v bodu M'_i k elipsoidu

M'_i - průsečík tížnice, která prochází družicovou stanicí M_i na zemském povrchu, s geoidem.

Ostatní symboly jsou patrný z obr. 4.

Pro méně přesné práce dáváme si opět předpoklad, že geocentrické osy a osy referenčních elipsoidů jsou rovnoběžné. Pro přesné práce je nutno počítat ještě s natočením os, tj. s tzv. Eulerovými úhly.

Dosadíme-li do rovnice /40/ za q', ϕ', λ' souřadnice $\bar{\varrho}' = \bar{\varrho}_i + \xi_{ir}$, $\bar{\phi}'_i$, $\bar{\lambda}'_i$, vázané na příslušný referenční elipsoid, který obecně nemá střed O_r v geocentru O /viz obr. 4/, pak nedostaneme správnou hodnotu tíhového potenciálu W_o , a to ani tehdy, kdyby všecny námi použité veličiny byly absolutně přesné. Dostaneme obecně jinou hodnotu, kterou označíme $W_o /_{ir}$.

Vzájemný vztah W_o a $W_o /_{ir}$ odvodíme následujícím způsobem:

Není-li q' v rovnici (40) počítáno od geocentra O , nýbrž od středu negeocentrického elipsoidu /tj. \bar{Q}'_i /, pak v rozvoji W_o se vyskytnou dosud nenapsané tyto tři funkce prvního stupně/ $n = 1$ /:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{a_o}{\bar{\varrho}'} \right) J_1^{(0)} P_1^{(0)}(\sin \phi') , \\ & \left(\frac{a_o}{\bar{\varrho}'} \right) J_1^{(1)} P_1^{(1)}(\sin \phi') \cos \lambda' , \\ & \left(\frac{a_o}{\bar{\varrho}'} \right) S_1^{(1)} P_1^{(1)}(\sin \phi') \sin \lambda' . \end{aligned} \quad (44)$$

Členy /44/ v rozvoji potenciálu jsou způsobeny odchylnou polohou počátku souřadnic od geocentra [7].

Rovnice /40/ bude pak mít tvar:

$$\begin{aligned} W_o = & \frac{GM}{\bar{\varrho}'} \left\{ 1 + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{k=0}^n \left(\frac{a_o}{\bar{\varrho}'} \right)^n (J_n^{(k)} \cos k \bar{\lambda}' + S_n^{(k)} \sin k \bar{\lambda}') P_n^{(k)}(\sin \bar{\phi}') + \right. \\ & \left. + \left(\frac{a_o}{\bar{\varrho}'} \right) (J_1^{(0)} P_1^{(0)}(\sin \bar{\phi}') + J_1^{(1)} P_1^{(1)}(\sin \bar{\phi}') \cos \bar{\lambda}' + S_1^{(1)} P_1^{(1)}(\sin \bar{\phi}') \sin \bar{\lambda}') \right\} + \\ & + \frac{1}{2} \omega^2 \bar{\varrho}'^2 \cos^2 \bar{\phi}' . \end{aligned} \quad (45)$$

Vzhledem k tomu, že

$$(W_o)_{ir} = \frac{GM}{\bar{\rho}'} \left\{ 1 + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{k=0}^n \left(\frac{a_o}{\bar{\rho}'} \right)^n (J_n^{(k)} \cos k \bar{\lambda}' + S_n^{(k)} \sin k \bar{\lambda}') P_n^{(k)}(\sin \bar{\phi}') \right\} + \frac{1}{2} \omega^2 \bar{\rho}'^2 \cos^2 \bar{\phi}'^2, \quad (46)$$

dostane uvedená rovnice tvar

$$W_o = (W_o)_{ir} + \frac{GM}{\bar{\rho}'} \left(\frac{a_o}{\bar{\rho}'} \right) (J_1^{(0)} P_1^{(0)}(\sin \bar{\phi}') + J_1^{(1)} P_1^{(1)}(\sin \bar{\phi}') \cos \bar{\lambda}' + S_1^{(1)} P_1^{(1)}(\sin \bar{\phi}') \sin \bar{\lambda}'). \quad (47)$$

Pro koeficienty $J_1^{(0)}$, $J_1^{(1)}$, $S_1^{(1)}$ platí [7]

$$\begin{aligned} J_1^{(0)} &= \frac{1}{M a_o} \iiint_M \rho' P_1^{(0)}(\sin \phi') dm = \\ &= \frac{1}{M a_o} \iiint_M \rho' \sin \phi' dm = \frac{1}{M a_o} M \Delta Z_o = \frac{\Delta Z_o}{a_o}, \\ J_1^{(1)} &= \frac{1}{M a_o} \iiint_M \rho' P_1^{(1)}(\sin \phi') \cos \lambda' dm = \\ &= \frac{1}{M a_o} \iiint_M \rho' \cos \phi' \cos \lambda' dm = \frac{1}{M a_o} M \Delta X_o = \frac{\Delta X_o}{a_o}, \\ S_1^{(1)} &= \frac{1}{M a_o} \iiint_M \rho' P_1^{(1)}(\sin \phi') \sin \lambda' dm = \\ &= \frac{1}{M a_o} \iiint_M \rho' \cos \phi' \sin \lambda' dm = \frac{1}{M a_o} M \Delta Y_o = \frac{\Delta Y_o}{a_o}, \end{aligned} \quad (48)$$

kde ϕ' , λ' , ρ' jsou souřadnice proměnného hmotného elementu dm

a_o je délkový rozměrový faktor /poloosa zemského elipsoidu/ zavedený do dynamických koeficientů $J_n^{(k)}$, $S_n^{(k)}$, pro který v současné době všechna družicová centra používají hodnotu 6 378 160 m.

Proto po dosazení do rovnic (44) dostaneme:

$$\frac{a_o}{\rho'} J_1^{(0)} P_1^{(0)}(\sin \phi') = \frac{a_o}{\rho'} \frac{\Delta Z_o}{a_o} \sin \phi' = \frac{\Delta Z_o}{\rho'} \sin \phi',$$

$$\frac{a_o}{\rho'} J_1^{(1)} P_1^{(1)}(\sin \phi') \cos \lambda' = \frac{a_o}{\rho'} \frac{\Delta X_o}{a_o} \cos \phi' \cos \lambda' = \frac{\Delta X_o}{\rho'} \cos \phi' \cos \lambda', \quad (49)$$

$$\frac{a_o}{\rho'} S_1^{(1)} P_1^{(1)}(\sin \phi') \sin \lambda' = \frac{a_o}{\rho'} \frac{\Delta Y_o}{a_o} \cos \phi' \sin \lambda' = \frac{\Delta Y_o}{\rho'} \cos \phi' \sin \lambda'.$$

Dosazením do rovnice (47) dostaneme pak rozdíl

$$[W_o - (W_o)_{ir}] = \frac{GM}{\bar{\rho}'_i} \left[\frac{\Delta X_{or}}{\bar{\rho}'_i} \cos \bar{\phi}'_i \cos \bar{\lambda}'_i + \frac{\Delta Y_{or}}{\bar{\rho}'_i} \cos \bar{\phi}'_i \sin \bar{\lambda}'_i + \frac{\Delta Z_{or}}{\bar{\rho}'_i} \sin \bar{\phi}'_i \right], \quad (50)$$

což je základní výchozí rovnice pro výpočet posunů $(\Delta X_{or}, \Delta Y_{or}, \Delta Z_{or})$.

Tento rozdíl je v každém bodě uvažovaného geodetického referenčního systému obecně různý. Abychom mohli určit hledané posuny $(\Delta X_{or}, \Delta Y_{or}, \Delta Z_{or})$, musíme rozdíl vypočítat minimálně ve třech vhodně rozložených bodech zkoumaného systému. Ve většině případů budeme úlohu řešit vyrovnáním.

Rovnice oprav pro daný elipsoid /r/ obecně bude

$$v_i = a_i \Delta X_{or} + b_i \Delta Y_{or} + c_i \Delta Z_{or} + l_i, \quad (51)$$

přičemž

$$\begin{aligned} a_i &= \frac{GM}{\bar{\rho}'_i{}^2} \cos \bar{\phi}'_i \cos \bar{\lambda}'_i, \\ b_i &= \frac{GM}{\bar{\rho}'_i{}^2} \cos \bar{\phi}'_i \sin \bar{\lambda}'_i, \\ c_i &= \frac{GM}{\bar{\rho}'_i{}^2} \sin \bar{\phi}'_i, \end{aligned} \quad (52)$$

$$l_i = -[W_o - (W_o)_{ir}] = (W_o)_{ir} - W_o.$$

Rovnice oprav má tedy strukturu obdobnou s rovnicí (11), jen míra je jiná a zcela odlišný je charakter určení absolutního členu.

3.3. Vlastní transformace geodetických souřadnic /B, L/

z jednoho referenčního systému do druhého

provedeme obdobně podle rovnic (12) - (19) podkapitoly 2.2.

3.4. Praktický postup při transformaci

a/ V souřadnicovém geodetickém systému /r₁/ určíme na několika bodech M_i /minimálně na třech/ - jejichž souřadnice /B_i, L_i/ známe - výšky geoidu nad použitým referenčním elipsoidem /ξ_{ir}/.

b/ Pro uvedené body M'_i na geoidu vypočteme prostorové pravoúhlé souřadnice

\bar{X}'_{ir} , \bar{Y}'_{ir} , \bar{Z}'_{ir} podle vzorců

$$\begin{aligned}\bar{X}'_{ir} &= (N_i + \xi_{ir}) \cos B_i \cos L_i, \\ \bar{Y}'_{ir} &= (N_i + \xi_{ir}) \cos B_i \sin L_i, \\ \bar{Z}'_{ir} &= [N_i (1 - e^2) + \xi_{ir}] \sin B_i,\end{aligned}\quad (53)$$

kde značí $N_i = \frac{a}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 B_i)}}$ - poloměr křivosti v prvním vertikálu paty normály vedené z bodu $M_i/B_i, L_i, H_i/$ na referenční elipsoid

a - délka velké poloosy referenčního elipsoidu

e^2 - čtverec excentricity referenčního elipsoidu

ξ_{ir} - výška geoidu nad referenčním elipsoidem.

Z nich potom vypočteme sférické souřadnice $\bar{\varrho}'_i, \bar{\phi}'_i, \bar{\lambda}'_i$ podle vzorců

$$\begin{aligned}\bar{\varrho}'_i &= \sqrt{\bar{X}'_{ir}{}^2 + \bar{Y}'_{ir}{}^2 + \bar{Z}'_{ir}{}^2}, \\ \operatorname{tg} \bar{\phi}'_i &= \frac{\bar{Z}'_{ir}}{\sqrt{\bar{X}'_{ir}{}^2 + \bar{Y}'_{ir}{}^2}}, \\ \operatorname{tg} \bar{\lambda}'_i &= \frac{\bar{Y}'_{ir}}{\bar{X}'_{ir}}.\end{aligned}\quad (54)$$

c/ Hodnoty sférických souřadnic $\bar{\varrho}'_i, \bar{\phi}'_i, \bar{\lambda}'_i$ dosadíme do rovnice (46) a vypočteme potenciál W_0/ir .

Hodnoty dynamických koeficientů Země $J_n^{(k)}, S_n^{(k)}$ jsou uvedeny v [4]. Hodnoty Legendrových polynomů $P_n^{(k)}$ jsou uvedeny ve zvláštních tabulkách vydaných MNO.

Pro a_0 použijeme hodnoty $6\,378\,160$ m, pro GM hodnoty $398\,603 \cdot 10^9$ m³s⁻² a pro ω hodnoty $72\,921,15 \cdot 10^{-9}$ s⁻¹. Výpočet této hodnoty je naprogramován s použitím elektronického počítače MINSK 22 M ve VTOPÚ Dobruška.

d/ Vypočteme koeficienty a_i, b_i, c_i, l_i

$$a_i = \frac{GM}{\bar{\varrho}'_i{}^2} \cos \bar{\phi}'_i \cos \bar{\lambda}'_i,$$

$$\begin{aligned}
 b_i &= \frac{GM}{\bar{Q}'_i{}^2} \cos \bar{\Phi}'_i \sin \bar{\lambda}'_i, \\
 c_i &= \frac{GM}{\bar{Q}'_i{}^2} \sin \bar{\Phi}'_i, \\
 l_i &= (W_o)_{ir_i} - (W_o),
 \end{aligned}
 \tag{55}$$

kde $W_o = /62\ 637,23 \pm 0,08/ \cdot 10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$.

Abychom přizpůsobili řešení touto metodou metodě přímé, můžeme rovnici (50) převést na tvar

$$\begin{aligned}
 [W_o - (W_o)_{ir}] \frac{\bar{Q}'_i{}^2}{GM} &= \cos \bar{\Phi}'_i \cos \bar{\lambda}'_i \Delta X_{or} + \cos \bar{\Phi}'_i \sin \bar{\lambda}'_i \Delta Y_{or} + \\
 &+ \sin \bar{\Phi}'_i \Delta Z_{or}.
 \end{aligned}
 \tag{56}$$

Pak rovnice oprav nabude tvaru

$$v_i = \bar{a} \Delta X_{or} + \bar{b} \Delta Y_{or} + \bar{c} \Delta Z_{or} + \bar{l}_i
 \tag{57}$$

a koeficienty rovnice oprav

$$\begin{aligned}
 \bar{a}_i &= \cos \bar{\Phi}'_i \cos \bar{\lambda}'_i, \\
 \bar{b}_i &= \cos \bar{\Phi}'_i \sin \bar{\lambda}'_i, \\
 \bar{c}_i &= \sin \bar{\Phi}'_i, \\
 \bar{l}_i &= [(W_o)_{ir} - W_o] \frac{\bar{Q}'_i{}^2}{GM}.
 \end{aligned}
 \tag{58}$$

e/ Řešením normálních rovnic vypočteme hledané hodnoty ΔX_{or_1} , ΔY_{or_1} , ΔZ_{or_1} .

f/ Celý postup a/ - e/ opakujeme pro druhý geodetický souřadnicový systém $/r_2/$,

čímž dostaneme hodnoty ΔX_{or_2} , ΔY_{or_2} , ΔZ_{or_2} .

g/ Další postup je týž, jak uvedeno v bodech g/ - i/ podkapitoly 2.3.

4. Vyřešení a rozbor jednoho praktického příkladu

Jak bylo uvedeno již v předcházejících kapitolách, použití těchto metod pro určení praktického vztahu mezi jednotlivými geodetickými systémy je závislé na získání údajů o výškách geoidu nad použitými referenčními elipsoidy.

V době zpracování byly k dispozici uvedené údaje v těchto geodetických referenčních systémech:

- Evropský geodetický systém /EUR/

- Severoamerický geodetický systém /NAD/
- Australský geodetický systém /AND/
- Jihoasijský /indický/ geodetický systém /IND/.

Hlavní charakteristiky těchto systémů jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1

Systém označení	Z á k l a d n í b o d							a /v m/	α	e ²	Poznámka
	název	B			L						
		°	'	"	°	'	"				
EUR	Potsdam	52	22	55	13	04	02	6 378 388	1:297,00	0,006 72 2670	Hayford
NAD	Meades Ranch	39	13	27	26	1	27	6 378 206	1:294,98	0,006 76 8658	Clarke 1866
AND	Johnston	-25	56	55	133	12	30	6 378 160	1:298,25	0,006 69 4542	Australský národní
IND	Kalianpur	24	07	11	77	39	18	6 377 276	1:300,80	0,006 63 7847	Everest

Pro vlastní řešení byly vybrány jako nejdůležitější geodetické systémy EUR a NAD.

4.1. Praktické získání údajů potřebných pro výpočet

- a/ V obou vybraných geodetických systémech byly na přehledech znázorňujících průběh geoidu vhodně zvoleny a očíslovány body, jejichž souřadnice B a L jsou známy. To je uvedeno v přílohách 1 a 2.
- b/ Z nich byly odečteny výšky geoidu nad referenčními elipsoidy $/\zeta_{ir}/$ s přesností $\pm 0,5$ m. Tyto údaje plně postačovaly pro řešení metodou potenciálu.
- c/ Pro metodu přímou byly vypočítány výšky geoidu - určeného z pozorování UDG - nad příslušným geocentrickým elipsoidem v bodech zeměpisné sítě s krokem 10° v šířce i délce. Hodnoty výšek geoidu nad příslušným geocentrickým elipsoidem jsou znázorněny graficky v přílohách 3 a 4.

Tím byly získány druhé potřebné údaje pro metodu přímou.

4.2. Výpočet souřadnic středů /posunů/ dvou referenčních elipsoidů (ΔX_{or_1} , ΔY_{or_1} , ΔZ_{or_1}) vzhledem ke geocentrickému světovému souřadnicovému systému

byl proveden podle dvou nezávislých programů:

- program č. 1 pro přímé řešení zpracoval VTOPÚ,
- program č. 2 pro řešení metodou potenciálu zpracovala INTEGRA-Praha.

4.3. Zhodnocení výsledků výpočtu posunů ΔX_{or_i} , ΔY_{or_i} , ΔZ_{or_i}

4.3.1..Přehled výsledků získaných z celkových transformačních oblastí obou systémů je uveden v tabulkách 2 a 3.

Geodetický systém NAD

Tabulka 2

Označení	Metoda přímá	Metoda potenciálu	Výsledné hodnoty
ΔX_0	- 10,5 m	- 11,8 m	- 11,2 m
$m_{\Delta X_0}$	$\pm 2,0$ m	$\pm 1,9$ m	$\pm 2,0$ m
ΔY_0	156,3 m	156,3 m	156,3 m
$m_{\Delta Y_0}$	$\pm 1,1$ m	$\pm 1,1$ m	$\pm 1,1$ m
ΔZ_0	189,4 m	188,7 m	189,0 m
$m_{\Delta Z_0}$	$\pm 1,1$ m	$\pm 1,1$ m	$\pm 1,1$ m
m_0	$\pm 7,1$ m	—	$\pm 7,1$ m
n	249	249	249

Geodetický systém EUR

Tabulka 3

Označení	Metoda přímá	Metoda potenciálu	Výsledné hodnoty
ΔX_0	- 83,1 m	- 82,3 m	- 82,7 m
$m_{\Delta X_0}$	$\pm 1,7$ m	$\pm 1,7$ m	$\pm 1,7$ m
ΔY_0	- 113,1 m	- 113,2 m	- 113,2 m
$m_{\Delta Y_0}$	$\pm 2,4$ m	$\pm 2,3$ m	$\pm 2,4$ m
ΔZ_0	- 112,6 m	- 112,7 m	- 112,6 m
$m_{\Delta Z_0}$	$\pm 1,8$ m	$\pm 1,8$ m	$\pm 1,8$ m
m_0	$\pm 12,7$ m	—	$\pm 12,7$ m
n	218	218	218

/n značí počet použitých bodových informací/

4.3.2. Celkové zhodnocení výsledků

Po porovnání výsledků získaných oběma metodami můžeme konstatovat, že obě jsou si plně rovnocenné.

To je jeden z důležitých závěrů této studie a znamená potvrzení správnosti jedné z nejdůležitějších etap řešení.

Střední chyby vypočtených veličin posunů ukazují na to, že jsou prakticky stejné velikosti /asi ± 2 m/; jsou však poněkud větší u systému EUR než u systému NAD. Je to způsobeno především větší jednotkovou střední chybou u systému EUR. Přesto však také ze střední chyby v určení polohy středu referenčního elipsoidu $\pm 2,5$ m u systému NAD a $\pm 3,4$ m u systému EUR můžeme usuzovat, že pro další výpočty lze výsledky u obou systémů považovat za prakticky stejně přesné a bez jakýchkoli pochybností provést další výpočty.

Jednotková střední chyba m_{or} , která nám v tomto případě představuje střední chybu v určení rozdílu výšek geoidu nad referenčním a nad geocentrickým elipsoidem, je důležitým kritériem pro porovnání kvality obou systémů. Jedna část této chyby je způsobena nepřesnostmi v určení průběhu geoidu z pozorování UDZ, druhá část vyplývá především z chyb vzniklých při spojování jednotlivých trigonometrických sítí do jednoho celku. Vzhledem k tomu, že obě části zatím od sebe oddělit nelze, použijeme střední chyby i v celkové hodnotě jako srovnávacího kritéria.

Z porovnání hodnot m_{or} můžeme tedy vyvodit závěr, že systém NAD je vnitřně přesnější než systém EUR. Toto tvrzení je pochopitelné, uvážíme-li způsob a možnosti spojování jednotlivých trigonometrických sítí v NAD a EUR, kam jsou zapojeny i řetězce africké a síť indická.

4.3.3. Zhodnocení oblastní deformace jednotlivých geodetických systémů

Výsledky získané z výpočtu posunů /chyby u jednotlivých bodů/ dovolily posoudit možné deformace v jednotlivých oblastech /sítích/ zkoumaných geodetických systémů. Ovšem i tyto výsledky mají pouze relativní platnost a to proto, že jsme z nich nedokázali oddělit chyby vzniklé nepřesnostmi v určení geoidu pomocí UDZ. Přesto však jsou výsledky v některých oblastech natolik průkazné, že z nich můžeme udělat určité závěry.

Za tím účelem byly opravy v vyneseny jako úsečky na přílohách 5 a 6.

Současně byl průběh oprav tvarově zkoumán především z hlediska spojitosti a porovnáním s tvarovým zobrazením geoidu byla vyvinuta snaha odhalit zdroj těchto oprav. Nespojitost některých oblastí /sítí/ však podstatně omezuje jejich komplexní prozkoumání.

4.3.3.1. Zhodnocení deformací u geodetického systému NAD

Z grafického znázornění oprav je patrné rozdělení území celého transformačního pole na několik oblastí /bloků/.

Jsou to: I. Západní nebo Aljašský blok

II. Střední nebo centrální blok

III. Východní blok

IV. Jižní blok

Nejdůležitější z těchto bloků je centrální blok, a to jak rozlohou, tak i svou kompaktností. V jeho části je také výchozí bod systému NAD /MEADES RANCH/, v němž výška geoidu nad referenčním elipsoidem má nulovou hodnotu / $\zeta_{ir} = 0$ /.

Pro posouzení variabilnosti určovaných posunů ΔX_0 , ΔY_0 , ΔZ_0 v závislosti na volbě transformační oblasti byla provedena další řešení včetně přesnostních charakteristik pro všechny čtyři bloky samostatně. Tyto výsledky byly získány pouze přímou metodou, protože je pro spotřebu strojového času méně náročná než metoda potenciálu.

Tabulka 4 nám udává přehled získaných výsledků; pro porovnání jsou v ní uvedeny i výsledky pro celé transformační pole.

Geodetický systém NAD

Tabulka 4

Označení	Celek	Dílčí oblasti /bloky/				
		I	II	III	IV	V = /I+II+III/
ΔX_0	- 11,2 m	31,7 m	- 9,3 m	- 19,9 m	3,4 m	- 11,1 m
$m_{\Delta X_0}$	$\pm 2,0$ m	$\pm 11,5$ m	$\pm 2,2$ m	$\pm 3,2$ m	$\pm 6,0$ m	$\pm 2,3$ m
ΔY_0	156,3 m	168,1 m	156,4 m	159,7 m	159,1 m	153,8 m
$m_{\Delta Y_0}$	$\pm 1,1$ m	$\pm 4,6$ m	$\pm 1,3$ m	$\pm 1,3$ m	$\pm 4,9$ m	$\pm 1,3$ m
ΔZ_0	189,0 m	204,8 m	196,0 m	187,4 m	201,2 m	189,4 m
$m_{\Delta Z_0}$	$\pm 1,1$ m	$\pm 4,9$ m	$\pm 1,1$ m	$\pm 1,4$ m	$\pm 8,5$ m	$\pm 1,2$ m
m_0	$\pm 7,1$ m	$\pm 3,8$ m	$\pm 3,2$ m	$\pm 3,8$ m	$\pm 7,9$ m	$\pm 5,4$ m
n	249	35	100	49	28	163

Pokud se týká vnitřní přesnosti výsledků z jednotlivých bloků, jsou přibližně stejné u bloků č. I, II, a III. Blok č. IV je vnitřně nesourodý.

Z tabulky 4 je rovněž zřejmá značná variabilnost posunů v okrajových oblastech, a to zvláště v hodnotě ΔX_0 . To závisí zřejmě mimo jiné na poloze a tvaru transformačních oblastí. Západní blok je téměř protilehlý ose X a ve směru sever - jih je velmi úzký /labilní/, a pravděpodobně proto se tam projevují největší rozdíly u hodnoty ΔX_0 .

Proto pro použití této metody transformace je důležité mít bloky co největšího rozsahu a spíše kruhovitěho tvaru. Vzhledem k tomu, že tvar geoidu vypočtený z pozorování UDZ není dnes zřejmě ještě dokonale určený, tj. pravděpodobně nezachycuje lokální zvlnění a že navíc může být v některých oblastech méně přesný - je možno formulovat jeden důležitý závěr: uvedený použitý postup transformace je především vhodný pro vzájemné převody rozsáhlých geodetických systémů.

Důkazem tohoto tvrzení je skutečnost, že opravy u základního bodu systému NAD /MEADES RANCH/ nejsou nulové, ale jejich tvarové zobrazení naznačuje určitý uzavřený mikrotvar o amplitudě až 10 m a poměrně značné rozlohy. Vzhledem k tomu, že mikrotvar svou podobou odpovídá poněkud mikrotvaru geoidu nad referenčním elipsoidem v daném místě, avšak v tvaru geoidu nad geocentrickým elipsoidem určeným z pozorování UDZ se nevyskytuje, zdá se oprávněným tvrzení, že určení geoidu z pozorování UDZ v tomto místě není dostatečně přesné, pokud jde o vystižení lokální vlny.

Velmi názorně nám k tomuto tvrzení napomáhá tvarové zobrazení oprav, jejichž průběh přibližně odpovídá průběhu geoidu nad referenčním elipsoidem.

Aby bylo možno osvětlit deformaci u základního bodu /MEADES RANCH/, byla provedena konstrukce chybového obrazce pouze pro blok II. Dílčí chybový obrazec se však ukázal téměř shodný s chybovým obrazcem sestrojeným na celém severoamerickém kontinentě. To jenom potvrdilo výše uvedené závěry o původu této deformace.

Obecně je velmi zajímavé tvarové vyjádření oprav na severoamerickém kontinentě, a to především

- pro svou podobu s tvarem geoidu nad referenčním elipsoidem,
- pro svou spojitou zákonitost a

- pro skutečnost, že obrácená znaménka se vyskytují především v okrajových oblastech.

Z uvedených skutečností by bylo možné odvodit určité přesné závěry, kdybychom znali bližší údaje o tvorbě trigonometrických sítí na tomto kontinentě a o charakteristikách jejich přesnosti. Protože takové údaje neznáme, můžeme konstatovat, že trigonometrické sítě jsou v okrajových oblastech deformovány více než v oblasti centrální.

4.3.3.2. Zhodnocení deformací evropského geodetického systému EUR

Podobně jako u geodetického systému NAD i u systému EUR můžeme z grafického znázornění oprav /příloha 6/ usuzovat na výrazné vyčlenění některých jeho oblastí /bloků/.

Z nich jsou to především

- I. Evropský blok
- II. /II'/ Africký blok
- III. Maloasijsko-indický blok
- IV. /IV'/ Sovětský blok
- V. /V'/ Evropský a sovětský blok /společně/.

Svou jednotností, ale opačnou deformací vynikají výrazně zejména blok sovětský a blok maloasijsko-indický.

Z afrického bloku pak nápadnou jednotností deformace se vyznačuje jeho jižní část. Přitom na první pohled se vnucuje domněnka, že deformace mají svůj původ především v chybách vzniklých při budování trigonometrických sítí a v jejich zapojení do společného geodetického systému.

Vyjmeme-li evropský blok, pak ostatní oblasti byly budovány především těmito zeměmi: Sovětským svazem, Velkou Británií a Francií. Trigonometrická síť maloasijsko-indického bloku, k němuž se co do znamének připojují ještě Balkán a severovýchodní část Afriky, byla budována Angličany.

Trigonometrická síť sovětského bloku byla pochopitelně budována Sovětským svazem. Při budování sítí v africkém bloku se zřejmě střídali Francouzi a Angličané.

Na rozdíl od geodetického systému NAD v evropském systému EUR u nulového bodu POTSDAM, kde výška geoidu nad referenčním elipsoidem je rovna nule / $\zeta_{tr} = 0$ /,

Označení	Celek	Oblasti /bloky /								
		I	I'	II	II'	III	IV	IV'	V	V'
ΔX_0	- 82,7 m	- 110,6 m	- 93,2 m	- 60,8 m	- 49,8 m	- 72,0 m	- 75,4 m	- 76,4 m	- 83,4 m	- 94,0 m
$m_{\Delta X_0}$	$\pm 1,7$ m	$\pm 4,6$ m	$\pm 4,0$ m	$\pm 3,1$ m	$\pm 5,8$ m	$\pm 7,9$ m	$\pm 1,4$ m	$\pm 1,6$ m	$\pm 2,2$ m	$\pm 3,8$ m
ΔY_0	- 113,2 m	- 108,3 m	- 103,7 m	- 142,4 m	- 162,0 m	- 98,6 m	- 72,7 m	- 90,2 m	- 89,4 m	- 94,5 m
$m_{\Delta Y_0}$	$\pm 2,4$ m	$\pm 8,4$ m	$\pm 9,8$ m	$\pm 6,0$ m	$\pm 10,4$ m	$\pm 4,4$ m	$\pm 3,4$ m	$\pm 2,8$ m	$\pm 3,4$ m	$\pm 3,8$ m
ΔZ_0	- 112,6 m	- 92,6 m	- 105,0 m	- 139,8 m	- 137,0 m	- 185,2 m	- 129,1 m	- 116,2 m	- 116,3 m	- 108,0 m
$m_{\Delta Z_0}$	$\pm 1,8$ m	$\pm 4,2$ m	$\pm 4,4$ m	$\pm 3,0$ m	$\pm 3,4$ m	$\pm 11,7$ m	$\pm 2,6$ m	$\pm 2,0$ m	$\pm 2,4$ m	$\pm 3,4$ m
m_0	$\pm 12,7$ m	$\pm 5,6$ m	$\pm 6,7$ m	$\pm 7,4$ m	$\pm 7,0$ m	$\pm 6,2$ m	$\pm 3,3$ m	$\pm 4,0$ m	$\pm 6,0$ m	$\pm 6,0$ m
n	218	43	52	49	40	33	63	81	112	97

jsou i deformace prakticky nulové. Z toho by se dalo usuzovat, že výsledné hodnoty posunů $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$ / i přes poměrně značnou jednotkovou chybu m_{or} / - ukazující na sníženou vnitřní kvalitu geodetického systému - byly vypočteny správně.

V tomto geodetickém systému ohraničení jednotlivých bloků, především z hlediska jejich kontinentální i věcné sounáležitosti, nebylo tak jednoznačné, a proto je v některých případech pro posouzení provedeno ohraničení ve dvou variantách /např. I, I' /.

V tabulce 5 je uveden přehled všech dosažených výsledků při výpočtu posunů $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$ v jednotlivých blocích. Pro úplnost byl ještě spojen blok evropský a sovětský v jeden celek a označen jako V /V' / . Pro porovnání jsou v tabulce uvedeny i výsledky pro celý systém.

Z hlediska vnitřní kvality jednotlivých bloků je zcela zřejmé, že nejsourodější je blok sovětský a svou kvalitou odpovídá americkému centrálnímu bloku. Pak následuje v pořadí blok evropský, blok maloasijsko-indický a nakonec blok africký. Dobré kvality je i blok evropsko-sovětský /V/, který odpovídá svou vnitřní kvalitou bloku severoamerického kontinentu /V/ v systému NAD.

Maximální rozdíly $\Delta \max$ v posunech jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6

Posun	B l o k	$\Delta \max$
ΔX_0	I a II' /evropský a africký/	60,8 m
ΔY_0	II' a IV /africký a sovětský/	89,3 m
ΔZ_0	I a III /evropský a maloasijsko - indický/	92,6 m

Z hlediska rozptylu hodnot posunů je zřejmá větší nesourodost jednotlivých bloků systému EUR, než tomu bylo v systému NAD, kde maximální rozptyl byl v posunu ΔX_0 o velikosti 51,6 m, u ΔY_0 14,8 m a u ΔZ_0 17,4 m. Je to vcelku pochopitelné, protože tři hlavní bloky systému NAD tvořily kompaktní těleso, kdežto v systému EUR jednotlivé bloky vykazují mezi sebou značné mezery, a to tam, kde trigonometrické sítě nebyly vybudovány, takže kompaktnost systému je značně narušena. Tvar i geografická poloha bloku ovlivňuje pak zřejmě i větší nebo menší variabilitnost těch posunů, na něž je blok vlivem uskupení a velikosti chyb citlivější.

Závěry o velikosti bloku a jeho tvaru uvedené v rozboru systému NAD byly i v systému EUR plně potvrzeny. Je třeba si však uvědomit, že vnitřní nesourodost bloku /trigonometrických sítí v něm spojených/ může značně ovlivnit přesnost výsledků.

Tvarové znázornění deformací opět potvrdilo dva závěry uvedené v rozboru systému NAD:

- geoid určený z pozorování UDZ nám nezobrazuje jeho mikrotvary,
- tvarové znázornění deformací koresponduje určitým způsobem s tvarem geoidu určeného astronomicko-geodeticky nad referenčním elipsoidem.

Je však třeba uvést, že znázornění geoidu nad referenčním elipsoidem, které bylo pro výpočty použito, je rovněž dosti přibližné, což nutně muselo přispět k dalšímu zkreslení výsledků tvarového zobrazení deformací.

4.4. Výsledky vlastní transformace

Výchozími parametry pro provedení vlastní transformace jsou souřadnice středů Clarkeova elipsoidu /geodetický systém NAD/ a Hayfordova elipsoidu /geodetický systém EUR/, které plynou z tabulek 4 a 5 a jejich rozdíly:

$$\begin{aligned}
 \Delta X_0^{\text{EUR}} &= - 82,7 \text{ m} \pm 1,7 \text{ m} , & \Delta X_0^{\text{NAD}} &= - 11,2 \text{ m} \pm 2,0 \text{ m} , \\
 \Delta Y_0^{\text{EUR}} &= - 113,2 \text{ m} \pm 2,4 \text{ m} , & \Delta Y_0^{\text{NAD}} &= + 156,3 \text{ m} \pm 1,1 \text{ m} , \quad (59) \\
 \Delta Z_0^{\text{EUR}} &= - 112,6 \text{ m} \pm 1,8 \text{ m} , & \Delta Z_0^{\text{NAD}} &= + 189,0 \text{ m} \pm 1,1 \text{ m} , \\
 \Delta X_0^{\text{EUR}} - \Delta X_0^{\text{NAD}} &= - 71,5 \text{ m} , \\
 \Delta Y_0^{\text{EUR}} - \Delta Y_0^{\text{NAD}} &= - 269,5 \text{ m} , \quad (60) \\
 \Delta Z_0^{\text{EUR}} - \Delta Z_0^{\text{NAD}} &= - 301,6 \text{ m} .
 \end{aligned}$$

Veškeré výpočty transformací byly provedeny podle rovnic (27) - (30), a to samostatně pro přechod z jednoho geodetického systému do druhého a naopak. Pro kontrolu bylo na styku oblastí obou systémů vypočítáno několik kontrolních bodů, jejichž hodnoty se musely lišit pouze znaménkem. Při výpočtu jsme se soustředili na určení transformačních rozdílů pro přechod z jednoho systému do druhého, takže vlastní transformační rovnice měly tvar

$$\begin{aligned}
 B_2 &= B_1 + \Delta B_{21} , \\
 L_2 &= L_1 + \Delta L_{21} , \quad (61)
 \end{aligned}$$

při přechodu z prvního systému do druhého a

$$\begin{aligned} B_1 &= B_2 + \Delta B_{12} , \\ L_1 &= L_2 + \Delta L_{12} , \end{aligned} \quad (62)$$

při přechodu z druhého systému do prvního.

V těchto rovnicích jsme označili indexem 2 severoamerický geodetický systém NAD a indexem 1 evropský geodetický systém EUR. Potom rovnice (61) platí pro přechod ze systému EUR do systému NAD a rovnice (62) platí pro přechod ze systému NAD do systému EUR.

Tedy

$$\begin{aligned} B_{\text{NAD}} &= B_{\text{EUR}} + \Delta B_{21} , \\ L_{\text{NAD}} &= L_{\text{EUR}} + \Delta L_{21} , \\ B_{\text{EUR}} &= B_{\text{NAD}} + \Delta B_{12} , \\ L_{\text{EUR}} &= L_{\text{NAD}} + \Delta L_{12} . \end{aligned} \quad (63)$$

Řešením jsme obdrželi tyto rovnice pro určení transformačních rozdílů:

$$\begin{aligned} \Delta B''_{21} &= -71,5 A - 269,5 B - 301,6 C - 182,0 D + 0,00\ 00\ 459 E , \\ \Delta L''_{21} &= -71,5 F - 269,5 G , \\ \Delta B''_{12} &= 71,5 A + 269,5 B + 301,6 C + 182,0 D - 0,00\ 00\ 459 E , \\ \Delta L''_{12} &= 71,5 F + 269,5 G . \end{aligned} \quad (64)$$

Všechny hodnoty ΔB i ΔL vyjdou ve vteřinách.

Vzhledem k velikosti transformačních rozdílů a jejich očekávané přesnosti ukázalo se grafické provedení jako nejvýhodnější řešení vlastní transformace. Za tím účelem byly transformační rozdíly vypočteny pro geografickou síť s krokem 10° a pro jednotlivé transformační rozdíly ΔB_{21} , ΔL_{21} , ΔB_{12} , ΔL_{12} byly pak sestrojeny grafy /přílohy 7, 8, 9, 10/.

V těchto transformacích hrají významnou roli poledníky, jejichž

$\text{tg } L = \frac{\Delta (\Delta Y_0)_{r_{12}}}{\Delta (\Delta X_0)_{r_{12}}}$ tj. ($L \doteq 75^\circ, 255^\circ$). V nich totiž jsou hodnoty ΔL rovny nule a podle nich a rovníku jsou symetricky rozloženy. Hodnoty ΔB mají v nich rovněž osy symetrie.

Navržené řešení umožňuje prakticky na základě znalosti výšek geoidu nad referenčními elipsoidy a na základě znalosti rozměrů těchto elipsoidů provést vzájemné transformace jejich geodetických systémů, ať jsou tyto systémy jakkoli daleko od sebe vzdáleny a aniž by mezi nimi existovalo jakékoli spojení.

Toto řešení však bylo umožněno teprve tehdy, kdy pomocí umělých družic Země byl určen tvar geoidu nad geocentrickým elipsoidem a kdy za pomoci UDZ byly odvozeny dynamické koeficienty Země $J_n^{(k)}$, $S_n^{(k)}$, přičemž elektronickým počítačem bylo možno vypočítat sférické funkce $P_n^{(k)}(\sin \phi)$ dostatečně rychle.

Je zcela pochopitelné, že jakmile se při řešení používá takových kategorií, jako jsou výšky geoidu nad referenčním elipsoidem, není možno v transformaci počítat s centimetrovou přesností, ale že přesnost se bude pohybovat v rozmezí asi $0''1$, tj. ± 3 m. Přibližné hodnocení přesnosti podle rovnice (35) u konkrétního případu transformace geodetických systémů NAD a EUR vedlo k hodnotám $\pm 0''15$ u ΔB a $\pm 0''12$ u ΔL .

Pro navržené řešení je třeba dbát,

- a/ aby převáděné geodetické systémy byly plošně co největší, tj. aby tvar geoidu byl známý na ploše pokud možno co největší,
- b/ aby tato plocha měla tvar pokud možno kruhovitý a nikoli protáhlý.

Navržené řešení je pouze prvním krokem na cestě k využití daných údajů, a to proto, že jsme v něm vycházeli z předpokladu, že osy obou referenčních elipsoidů i geocentrického světového systému jsou rovnoběžné. Dostatek výchozích údajů nám umožní v budoucnu rozšířit danou úlohu o určení i jejich zkosení, a tím pravděpodobně přesněji vyjádřit transformační vztahy.

K dalšímu zvýšení přesnosti této transformační metody může dojít až po rozšíření a zpřesnění sítě kosmické triangulace a zvětšení souboru dynamických konstant $J_n^{(k)}$, $S_n^{(k)}$, čímž se zvýší i přesnost v určení tvaru geoidu.

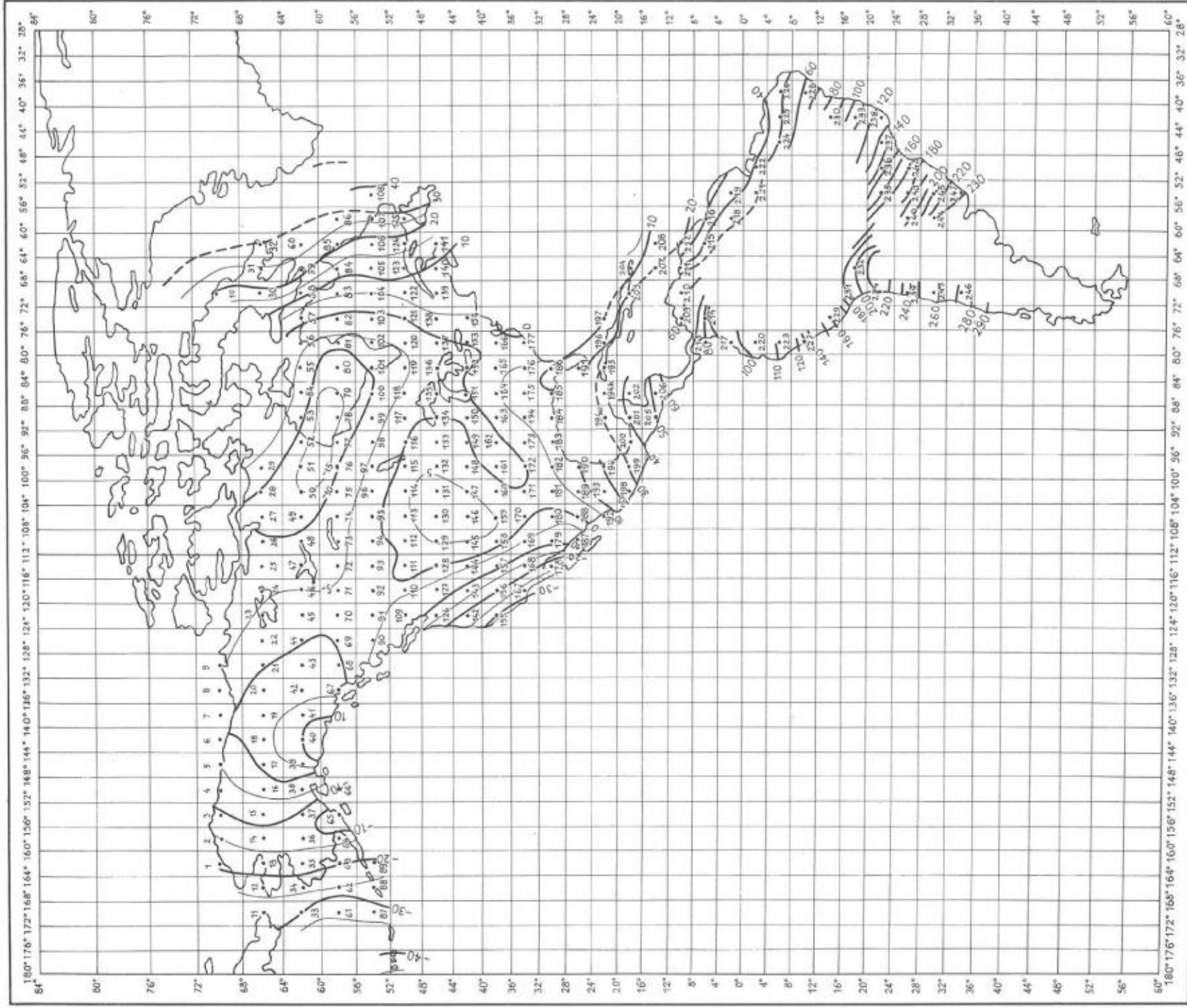
L I T E R A T U R A :

- [1] V. VAHALA: Geodetické sítě malého rozsahu, jejich transformace a transformace světových referenčních geodetických systémů, 1971, Praha.
- [2] M. BURŠA: Základy kosmické geodézie, díl I, 1967, Praha; díl II, 1971, Praha.
- [3] J. VYKUTIL: Vyrovnávací počet, 1964, Brno.
- [4] Geodetic Parameters for a 1966 SAO Standard Earth. SAO Spec. Rep. 200, 1966.
- [5] M. BURŠA: Potential on the Geoidal Surfaces, the Scale Factor for Lengths and Earth's Figure Parameters from Satellite Observations. *Studia geoph. et geod.*, 13, 1969.
- [6] A.A. IZOTOV: Forma i rozměry Zemlji po sovremennym dannym. *Trudy CNIIGAIK* 73, 1950, Moskva.
- [7] V. V. BROVAR, V. A. MAGNICKIJ, B. P. ŠIMBEREV: Teorija figury Zemlji, 1961, Moskva.

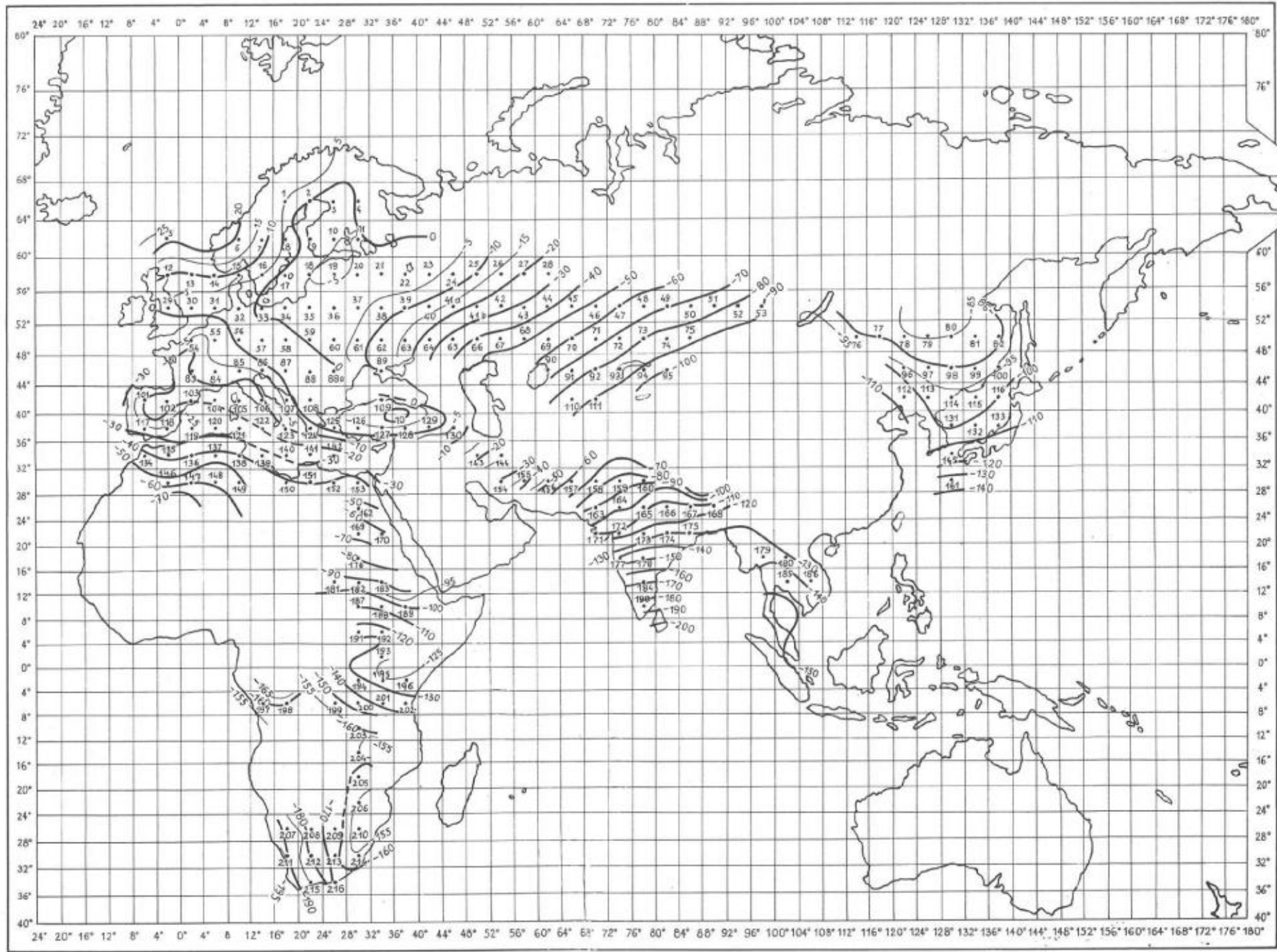
P Ř Í L O H Y

- 1,2 Přehledy bodů, v nichž byly určeny výšky geoidu / ζ_{ir} / nad referenčním elipsoidem
- 3,4 Grafické znázornění výšek geoidu / ζ_{io} / nad geocentrickým elipsoidem o parametrech totožných s parametry referenčního elipsoidu
- 5,6 Grafické znázornění oprav / v / z vyrovnání v celém transformačním poli
- 7,8 Grafické znázornění transformačních rozdílů ΔB_{21} , ΔL_{21}
- 9,10 Grafické znázornění transformačních rozdílů ΔB_{12} , ΔL_{12}

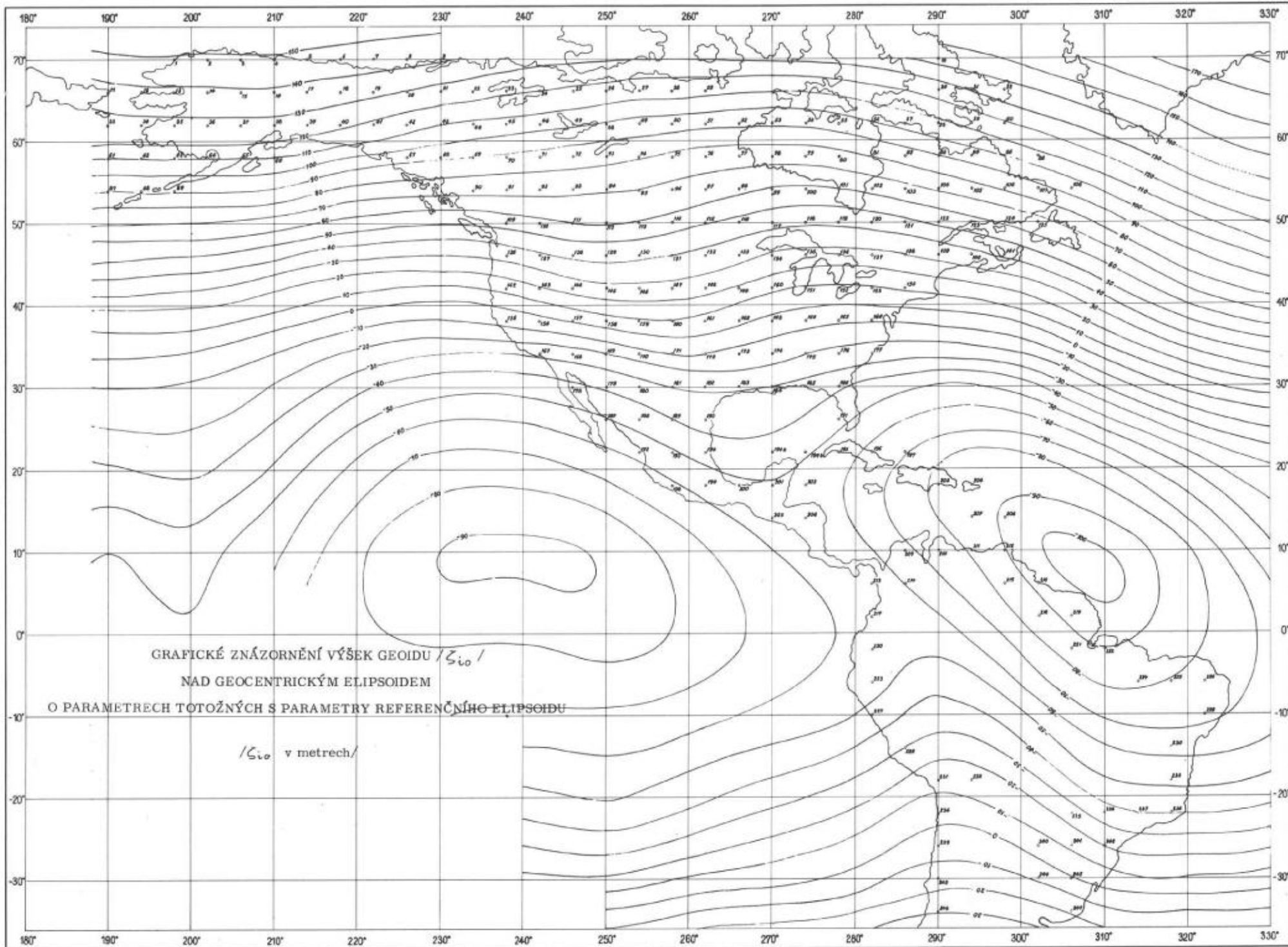
Došlo dne 28. 7. 1971



PŘEHLED BODŮ, V NICHŽ BYLY URČENY VÝŠKY GEOIDU / ξ_g / NAD REFERENČNÍM ELIPSOIDEM

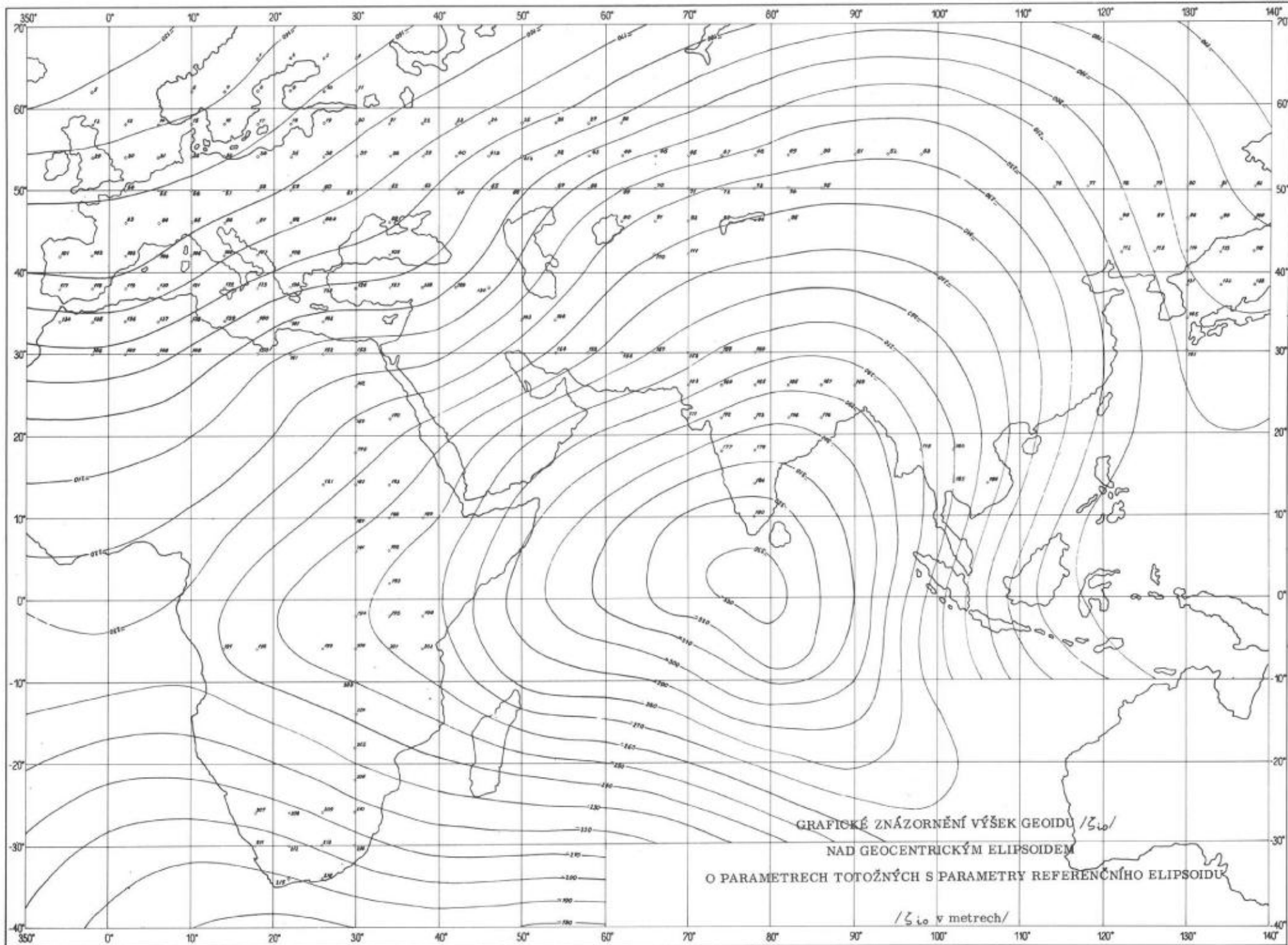


PŘEHLED BODŮ, V NICHŽ BYLY URČENY VÝŠKY GEOIDU / ξ_i / NAD REFERENČNÍM ELIPSOIDEM

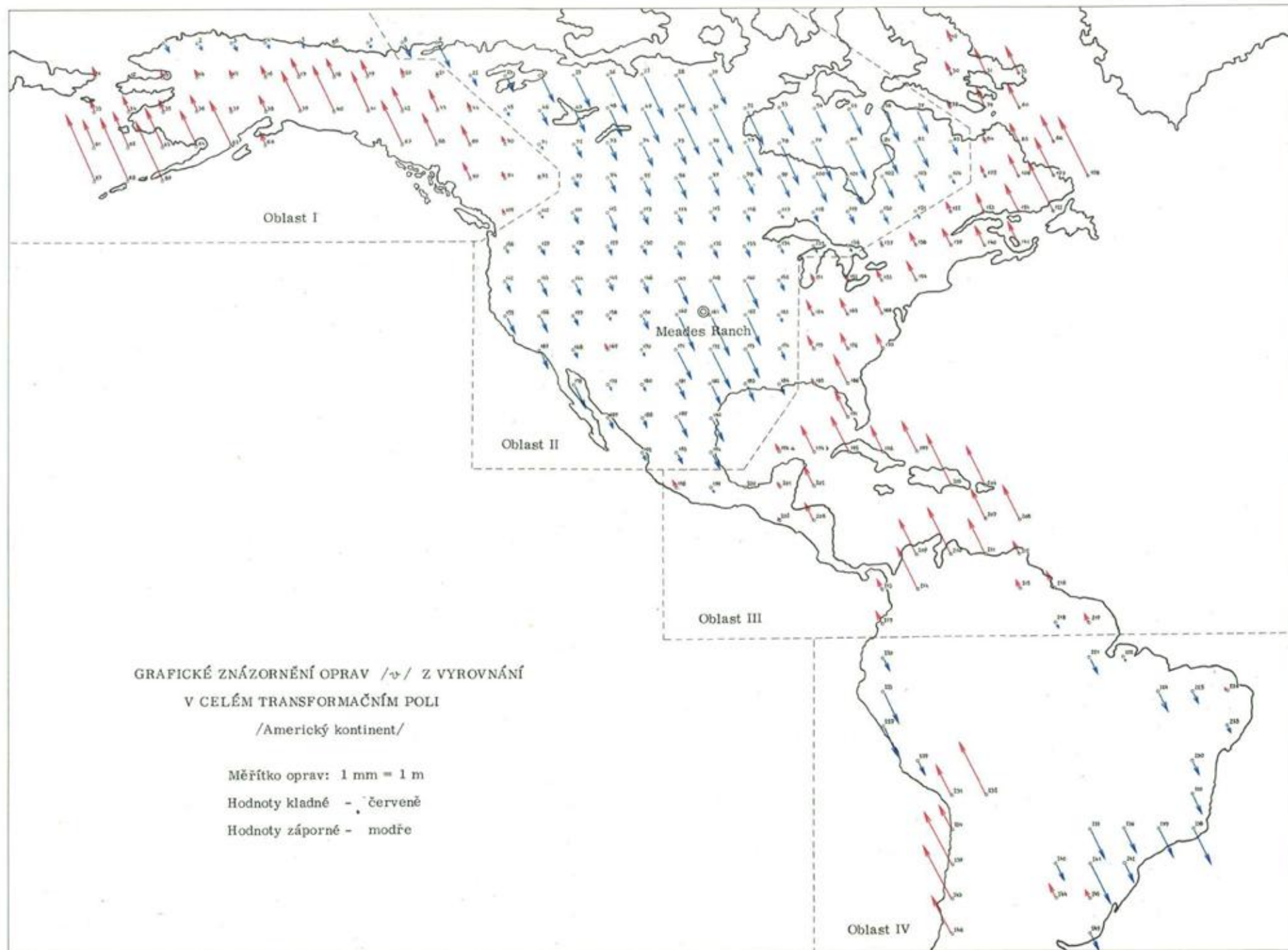


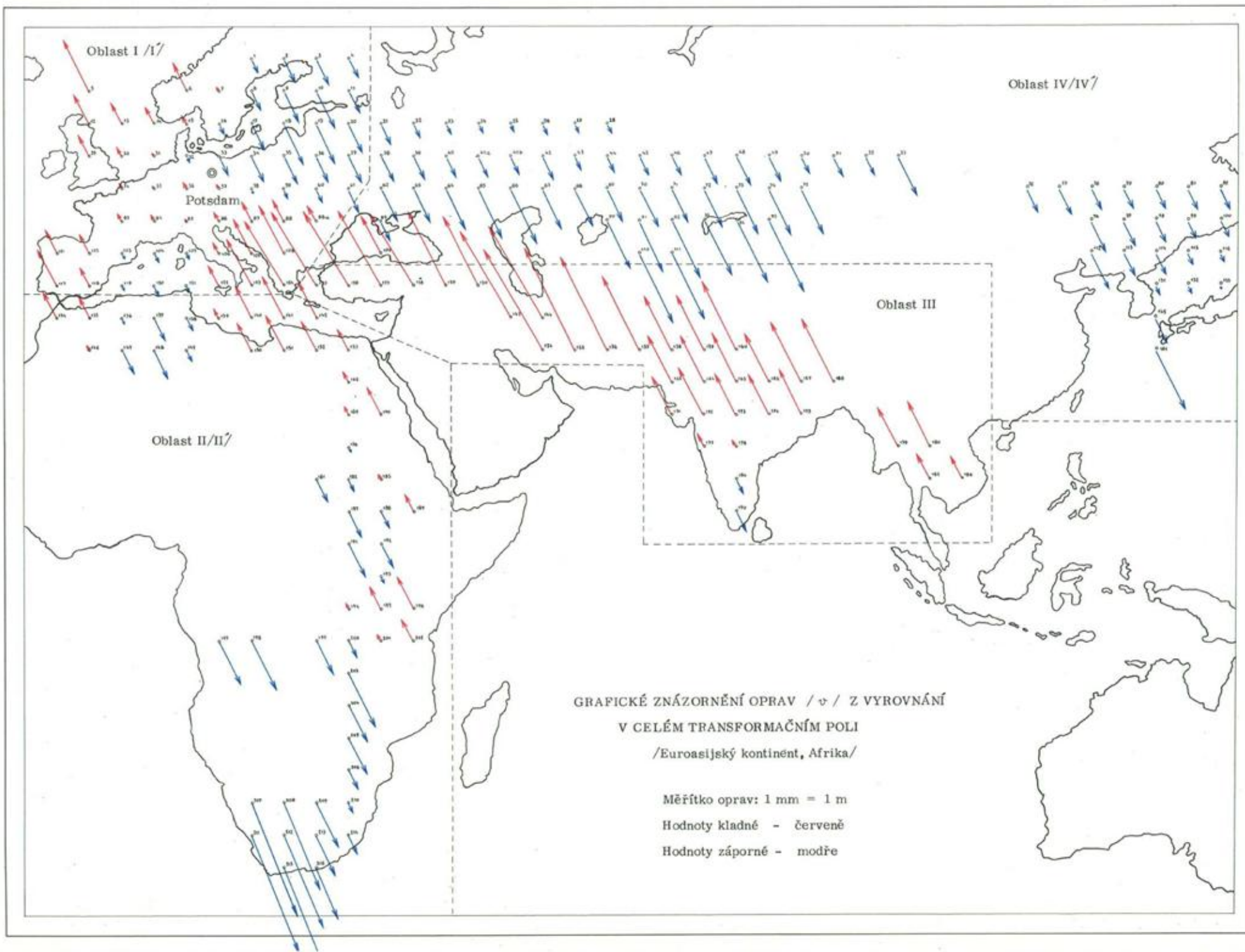
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝŠEK GEOIDU / ζ_{io} /
NAD GEOCENTRICKÝM ELIPSOIDEM
O PARAMETRECH TOTOŽNÝCH S PARAMETRY REFERENČNÍHO ELIPSOIDU

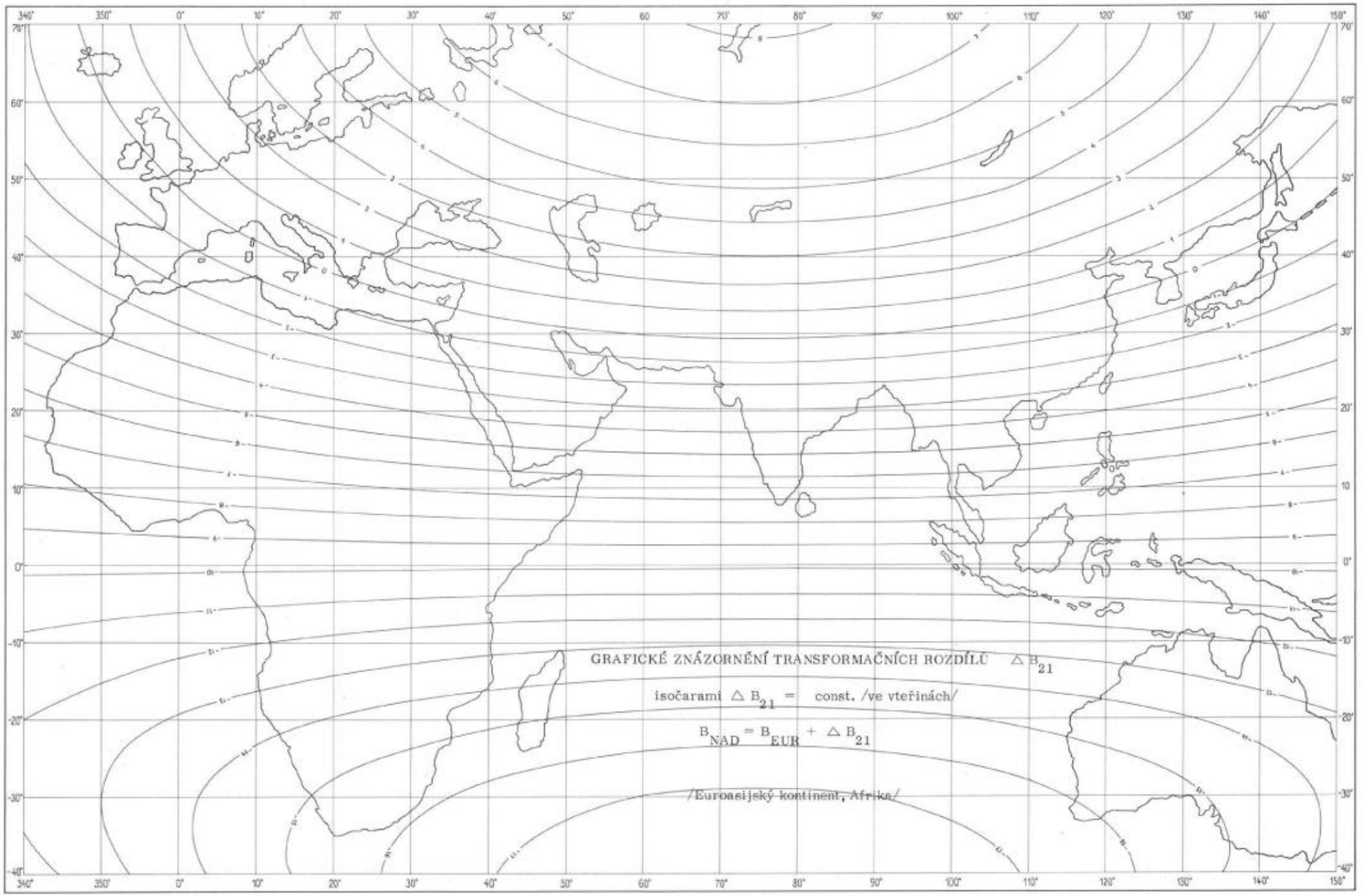
/ ζ_{io} v metrech/

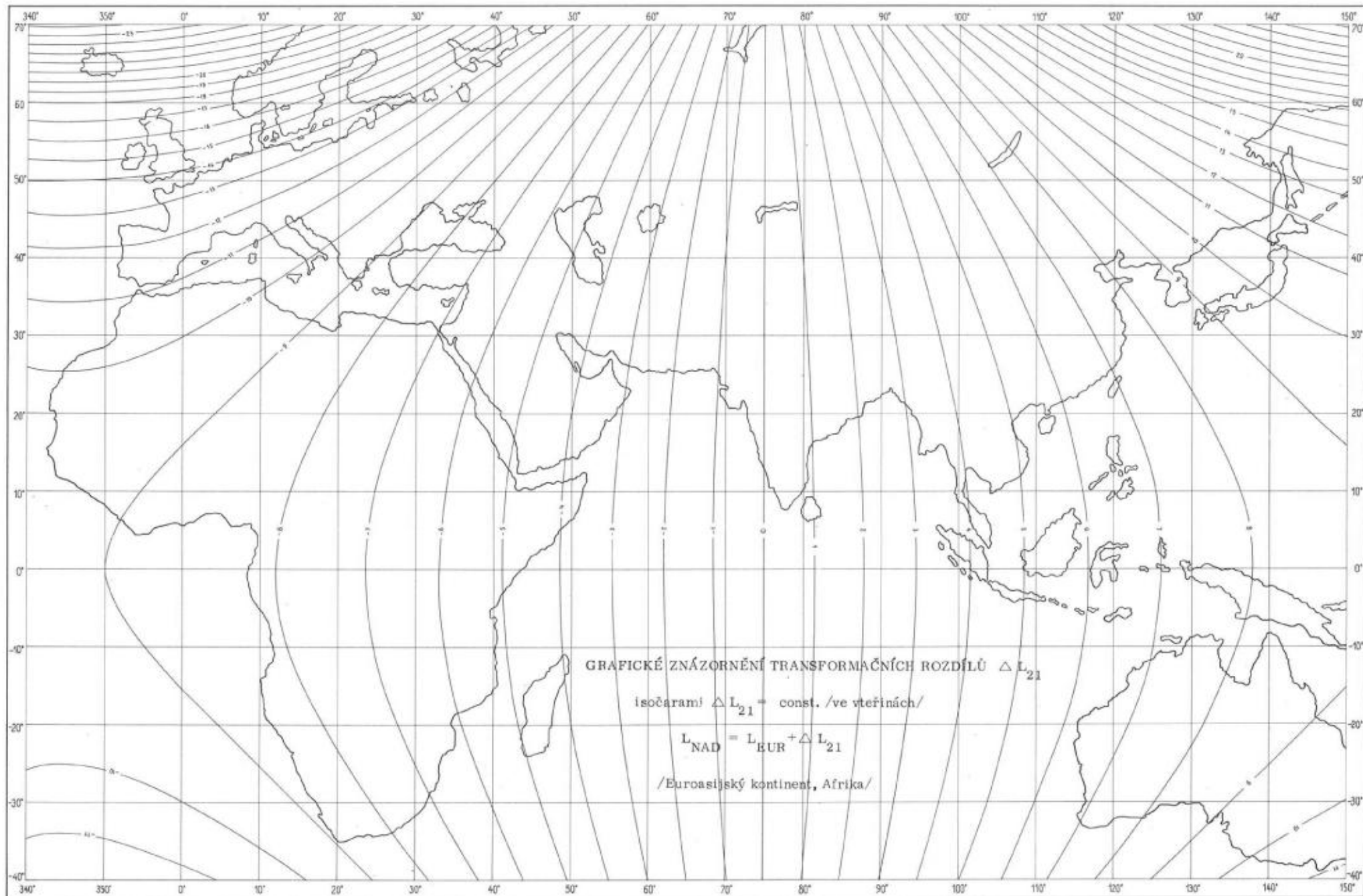


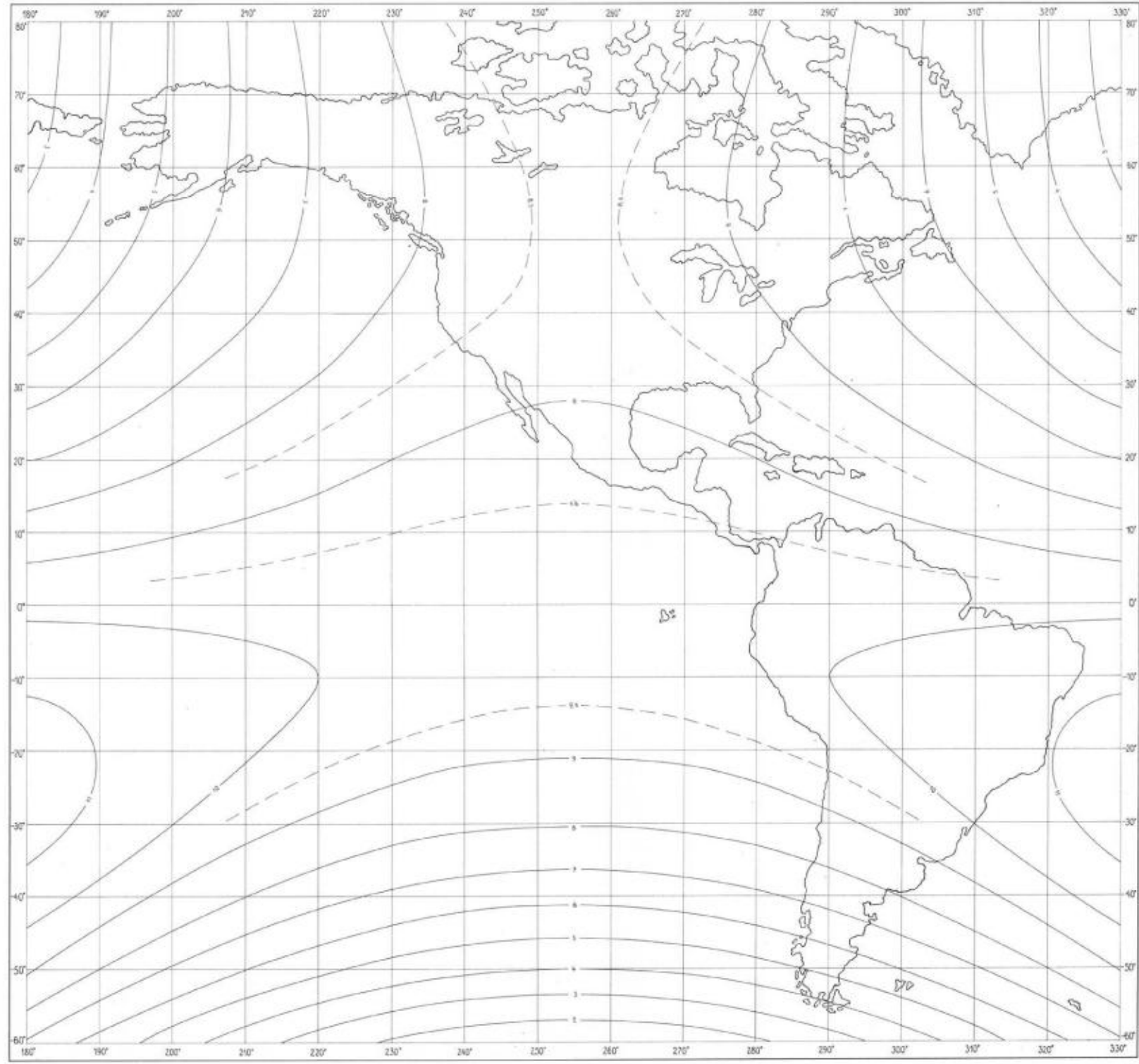
GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ VÝŠEK GEOIDU / ζ_{io} /
NAD GEOCENTRICKÝM ELIPSOIDEM
O PARAMETRECH TOTOŽNÝCH S PARAMETRY REFERENČNÍHO ELIPSOIDU
/ ζ_{io} v metrech/









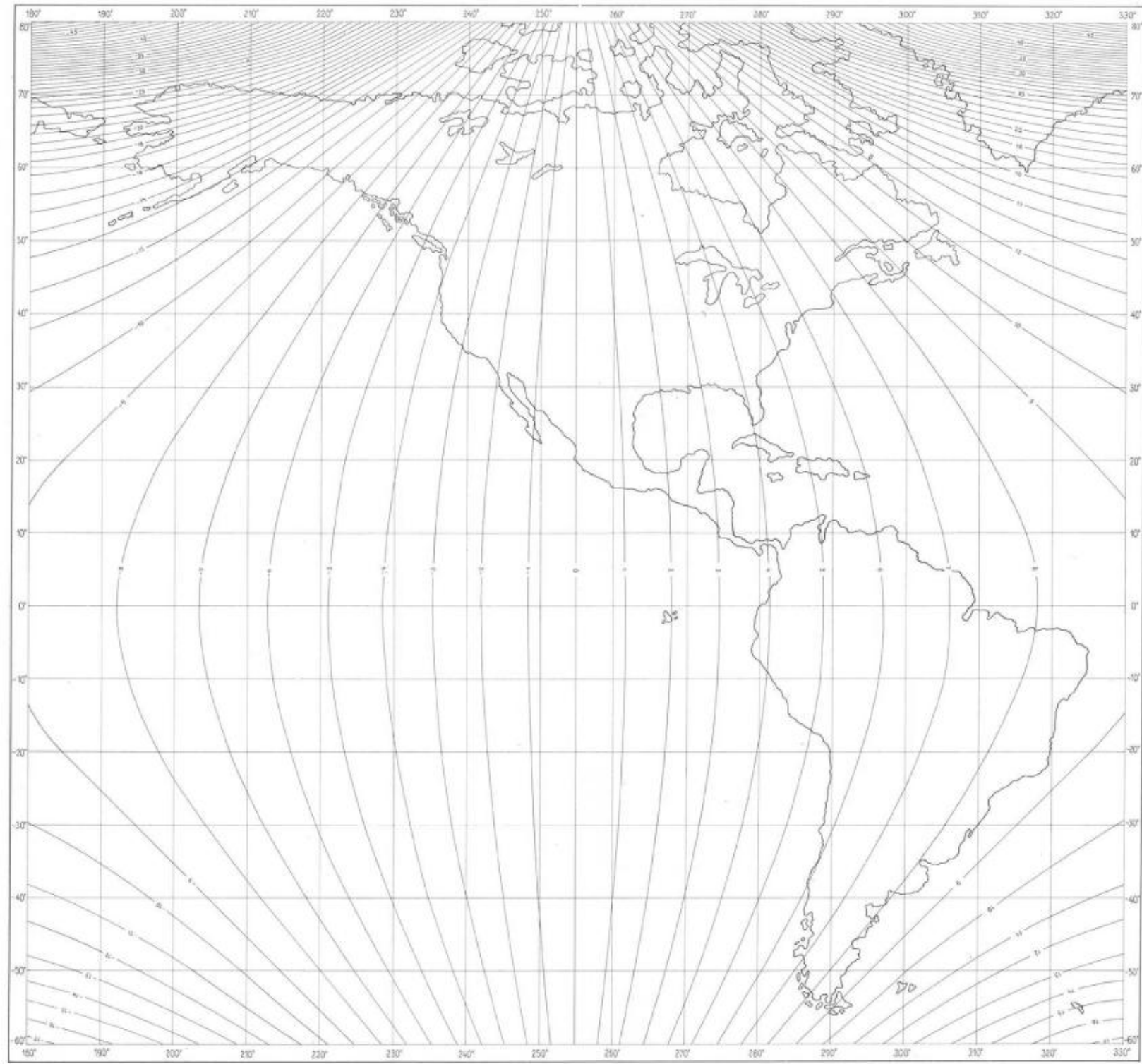


GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TRANSFORMAČNÍCH ROZDÍLŮ ΔB_{12}

isochrami $\Delta B_{12} = \text{const.}$ /ve vteřinách/

$$B_{\text{EUR}} = B_{\text{NAD}} + \Delta B_{12}$$

/Americký kontinent/



GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ TRANSFORMAČNÍCH ROZDÍLŮ ΔL_{12}

isočarami ΔL_{12} = const. /ve vteřinách/

$$L_{EUR} = L_{NAD} + \Delta L_{12}$$

/Americký kontinent/

K transformaci prostorových pravoúhlých souřadnic na souřadnice zeměpisné

1. Ú v o d

Použití prostorových pravoúhlých souřadnic pro řešení řady úloh vyšší geodézie nalézá v poslední době stále širší uplatnění. Zdaleka není omezeno jen na úlohy geodézie družicové; jeví se velmi vhodným pro zpracování a spojování rozsáhlých sítí, jakož i pro spojení terestrických sítí se sítěmi družicovými. Kromě toho i některé elementární úlohy vyšší geodézie /jako např. známé řešení II. hlavní geodetické úlohy metodou tětiovou/ je vhodné počítat v prostorových pravoúhlých souřadnicích. Řešení všech těchto úloh se přirozeně neobejde bez vzájemné transformace zeměpisných a pravoúhlých prostorových souřadnic.

Transformace geodetických zeměpisných souřadnic B, L, H na prostorové pravoúhlé X, Y, Z je exaktně řešitelná pomocí jednoduchých vztahů

$$X = (N + H) \cos B \cos L$$

$$Y = (N + H) \cos B \sin L$$

$$Z = [N(1 - e^2) + H] \sin B,$$

kde příčný poloměr křivosti $N = a(1 - e^2 \sin^2 B)^{-\frac{1}{2}}$,

a je velká poloosa použitého referenčního elipsoidu,

H výška bodu nad elipsoidem,

e první excentricita elipsoidu,

B, L geodetická zeměpisná šířka a délka uvažovaného bodu.

Při zpětné transformaci lze exaktně přímo vypočítat pouze zeměpisnou délku L ze vztahu

$$L = \operatorname{arctg} \frac{Y}{X},$$

zatímco hodnoty B a H je třeba počítat buď v aproximacích nebo s jistým omezením přesnosti podle složitějších přímých vztahů.

Výpočtem veličin B a H z prostorových pravoúhlých souřadnic se zabývala již celá řada autorů. Zde uvedeme pouze některá typická řešení s posouzením jejich předností i případných nevýhod z hlediska použitelnosti v polních podmínkách. Dále pak budou odvozeny nové vztahy pro přímý výpočet zeměpisné šířky, které se zdají být vhodnými pro svou jednoduchost, plně postačující přesnost a možnost univerzálního použití jak na počítači tak i na kalkulačních strojích.

2. Přehled některých řešení transformace

Jedna z metod pro výpočet veličin B a H v postupných aproximacích byla odvozena v [1] a podrobně vysvětlena v [6]. Výpočet spočívá v opakovaném řešení rovnic

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} B &= \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \left[1 + e'^2 - \frac{H}{N} (e^2 + 2e^4) \right] \\ H &= \sqrt{X^2 + Y^2} \operatorname{sec} B - N, \end{aligned}$$

kde pro první přiblížení dosadíme do první rovnice $H = 0$ a v dalších aproximacích poslední H vypočtené z druhé rovnice. Tato metoda zaručuje přesnost v určení zeměpisné šířky $\pm 0''001$, tzn. ± 3 cm v poloze bodu na povrchu Země. Pro nadmořské výšky do 2000 m je však přesnost podstatně vyšší. Její nevýhodou je poměrně pracný výpočet, zpravidla ve třech aproximacích.

Poněkud jednodušší a rychlejší je aproximativní postup Lapingův [4]. Jeho hlavní předností je to, že přesnost výpočtu je omezena pouze počtem aproximací, přičemž pro určení polohy bodu na povrchu Země postačí tři aproximace i pro nejvyšší požadavky přesnosti. První přibližná hodnota zeměpisné šířky B_1 se počítá ze vzorce

$$\operatorname{tg} B_1 = \frac{Z (1 + e'^2)}{\sqrt{X^2 + Y^2}},$$

druhá a další ze vztahu

$$\operatorname{tg} B_k = \frac{Z + N_{k-1} e^2 \sin B_{k-1}}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$$

kde $k = 2, 3, \dots$. Nicméně i tento postup - rozhodně velmi vhodný pro počítač -

je pro výpočet na kalkulačním stroji poněkud zdlouhavý.

Podstatně rychlejší a jednodušší je přímá metoda výpočtu B ze vzorce

$$B = B_0 + \delta B ,$$

kde

$$B_0 = \operatorname{arctg} \frac{Z (1 + e^2)}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$$

a

$$\delta B = -\frac{e^2}{a} \sin B_0 \cos B_0 \left[\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} (1 + e^2)^2 - N_0 \right] ,$$

kteřá byla odvozena Buršou v [1]. Pro přesné výpočty je však její použitelnost omezena podmínkou $H < 2$ km, která v některých ojedinělých případech zřejmě nebude splněna.

Metodu přímého výpočtu zeměpisné šířky φ i elipsoidické výšky H publikoval dále Pick [5]. Pro uvedené veličiny odvodil vztahy

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi ,$$

$$\Delta\varphi'' = \left\{ A + B \left(\frac{a}{\varrho} \right) + C \left(\frac{a}{\varrho} \right)^2 + D \left(\frac{a}{\varrho} \right)^3 + \dots \right\} \left(\frac{a}{\varrho} \right) \sin 2\varphi_0 ,$$

$$H = \varrho - a + F \sin^2\varphi_0 + \left\{ G + K \left(\frac{a}{\varrho} \right) + L \left(\frac{a}{\varrho} \right)^2 + \dots \right\} \left(\frac{a}{\varrho} \right) \sin^2 2\varphi_0 ,$$

kde

$$\varphi_0 = \operatorname{arctg} \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} , \quad \varrho = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} .$$

Koeficienty A, B, C, D, F, G, K, L jsou v [5] tabelovány pro φ_0 od 0° do 90° s krokem 1° , a to jednak pro Krasovského, jednak pro Hayfordův elipsoid. Použití rovnic v úplném tvaru zaručuje přesnost $0''0001$ v hodnotě $\Delta\varphi$ a $0,001$ m v hodnotě H . I tento postup /řešený pro použití kalkulačního stroje a neomezující se jen na body na povrchu Země/ se však zdá být vzhledem k nutnosti interpolace koeficientů v tabulkách poměrně pracným.

3. Odvození jednoduššího vzorce pro výpočet zeměpisné šířky

Vyjděme ze vztahu pro přesnou hodnotu zeměpisné šířky

$$\operatorname{tg} B = \frac{Z + Ne^2 \sin B}{\sqrt{X^2 + Y^2}}, \quad (1)$$

který nelze řešit přímo a který Laping [4] navrhuje počítat v aproximacích. Ve shodě s ním vypočteme přibližnou hodnotu pomocí vztahu

$$\operatorname{tg} B_0 = \frac{Z (1 + e'^2)}{\sqrt{X^2 + Y^2}}. \quad (2)$$

Malý rozdíl v tangencích přesné a přibližné zeměpisné šířky označme $f(B)$ a vypočteme odečtením rovnice (2) od rovnice (1):

$$f(B) = \operatorname{tg} B - \operatorname{tg} B_0 = \left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} + \frac{Ne^2 \sin B}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) - \left(\frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}} + \frac{Ze'^2}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) = \frac{Ne^2 \sin B - Ze'^2}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \quad (3)$$

Funkce $f(B)$ bude pro daný elipsoid závislá nejen na zeměpisné šířce B , nýbrž hlavně na velikosti elipsoidické výšky H uvažovaného bodu; pro body o malých nadmořských výškách bude dosahovat velmi malých hodnot a pro $H = 0$ bude nulová. To lze snadno dokázat, např. dosadíme-li do rovnice (3) známý vztah pro první a druhou excentricitu rotačního elipsoidu

$$e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2}$$

a vyjádříme-li Z jako funkci zeměpisné šířky pro $H = 0$, tedy

$$Z = N (1 - e^2) \sin B$$

Potom skutečně čitatel rovnice (3)

$$Ne^2 \sin B - Ze'^2 = Ne^2 \sin B - Ne^2 \sin B = 0$$

Poněvadž u bodů ležících na povrchu Země můžeme pro určení zeměpisné šířky B vypočíst podle vzorce (2) její poměrně blízkou přibližnou hodnotu B_0 , uijíme pro funkci (3) Taylorova rozvoje se zanedbáním členů druhého a vyšších řádů. Potom

$$f(B) = f(B_0) + f'(B_0) (B - B_0). \quad (4)$$

Pro řešený případ zřejmě bude

$$f(B_0) = \frac{N_0 e^2 \sin B_0 - Z e'^2}{\sqrt{X^2 + Y^2}}. \quad (5)$$

Pro výpočet derivace $f'(B_0)$ upravíme rovnici (5) na tvar

$$f(B_0) = \frac{ae^2}{\sqrt{X^2+Y^2}} \frac{\sin B_0}{\sqrt{1-e^2\sin^2 B_0}} - \frac{Ze'^2}{\sqrt{X^2+Y^2}}$$

a vypočteme

$$f'(B_0) = \frac{ae^2}{\sqrt{X^2+Y^2}} \left[\frac{\cos B_0}{\sqrt{1-e^2\sin^2 B_0}} + \frac{e^2 \sin^2 B_0 \cos B_0}{(\sqrt{1-e^2\sin^2 B_0})^3} \right]. \quad (6)$$

Poněvadž druhý člen v rovnici (6) nabude v nejnepříznivějším případě hodnoty více než o dva řády nižší než člen první, bude možné považovat jeho hodnotu za zanedbatelnou a spokojit se s přibližným, jednoduchým vztahem

$$f'(B_0) \doteq \frac{N_0 e^2 \cos B_0}{\sqrt{X^2+Y^2}}. \quad (7)$$

Dosadíme-li do rovnice (4) výrazy (5) a (7), můžeme s přihlédnutím k (3) psát

$$f(B) = \operatorname{tg} B - \operatorname{tg} B_0 \doteq \frac{1}{\sqrt{X^2+Y^2}} \left[N_0 e^2 \sin B_0 - Ze'^2 + N_0 e^2 \cos B_0 (B - B_0) \right]. \quad (8)$$

Poněvadž rozdíl $B - B_0$ v rovnici (8) je malý, můžeme položit

$$B - B_0 = dB$$

a pro $B \ll 90^\circ$

$$f(B) = \operatorname{tg} B - \operatorname{tg} B_0 = d \operatorname{tg} B.$$

Pro výpočet rozdílu $B - B_0$, který vystupuje ve členu druhého řádu, bude patrně postačující pouze přibližná hodnota $f(B)$, určená pouze z prvního členu rovnice (4), tedy

$$d \operatorname{tg} B \doteq \frac{N_0 e^2 \sin B_0 - Ze'^2}{\sqrt{X^2+Y^2}}.$$

Odtud snadno vypočteme

$$dB = \frac{\cos^2 B_0}{\sqrt{X^2+Y^2}} (N_0 e^2 \sin B_0 - Ze'^2) \quad (10)$$

a s přihlédnutím k (9) dosadíme do rovnice (8). Bude tedy platit

$$d \operatorname{tg} B = \frac{1}{\sqrt{X^2+Y^2}} \left[(N_0 e^2 \sin B_0 - Ze'^2) \left(1 + N_0 e^2 \frac{\cos^3 B_0}{\sqrt{X^2+Y^2}} \right) \right]$$

a konečný vzorec pro přímý výpočet opravy přibližné zeměpisné šířky ve vteřinách bude mít tvar

$$dB'' = \varrho'' \frac{\cos^2 B_0}{\sqrt{X^2+Y^2}} \left[(N_0 e^2 \sin B_0 - Ze'^2) \left(1 + N_0 e^2 \frac{\cos^3 B_0}{\sqrt{X^2+Y^2}} \right) \right]. \quad (11 a)$$

Pro praktický výpočet bude vhodné zavedením pomocných hodnot

$$A_1 = N_0 e^2 ; \quad A_2 = z e'^2 ; \quad A_3 = \frac{\cos^2 B_0}{D} \quad \text{kde } D = \sqrt{X^2 - Y^2} \quad (12)$$

použít jednoduchého tvaru

$$dB'' = \rho'' A_3 [(A_1 \sin B_0 - A_2) (1 + A_1 A_3 \cos B_0)] \quad (11b)$$

Tím se výpočet zeměpisné šířky B prakticky omezí na výpočet přibližné hodnoty B_0 podle vzorce (2), dále na určení číselných hodnot D , A_1 , A_2 , A_3 dosazením do rovnic (12) a na výpočet korekčního členu dB podle vzorce (11b), jehož hodnota vyjde ve vteřinách. Bude tedy

$$B = \text{arc tg } \frac{z (1 + e'^2)}{D} + dB. \quad (13)$$

Pro určení elipsoidické výšky H pak použijeme některého z běžně používaných vzorců, např. /v souladu s naší symbolikou, kde $D = \sqrt{X^2 + Y^2} /$

$$H = \frac{D}{\cos B} - N ,$$

kde hodnoty příčného poloměru křivosti N a $\cos B$ určíme přirozeně k argumentu B , vypočtenému z rovnice (13).

4. Meze použití a přesnost navrženého způsobu transformace

O vlivu výšky H na přesnost výpočtu B jsme se již stručně zmínili v úvodu článku. Je tedy zřejmé, že u bodů o velkých nadmořských výškách bude funkce $f(B)$ nabývat větších hodnot. Pak bude i použití diferenciálních vztahů, na jejichž platnosti je postup založen, méně oprávněné a vypočtená oprava přibližné zeměpisné šířky přirozeně méně spolehlivá.

Pokud jde o přesnost metody v různých zeměpisných šířkách, pak z rovnice (11b) je zřejmé, že nebude konstantní. Hodnota dB bude nulová jak pro $B_0 = 90^\circ$, kdy $\cos^2 B_0 = 0$, tak i pro $B_0 = 0^\circ$, kdy bude zároveň $\sin B_0 = 0$ a $z = 0$. Maxima nabude zřejmě v některém bodě uvnitř intervalu $\langle 0^\circ, 90^\circ \rangle$.

Obvyklý způsob ověření spolehlivosti přibližného vzorce určením extrémních hodnot prvního zanedbaného členu Taylorova rozvoje by v našem případě předpoklá-

dal řešení a výpočet poměrně složitěho výrazu, poněvadž kromě neuvažovaného třetího členu v rovnici (4) by bylo třeba vzít v úvahu i druhý člen rovnice (6), který byl rovněž zanedbán. Pro posouzení skutečné přesnosti odvozeného způsobu transformace bude tedy zřejmě průkaznější a patrně i jednodušší porovnání hodnot B , vypočtených podle vzorce (13) s hodnotami exaktními.

Pro získání předběžných údajů o spolehlivosti uvedeného způsobu transformace a možnosti jeho použití ve VTS jsem se nejdříve omezil na konkrétní evropské výškové poměry. Zeměpisným šířkám 40° , 43° , 46° , 49° a 54° byly přiřazeny výšky nejvyšších vrcholů Evropy / 40° - Ararat 5156, 43° - Elbrus 5633, 46° - Mont Blanc 4810, 49° - Gerlach. štít 2655, 54° - Jamantau 1638/, zaokrouhlené nahoru na celých 50 m. Pro ně byly vypočteny prostorové pravoúhlé souřadnice a ty zpětně převedeny navrženým postupem na zeměpisnou šířku /viz tab. 1/.

Tabulka 1

B	H	B_0	dB''	B
40°	5 200	$40^\circ 00' 00''$,556 747	-0'',556 723	$40^\circ 00' 00''$,00002
43°	5 650	$43^\circ 00' 00''$,612 612	-0'',612 580	$43^\circ 00' 00''$,00003
46°	4 850	$46^\circ 00' 00''$,526 807	-0'',526 797	$46^\circ 00' 00''$,00001
49°	2 700	$49^\circ 00' 00''$,290 644	-0'',290 639	$49^\circ 00' 00''$,00001
54°	1 650	$54^\circ 00' 00''$,170 562	-0'',170 569	$53^\circ 59' 59''$,99999

Z výsledků vypočtených pro ojedinělé maximální výšky vyplývá, že navržený způsob převodu zaručí na uvažovaném území přesnost milimetrovou. Potom zřejmě pro většinu bodů území, jejichž nadmořské výšky nepřekročí několik málo set metrů, bude možno použít pouze první člen pro výpočet korekce dB , čímž se výpočet dále poněkud zjednoduší. Bude tedy účelné upravit rovnici (11b) na tvar

$$dB'' = \Delta B_1 + \Delta B_1 \Delta B_2 \quad (11c)$$

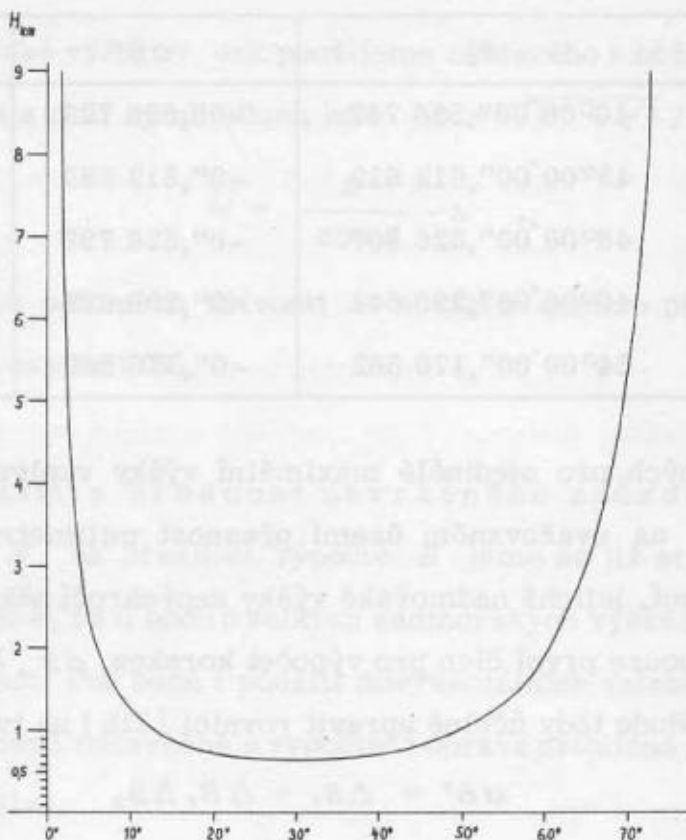
kde

$$\Delta B_1 = \rho'' A_3 (A_1 \sin B_0 - A_2), \quad \Delta B_2 = A_1 A_3 \cos B_0$$

Pro uvažované body v zeměpisných šířkách od 40° do 55° na území Evropy pak bude možno /při požadavku přesnosti převodu na 1 cm/ zanedbat druhý člen rovnice (11c) v těch případech, kdy bude splněna podmínka

$$\Delta B_1 \leq 0''065.$$

Pro důsledné posouzení spolehlivosti metody bez omezení pouze na maximální nadmořské výšky a jim odpovídající zeměpisné šířky konkrétního území byly dodatečně navrženým postupem zpět vypočteny zeměpisné šířky pro řadu bodů z intervalu $/0^\circ, 90^\circ/$, jímž byly přiřazovány různé výšky do hodnoty 9000 m. Výsledky tohoto testu /zpracované na počítači ZPA 600 v režimu přesnosti na dvacet numer/ prokázaly použitelnost odvozeného vztahu i pro nejvyšší požadavky přesnosti. Při použití obou členů rovnice (11c) dosáhla skutečná chyba metody maximální hodnoty $0,0000307$ pro $B = 32^\circ$ a pro největší uvažované $H = 9000$ m. Z vypočtených hodnot byly dále určeny přesné meze pro použití pouze prvního členu v rovnici (11c) při požadavku přesnosti transformace do 1 cm - obr. 1.



Obr. 1

5. Z á v ě r

Pro body ležící na povrchu Země je uvedený postup převodu prostorových pravoúhlých souřadnic na souřadnice geodetické vhodný a to jak pro počítač, tak hlavně

pro výpočet na kalkulačních strojích, které v polních podmínkách je třeba stále brát v úvahu. Spojuje totiž přednosti některých uvedených způsobů - jednoduchost výpočtu s poměrnou vysokou přesností. Ve srovnání se způsobem Lapingovým, který vyžaduje tři aproximací, nebo se způsobem Pickovým je podstatně kratší a rychlejší.

L I T E R A T U R A

- [1] Burša, M.: Základy kosmické geodézie, díl I., VTS MNO, Praha 1967
- [2] Butkevič, A.V.: Perekhod ot prostranstvennyh prjamougolnyh koordinat k geodezičeskim. Geod. i kart., No 10, 1963
- [3] Hirvonen, R.A.: Praktische Rechenformeln für die dreidimensionale Geodäsie. Zeitschr. f. Vermessungswesen, Nr. 5, 1964
- [4] Laping, K.A.: O preobrazovanii prjamougolnyh prostranstvennyh koordinat k geodezičeskim. Geod. i kart., No 6, 1964
- [5] Pick, M.: Transformation rechtwinkliger räumlichen Koordinaten in geodätische. Geofyzikální sborník XIV, Praha 1966
- [6] Prachař, J.: Určení polohy bodu v daném geodetickém systému ze simultánně měřených topocentrických vzdáleností ke třem vhodným polohám družice. VTO č. 2, 1968
- [7] Rinner, K.: Geometrie mit Raumstrecken. Zeitschr. f. Vermessungswesen, Nr. 3, 1958
- [8] Vykutil, J.: Učebnice vyšší geodézie, I. díl, Brno /v tisku/.

Došlo dne 21. 6. 1971

Transformace rovinných souřadnic x, y na zeměpisné φ, λ metodou pomocného bodu

1. Ú v o d

Při provádění přesných geodetických výpočtů je zpravidla nutno pracovat s mnohamístnými číselnými hodnotami. Při použití samočinných počítačů vyvstávají problémy se zobrazením takovýchto čísel v paměti počítače. Např. paměťová buňka počítače MINSK-22 à 36 bitů umožní spolehlivé a přesné zobrazení racionálního čísla až na 8 platných cifer, což pro přesnost geodetických souřadnic znamená cca 0,1 metru. Je-li žádán výpočet výsledku s vyšší přesností, je nutno zobrazit více než 8 místné číslo ve dvojici buněk, tedy pracovat ve dvojnásobné strojové délce. Dvojice paměťových buněk u počítače MINSK-22 umožní takto spolehlivé zobrazení až 19 místného racionálního čísla. Všechny dosavadní transformační programy většinou provádějí výpočet v jednoduché strojové délce, a i když výsledek je tištěn na centimetry, je zaručena přesnost pouze decimetrová.

Výpočet ve dvojnásobné strojové délce však probíhá mnohem pomaleji než v délce jednoduché a je proto vhodné použít takové metody řešení, která si vyžádá nutné minimum početních operací počítačem. Pro její zpracování v programu výpočtu byly předběžně stanoveny tyto podmínky:

- dosažení skutečné přesnosti vypočtených souřadnic φ, λ alespoň na 0,00001 vteřiny, čemuž odpovídá přesnost zadání x, y alespoň na 0,001 metru
- program musí provést výpočet pro libovolný bod Krasovského elipsoidu
- transformační výpočet je použitelný pro obecně libovolnou šířku pásu Gaussova zobrazení

Vzhledem k vysoké požadované přesnosti výsledků bylo využito nejpřesnějších vztahů a konstant z TABULEK PRO ELIPSOID KRASOVSKÉHO autorů Hornocha-

Christova [1]. Praktické provedení výpočtu je však vázáno na bezprostřední použití zmíněných tabulek, které obsahují příslušné tabelované koeficienty. Provést výpočet bez použití tabulek je problematické, protože pro určení jednotlivých koeficientů je nutno znát šířku φ , kterou vlastně hledáme. Převedení vztahů na inverzní s nutným řešením soustavy rovnic je obtížné a prakticky neproveditelné. Kromě toho se nezná φ často vyskytuje jakožto funkce vícenásobného úhlu. Pro praktické počítání byla tato obtíž odstraněna právě tabulkami, kdy pro předem zvolený krok $\Delta\varphi$ byly počítány příslušné pomocné hodnoty a koeficienty $/B, N, t, A_{ik}, B_{ik}/$. Pro některé inverzní vztahy se pak příslušné φ nebo jiné jeho funkce získávají zpětnou interpolací.

Tento postup je však pro samočinný počítač nepraktický. Bylo by nutno uložit alespoň základní tabelované hodnoty do paměti předem a při zadání argumentu pak vyhledat v uloženém souboru nejbližší sousední hodnoty a mezi nimi provést interpolaci vyššího stupně. Mnohdy se však přesto takto postupuje při výpočtech menší přesnosti pro body s malým rozdílem šířek φ /např. pouze pro území ČSSR/, kdy soubor tabelovaných hodnot uložený v paměti není příliš obsáhlý. Pro přesný výpočet by bylo nutno uložit alespoň polovinu všech koeficientů ve dvojnásobné délce, což je výrazně neekonomické, nehledě k pracnosti a možné chybovosti.

Jiným řešením je aproximativní postup, kdy opakovaným řešením inverzního vztahu se postupně přibližujeme od zvolené počáteční hodnoty k přesnějšímu výsledku. Vzhledem k nutnosti provádění velkého množství počátečních operací je tato metoda nevýhodná.

K odstranění uvedených problémů byl hledán teoretický i praktický postup, který by umožnil řešení bez tabelace, omezil počet provedených strojových instrukcí a tím zrychlil výpočet počítačem při zachování vysoké přesnosti. Jako nejvhodnější se po četných experimentech ukázala "metoda pomocného bodu", která je v dalším podrobněji popsána.

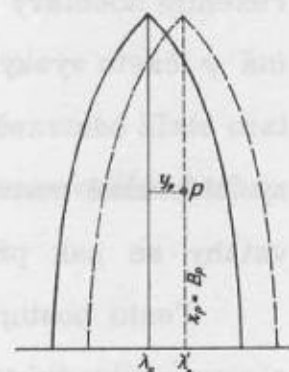
2. Princip metody pomocného bodu

Vydeme ze vzorců pro transformaci x, y na φ, λ v tabulkách Christova /tab. XX, str. 33/, které zaručují přesnost 0,000005 vteřin ve φ, λ pro pásy 6° . Použití těchto vzorců v uvedené podobě je však vázáno na bezprostřední použití tabulek a nelze jich takto pro počítač využít. Provedeme proto následující úvahy a úpravy.

a/ V daném bodě $P /x, y/$ zavedeme fiktivní střední poledník pásu, pro nějž platí /obr. 1/

$$\lambda_p = \lambda'_0 \quad (1)$$

$$x_p = B_p ,$$



kde B_p je délka oblouku meridiánu od rovníku až po bod P

/označení převzato z [1]/.

Obr. 1

b/ Na tomto zvoleném fiktivním středním poledníku zvolíme pomocný bod Q , jehož zeměpisné souřadnice jsou

$$\varphi_q = \varphi' = k \quad (2)$$

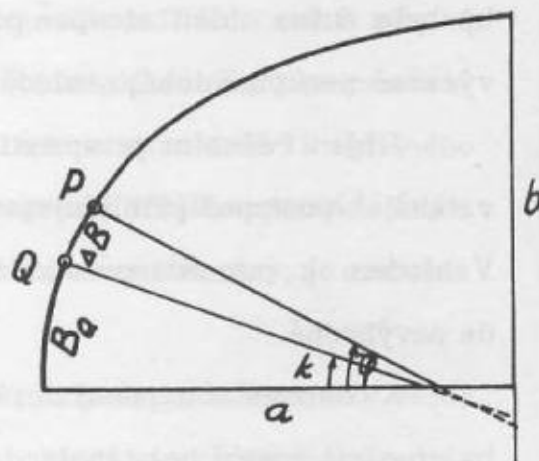
$$\lambda_q = \lambda_p = \lambda'_0$$

Pro jednoznačnost dále požadujeme, aby bod Q ležel vzhledem k P blíže k rovníku a aby jeho vzdálenost ΔB byla pokud možno minimální

/obr. 2/. Tyto požadavky vyjádříme vztahy

$$\Delta B = x_p - B_q \quad (3)$$

$$0 \leq B < 20 \text{ km}$$



Obr. 2

Jak známo délka poledníkového elementu pro 1° zeměpisné šířky je proměnlivá a mění se zhruba v rozmezí 110,5 až 111,7 km. Dělíme-li hodnotu x_p střední hodnotou poledníkového elementu m , získáme fiktivní úhel $\varphi' = k$ v desetinných zlomcích stupňů.

$$\varphi_q = k = \frac{x_p}{m} \quad (4)$$

Fiktivní úhel k , t.j. zeměpisnou šířku bodu Q , můžeme převést ještě na vteřiny

$$k'' = k \cdot 3600 = \varphi'' \quad (5)$$

Vypočtené hodnotě k'' jednoznačně přísluší tedy pomocný bod Q , pro nějž možno vypočíst odpovídající délku oblouku meridiánu B_Q .

c/ Je nutno ještě rozhodnout, jakou střední hodnotu m elementu poledníku k výpočtu použijeme. Zavedeme-li do výpočtu hodnotu maximální 111,7 km, pak je sice zaručeno, že je splněna nerovnost

$$B_Q < x_P \quad (6)$$

avšak vzdálenost $\overline{QP} = \Delta B$ je zbytečně velká. Pro vyhledání optimálnější hodnoty m , která splní podmínky (3) vyjdeme z úměry pro celý kvadrant meridiánu na elipsoidu Krasovského

$$\frac{10002,1 \dots}{90^\circ} = \frac{m}{1^\circ} \quad (7)$$

$$m = 111,13486 \dots \text{ km}$$

K této hodnotě je také možno dojít přímo s využitím vztahu pro určení délky meridiánu B z tabulek Christova

$$B = 111134,861084 \cdot \varphi'^{\circ} - 16036,4802 \cdot \sin 2\varphi' + 16,82806 \cdot \sin 4\varphi' - \dots \quad (8)$$

Je-li totiž $\varphi' = 90^\circ$, pak všechny členy předchozí rovnice (8) kromě prvního jsou nulové a konstanta v prvním členu je hledanou střední hodnotou m poledníkového elementu pro 1° šířky v metrech.

Použijeme-li tedy konstantu $m = 11134,861084$, pak první člen rovnice (8) je vlastně roven x_P . Nyní je možno jednoznačně vypočíst vzdálenost $\overline{QP} = \Delta B$ v metrech

$$\begin{aligned} \Delta B &= x_P - B_Q \\ \Delta B &= 16036,480269 \cdot \sin 2\varphi' - 16,828067 \cdot \sin 4\varphi' + \\ &+ 0,021975 \cdot \sin 6\varphi' - 0,000031 \cdot \sin 8\varphi' + \dots \end{aligned} \quad (9)$$

Touto volbou konstanty m jistě splňujeme podmínky (3) pro jakýkoliv bod P severní polokoule. Zkoumejme ještě, kdy nastane extrém pro ΔB v závislosti na φ' , t.j. kdy vzdálenost bodů \overline{PQ} bude maximální. Protože ΔB závisí na B_Q a hodnota B_Q je funkcí φ' , pak B_{min} nastane pro $\sin 2\varphi' = 1$ a tedy pro $\varphi' = 45^\circ$. Po vyčíslení snadno obdržíme pro $\varphi' = 45^\circ$ extrémní vzdálenost $\Delta B \doteq 16 \text{ km}$.

d/ Jestliže jsme vypočetli pro $k'' = \varphi''$ hodnotu ΔB , je nutno ještě určit

zeměpisnou šířku $\bar{\varphi}$ bodu P ve fiktivním pásu. K výpočtu použijeme vzorců pro přímou geodetickou úlohu /tab. V, str. 15/ za podmínek

$$s = \Delta B \quad (10)$$

$$A = 0 \quad , \text{ protože oba body leží na stejném poledníku.}$$

Vypočteme ještě pomocné veličiny

$$u = 10^{-5} \cdot \Delta B \cdot \cos A = 10^{-5} \cdot \Delta B \quad (11)$$

$$v = 10^{-5} \cdot \Delta B \cdot \sin A = 10^{-5} \cdot \Delta B \cdot 0 = 0$$

Dosadíme-li nyní do vzorců pro $\bar{\varphi}$ / [1], str. 15/, pak všechny členy obsahující v součinu v jsou nulové a výsledný vztah pro $\bar{\varphi}''$ je

$$\bar{\varphi}'' = k'' + b_{10} u + b_{20} u^2 + b_{30} u^3 + b_{40} u^4 + \dots \quad (12)$$

V tomto vzorci je význam jednotlivých koeficientů

$$b_{10} = \frac{10^5 \cdot \varrho''}{N'} \cdot (1 + \eta'^2)$$

$$b_{20} = \frac{3 \cdot 10^{10} \cdot \varrho'' \cdot t'}{2N'^2} \cdot (-\eta'^2 - \eta'^4)$$

$$b_{30} = \frac{-10^{15} \cdot \varrho'' \cdot \eta'^2}{2N'^3} \cdot (1 - t'^2 + 2\eta'^2 - 6t'^2 \eta'^2)$$

$$b_{40} = \frac{10^{20} \cdot \varrho'' \cdot t' \cdot \eta'^2}{2N'^4} \quad ,$$

(13)

v nichž význam pomocných veličin je

$$t' = \operatorname{tg} \varphi'$$

$$\eta'^2 = e'^2 \cdot \cos^2 \varphi' \quad (14)$$

$$N' = \frac{a^2}{b \cdot \sqrt{1 + \eta'^2}}$$

Dosadíme-li nyní vypočtené hodnoty koeficientů b_{ik} a hodnoty t' , η'^2 , N' pro $\varphi = \varphi'$ do vztahu (12), obdržíme po úpravách

$$\begin{aligned} \bar{\varphi}'' = & k'' + \frac{\varrho'' \Delta B}{N'} (1 + \eta'^2) - \frac{3\varrho'' t' \Delta B^2 \eta'^2}{2N'^2} (1 + \eta'^2) - \\ & - \frac{\varrho'' \Delta B^3 \eta'^2}{2N'^3} (1 - t'^2 + 2\eta'^2 - 6t'^2 \eta'^2) + \\ & + \frac{\varrho'' t' \eta'^2 \Delta B^4}{2N'^4} \end{aligned} \quad (15)$$

Tímto postupem jsme obdrželi v podstatě vzorec pro $\bar{\varphi} / [1]$, str. 33/ s dostatečnou přesností.

e/ Po výpočtu $\bar{\varphi}$ zbývá ještě provést přepočítání z fiktivního základního poledníku na místní poledník daného Gaussova pásu. K tomu opět použijeme vzorců z [1], str. 33, které upravíme pro podmínku, kdy určovaný bod P byl již jakoby tabelován, t.j. $x_P = x_0$. Po dosazení je

$$\begin{aligned} \Delta x &= 10^{-5} \cdot (x_P - x_0) = 0 \\ \Delta y &= 10^{-5} y \end{aligned} \quad (16)$$

Symbol x_0 je převzat z tabulek [1] k označení tabelovaného argumentu x , hodnota x_P je daná souřadnice bodu P v příslušném Gaussově pásu.

Všechny členy vzorce v tabulkách [1], str. 33, které obsahují v součinu Δx jsou nutně nulové a výsledný vztah pro výpočet výsledných zeměpisných souřadnic je obecně dán ve tvaru

$$\begin{aligned} \varphi_P'' &= \bar{\varphi}'' + A_{02} \Delta y^2 + A_{04} \Delta y^4 + A_{06} \Delta y^6 + A_{08} \Delta y^8 + \dots \\ \lambda_P'' &= \lambda_0'' + B_{01} \Delta y + B_{03} \Delta y^3 + B_{05} \Delta y^5 + B_{07} \Delta y^7 + \dots \end{aligned} \quad (17)$$

Koeficienty A_{ik} , B_{ik} jsou v tomto případě dány vztahy

$$\begin{aligned} A_{02} &= \frac{-10^{10} \cdot \varrho'' \cdot t}{2N^2} \cdot (1 + \eta^2) \\ A_{04} &= \frac{10^{20} \cdot \varrho'' \cdot t}{24N^4} \cdot (5 + 3t + 6\eta^2 - 6t^2\eta^2 - 3\eta^4 - 9t^2\eta^4) \\ A_{06} &= \frac{-10^{30} \cdot \varrho'' \cdot t}{720N^6} \cdot (61 + 90t^2 + 45t^4 + 107\eta^2 - 162t^2\eta^2 - 45t^4\eta^2) \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned}
A_{08} &= \frac{10^{40} \cdot q'' \cdot t}{40320 N^8} (1385 + 3633t^2 + 4095t^4 + 1575t^6) \\
B_{01} &= \frac{10^5 \cdot q''}{N \cos \bar{\varphi}} \\
B_{03} &= \frac{-10^{15} q''}{6 N^3 \cos \bar{\varphi}} (1 + \eta^2 + 2t^2) \\
B_{05} &= \frac{10^{25} q''}{120 N^5 \cos \bar{\varphi}} (5 + 28t^2 + 24t^4 + 6\eta^2 + 8t^2\eta^2) \\
B_{07} &= \frac{-10^{35} q''}{5040 N^7 \cos \bar{\varphi}} (61 + 662t^2 + 1320t^4 + 720t^6)
\end{aligned} \tag{18}$$

K dosazení do těchto vzorců nemůžeme však použít již vypočtených hodnot t' , N' , η' , protože byly určeny pro $\varphi' = k$. Musíme je proto vypočíst znovu, tentokrát pro $\bar{\varphi}$ pomocí stejných vzorců (14).

Dosadíme tedy do vzorců (17) za Δy ze vztahu (16) a koeficienty A_{ik} , B_{ik} z (18) a po úpravách dostaneme výsledné vzorce pro výpočet konečných φ_p , λ_p

$$\begin{aligned}
\varphi_p'' &= \bar{\varphi}'' - \frac{q'' \cdot t \cdot y^2}{2N^2} (1 + \eta^2) + \frac{q'' \cdot t \cdot y^4}{24N^4} (5 + 3t^2 + 6\eta^2 - \\
&\quad - 6t^2\eta^2 - 3\eta^4 - 9t^2\eta^4) - \frac{q'' \cdot t \cdot y^6}{720N^6} (61 + 90t^2 + 45t^4 + \\
&\quad + 107\eta^2 - 162t^2\eta^2 - 45t^4\eta^2) + \\
&\quad + \frac{q'' \cdot t \cdot y^8}{40320N^8} (1385 + 3633t^2 + 4095t^4 + 1575t^6)
\end{aligned} \tag{19}$$

$$\lambda_p'' = \lambda_0'' + \frac{q'' \cdot y}{N \cos \bar{\varphi}} - \frac{q'' \cdot y^3}{6N^3 \cos \bar{\varphi}} (1 + \eta^2 + 2t^2) +$$

$$+ \frac{q'' \cdot y^5}{120N^5 \cos \bar{\varphi}} (5 + 28t^2 + 24t^4 + 6\eta^2 + 8t^2\eta^2) - \quad (19)$$

$$- \frac{q'' \cdot y^7}{5040N^7 \cos \bar{\varphi}} (61 + 662t^2 + 1320t^4 + 720t^6)$$

Výsledné souřadnice φ_p , λ_p jsou vypočteny ve vteřinách a zbývá provést jejich přepočtení na stupně, minuty a vteřiny.

Proti naznačenému postupu lze vznést námitku, proč při výpočtu polohy fiktivního bodu Q je volena podmínka $B_Q \leq x_p$. Z hlediska přesnosti by bylo jistě vhodnější tuto podmínku vyloučit tak, aby hodnota ΔB mohla být i záporná. Maximální vzdálenost bodů \overline{QP} / t.j. ΔB / by namísto jednostranné hodnoty +16 km se zmenšila zhruba na polovinu, t.j. na ± 8 km. Tomuto by odpovídala volba konstanty m přibližně 110,8 km pro 1° zeměpisné šířky. Uvedená podmínka však byla zavedena s ohledem na počítač, který takto nemusí přerušovat práci ve dvojnásobné délce testováním velikosti a znaménka azimutu A . I když důsledkem je nepodstatné snížení přesnosti, jde o výhodu programovou.

3. Praktický postup výpočtu

Pro přehlednost a praktickou použitelnost jsou výsledné vzorce sestaveny v té formě a pořadí, jak je výpočet počítačem prováděn. Celý postup je rozdělen do 5 etap:

1/ Výpočet hodnot pro pomocný bod Q :

$$k'' = \frac{3600 \cdot x_p}{111134,861084} \quad \text{ve vteřinách}$$

$$\Delta B = 16036,480269 \cdot 2 \sin k \cos k - 16,828067 \cdot \sin 4k + 0,021975 \cdot \sin 6k -$$

$$- 0,000031 \cdot \sin 8k$$

2/ Výpočet pomocných hodnot t', N', η'^2 :

$$t' = \operatorname{tg} k$$

$$\eta'^2 = e'^2 \cdot \cos^2 k = 0,006738525414683 \cos^2 k$$

$$N' = \frac{a^2}{b \sqrt{1 + \eta'^2}}$$

3/ Výpočet šířky $\bar{\varphi}$:

$$\begin{aligned} \bar{\varphi}'' = k'' + \frac{\varrho'' \Delta B}{N'} (1 + \eta'^2) - \frac{3 \varrho'' \cdot t' \cdot \Delta B^2 \cdot \eta'^2}{2 N'^2} (1 + \eta'^2) - \\ - \frac{\varrho'' \cdot \Delta B^3 \cdot \eta'^2}{2 N'^3} (1 - t'^2 + 2 \eta'^2 - 6 t'^2 \eta'^2) + \\ + \frac{\varrho'' \cdot t' \Delta B^4 \cdot \eta'^2}{2 N'^4} \end{aligned}$$

4/ Výpočet opravených hodnot t, N, η^2 :

$$t = \operatorname{tg} \bar{\varphi}$$

$$\eta^2 = 0,006738525414683 \cos^2 \bar{\varphi}$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 + \eta^2}}$$

5/ Výpočet výsledných souřadnic bodu P :

$$\begin{aligned} \varphi_P'' = \bar{\varphi}'' - \frac{\varrho'' \cdot t \cdot y^2}{2 N^2} (1 + \eta^2) + \frac{\varrho'' \cdot t \cdot y^4}{24 N^4} (5 + 3 t^2 + 6 \eta^2 - \\ - 6 t^2 \eta^2 - 3 \eta^4 - 9 t^2 \eta^4) - \frac{\varrho'' \cdot t \cdot y^6}{720 N^6} (61 + 90 t^2 + 45 t^4 + \\ + 107 \eta^2 - 162 t^2 \eta^2 - 45 t^4 \eta^2) + \frac{\varrho'' \cdot t \cdot y^8}{40320 N^8} (1385 + 3633 t^2 + \\ + 4095 t^4 + 1575 t^6) \end{aligned}$$

$$\lambda_p'' = \lambda_0'' + \frac{q'' \cdot y}{N \cos \bar{\varphi}} - \frac{q'' \cdot y^3}{6N^3 \cos \bar{\varphi}} (1 + \eta^2 + 2t^2) +$$

$$+ \frac{q'' \cdot y^5}{120N^5 \cos \bar{\varphi}} (5 + 28t^2 + 24t^4 + 6\eta^2 + 8t^2\eta^2) -$$

$$- \frac{q'' \cdot y^7}{5040N^7 \cos \bar{\varphi}} (61 + 662t^2 + 1320t^4 + 720t^6)$$

Přepočet výsledných hodnot na stupně, minuty a vteřiny.

4. Z á v ě r

Uvedený teoretický postup byl ověřen praktickými výpočty na počítači MINSK-22. Pro kontrolu byly vybrány body ležící blízko okrajů pásů 3° a 6°. Dosažené výsledky pak byly porovnány s hodnotami souřadnic v katalogu bodů. V několika případech byly shledány rozdíly jen na posledním ciferném místě, t.j. na 0,00001 vt., které jsou vysvětlitelné zaokrouhlením v katalogu. Přesnější údaje pro srovnání nejsou zatím k dispozici. Pro získání jistoty o přesnosti výsledku byla ještě provedena zpětná transformace získaných φ , λ znovu na x , y programem řádově stejné přesnosti a nebyly shledány rozdíly ani na 5. desetinném místě, t.j. na 0,00001 metru, oproti původně zadaným hodnotám.

Doposud užívané transformační programy pro MINSK-22 pracují v jednoduché strojové délce a jejich praktická přesnost činí v nejlepším případě několik centimetrů. Jejich výhodou je relativně rychlejší výpočet, který vyplývá ze zobrazování proměnných v jediné buňce. Ve svém algoritmu využívají buď tabulek uložených v paměti nebo různé varianty postupné aproximace, která je většinou realizována iterací. Iterační metoda je u počítačů velmi často používána především tam, kde výpočetní vztahy nelze jednoduše vyjádřit explicitně. Bývá programově jednoduchá a většinou vede i dosti rychle k výsledku. Mnohonásobné opakování výpočtu se výrazně neprojeví v čase při vyhodnocení jednoho nebo několika málo bodů, protože rychlost práce počítače je skutečně vysoká. To však zdaleka neznamena, že se tyto nevýhody neprojeví při větším počtu počítaných bodů, a důsledkem je neúměrně dlouhá doba výpočtu.

V tomto případě je pak skutečně lépe využít tabelovaných hodnot v paměti.

O použití iterační metody pro sestavení programu transformace ve dvojnásobné délce bylo uvažováno při hledání všeobecné koncepce řešení. Při jejím posuzování pro daný případ byly vzaty v úvahu následující okolnosti:

- Iterační metoda ztrácí význam tehdy, lze-li k stejně přesnému výsledku dojít jednoduše přímo exaktními vzorci bez postupného přibližování a zpřesňování výsledku.
- Přesnost vypočteného výsledku závisí především na přesnosti funkčního vztahu použitého k iteraci. Této přesnosti postupně dosahujeme realizací dostatečného počtu opakování výpočtu v cyklu.
- Počet iteračních cyklů závisí především na volbě počáteční hodnoty. Vzhledem k vysoké požadované přesnosti bude počet cyklů pravděpodobně značný.
- Při každém cyklu vzhledem k přesnosti nutno realizovat určitou část programu ve dvojnásobné délce slova a jejímu použití se nelze vyhnout. Protože výpočet je pak mnohonásobně pomalejší, je žádoucí omezit celkový počet instrukcí ve dvojnásobné délce na minimum. Iterační metoda si však vyžádá mnohonásobné opakování výpočtu ve dvojnásobné délce.
- Při každém cyklu je v daném případě nutno počítat ještě ve dvojnásobné délce pomocné hodnoty t , N , η^2 /nebo alespoň několikrát/ a kromě toho ještě podprogramy pro přesný výpočet funkcí \sin , \cos , tg .
- Při výpočtu hodnoty N nutno použít podprogramu odmocniny ve dvojnásobné délce, který je nejpomalejším podprogramem vůbec.

Z uvedených důvodů bylo hledáno řešení úpravou výpočetních vztahů. Princip dosazení nepřesné počáteční hodnoty s následujícím výpočtem přesné opravy vedl k myšlence pomocného bodu. Vhodnou volbou počáteční hodnoty $\varphi = k$ se podařilo nahradit mnohonásobnou iteraci řešením pouze jediné rovnice (15) pro opravu šířky k , a kromě toho postačí počítat ΔB namísto B_q . Stejně tak hodnoty t , N , η^2 je třeba v průběhu výpočtu opravit pouze jednou a rovněž tak i hodnoty funkcí \sin , \cos , tg .

Tyto úvahy byly zřejmě potvrzeny i praktickými zkouškami. Před časem zpracovaný program zpětné transformace φ, λ na x, y /zhruba stejné přesnosti vyžaduje pro výpočet jediného bodu doby 13 vteřin, tedy stejně jako navržená metoda pomocného bodu při transformaci x, y na φ, λ . Kdyby tohoto programu, respekti-

ve větší jeho části, bylo použito k iteraci opakovaním, pak uvedená doba 13 vteřin se určitě prodlouží, protože tentýž výpočet bude několikrát opakován. Proto byla dána přednost metodě pomocného bodu, protože výpočet je rychlejší a v důsledku toho i ekonomičtější.

Pro vlastní sestavení programu výpočtu bylo použito pro MINSK-22 autokódu MAT-5 a pro práci ve dvojnásobné strojové délce systému DAK. Dvojnásobné strojové délky bylo použito všude tam, kde je nutno vypočítat číselné hodnoty na více než 7-8 cifer, v podstatě jen k výpočtu prvních 2-3 členů určujících rovnic. Protože systémem DAK neumožňuje přímé zavedení mnohamístných konstant do paměti, byly získány praktické zkušenosti se zaváděním takovýchto čísel do paměti po částech. Program si vynutil i zpracování zvláštních podprogramů pro určení funkcí sin, cos, tg s přesností až na 10^{-18} . Pro danou úlohu i jiné programy přesných transformací byly tyto podprogramy zavedeny s přesností 10^{-18} , protože tato přesnost je postačující. Práce systému DAK se projevila jako spolehlivá a celkově vhodná pro přesné geodetické výpočty. Proto celý systém DAK je postupně rozšiřován o další podprogramy a geodetické konstanty, které byly zavedeny jako trvalá součást systému.

Metoda pomocného bodu byla rovněž prakticky použita k sestavení programu pro univerzální mezipásový převod souřadnic x, y pro libovolnou šířku pásů. Při kontrolních výpočtech mezi pásy 6° a 3° s následující zpětnou transformací do původního pásu nebyly zjištěny rozdíly ani na 0,0001 metru. Předběžně lze usuzovat, že i po provedení 4 transformačních operací /přechodem přes elipsoid/ je dosahováno přesnosti nejméně na 0,00005 metru. Metoda byla rovněž zkoušena při převodech mezi pásy o šířce až 9° s odhadnutou přesností cca 0,01 metru.

V tomto článku v podstatě jde jen o vhodnou úpravu výpočetního postupu. Použití metody u samočinných počítačů není vázáno jen na dvojnásobnou strojovou délku, ale odstraňuje nedostatky iterace i u programů v délce jednoduché. K vypracování metody i programů výpočtu bylo použito literatury a pomůcek bezprostředně nejdostupnějších, v podstatě jen zmíněných tabulek Christova. Z toho důvodu není možno dosti dobře provést srovnání s metodami jinými.

Závěrem lze uvést, že metoda pomocného bodu splňuje teoreticky i prakticky předběžně kladené podmínky, především pokud jde o přesnost vypočteného výsledku. Snad splní i jiné požadavky dané současnou geodetickou praxí. S výhodou lze použít

zpracovaných programů pro sestavení přesných katalogů souřadnic geodetických bodů. Vlastní metodu lze rovněž použít i při ručních výpočtech na stolních počítačích strojích /např. typu ELKA/ v případech, kdy nejsou k dispozici geodetické tabulky. Je použitelná i při jiných transformačních úlohách a programech, především při mezipásových převodech cestou transformace přes libovolný referenční elipsoid, a to s předem volitelnou přesností výsledku. Zpracovanému programu výpočtu může být vytknuta zbytečně vysoká přesnost, kterou lze ještě dále zvýšit. Nelze však předem vyloučit, že se zpřesňováním měřických metod vzrostou i nároky na přesnost bodového podkladu.

L I T E R A T U R A

- [1] Tarczy-Hornoch-Christov: Tabulky pro elipsoid Krasovského, Budapest 1959
- [2] Doc. Ing. Dr. J. Kovařík: Matematická kartografie, skripta SNTL
- [3] Prof. Ing. Dr. J. Böhm: Vyšší geodézie, skripta SNTL.

Došlo 12. 4. 1972

Některé vztahy mezi geodetickým referenčním systémem 1967 a systémem S-1942

1. Ú v o d

Na XV. zasedání Mezinárodní unie geodetické a geofyzikální /srpen 1971 v Moskvě/ byl doporučen nový geodetický systém, označený jako Geodetický referenční systém 1967 [8].

Tento systém nahrazuje mezinárodní elipsoid /Hayfordův/ a mezinárodní vzorec pro normální tíhové zrychlení /Cassinisův/. Základní parametry jsou určeny z astronomických pozorování a byly již dříve přijaty Mezinárodní astronomickou unií /Hamburg, 1964/. Z těchto parametrů lze určit jak tvar a rozměr zemského tělesa, tak po doplnění zvolenou hodnotou úhlové rychlosti rotace Země ω i vnější tíhové pole Země. Dále je systém 1967 doplněn novou hodnotou tíhového zrychlení v Postupimi a optimálními hodnotami tíhové korekce z vlivu atmosféry. Po velké diskusi však bylo doporučeno tuto korekci nezavádět.

Nový elipsoid je uvažován jako hladinový, t.j. jeho povrch je ztotožněn s průběhem normální nulové ekvipotenciální plochy. Tato skutečnost se projevuje ve skladbě vzorce normálního tíhového zrychlení pro toto nové referenční těleso.

Základní /dané/ parametry ekvipotenciálního elipsoidu systému 1967 [6]:

rovníkový poloměr Země $a = 6\,378\,160$ m;

geocentrická gravitační konstanta /měřítkový faktor/, t.j. násobek gravitační konstanty a hmoty Země

$$GM \text{ /nebo } \kappa M \text{ /} = 398\,603.10^9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} ;$$

dynamický tvarový faktor /definován koeficientem 2. řádu při rozvoji potenciálu v zonální harmoniky/

$$J_2 = 10\,827,10^{-7}$$

úhlová rychlost zemské rotace $\omega = 7,292\,115\,1467,10^{-5}$ rad. s⁻¹.

Některé odvozené údaje /v závorce jsou uvedeny údaje, používané v S 1942/:
geometrické zploštění $\alpha = 0,003\,352\,923\,7 \doteq 1:298,25 /1:298,3/$

tíhové zploštění $\beta = 0,005\,302\,365\,523 /0,005\,302/$

normální tíhové zrychlení na rovníku $\gamma_e = 978\,031,8455$ mgl /978 030 mgl/.

V současné době není možno chápat údaje geodetického systému jen ve smyslu geometrickém. Geometrické parametry referenčního tělesa musí být v souladu s fyzikálními /dynamickými/ parametry, jež co nejvíce vyhovují skutečnému tělesu Země.

Bylo doporučeno změnit postupimský tíhový systém z původní hodnoty 981 074 mgl /1906, prof. Kühnen, Furtwängler/ na hodnotu 981 060 mgl. O postupimském tíhovém systému již bylo delší dobu známo, že hodnota tíhového zrychlení v Postupimi nevyhovuje. Svědčily o tom výsledky absolutních měření na stále rostoucím počtu stanic, vysoká přesnost těchto měření /prof. Sakuma v Sèvres u Paříže dosahuje střední chyby v tisícinách mgl/ a konečně uzávěry rozvinuté světové gravimetrické sítě I. řádu, zahrnující stanice s absolutními hodnotami. Důsledkem těchto skutečností bylo přezkoumání měření z roku 1906. Byla zjištěna chyba, jejíž velikost je dnes určena s přesností nejméně $\pm 0,1$ mgl.

Lze předpokládat, že v blízké budoucnosti budou tíhové materiály, vydávané především MUGG /jmenovitě Gravimetrickým byrem v Paříži/, již zpracované v novém systému. Proto je nutné připravovat se předem na tyto možnosti.

2. Změny tíhových anomálií v důsledku přechodu na nový tíhový systém a nový vzorec pro normální tíhové zrychlení

Tíhová anomálie se vypočte ze vztahu

$$\Delta g = g_o - \gamma_o,$$

kde g_o - měřená hodnota tíhového zrychlení, redukováná do nulové hladinové plochy,

γ_o - normální tíhové zrychlení na sféroidu /hladinovém elipsoidu/.

Pro tíhové anomálie Δg_I v S-1967 a Δg_H v S-1942 platí vztahy

$$\Delta g_I = (g_o - 14 \text{ mgl}) - \gamma_{oI}$$

$$\Delta g_H = g_o - \gamma_{oH}$$

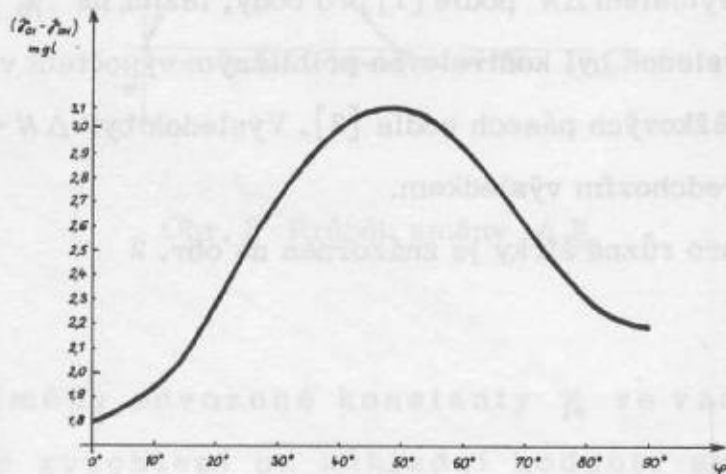
Po odečtení dostaneme

$$\Delta g_I = \Delta g_H - 14 \text{ mg/l} - (\gamma_{OI} - \gamma_{OH}) .$$

Hodnoty $\gamma_{OI} - \gamma_{OH} = \Delta \gamma$ vyplývají tedy z rozdílů vzorců pro normální tíhové zrychlení v S-1967 a S-1942 a jsou dány vztahem:

$$\Delta \gamma = (1,84 + 0,40 \sin^2 \varphi + 1,08 \sin^2 2 \varphi) \text{ mg/l} .$$

Na obr. 1 jsou graficky znázorněny hodnoty $\Delta \gamma$.



Obr. 1 Průběh $\Delta \gamma$

Při přechodu od tíhového systému, používaného v S-1942 do systému 1967 je třeba opravit všechny měřené hodnoty tíhového zrychlení a vypočtených tíhových anomálií o rozdíl hodnot v Postupimi a o rozdíl vyplývající z různých vzorců pro normální hodnoty tíhového zrychlení.

3. Vliv změny vzorce pro normální tíhové zrychlení na výpočet výšek geoidu podle Stokesova vzorce

Změna postupimského tíhového systému o konstantu má vliv pouze na velikost faktoru GM, nikoli na undulaci geoidu nebo na tížnicové odchylky. Uvažován je tedy pouze vliv $\Delta \gamma$, jenž nemá lineární průběh.

Jestliže podle [1] dosadíme do Stokesova vzorce pro odlehlost N geoidu za tíhovou anomálii Δg veličinu $-\Delta \gamma$, dostaneme

$$\Delta N = - \frac{R}{2\pi \bar{\gamma}} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \Delta \gamma F(\psi) d\psi d\alpha ,$$

kde ΔN - změna v odlehlosti N

R - střední poloměr Země, považované za kouli

$\bar{\gamma}$ - střední hodnota normálního tíhového zrychlení

$$F(\psi) = \frac{1}{2} S(\psi) \sin \psi, \text{ kde}$$

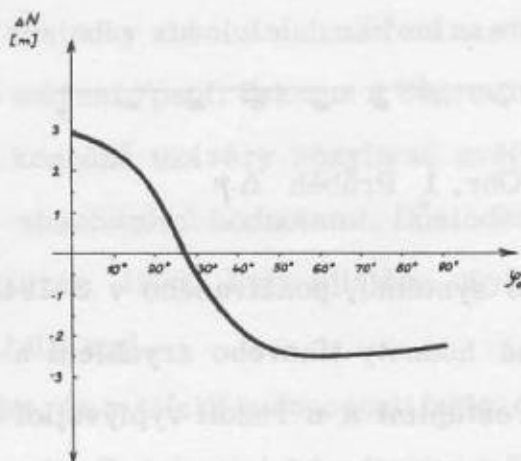
ψ - sférická vzdálenost mezi uvažovaným bodem a integračním elementem

$S(\psi)$ - Stokesova funkce

α - azimut směru na integrační element.

Po dosazení $\Delta\gamma$ a vyčíslení ΔN podle [1] pro body, ležící na $\varphi_0 = 50^\circ$ vychází $\Delta N \cong -2,4$ m. Tento výsledek byl kontrolován přibližným výpočtem v [7] numerickou integrací po rovnoběžkových páslech podle [2]. Výsledek byl $\Delta N \cong -1,3$ m, což je v dobrém souladu s předchozím výsledkem.

Průběh změn ΔN pro různé šířky je znázorněn na obr. 2



Obr. 2 Průběh změny ΔN , pro body ležící na různých rovnoběžkách

4. Vliv změny vzorce pro normální tíhové zrychlení na gravimetrické tížnicové odchylky, počítané podle vzorců Vening - Meineszových

Změna gravimetrických tížnicových odchylek v důsledku změny normálního vzorce, počítaná podle [1], činí ve složce ξ pro body ležící na $\varphi_0 = 50^\circ$

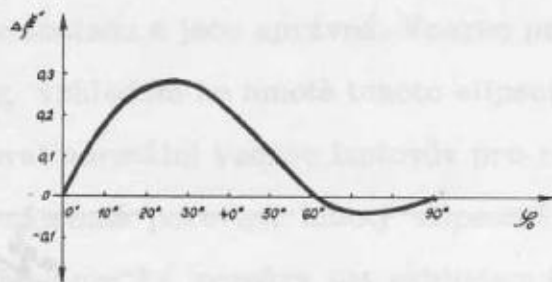
$$\xi = 0,1''$$

Změna normálního vzorce nemá vliv na složku η .

Průběh změny ve složce ξ v různých šířkách viz na obr. 3.

Dále byl zkoumán vliv změny normálního vzorce na výsledky astronomicko-

gravimetrické nivelace. V tomto případě záleží pouze na tom, mění-li se referenční plocha; jsou-li výsledky vztaženy ke geodetickému elipsoidu, který se nemění, nemění se ani hodnoty ξ, η, ζ .



Obr. 3 Průběh změny $\Delta \xi$

5. Vliv změny odvozené konstanty γ_e ve vzorci pro normální tíhové zrychlení na základní hodnoty systému

Změna této konstanty se nutně projeví v hodnotě lineárního měřítkového faktoru GM Země. Závislost mezi danými hodnotami systému a hodnotami odvozenými je zřejmá z těchto přibližných vztahů:

$$GM \doteq \frac{a^3 \omega^2}{q},$$

kde veličina q podle zjednodušeného Clairautova teorému plyne z

$$\beta = \frac{\gamma_p - \gamma_e}{\gamma_e} = \frac{5}{2} q - \alpha,$$

kde:

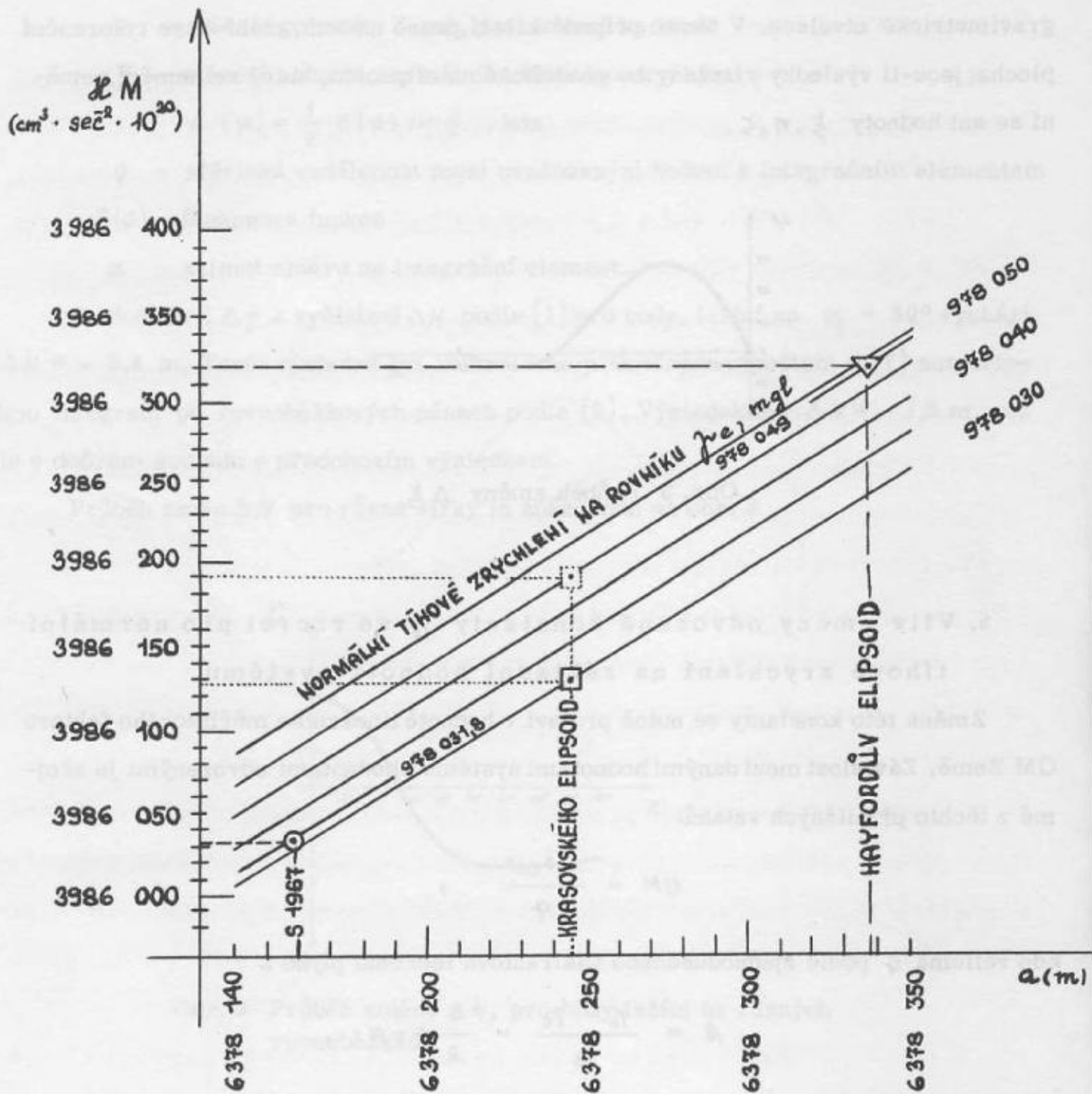
β /nebo γ / - tíhové zploštění

γ_p - normální hodnota tíhového zrychlení na pólu

γ_e - normální hodnota tíhového zrychlení na rovníku

$q \doteq \frac{a \omega^2}{\frac{GM}{a^2}}$ - je poměr odstředivého zrychlení a tíhového zrychlení na rovníku.

Dané hodnoty systému, konstanty GM , J_2 , $a \omega$ jsou poměrně spolehlivě určeny z analýzy drah UZ a metodami astronomickými. Těmto parametrům by tedy měly odpovídat ostatní odvozené parametry referenčního systému, jako α , b , γ_e , γ_p , β , normální tíhové pole a normální potenciál.



Obr. 4 Vztah tří referenčních systémů k hodnotě GM

- ⊙ systém 1967
- systém 1942, Krasovského elipsoid
- ▽ Hayfordův elipsoid

Hayfordův elipsoid má spolu s Cassinisovým normálním vzorcem v souladu geometrické a fyzikální /dynamické/ parametry, ovšem pro těleso, jež nevystihuje tvar a rozměr skutečné Země. Poměr lineárních faktorů GM je větší než 1 v důsledku

větší hmoty Hayfordova elipsoidu. Dále jsou chybná obě zploštění - tíhové i geometrické.

Krasovského elipsoid spolu s Helmertovým normálním vzorcem z r. 1901-1908 nemá ve správném vztahu všechny geometrické a fyzikální parametry. Geometrické a tíhové zploštění jsou v souladu a jsou správná. Vzorec pro normální tíhové zrychlení má však konstantu γ_e vzhledem ke hmotě tohoto elipsoidu příliš malou. Pro takové těleso by lépe vyhovoval normální vzorec Izotovův pro rotační elipsoid [4]. Na přehledu v tabulce lze vzájemně porovnat hmoty elipsoidů tří systémů /při průměrné hustotě Země $\sigma = 5,52 \text{ g.cm}^{-3}$ /, poměry GM vzhledem k S-1967, γ_e , $\bar{\gamma}$.

system veličina	S-1967	S-1942 Krasovského el.	Hayfordův elipsoid
hmota / $M \times 10^{27} \text{ g}$ /	5,979 37	5,979 61	5,979 92
$\frac{GM}{x 10^9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}}$	3 986 03	3 986 19	3 986 39
γ_e (mgL)	978 031,8	979 030,0	978 049,0
$\frac{GM}{GM_{1967}}$	1,000 000	1,000 040	1,000 090
$\bar{\gamma}$ (mgL)	979 760	979 758	979 773

6. Vliv změny postupimského tíhového systému a rozdílu mezi normálními vzorci na normální výšky H_q

Tento vliv není zanedbatelný. Pro normální výšku H_q platí:

$$H_q = \frac{1}{\gamma_m} \int_0^H g dh ,$$

kde γ_m - střední hodnota normálního tíhového zrychlení mezi nulovou hladinovou plochou a bodem na povrchu Země;

g - měřené hodnoty tíhového zrychlení na bodech zemského povrchu;

dh - nivelované převýšení.

Uvedený vztah pro normální výšky lze rozepsat :

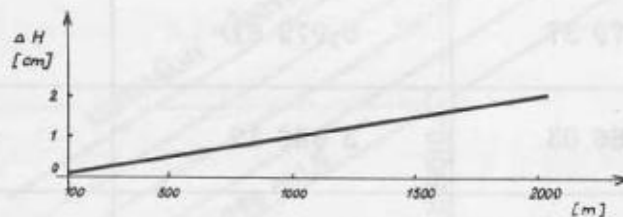
$$H_q + \Delta H_q = \frac{1}{\gamma_m + \Delta \gamma_0} \int_0^H (g + \Delta g) dh ,$$

kde $\Delta \gamma, \Delta g$ - změny normálního vzorce a hodnoty tíhového zrychlení v Postupimi.

Po dalších úpravách a zjednodušeních [7] dostaneme vztah pro změnu ΔH_q v normální výšce H_q :

$$\Delta H_q \doteq \frac{\Delta g - \Delta \gamma}{g} \cdot H_q$$

Jestliže dosadíme $g \doteq 1 \cdot 10^6$ mgl, $\Delta g = 1,4 \cdot 10$ mgl, $\Delta \gamma = 0,3 \cdot 10$ mgl a $H_q = 1000$ m, pak zjistíme, že tato normální výška se v důsledku přechodu k nové hodnotě g v Postupimi a k novému normálnímu vzorci změní o 1 cm.



Obr. 5 Změna ΔH_q v závislosti na nadmořské výšce bodů v šířkách okolo 50°

7. Vliv změny parametrů referenčního elipsoidu na geodetické souřadnice B, L, H .

V dalším posoudíme velikost změny geodetických souřadnic B, L, H v důsledku přechodu od S-1942 k parametrům elipsoidu systému S-1967 za těchto předpokladů:

- prvky orientace v základním bodě triangulace se nemění;
- středy a rotační osy obou elipsoidů jsou totožné.

Uvažuje se tedy pouze vliv změny velké poloosy a a změny zploštění $\Delta \alpha$.

a/ Změna ΔB v geodetické šířce podle [5]:

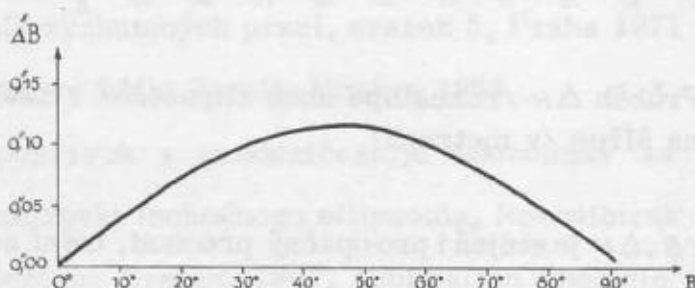
$$\Delta B'' = \Delta B_1'' + \Delta B_2'' = \frac{\rho''}{M} \alpha \Delta a \sin 2B + \frac{\rho''}{M} \Delta \alpha a \sin 2B (1 - \alpha + 2\alpha \sin^2 B)$$

kde $\Delta B_1''$ - změna v důsledku Δa (-85 m)

$\Delta B_2''$ - změna vlivem $\Delta \alpha$ ($+6 \cdot 10^{-7}$)

$B'' \backslash B^\circ$	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
B''_1	0,000	-0,003	-0,006	-0,008	-0,009	-0,009	-0,008	±0,006	±0,003	+0,000
B''_2	+0,004	+0,042	+0,080	+0,107	+0,122	+0,122	+0,107	+0,080	+0,042	+0,004
B''	+0,004	+0,039	+0,074	+0,099	+0,113	+0,113	+0,099	+0,074	+0,039	+0,004

Vyjádřeno graficky :



Obr. 6 Průběh změn geodetické šířky

b/ Změna ΔL geodetické délky L .

Protože poledníkové roviny a roviny rovníků obou elipsoidů jsou totožné, je $\Delta L = 0$.

c/ Změna ΔH geodetické /elipsoidické/ výšky H

Podle [5] platí pro tuto změnu:

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 = (-\Delta a + \Delta a \alpha \sin^2 B) + \left[a \Delta \alpha \left(\sin^2 B - \frac{\alpha}{4} \sin^2 2B \right) \right]$$

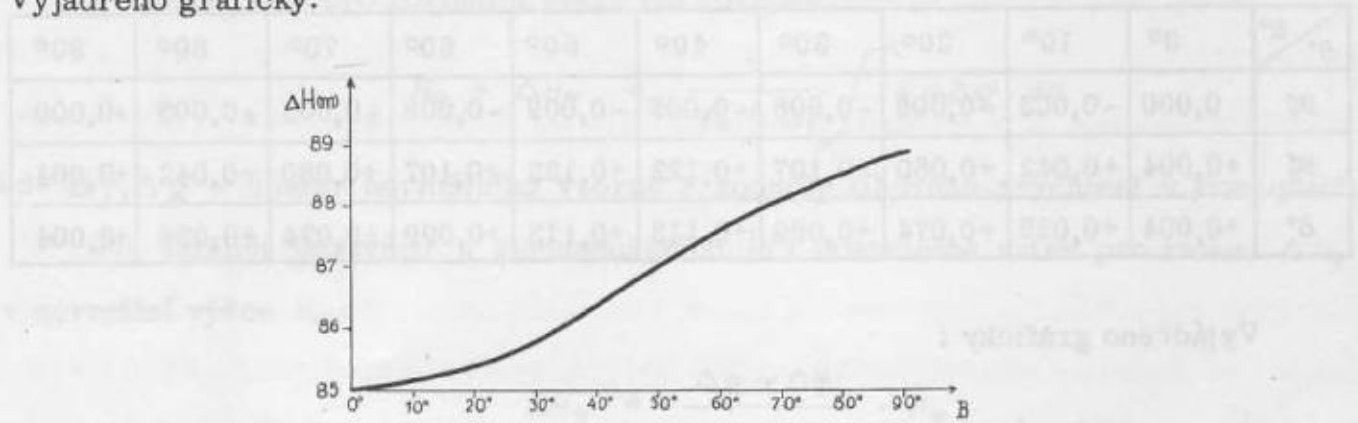
kde je opět

ΔH_1 - změna vlivem Δa

ΔH_2 - změna v důsledku $\Delta \alpha$

$B^\circ \backslash H(m)$	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
ΔH_1	85,00	85,00	84,97	84,93	84,88	84,83	84,79	84,75	84,72	84,72
ΔH_2	0,00	+0,12	+0,45	+0,95	+1,58	+2,24	+2,87	+3,38	+3,71	+3,83
ΔH	85,00	85,12	85,42	85,88	86,46	87,07	87,66	88,13	88,43	88,55

Vyjádřeno graficky:



Obr. 7 Průběh ΔH /rozestupu obou elipsoidů/ v závislosti na šířce /v metrech/

Velikost změn $\Delta B, \Delta H$ je stejná i pro opačný přechod, mění se ovšem znaménko.

8. Z á v ě r

Přechod od vzorce pro normální tíhové zrychlení, používaného v S-1942 /Helmertův vzorec 1901 - 1908/ k normálnímu vzorci v S-1967 nemá podstatný vliv na určení gravimetrických tížnicových odchylek a výšek geoidu. Důsledky změny Postupimského tíhového systému se citelně projeví při výpočtu normálních výšek a tíhových anomálií, tedy při dokumentaci měřených hodnot tíhového zrychlení a tvorbě tíhových map. Geodetické délky jsou na referenčních elipsoidech Krasovského a Systému 1967 stejné, geodetické šířky se liší nepatrně, značný je pouze rozdíl elipsoidických výšek.

B (degrees)	ΔH (meters)
0	85.0
10	85.2
20	85.5
30	86.0
40	86.6
50	87.3
60	88.0
70	88.5
80	88.8
90	88.8

L I T E R A T U R A

- [1] Pick, Kožíšková: Příspěvek k určování tvaru geoidu, Geofyzikální sborník 1955, č. 20
- [2] Bilski, Cieslak, Dobaczewska a j.: Cwiczenia z geodezji wyzszej, Lodž - Varšava, 1965
- [3] Burša: K výpočtu gravimetrické opravy v astronomicko-gravimetrické nivelaci, Sborník výzkumných prací, svazek 5, Praha 1971
- [4] Magnickij: Osnovy fiziki Zemli, Moskva 1953
- [5] Vyčislenije popravok v geodezičeskije koordinaty za izmeněnije razmerov i orientirovki ischodnogo ellipsoida, Novosibirsk 1966
- [6] Geodetic Reference System 1967, publication spéciale du Bulletin géodésique
- [7] Informační zpráva o vztahu mezi systémy S-1942 a S-1967, VTOPÚ 1971
- [8] Vykutil J.: Geodetický referenční systém 1967, VTO č. 2/1971

Došlo 15. 4. 1972

Měření polygonových pořadů o dlouhých stranách za snížené viditelnosti

1. Úvod

Pro geodetické zabezpečení bojové činnosti se často zaměřují polygonové pořady nebo jen jednotlivé rajóny o stranách dlouhých 10 až 20 km i více. Umožňují rychlý přenos souřadnic i do značné vzdálenosti. Podmínkou je dobrá optická viditelnost pro zaměření připojovacích směrů a vrcholových úhlů pořadu pomocí optických teodolitů. Měření délek polygonových stran není při použití rádiových dálkoměrů v podstatě na optické viditelnosti závislé. Tato přednost rádiových dálkoměrů nemůže být dostatečně využita, jestliže v procesu měření jsou současně používány optické teodolity. Výzkum v tomto směru je zaměřen na přechod do oblasti rádiových vln i při měření úhlů. Podle publikovaných údajů bylo zatím dosaženo jen dílčích výsledků.

Článek je věnován metodě zaměření volného polygonového pořadu /nebo jednotlivých rajónů/ o dlouhých stranách za snížené viditelnosti. Metodu by bylo možno nazvat "radiogyroskopickou paralaktickou metodou", poněvadž pro nepřímé zaměření polygonového pořadu se použije rádiový dálkoměr a gyroteodolit.

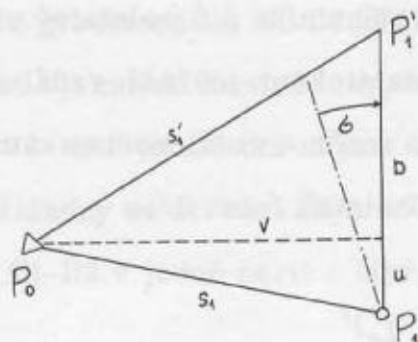
Metoda neřeší problém definitivně, tj. za jakékoliv viditelnosti, ale umožňuje v dostatečném rozsahu pro praxi zaměřit pořad o stranách 10 až 20 km dlouhých, a to i tehdy, je-li snížená optická viditelnost na vzdálenost 1 km, případně na 500 m. Přesnost polygonového pořadu bude poněkud nižší, ale vyhovuje pro mnohé úkoly geodetického zabezpečení. Metoda má rozsáhlé použití také pro zaměřování polohy jednotlivých bodů rajónem, jestliže je k dispozici jen jeden výchozí bod a při snížené viditelnosti nelze přímo zaměřit směrnik rajónu.

Při měření je výhodné použití rádiových dálkoměrů s výsuvnou anténou. Při vhodném využití terénu a situace lze rozvinout polygonový pořad bez stavby měřických věží i v prostoru s rozsáhlým lesním pokrytem.

Paralaktická radiogyroskopická metoda byla opublikována např. v [1].

2. Princip metody

Princip metody je vysvětlen na obr. 1. Je dán souřadnicemi výchozí bod $P_0 (x_0, y_0)$, mají se určit souřadnice bodu $P_1 (x_1, y_1)$. Mezi bodem P_0 a P_1 neexistuje optická viditelnost, vzdálenost $\overline{P_0 P_1} = s_1$ lze však zaměřit rádiovým dálkoměrem, to znamená, že ve vizuře se mohou nacházet drobné překážky jako jednotlivé stromy, keře apod. V bodě P_1 se vztyčí /přibližně kolmo/ pomocná základna $\overline{P_1 P_1'} = b$, jejíž azimut se zaměří gyroteodolitem a vypočítá se směrník základny σ . V trojúhelníku $P_0 P_1 P_1'$ se zaměří všechny strany trojúhelníka (s_1, s_1', b) rádiovým dálkoměrem.



Obr. 1

Maximální délka pomocné základny b je limitována dobrou viditelností a vzhledem k požadované přesnosti by neměla být kratší než 1/10 dlouhé strany s ($s_1 \approx s_1' \approx s$).

Neznámé souřadnice bodu P_1 se určí výhodně podle vzorců s použitím výšky v , spuštěné z vrcholu P_0 na základnu b , a přilehlého úseku u , obdobně jako při protínání z délek /viz např. [2]/. Pro případ na obr. 1 platí

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 - v \sin \sigma - u \cos \sigma \\ y_1 &= y_0 + v \cos \sigma - u \sin \sigma, \end{aligned} \quad (1)$$

kde

$$v = \sqrt{s_1^2 - u^2}, \quad u = \frac{s_1^2 + b^2 - (s_1')^2}{2b}.$$

Pomocná základna b může být vytyčena také přímo ve výchozím bodě P_0 /viz např. trojúhelník $P_1 P_2' P_2$ na obr. 2/. Výpočet souřadnic se provede obdobně /znamenka v rovnicích (1) neplatí obecně/.

3. Přesnost metody a měřický postup

Střední chyba M_i v poloze určovaného bodu P_i je dána podle [1] vztahem

$$M_i^2 = \frac{1}{4} m_b^2 + 2 m_s^2 (1 + l^2) + m_\sigma^2 \frac{s^2}{\rho''^2}, \quad (2)$$

kde m_b je střední chyba základny b ,

m_s je střední chyba dlouhé strany s ,

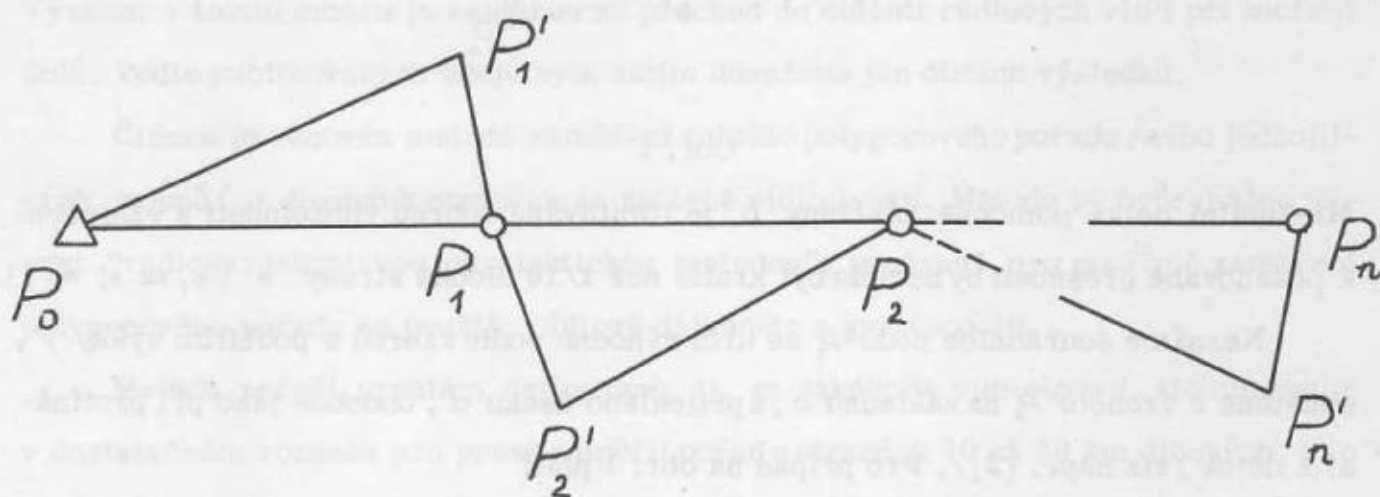
m_σ je střední chyba směrníku σ základny.

$$l = \frac{s}{b}.$$

Střední chyba M_i byla se zjednodušením odvozena pro rovnoramenný trojúhelník / $s_1 = s'_1 = s$ / a za předpokladu, že $\frac{s}{b} \doteq 10$. Tyto podmínky odpovídají poměrům v praxi.

Z rozboru vztahu pro střední chybu M_i vyplývá, že při dané přesnosti měření směrníku základny a stran trojúhelníka má podstatný vliv na výslednou chybu poměr $\frac{s}{b}$, obdobně jako při paralaktickém měření vzdálenosti s pomocnou základnou.

Pro přenos souřadnic na značnou vzdálenost se zaměřuje volný polygonový pořad sestavený z jednotlivých trojúhelníků /obr. 2/.



Obr. 2

Střední chyba M v poloze posledního vrcholu P_n pořadu, sestaveného z n nezávislých trojúhelníků, je dána vztahem

$$M = M_i \sqrt{n}.$$

Pro praktické využití byly sestaveny v tab. 1 střední chyby M_i v poloze určovaného bodu, vypočítané podle uvedeného vzorce (2) pro nejčastěji se vyskytující délky stran.

Tab. 1

Délka dlouhé strany s , km	Stř. chyba M_i v poloze bodu P_i vzhledem k danému bodu při délce základny b	
	1 km	2 km
5	$\pm 0,5$ m	$\pm 0,4$ m
10	1,3 m	0,8 m
15	2,2 m	1,3 m
20	3,5 m	1,9 m

Pro výpočet střední chyby M_i byly do vzorce dosazeny následující hodnoty středních chyb: $m_b = \pm 5$ cm; $m_\sigma = \pm 10''$; $m_s = \pm /5$ cm + $3 \cdot 10^{-6} D$ /. Pro zaměření pomocného trojúhelníka $P_0 P_1 P_1'$ s uvedenými středními chybami se předpokládá použití rádiového dálkoměru GET-B1 a dvojice gyroteodolitů Gi-B2. Při měření dálkoměrem GET-B1 je střední chyba jedné série o 12 jemných čteních $m_s = \pm /5$ cm + $3 \cdot 10^{-6} D$ /. Při měření krátkých vzdáleností /1-2 km/ je střední chyba $m_b = \pm 5$ cm potvrzena praktickými výsledky. Směrník základny se střední chybou $m_\sigma = \pm 10''$ se zaměří oboustranně dvěma gyroteodolity Gi-B2 v jedné sérii o čtyřech vratných polohách každým přístrojem.

Vzorec pro střední chybu M_i nezahrnuje vliv systematických chyb při měření rádiovými dálkoměry a gyroteodolity. Podstatně by tento výsledek mohla ovlivnit reflexní chyba při měření dálkoměrem GET-B1 a systematická chyba přístrojové konstanty gyroteodolitu Gi - B2 .

Uvedený způsob měření stran a směrníku dovoluje zjistit pravděpodobný výskyt těchto systematických chyb, případně jejich vyloučení. Přímou na stanovišti lze usuzovat z analýzy reflexní křivky na pravděpodobný výskyt reflexní systematické chyby při měření vzdálenosti a v případě nutnosti opakovat měření vzdálenosti pro jinou konfiguraci pomocného trojúhelníka. Výskyt větší přístrojové chyby gyroteodolitu lze zjistit z rozdílů směrníků měřených nezávisle dvojicí použitých přístrojů. Z tohoto důvodu se navrhuje použití dvojice gyroteodolitů, poněvadž systematická chyba přístrojové konstanty by mohla značně ovlivnit výsledek měření dlouhého polygonu. Při měření jednotlivého rajónu nemá chyba přístrojové konstanty podstatný vliv, poněvadž v praxi nebývá větší než $20''$.

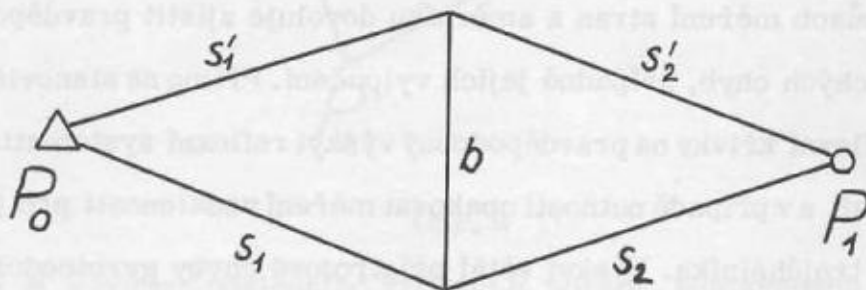
Limitujícím faktorem metody je délka základny, která je omezena optickou viditelností. Při značně snížené viditelnosti lze délku základny prodloužit přibližně na dvojnásobek vytyčením základny i v opačném směru/proložení dalekohledu v obou polohách/. Směrník základny se určí gyroteodolitem jen pro polovinu základny, délka základny se určí rádiovým dálkoměrem v celku.

Za velmi špatné viditelnosti lze základnu zaměřit také pomocí polygonu o několika krátkých stranách /např. 50 - 100 m podle viditelnosti/. Směrník základny se vypočítá ze souřadnic koncových bodů polygonu, délka základny se zaměří rádiovým dálkoměrem. Tento postup je časově i technologicky náročnější než prosté vytyčení přímé základny.

"Paralaktická radiogyroskopická metoda" neumožňuje určení nadmořské výšky hledaného bodu trigonometrickým způsobem. Převýšení vůči danému bodu je třeba určit barometrickou nivelací. Barometrická nivelace s použitím aneroidů ze soupravy rádiového dálkoměru GET-B1 umožňuje určovat výšky s přesností několika metrů. Vzájemné převýšení koncových bodů základny lze určit trigonometricky. Takto určené výšky je třeba použít i pro matematickou redukci naměřených vzdáleností.

4. Další varianty metody

Pro rychlý přenos souřadnic na větší vzdálenost může být polygonový pořad sestaven ze základních prvků-čtyřúhelníků s měřenou kratší úhlopříčkou /obr.3/. Ve čtyřúhelníku se měří rádiovým dálkoměrem dlouhé strany s_1, s'_1, s_2, s'_2 a délka základny b . Dvojití gyroteodolity se určí směrník σ základny.



Obr. 3

Střední chyba M_i v poloze určovaného bodu P_i je dána vztahem

$$M_i^2 = 2 m_s^2 \left(1 + \frac{2 s^2}{b^2} \right) + m_\sigma^2 \frac{4 s^2}{\sigma^2}$$

Střední chyba M_i je se zjednodušením odvozena pro rombus o základní straně s ($s = s_1 = s'_1 = s_2 = s'_2$) a pro poměr $\frac{s}{b} \doteq 10$. V tab. 2 jsou uvedeny číselné hodnoty střední chyby M_i . Dosazené hodnoty středních chyb m_s, m_b a m_σ jsou obdobné jako pro výpočet tabulky 1.

Tab. 2

Délka dlouhé strany s , km	Stř. chyba M_i v poloze bodu P_i vzhledem k danému bodu P_0 při délce základny b	
	1 km	2 km
5	$\pm 0,9$ m	$\pm 0,6$ m
10	1,9 m	1,4 m
15	3,4 m	2,1 m
20	5,0 m	3,1 m

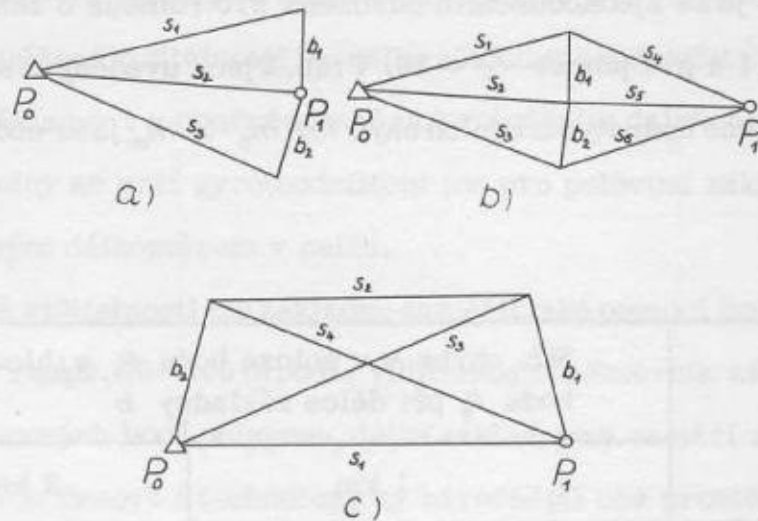
Z tabulky 2 např. vyplývá, že pro vzdálenost $40 \text{ km} (= 2s)$ při délce základny 2 km se stř. chyba určovaného bodu rovná $\pm 3,1 \text{ m}$.

Oba způsoby dosud uvedené, tj. s pomocným trojúhelníkem nebo s pomocným čtyřúhelníkem, zajišťují rychlý přenos souřadnic, avšak neposkytují nadbytečné měření pro kontrolu a mají poněkud nižší přesnost.

Pro zvýšení přesnosti spolu s kontrolním měřením se doporučuje zaměření polygonového pořadu s těmito prvky /obr. 4/:

- zdvojený trojúhelník /obr. 4a/ s měřenými dlouhými stranami s_1, s_2, s_3 , délkou a směrníky základen b_1, b_2 ;
- rombus s měřenými dlouhými stranami s_1, \dots, s_6 , s délkou a směrníky základen b_1, b_2 . /Obr. 4b/;
- geodetický čtyřúhelník /obr. 4c/ s měřenými stranami s_1, s_2 , uhlopříčkami s_3, s_4 a délkou a směrníky základen b_1, b_2 .

Z uvedených variant s nadbytečným měřením je třeba upozornit zejména na zaměření rombu. Při délce strany $s = 20 \text{ km}$ a základny $b = 2 \text{ km}$ lze uskutečnit přenos souřadnic na vzdálenost $40 \text{ km} (= 2s)$ se střední chybou $\pm 2,5 \text{ m}$ [1] při vyrovnaní nadbytečných měření.



Obr. 4

5. Závěr

Tento článek upozorňuje na "paralaktickou radiogyroskopickou metodu" měření polygonálních pořadů o dlouhých stranách za snížené viditelnosti. Metoda poskytuje možnost rychlého přenosu souřadnic na značné vzdálenosti s přesností poněkud sníženou, ale vyhovující mnohým úkolům geodetického zabezpečení. Např. při viditelnosti na vzdálenost 2 km /případně jen 1 km/ lze přenést polohové souřadnice bodu na vzdálenost 40 km se střední chybou $\pm 2,5$ m.

L I T E R A T U R A

- [1] I. A. Brechuněc, V. M. Nazarov: Točnost peredači koordinat s pomoščju radiodalnomerov i giroteodolitov pri otsutstvii vidimosti po liniam peredači. Bjuleten NTI 1965.
- [2] J. Vykuřil: Výpočet a vyrovnání délkově měřených sítí. VAAZ Brno, 1961.

Došlo dne 19. 8. 1972

Směry zvyšování přesnosti gravimetrických měření

1. Ú v o d

I přes velký pokrok v přesnosti, který učinila absolutní měření tíhového zrychlení a relativní kyvadlová měření, zůstávají tyto metody zatím laboratorními. Měření v terénu je stále vyhraženo gravimetřům. Pro budování gravimetrických sítí a jiná náročná měření, např. pro sledování sekulárních variací tíhového pole, je aktuálním úkolem dosáhnout při měření gravimetru přesnosti lepší než $\pm 0,01$ mgl u malých tíhových rozdílů a $\pm 0,02$ mgl u velkých tíhových rozdílů. Reálnost tohoto cíle je ukázána například v [1].

Pro dosažení takové přesnosti je nezbytné použít skupiny gravimetrů a měření několikrát opakovat. Tím se alespoň částečně vyloučí některé systematické chyby [2,3]. Kromě toho musí být všechny systematické vlivy rušivě působící na měření důkladně prostudovány a pokud možno poznány zákonitosti jejich působení, aby jim bylo možno účinně čelit. Tyto rušivé vlivy můžeme zhruba rozdělit do tří skupin.

Prvou skupinu představují poruchy samotné měřené veličiny, které mají rozměr zrychlení a působí na všechny typy přístrojů stejně. Jsou to zejména změny tíhového zrychlení vyvolané slapovými silami, poruchami tlaku vzduchu, změnami hladiny spodních vod a vůbec změnami v rozložení hmot v okolí tíhového bodu. Patří sem také zrychlení dlouhoperiodických seismických vln.

Druhou skupinou jsou vnější rušivé vlivy, které mají různý fyzikální rozměr a působí různě podle konstrukce a individuálních vlastností přístroje. Je to především teplota a tlak vzduchu, magnetické síly, transportní zrychlení, krátkoperiodické seismické kmity, ale i centrace a orientace gravimetru na tíhovém bodě a sama měřená veličina - tíhové zrychlení.

Poslední skupinu tvoří vnitřní rušivé vlivy. Jsou to např. termostaty nebo osvětlovací žárovka v gravimetru. Můžeme sem ale počítat i nepřesné seřízení a nepřesné určení konstant přístrojů. Především jde o problém cejchování.

V dalším bude o některých uvedených vlivech pojednáno podrobněji.

2. Slapové variace

Gravitační účinek Měsíce a Slunce je v jednotlivých bodech zemského tělesa různý. Vektorový rozdíl přitažlivých sil v uvažovaném bodě a těžišti Země je slapová síla, která se skládá se silou tíže a způsobuje deformace zemského tělesa a zejména hladiny moří. Vektor slapové síly můžeme rozložit na složku vodorovnou a svislou. Prvá způsobuje změnu směru svislice, druhá poruchu tíhového zrychlení.

Velikost slapové poruchy závisí na hmotě a vzdálenosti nebeského tělesa a na jeho zenitové vzdálenosti. Vyjádříme-li zenitovou vzdálenost pomocí zeměpisné šířky, deklinace a hodinového úhlu, dostaneme podle závislosti na hodinovém úhlu tři hlavní typy slapů: dlouhoperiodické, s přibližně denní a s přibližně polodenní periodou. U každého typu slapů rozeznáváme podle rozdílů v periodě řadu vln, které vyjadřují sklon a eliptičnost dráhy Měsíce a Země kolem Slunce a nepravidelnost jejich pohybu.

Pružnou deformací Země pod účinkem slapových sil se slapové variace tíhového zrychlení zvětšují. Poměr amplitud skutečných a teoretických /pro tuhou Zemi/ variací tíhového zrychlení, tzv. gravimetrický faktor, je přibližně 1,17. Teoreticky i prakticky je prokázáno, že jeho velikost není pro všechny slapové vlny stejná. Kromě toho se gravimetrický faktor mění i s místem, což je způsobeno především tzv. nepřímým efektem, tj. účinkem mořských slapů na slapy na pevnině a pravděpodobně i geologickou stavbou.

Přesná gravimetrická měření se zatím opravují o teoretické slapové variace s použitím jednotného gravimetrického faktoru. V našich zeměpisných šířkách může být slapová změna tíhového zrychlení až 0,25 mgal. Chyba jen o 1 % v gravimetrickém faktoru může tedy způsobit v tíhovém rozdílu chybu až 2,5 μ gal. Rostoucí počet stanic registrujících slapové variace tíhového zrychlení však umožní zavádění slapových oprav podle skutečné velikosti gravimetrického faktoru a také vzít ohled na fázové zpoždění skutečných slapových vln. Slapové opravy by tak mohly být zpřesněny na $\pm 1 \mu$ gal.

O výzkumu slapových variací na území ČSSR viz [4, 5]. Tento výzkum má kromě uvedeného i širší geofyzikální význam a přináší řadu poznatků z instrumentální gravimetrie.

Podrobněji o slapových variacích viz [6 - 9].

3. Ostatní poruchy tíhového zrychlení

Protože zemskou atmosféru můžeme zhruba pokládat za složenou z homogenních sférických vrstev, je její gravitační účinek na tíhový bod na hladině moře blízký nule. Rušivě působí pouze poruchy tlaku vzduchu a chybějící vzdušné hmoty v prostorech vyplněných zemskou topografií. Největší účinek mají poruchy tlaku v místě tíhového bodu, přibližně $0,56 \mu \text{ gal/Torr}$. S rostoucí nadmořskou výškou tíhového bodu se pak projevuje gravitační účinek hmot vzduchu nacházejících se pod hladinovou plochou jím procházející. Účinek celé atmosféry na vnější bod je přibližně $0,9 \text{ mgl}$ [10]. Poruchy tlaku vzduchu způsobují rovněž pružné deformace zemského tělesa a vertikální posun tíhového bodu, což obojí se projeví malou změnou tíhového zrychlení [11].

Změny hladiny spodní vody a přesuny hmot v okolí tíhového bodu mohou svým gravitačním účinkem měnit tíhové zrychlení v setinách miligalu [12, 13].

Jsou-li seismické pohyby půdy takového druhu, že střední hodnota jejich zrychlení není po dobu více sekund nulová, např. při vzdálených zemětřeseních, může být odečtení gravimetru o tuto hodnotu chybné [14, str. 142].

4. Vnější rušivé vlivy

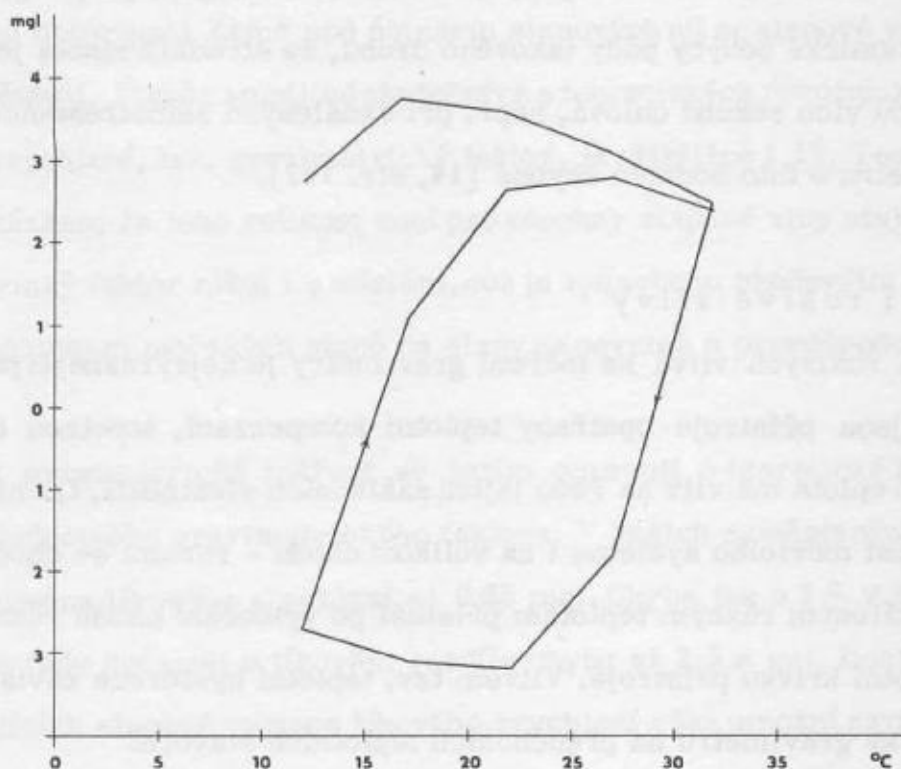
Z vnějších rušivých vlivů na měření gravimetrie je nejvýraznější působení teploty, přestože jsou přístroje opatřeny teplotní kompenzací, tepelnou izolací nebo i termostatem. Teplota má vliv na řadu jejich základních vlastností, tj. na cejchovní funkci, na citlivost měřicího systému i na velikost chodu - rozumí se chodu při ustálené teplotě. Ustáleným různým teplotám přísluší po vyloučení chodu různá odečtení, která tvoří teplotní křivku přístroje. Vlivem tzv. teplotní hystereze závisí však průběh teplotní křivky gravimetru na předchozích teplotních stavech.

Změny vnější teploty přijímá gravimetr se zpožděním, které je u jednotlivých jeho součástí různé. Tato tepelná nesourodost vyvolává změny čtení, tzv. dynamický teplotní efekt.

Teplotními vlastnostmi gravimetrů se zabývá řada prací [15 - 19]. Otázka teplotních oprav není však dosud uspokojivě vyřešena. V [20] je ukázáno, že teplotu určité součásti gravimetru bez termostatu lze vypočítat z předchozího průběhu vnější teploty podle rovnice

$$T' = T_0 + \frac{1}{\tau\tau'} \int_0^{\bar{t}} \int_0^{\bar{t}} (T_v - T_0) e^{-\frac{t-\bar{t}}{\tau}} e^{-\frac{\bar{t}-t}{\tau'}} dt d\bar{t},$$

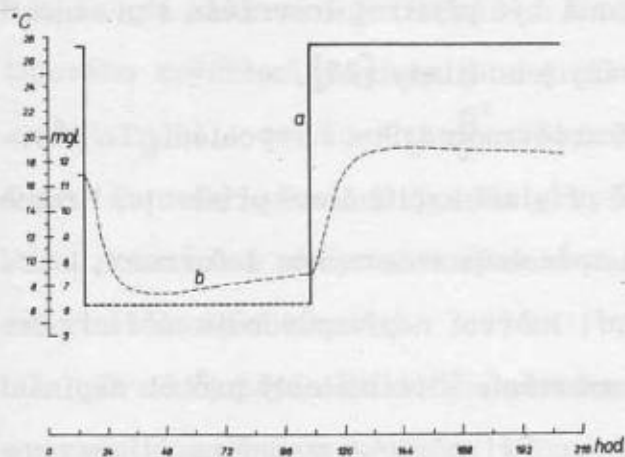
kde T_v je teplota vnějšího vzduchu, T' teplota uvažované součásti gravimetru v čase \bar{t} , T_0 počáteční teplota součásti v čase $t = 0$, τ a τ' časové konstanty. S ohledem na dynamický teplotní efekt by však bylo třeba uvažovat teplotu více součástí gravimetru. U křemenných astasovaných gravimetrů typu Canadian a GAK alespoň dvou nejcitlivějších, tj. křemenné hlavní pružiny měřicího systému a niti teplotního kompensátoru. Jejich teplotní citlivost je přibližně 120 mg/°C. Dále by se měl vzít ohled na teplotní hysterezi měřicího systému gravimetru. Na obr. 1 je průběh čtení gravimetru Canadian č. 174 G při cyklické změně teploty. Přístroj byl přitom vyjmut z tepelné izolace a po každé změně vnější teploty bylo ponecháno 20 hodin na teplotní vyrovnání.



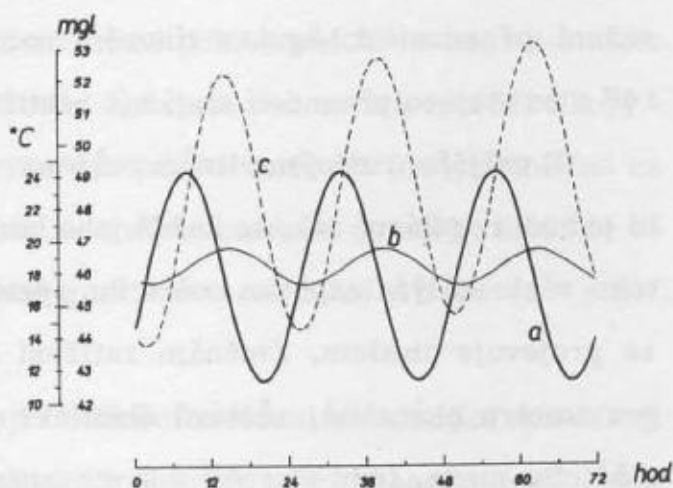
Obr. 1 Teplotní hystereze u gravimetru Canadian č. 174 G

Obr. 2 a 3 ukazují, jak velká je reakce gravimetru na změny vnější teploty. Na obr. 2 je vliv skoků teploty o cca 21°C na gravimetr Canadian č. 174 G, na obr. 3 je vliv sinusoidálních změn teploty na gravimetr GAK - PT č. 5237. Protože zavádění teplotních oprav je zatím nespolehlivé, musíme přístroje chránit před většími změnami teploty, zejména obraty v jejím průběhu, a to nejen při měření, ale již delší dobu před tím. Také musíme gravimetry chránit před slunečním nebo jiným tepelným zářením. To platí i pro gravimetry s termostatem, který variace vnější teploty pouze zmenšuje.

Současné gravimetry mají, kromě případné barometrické kompensace, měřicí systém vzduchotěsně uzavřen. Tak je zabráněno nejen přímému působení změn tlaku vzduchu, ale i tzv. adiabatickému efektu vyvolávanému změnami teploty při rozpínání nebo stlačování vzduchu v přístroji. Mohou se však projevit malé deformace pouzdra gravimetru, které se přenesou na měřicí systém [14, str. 138].



Obr. 2 Vliv skoků vnější teploty na gravimetr Canadian č. 174 G
a - vnější teplota,
b - čtení gravimetru



Obr. 3 Vliv sinusoidálních změn vnější teploty s periodou 24 h na gravimetr GAK PT č. 5 237
a - vnější teplota, b - údaj vnitřního teploměru, c - čtení gravimetru

Geomagnetické pole působí jen na gravimetry s kovovým měřicím systémem, a to zejména jeho horizontální složka, jejíž vliv se mění s orientací přístroje v azimutu. Magnetické vlivy bývají do značné míry odstraněny magnetickou kompenzací, resp. stínícím obalem [14, str. 148].

Mikroseismický neklid se projevuje buď neklidem indexu gravimetru nebo též

jeho posunutím [21]. Podobný je vliv větru. Působí buď přímo na gravimetr nebo přes chvění půdy - v blízkosti stromů a vysokých budov. Záleží přitom na podkladě, jak chvění přenáší, podobně jako při neklidu způsobeném dopravou nebo činností strojů v blízkosti tíhového bodu.

Transportní zrychlení působí různě podle typu a individuálních vlastností gravimetru. Způsobují jednak vibrace měřicího systému, jednak promísení tepelně různých vrstev prostředí, tj. vzduchu nebo kapaliny, v němž se systém nachází. Tím se zvětšuje chod přístroje.

Vliv centrace gravimetru na tíhovém bodě je poměrně malý. I při velkém horizontálním gradientu 100 E stačí pro měření na $\pm 1 \mu\text{gal}$ přesnost 0,1 m. Větší vliv má výška měřicího systému nad tíhovým bodem. Je-li rozdíl vertikálního gradientu na dvou tíhových bodech 1000 E, vzniká při výšce měřicího systému 30 cm nad terénem v tíhovém rozdílu chyba $30 \mu\text{gal}$. Zejména v blízkosti staveb je vertikální gradient porušen [22]. Důležitá je rovněž správná orientace gravimetru vůči svislici. Pro dosažení přesnosti $\pm 1 \mu\text{gal}$ v tíhovém rozdílu má být přístroj urovnáván s přesností $\pm 4''$ a se stejnou přesností mají být rektifikovány jeho libely [23].

K vnějším rušivým vlivům můžeme počítat i samotné tíhové zrychlení. To působí jednak regulárně tak, že každé jeho hodnotě přísluší určité čtení přístroje. Kromě toho však stálým napětím měřicího systému způsobuje soustavnou deformaci, která se projevuje chodem. Změnám zatížení se při měření nepřizpůsobuje měřicí pero gravimetru okamžitě, zůstává elastické dopružování. Vliv má celý průběh napínání měřicího pera, tedy i napětí v aretovaném stavu. Při cyklické změně napětí se projevívá také elastická hystereze [24].

5. Vnitřní rušivé vlivy

Za vnitřní rušivé vlivy nepokládáme poruchy nebo změny součástí gravimetru způsobené stárnutím. I při normální funkci mohou však na sebe jednotlivé součásti přístroje rušivě působit.

U přístrojů opatřených termostaty vznikají při jejich zapínání a vypínání indukční proudy, které mohou ovlivnit elektrická měřicí zařízení. Pravidelné kolísání teploty mezi horní a spodní hranicí dané citlivostí teploměru může působit jednak změny teploty měřicího systému, jednak změny tlaku vzduchu v přístroji a tím změny čtení.

Je-li žárovka pro osvětlení v gravimetru střídavě zapínána a vypínána, představuje rušivý nepravidelný zdroj tepla.

Změny čtení mohou být vyvolány i kolísáním napětí pro termostat nebo osvětlovací žárovku gravimetru.

6. Cejchování gravimetrů

Při přesných měřeních se převádí odečtení stupnice gravimetru na miligaly pomocí tzv. cejchovní funkce, která má zpravidla parabolický průběh, ale kromě toho vykazuje i malé nepravidelnosti. Konstanty cejchovní funkce lze určit cejchováním na gravimetrické základně, která má dostatečně velký daný tíhový rozdíl. Tento tíhový rozdíl musí být ještě řadou tíhových bodů přesně rozdělen. Jiný způsob cejchování je laboratorní.

Laboratorní metoda cejchování náklonem byla rozpracována v SSSR [25, 26]. Používá se s úspěchem zejména u křemenných astazovaných gravimetrů. Využívá toho, že při naklonění gravimetru o úhel β z urovnané polohy působí na vahadlo místo tíhového zrychlení g pouze jeho složka $g \cos\beta$. Laboratorně se tak vytváří tíhový rozdíl $g(1 - \cos\beta) \doteq g \frac{\beta^2}{2}$. Metoda vyžaduje přesné měření úhlů, přibližně na 0,1". Protože urovnaná poloha gravimetru je známa mnohem hruběji, měří se ve dvou polohách k ní symetrických. Astazované gravimetry se naklánějí kolmo k rovině, v níž dochází k astázi.

Pro cejchování náklonem se konstruuje nakláněcí zařízení umožňující spolehlivé upevnění systému gravimetru a potřebnou justáž. Úhly se měří přesným teodolitem autokolimační metodou, nebo je zařízení opatřeno děleným kruhem a odečítacím mikroskopem. O přístroji VÚGTK pro laboratorní cejchování náklonem viz [27].

Cejchování náklonem dovoluje podrobnější a přesnější proměření stupnice gravimetru a je ekonomičtější než cejchování na základně. Laboratorní podmínky umožňují též studium závislosti cejchovní funkce na teplotě [28].

7. Závěr

Rušivých vlivů při měření gravimetry je jak vidět celá řada. Některé mají pouze krátkodobý účinek, např. působí pouze při měření na určitém tíhovém bodě, jiné způsobují poruchy s delším časovým průběhem. Pokud lze účinek určitého z nich vy-

jádřit formulí a určit potřebné konstanty, můžeme měření opravit, známe-li průběh rušivé veličiny. Jinak jsme nuceni pokládat jejich účinky za funkci času a vylučovat je alespoň částečně spolu s chodem na základě opakování měření na některých bodech. Rozhodně je vždy třeba se snažit při přesných měřeních zařídit pro přístroje takové podmínky a použít takovou technologii, aby se rušivé vlivy uplatnily co nejméně.

Čím hlubší budou naše znalosti o působení všech rušivých vlivů na měření, tím dokonaleji je budeme moci vyloučit. Cesta ke zvýšení přesnosti gravimetrických měření je tedy obtížná. Vede přes rozsáhlý, zejména laboratorní výzkum jak obecných vlastností gravimetrů určitých typů, tak konkrétních hodnot konstant daných přístrojů. Bude znamenat složitější technologii měření, především sledování řady pomocných údajů, i komplikovanější způsob zpracování.

L I T E R A T U R A

- [1] L. Gargalovič, Z. Šimon, L. Träger: Experimentelle Messung kleiner Schwereunterschiede. *Travaux de l'Inst. Géophys. de l'Acad. Tchecosl. Sci.*, Geofyzikální sborník 1972, v tisku.
- [2] J. D. Bulanže: Formuly dlja opredelenija ošibok gravimetričeskoj svjazi dvuch punktov pri mnogokratnyh izmerenijach, vypolnjaemyh gruppoj gravimetrov. *Izvestija AN SSSR, ser. geofiz.* /1956/, 755.
- [3] Z. Šimon: Zur Analyse der Genauigkeit von mehrmals mit einer Gravimetergruppe gemessenen gravimetrischen Verbindungen. *Studia geoph. et geod.* 15 /1971/, 402.
- [4] Z. Šimon, J. Brož: Untersuchung zwei Gravimetrischer Apparaturen für die Erdzeitenregistrierung und die Bestimmung Ihrer Konstanten. *Edice VÚGTK v Praze. Řada 3. Sborník výzkumných prací, sv. 5, Praha 1971.*
- [5] Z. Šimon, J. Brož: Die Registrierung der Gezeitenvariationen der Schwerebeschleunigung im Geodätischen Observatorium Pecný in den Jahren 1970-1971. *Edice VÚGTK v Praze. Řada 3. Sborník výzkumných prací, sv. 6, Praha 1972.*
- [6] J. Bartels: Gezeitenkräfte. *Handb. der Physik, 48, Geophysik, II, 1957.*

- [7] P. Melchior: *The Earth Tides*. Pergamon Press, Oxford 1966.
- [8] N. N. Parijskij: Zemnyje prilivy i vnutrenněje strojenije Zemlji. *Izvestija AN SSSR, ser. geofiz.* /1963/, 193.
- [9] Sixième Symposium International sur les Marées Terrestres, Strasbourg, 15. - 20. septembre 1969. Communication de l'Observatoire Royal de Belgique, Série A No 9, Série Géophys. No. 96. Bruxelles 1970.
- [10] Z. Šimon: Oprava měřeného tíhového zrychlení z vlivu atmosféry. *GAKO* 12 /1968/, 314.
- [11] M. V. Ivanova, B. P. Percev: Ocenka vlijanija kolebanij atmosfernogo davlenija na prilivnyje izmeněnija sily tjažesti. Metodika izmerenija zemnych prilivov i medlennych děformacij zemnoj poverchnosti. Nauka, Moskva 1970.
- [12] M. Bonatz: Der Gravitationseinfluss der Bodenfeuchtigkeit. *Zeitschrift für Verm.* 92 /1967/, 135.
- [13] Z. Šimon: Schwerewirkung von Gebäuden auf einen nahen Schwerepunkt. *Travaux de l'Inst. Géophys. de l'Acad. Tchécosl. Sci.* No 102, Geofyzikální sborník 1959, NČSAV, Praha 1960.
- [14] A. Graf: Gravimetrische Instrumente und Messmethoden. *Jordan - Eggert - Kneissl: Handbuch der Vermessungskunde*, Band Va. J.B. Metzler, Stuttgart 1967.
- [15] N. P. Grušinskij: O těmperaturnom dinamičeskom efektě v gravimetre. *Trudy CNIIGAiK*, vyp. 51, Moskva 1948.
- [16] J. D. Bulanže: Ob opreděleniji těmperaturnych koefficientov kvarcevyh gravimetrov. *Trudy Geof. inst. AN SSSR*, No 16, Moskva 1952.
- [17] V. G. Abašidze: Experimentalnoje issledovanije dinamičeskogo těmperaturnogo efekta v kvarcevyh gravimetrach. *Trudy Geof. inst. AN Gruz. SSR*, t. XX, Tbilisi 1963.
- [18] M. Caputo: On the Behaviour of a Worden Gravimeter for Periodical Variations of Pressure. *Geophys. Prospecting* /1957/, 193.
- [19] C. Gantar, C. Morrelli: New Experimental Data about Temperature and Pressure Effects on Worden Gravity Meters. *Bolletino di geof. teor. ed appl.*, V /1963/, 175.

- [20] Z. Šimon: Die Wärmeabgabe zwischen Gravimeter und Aussenmillieu. Travaux de l'Inst. Géophys. de l'Acad. Tchécosl. Sci. Geofyzikální sborník 1970.
- [21] M. Bonatz: Der Einfluss von Bodenvibrationen auf die Gravimeteranzeige. Intern. Conf. Geodet. Measur. Techn. and Instrum. Probl. Vol. 4, Budapest 1966.
- [22] K. Reicheneder: Über den Einfluss der Höhe des Messsystems im Gravimeter. Gerl. Beitr. zur Geophys., 75 /1966/, 179.
- [23] Z. Šimon: Wirkung des Horizontierungsfehler bei der Messung mit dem Gravimeter. Edice VÚGTK v Praze. Řada 3. Sborník výzkumných prací, sv. 7, Praha 1973.
- [24] K. Gerke, R. Brein: Bericht über die vom Institut für Angewandte Geodäsie /II. Abt. DGFI/ im Rahmen des AGI durchgeführten Gravimeterregistrierungen. Communication de l'Observatoire Royal de Belgique, No 142, Série Géophys. No 47. Bruxelles 1958.
- [25] K.J. Kozjakova: Etalonirovanije kvarcevych gravimetrov s gorizontalnoj krutilnoj niťju. Trudy Inst. fiz. Zemlji No 31 /198/, Nauka, Moskva 1964.
- [26] V. A. Romaňuk, R. B. Rukavišnikov: Etalonirovanije gravimetrov s gorizontальной krutilnoj niťju metodom naklona. Nauka, Moskva 1966.
- [27] J. Přibyl, Z. Šimon: Neigungsapparatur für Laboreichung von Gravimetern. Edice VÚGTK v Praze. Řada 3. Sborník výzkumných prací, sv. 7, Praha 1973.
- [28] K. Kozyakova, R. Rukavischnikov, M. Majewska, L. Träger, G. Csapó: Some Results of Calibrating CG-2 Gravimeters /Sharpe/ by the Tilt Method. Studia geoph. et geod. 16 /1972/, 88.

Došlo dne 9. 4. 1971

Teoretický rozbor otázky stanovení lhůt obnovy čs. topografických map

Referát přednesen na kartografickém semináři VAAZ - K 23 v Brně ve dnech 14.–15. října 1971

1. Vymezení problému

Stanovení optimálních časových lhůt obnovy topografických map různých měřítek je nezbytnou součástí komplexních úvah o koncepci a metodách údržby a obnovy čs. vojenského mapového díla. Teoretické práce řešící tuto problematiku nejsou příliš četné, i když vlastnímu problému obnovy map je ve všech státech věnována značná pozornost. Často jsou lhůty stanoveny jen na podkladě úvah a zkušeností. Pokud se v některých státech uplatňují určitá kritéria pro vyvození lhůt obnovy map, využívá se ve směr jako ukazatele zastarání mapy celkového procenta změn. Za krajní mez, kdy má být mapa přepracována, se považuje většinou 15–25% změn. Je zřejmé, že samotné procento změn definuje stupeň zastarání mapy velmi neurčitě, neboť změny mohou mít různý charakter, rozsah i závažnost. Chceli dosáhnout exaktnějšího řešení daného problému, je třeba vytvořit objektivnější a jednoznačnější kritéria, určující stupeň zastarání mapy. Jednotlivé mapové listy je pak vhodné nově vydávat tehdy, když zastarání jejich obsahu dosáhne určité, předem stanovené meze. Podklady pro stanovení příslušné doby může poskytnout jednak průběžná evidence změn /evidenční systémy údržby a obnovy/, jednak prognóza, vyvozená z dosavadního růstu změn v daném území za určité období /periodické systémy údržby a obnovy/.

K vytyčení základních kritérií, definujících stupeň zastarání mapy, je třeba vyřešit především tyto otázky:

- které prvky mapového obsahu a které charakteristiky prvků je vhodné vzít v úvahu;
- co považovat za změnu v zobrazení jednotlivých prvků a jakým způsobem třídit změny;

- v jakých měrných jednotkách změny uvažovat, aby byly vzájemně srovnatelné a umožňovaly matematicko-statistické vyhodnocení;

- jakým způsobem stanovit závažnost změn různého charakteru a definovat celkový stupeň zastarání mapy;

- jaký vliv má kartografická generalizace na původní rozsah a charakter změn mapového obrazu.

V příspěvku je uvedeno možné řešení uvedených problémů. Teoretické úvahy jsou doplněny konkrétními orientačními údaji, získanými rozbořem změn v obsahu některých listů čs. topografických map 1:25 000 /1. vydání a revidovaných/, uvedených v tab. 1.

Poř. čís.	Mapový list	1. vydání	revize	Prostor
1	M-33-53-C-b	1955	1969	Bohušovice nad Ohří
2	M-33-91-C-a	1954	1970	Pacov
3	M-33-91-C-b	1955	1970	Pelhřimov
4	M-33-91-C-c	1955	1970	Nová Cerekev
5	M-33-91-C-d	1955	1970	Božejov
6	M-33-113-B-b	1953	1968	České Budějovice
7	M-33-113-B-d	1953	1968	Kamenný Újezd

Tab. 1

2. Rozsah a charakter změn v obsahu map

K určení celkového stupně zastarání mapy je třeba především stanovit, které prvky a jaké jejich změny budou sledovány. Změny v terénu se mohou po určité době projevit ve všech prvcích kartografické informace. Mají však různou intenzitu a závažnost. Nejmenší změny vznikají u terénních tvarů působením přírodních sil a jsou při řešení lhůt obnovy map zcela zanedbatelné. Zásahy člověka do struktury reliéfu jsou již výraznější, avšak téměř vždy souvisí s výstavbou různých objektů /komunikací, sídel, přehrad pod./. Prakticky tedy postačí sledovat změny jen u situačních prvků mapového obsahu.

Rozdílný rozsah změn lze ovšem očekávat i u různých situačních prvků. Tak

např. změny v sídlech a komunikacích budou vesměs častější a výraznější než u vodstva, Rozdílný bude současně i význam jednotlivých změn. Bude dán jednak významem prvku, u něhož změna nastala, jednak samotným charakterem změny. Rozbory zastarání mapy, pokud byly dosud konány a jejich výsledky publikovány, třídí změny pouze podle druhu změněného prvku [4], [6]. Změny v terénu je však účelné ještě dále rozlišovat. V průběhu času jsou v zobrazeném území některé objekty nově vybudovány, jiné jsou zrušeny či zaniknou. Může se rovněž změnit průběh, obrys nebo kvalita stávajících prvků. Mezi změny kvality lze počítat např. elektrifikaci nebo jiné úpravy železničních tratí, změny v šířce a druhu vozovky u silnic, změny v charakteru neuzpevněných a polních cest, způsobující jejich přeřazení do jiné kategorie, změny ve výstavbě sídel, vznik nových průseků, nebo jiné zásahy do lesních celků apod. Je samozřejmé, že všechny změny lze vyhodnocovat jen v rámci mezí, daných grafickým vyjádřením podle užitého značkového klíče.

Se zřetelem k účelu celého zkoumání nebude patrně nutné registrovat zvlášť všechny uvedené druhy změn. Z praktického hlediska bude rozhodnutí o vhodném počtu kategorií změn závislé především na tom, jak často se jednotlivé změny vyskytují. Předběžné rozbory ukázaly, že bude účelné registrovat zvlášť přírůstky a úbytky prvků. Ostatní změny není nutno podrobněji rozlišovat. Ukazuje se totiž, že podle typu prvku lze dost přesně usoudit, které změny převládají. U plošných prvků jde především o změny v obrysu, u čarových prvků o změny kvality.

Při registraci změn bude tedy účelné rozlišovat:

- vznik nového objektu /přírůstek/,
- zrušení nebo zánik objektu /úbytek/,
- změna stávajícího objektu

3. Měrné jednotky a váhy změn

Chceme-li objektivněji určit celkový stupeň zastarání mapy, je třeba registrovat změny u jednotlivých prvků určitými měrnými jednotkami. Geografické prvky mohou mít velmi odlišné rozměry a totéž platí o změnách, které u nich nastávají. Je proto třeba zvolit takový systém, který by umožňoval vzájemnou srovnatelnost změn u prvků různých rozměrů i tvarů.

Daný problém řeší např. Szymański [6] tím, že vytváří bodový systém hodnocení

změn, Hodnotu jednoho bodu přisuzuje změně v jednom prvku bodového typu, změně rozměru 1 cm^2 v prvku plošném a změně v rozsahu 1 cm v prvku čarovém. Nevýhoda tohoto systému spočívá v nutnosti registrace změn v délkových a plošných jednotkách, což vyžaduje pracné kartometrické vyšetřování. Evidenčně jednodušší je systém, použitý např. v pracích [4], [7]. Obdobně jako při kartografické rajonizaci jsou vytvářeny vztažné /jednotkové/ mapové plochy a změny jsou vyhodnocovány zvlášť v každé ploše. Za jednotku množství je pak považována jedna ze zkoumaných změn u jednoho objektu /plošného, čarového nebo bodového typu/ a v jedné vztažné ploše. Jestliže změna zasáhne do více vztažných ploch, je registrována vícekrát. Z uvedeného řešení je patrný význam velikosti vztažných ploch, neboť v rámci jedné vztažné plochy je jedna změna považována za jednotku množství, bez ohledu na její rozsah.

Názory na vhodnou velikost vztažných ploch jsou u jednotlivých autorů dosti rozdílné. V některých řešeních jsou doporučovány plochy o stranách řádově milimetrových [4], v jiných jsou vztažné plochy voleny větší [6]. Pro volbu velikosti plochy bude patrně rozhodující, jaké množství změn na jednotku plochy je možno očekávat. Podle předběžných rozborů z těchto hledisek se jeví jako výhodnější zvolit vztažné plochy větších rozměrů, umožňující rychlejší, avšak ještě dostatečně podrobnou registraci změn. Z praktického hlediska je vhodné využít např. u map měřítko $1:25\,000$ již vynešené souřadnicové sítě se čtverci 1 km^2 .

Při předběžném srovnání obsahu řady topografických map $1:25\,000$ /1. vydání a revidovaných/, bylo zjištěno v rámci plochy 1 km^2 maximálně 12 změn /průměr 4 změny/, což je z kartometrického i statistického hlediska vcelku optimální.

Jednotlivé změny jsou ovšem v rámci vztažné plochy 1 km^2 svým rozměrem odlišné. Tato skutečnost však nemusí být pokládána za příliš závažnou, neboť výsledkem zkoumání má být pouze vyjádření celkového stupně zastarání mapy. Podstatně důležitější bude rozeznávat změny podle druhu a tím i významu.

Stanovení vzájemné relace mezi významem různých změn mapového obrazu je jistě velmi problematické. Především schází výchozí kritéria, podle kterých by se měla závažnost změn posuzovat.

V rámci prvků jednoho druhu lze patrně pokládat přírůstek a úbytek objektu za významnější jev, než je jeho změna v průběhu, obrysu či kvalitě. Podchyceny by však měly být především rozdíly mezi změnami u různých druhů prvků. Všechny prvky ne-

mají v souhrnu kartografické informace totožnou váhu a tato skutečnost by se měla promítnout i do významu změn, které se u nich objevují.

Závažnost jednotlivých druhů změn lze v podstatě stanovit dvěma způsoby.

Při prvním způsobu přisoudíme jednotlivým změnám váhy, nepřímě úměrné výskytu prvku. Změny u prvků častěji se vyskytujících mají menší váhu a naopak. Váhy se mohou vypočítat jednotně pro celé zobrazené území /např. ČSSR/, nebo zvlášť pro homogenní rajóny podle výskytu jednotlivých prvků.

Tak např. z rozboru hustoty prvků na uvedených topografických mapách vycházejí váhové koeficienty změn v_i v těchto hodnotách:

Prvek	v
železnice	0,27
silnice	0,06
nezp. cesty	0,08
polní cesty	0,01
vodní toky	0,06
el. a tel. vedení	0,09
stoj. vodstvo	0,08
porosty	0,03
sídla	0,12
areály staveb	0,19
Σ	1,00

Tab. 2

Uvedené řešení může být samozřejmě pokládáno za diskutabilní. Tak např. váhový koeficient u silnic vychází velmi nízký, což neodpovídá jejich významu.

Druhý způsob řešení spočívá v přisouzení vah jednotlivým prvkům podle teoretických spekulací. Takový postup je volen např. v práci [5], kde jsou prvkům přisuzovány váhy podle jejich vlivu na celkové taktické vlastnosti vymezené části území. Využití této metody předpokládá průběžné a dosti pracné vyhodnocování významu každého jednotlivého objektu v daném území z hlediska průchodnosti, orientace, maskování a obrany.

Spekulativní určení vah jednotlivých prvků, sloužící ke stanovení zastarání ma-

py, by mohlo také vycházet z četnosti výskytu prvků, avšak korigovaného významem prvku. Při předchozí rajonizaci území ČSSR podle hustoty prvků by bylo možno případně vyvodit pro každý územní celek zvláštní váhy. Možných variant je celá řada a nebudou dále rozváděny.

4. Vyvození celkového stupně zastarání mapy

V publikovaných pracích se pro vyjádření stupně zastarání mapy využívá zásadně jako ukazatele procenta změn. Výpočet se uskutečňuje v různých obměnách. Nejčastěji jsou prvky rozdělovány do skupin podle druhu nebo podle tvaru /bodové, plošné, čarové/ a v každé skupině je vypočteno průměrné procento změn. Celkové procento změn je pak průměrem průměrných procent ze skupin.

Při sloučení všech prvků do jedné kategorie, jak je tomu při registraci změn v rámci jednotkových ploch, nebo při využití bodového systému podle [6], je celkové průměrné procento změn $Z\%$ počítáno přímo jako podíl množství změn $x_{(p_0)}$ k množství prvků $n_{(p_0)}$, při vztahné ploše p_0 :

$$Z\% = \frac{\sum x_{(p_0)}}{\sum n_{(p_0)}} \cdot 100 \quad (1)$$

Při podrobnějším rozboru tohoto způsobu se však ukazuje, že samotné procento změn, počítané libovolnou metodou, nemůže být rozhodujícím kritériem především proto, že nepřihlíží k významu a důležitosti různých změn. Kromě toho nedává obraz o absolutní četnosti změn, která je nesporně významná při rozhodování, zda mapa má být přepracována. Při tomto řešení je rovněž setřena potřebná relace mezi situačně chudým územím s menším počtem změn a situačně bohatým územím s velkým množstvím změn.

Další možnost stanovení celkového stupně zastarání mapy spočívá ve vyhodnocení absolutního množství změn na jednotku plochy, podle vztahu:

$$Zm = \sum x_{(p_0)} \quad (2)$$

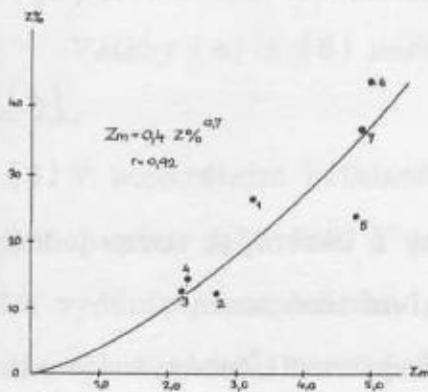
Ani toto řešení nelze považovat za vyhovující. Poskytuje však hodnotné údaje, potřebné ke stanovení rozsahu kartoreprodukčních prací při obnově mapy.

Patrně nejpříjemnějším ukazatelem celkového stupně zastarání mapy by mohlo být vážené množství změn na jednotku plochy:

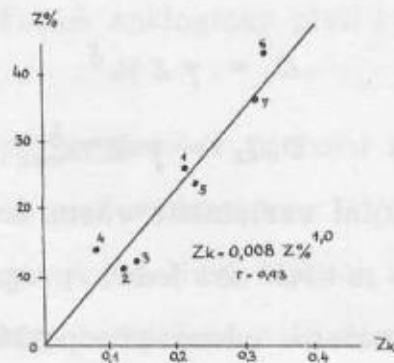
$$Z_k = \sum X_{(P_0)_i} v_i \quad (3)$$

kde v_i jsou váhy změn, rozdělených do i kategorií podle druhu změněného prvku nebo charakteru změny.

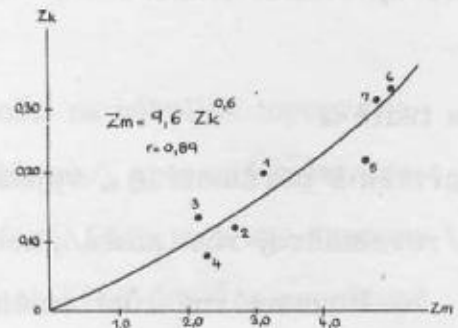
Orientační přehled o vzájemném vztahu uvedených tří ukazatelů může opět poskytnout rozbor změn na uvedených topografických mapách 1:25 000. Z kartometricky vyšetřených změn v 96 jednotkových plochách 1 km², systematicky rozmístěných na mapách, byly pro každý mapový list vypočteny průměrné hodnoty všech tří ukazatelů. Při výpočtu koeficientu Z_k bylo využito váhových koeficientů, uvedených v tab. 2. Korelaci mezi dvojicemi ukazatelů, včetně vyrovnané funkce, vyjadřují obrázky 1, 2, 3.



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3

Rozptyl bodů v grafech není příliš velký a je tedy možno z hodnoty jednoho ukazatele vyvodit odpovídající hodnoty obou dalších ukazatelů. Z charakteru závislosti by bylo možno vyvozovat zajímavé závěry. Jelikož však soubor měření je velmi malý a málo reprezentativní, bylo by vyvozování závěrů předčasné. Konkrétnější odpovědi mohou dát až rozsáhlejší soubory měření.

5. Stanovení lhůt obnovy map

Bylo uvedeno, že percentuelní vyjádření množství změn /ukazatel $Z\%$ / není optimálním kritériem pro určení zastarání mapy a k vyvození lhůt obnovy. Uvažuj-

me proto ještě další kriteria , vyvozená z prostého množství změn /ukazatel Z_m / a z váženého množství změn /ukazatel Z_k /.

Pomocí funkcí, vystihujících korelaci mezi dvojicemi ukazatelů zastarání mapy, je možno vypočítat k předem stanovené mezní hodnotě $Z\%_{mez}$ odpovídající hodnoty Zm_{mez} a Zk_{mez} . Tak např. v rámci vyšetřovaného souboru topografických map 1:25 000 si vzájemně odpovídají hodnoty:

$$Z\%_{mez} = 20$$

$$Zm_{mez} = 3,3$$

$$Zk_{mez} = 0,16.$$

Časové lhůty D_{mez} , kdy četnost změn v každé územní části dosáhne mezní hodnoty některého z ukazatelů zastarání mapy, lze vyvodit z hodnot $Z\%$ / Z_m , Z_k /, zjištěných po uplynutí určité doby D .

Podle předběžných rozborů se ukazuje, že uvedené závislosti vcelku dobře vyhovuje funkce tvaru:

$$D = \gamma Z\%^\delta \quad (4)$$

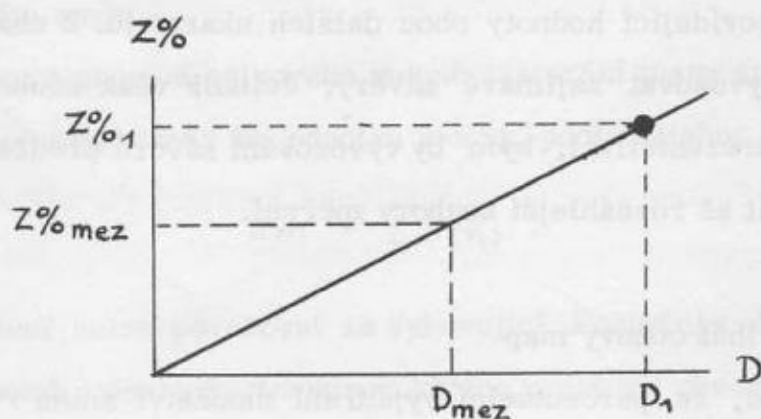
a tudíž i:

$$D_{mez} = \gamma Z\%_{mez}^\delta, \quad (5)$$

přičemž parametr δ , vyjadřující variabilitu růstu změny s časem, je roven jedné /rovnoměrný růst změn/, nebo je větší než jedna /progresivní růst změn/.

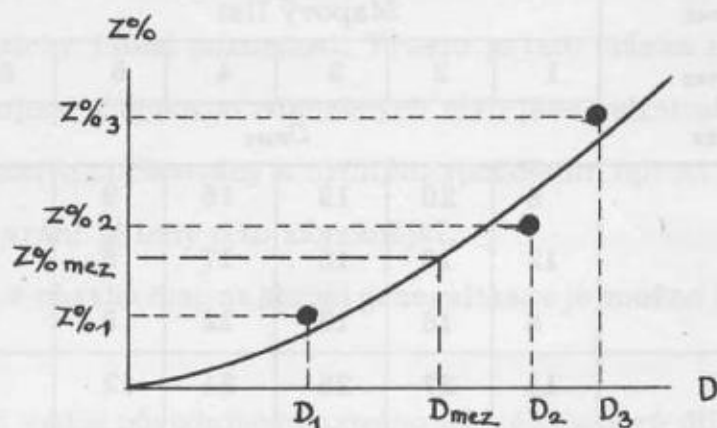
Rovnoměrný růst změn budeme nuceni předpokládat zpravidla tehdy, máme-li v daném území k dispozici vyhodnocení přírůstků změn /např. $Z\%_1$ / jen za jedno časové údobí D_1 . V tomto případě je podle obr. 4:

$$\gamma = \frac{D_1}{Z\%_1} \quad \delta = 1$$



Obr. 4

Je-li k dispozici více takových vyhodnocení za několik časových údobí, je možno průběh růstu změn vystihnout věrněji /obr. 5/



Obr. 5

Vztahy (4) a (5) samozřejmě analogicky platí i při využití ukazatelů Z_m nebo Z_k .

V konkrétním příkladě opět vyjdeme z rozboru změn na několika topografických mapách 1:25 000. V tab. 3 jsou uvedeny doby D /v létech/, uplynulé mezi prvním vydáním /mapováním/ zkoumaných listů a jejich revizí. Dále jsou zde uvedeny hodnoty ukazatelů zastarání mapy, vyšetřené z kartometrických údajů a vypočtené podle vztahů (1), (2), (3).

Poř. čís.	Mapový list	D	$Z\%$	Z_m	Z_k
1	M-33-53-C-b	14	26	3,2	0,21
2	91-C-a	16	12	2,7	0,12
3	91-C-b	15	12	2,2	0,14
4	91-C-c	15	14	2,3	0,08
5	91-C-d	15	24	4,7	0,22
6	113-B-b	15	44	5,0	0,33
7	113-B-d	15	37	4,8	0,32

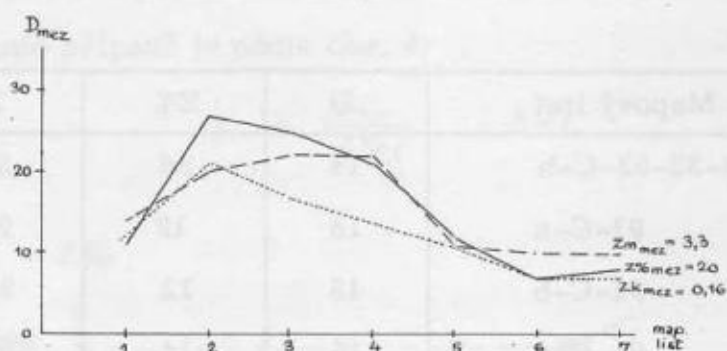
Tab. 3

Po dosazení za D , $Z\%$, Zm , Zk z tab. 3 do výrazu (5), vycházejí tyto mezní lhůty obnovy jednotlivých mapových listů:

$Z\%$ mez	Mapový list						
	1	2	3	4	5	6	7
Zm mez	D_{mez}						
Zk mez	D_{mez}						
15	8	20	19	16	9	5	6
2,7	12	16	18	17	8	8	8
0,12	8	16	13	22	8	5	6
20	11	27	25	21	12	7	8
3,3	14	20	22	22	11	10	10
0,16	11	21	17	30	11	7	7
25	13	33	31	27	15	9	10
3,9	17	23	27	26	13	12	12
0,20	13	27	21	38	14	9	9

Tab. 4

Na obr. 6 jsou pak graficky znázorněny výsledky, platné pro hodnoty $Z\%_{mez} = 20$ ($Zm_{mez} = 3,3$, $Zk_{mez} = 0,16$).



Obr. 6

Z grafu je patrné, že lhůty obnovy, vyvozené z různých ukazatelů zastarání mapy se liší až o 9 let. Je tedy důležité, který ukazatel budeme uvažovat při řešení lhůt obnovy.

6. Vliv generalizace na rozsah změn

Jestliže se teoretické práce řešící optimální časové periody při obnově základních map vyskytují velmi zřídka, nebyla problematice lhůt obnovy odvozených map věnována dosud prakticky žádná pozornost. Přesto je tato otázka rovněž velmi důležitá, neboť práce spojené s obnovou odvozených map jsou velmi náročné a nákladné. Odvozené mapy jsou navíc zpracovány s určitým zpožděním oproti mapám původním, a problém jejich zastarání je tedy o to závažnější.

Závislost změn v obsahu map na stupni generalizace je možno vyvodit dvěma odlišnými způsoby.

Je-li k dispozici vedle původního mapového díla též mapové dílo nové nebo obnovené v celé měřítkové škále, je možno postupně přímo porovnávat obsah mapy totožných měřítek obou mapových děl. Využití tohoto způsobu je možné jen u některých měřítek stávajících československých topografických map. Ucelenější možnosti v tomto směru může poskytnout až dokončení mapového díla souř. systému 1942 v celé měřítkové soustavě a jeho porovnání s mapami souř. systému 1952.

Druhá, v současné době schůdnější cesta spočívá v teoretické úvaze o pravděpodobném průběhu generalizace obsahu postupně odvozovaných map a o vlivu generalizace na změny v jednotlivých prvcích.

Vlivem generalizace se mapový obraz zjednodušuje, některé prvky jsou vynechány. Totéž platí samozřejmě i pro změny, které se u jednotlivých prvků objevily. Je známo, že při generalizaci se uplatňují tyto metody:

- výběr zobrazených prvků,
- zevšeobecnění tvarů,
- zevšeobecnění kvantitativních či kvalitativních charakteristik prvků,
- nahrazení půdorysu prvků smluvenou značkou.

Změny v obsahu mapy jsme pak roztrídili na:

- přírůstek prvku,
- úbytek prvku,
- změna stávajícího prvku.

Chceme-li určit vliv generalizace na obraz změn, je třeba vyhodnotit, jak se jednotlivé změny uplatní v generalizačním procesu.

Zřetelně je patrný přímý vztah mezi přírůstkem nebo úbytkem prvku a metodou výběru prvků. Jestliže v podkladové mapě objekt přibyl nebo ubyl, má to bezprostřední vliv na možnost výběru tohoto objektu do odvozené mapy.

V ostatních metodách generalizace se změna v existenci prvku přímo neprojevív.

Změny u stávajících prvků se pak přímo projeví při užití zbývajících tří metod generalizace, tj. při zevšeobecňování tvarů, zevšeobecňování charakteristik a nahrazování půdorysu prvku smluvenou značkou.

Množství změn na odvozené mapě bude tedy dáno množstvím změn na mapě podkladové, od něhož je třeba odečíst:

a/ Změny, které zanikly v důsledku výběru prvků /prvek, u kterého změna nastala, nebyl do odvozené mapy vybrán/.

b/ Změny, které zanikly v důsledku zevšeobecnění tvarů, zevšeobecnění charakteristik nebo nahrazení půdorysu prvku smluvenou značkou /obraz prvku, u kterého změna nastala, byl zjednodušen natolik, že původní změna není již patrna/.

Teoretické i praktické vyřešení daného problému je možné, jestliže budeme znát analyticky definované zákony generalizace jednotlivých prvků, užití při zpracování odvozených map.

Předpokládejme, že v sérii map byl výběr prvků řešen podle zákonů generalizace, jejichž teoretická podstata i způsob vyvození jsou uvedeny v práci [8]. Pro daný účel postačí využít zákona generalizace s jednoduchou závislostí a vztaženého k počtu prvků ve tvaru, který je v uvedené práci vyjádřen vztahem /3.65a/.

Vyjděme dále z logického předpokladu, že výběr prvků při generalizaci postihne se stejnou pravděpodobností prvek změněný jako nezměněný. Bude tedy platit:

$$\frac{x_{(P_{0i})}}{n_{(P_{0i})}} = \frac{x_{(P_0)}}{n_{(P_0)}}, \quad (6)$$

kde $x_{(P_0)}$, $x_{(P_{0i})}$ značí počet změn na mapě základní, resp. na mapě i-tého odvození,

$n_{(P_0)}$, $n_{(P_{0i})}$ značí počet prvků na mapě základní, resp. na mapě i-tého odvození.

Uvedený předpoklad platí zřejmě pro všechny tři druhy změn. Prvek, který přibyl, podléhá generalizaci při zpracování nově odvozené mapy. Prvek, který ubyl, podléhal generalizaci na staré odvozené mapě. Prvek, u kterého se změnil pouze jeho tvar či charakter, je generalizován v každém případě.

Uvažujme konečně, že při zkoumání změn na základní mapě rovněž vyšetříme korelaci mezi počtem prvků v jednotlivých kategoriích a počtem změn při nich. Z předběžných rozborů se ukazuje, že tomuto vztahu dobře vyhovuje funkce tvaru:

$$n(p_0) = \epsilon x_{(p_0)}^\tau \quad (7)$$

s parametry $\epsilon > 1$, $\tau \geq 1$.

Ze vztahů /3.65a/ v práci [8] a dále (6), (7) v této studii lze jednoduše vyvodit potřebnou závislost mezi počtem změn na základní mapě a počtem změn na mapě i-tého odvození ve tvaru:

$$x_{(p_{oi})} = \frac{a_{oi}}{100} \epsilon^{-b_{oi}} x_{(p_0)}^{1-\tau b_{oi}} \quad (8)$$

Od takto stanoveného počtu změn je třeba ještě odečíst změny druhé kategorie /b/, vyskytující se u prvků, jejichž obraz byl při určitém stupni generalizace zjednodušen natolik, že původní změna není již patrna.

Opravené množství změn $x_{(p_{oi})}$ bude tedy dáno vztahem:

$$x_{(p_{oi})} = x_{(p_{oi})} - \Delta Z_{(p_{oi})} \quad (9)$$

kde $\Delta Z_{(p_{oi})}$ vyjadřuje počet změn, které zaniknou na mapě prvního až i-tého odvození vlivem zjednodušení kresby.

Hodnotu $\Delta Z_{(p_{oi})}$ je možno stanovit, jestliže již při registraci změn typu Z /změna stávajícího prvku/ na základní mapě odhadem posoudíme, na jaké měřítkové úrovni každá změna pravděpodobně zanikne.

Označme symbolem U_i součet změn, které by zanikly na mapách prvního až i-tého odvození, pokud by na nich zůstaly zobrazeny všechny změněné prvky. Hodnoty $\Delta Z_{(p_{oi})}$ a U_i nebudou samozřejmě totožné, protože část změněných prvků je při každé generalizaci vypuštěna. Za logického předpokladu, že průběh generalizace všech změn bude totožný s průběhem generalizace změn typu Z, bude zřejmě platit:

$$\Delta Z_{(p_{oi})} = \frac{x_{(p_{oi})}}{x_{(p_0)}} U_i \quad (10)$$

Po dosazení ze vztahu (10) a (8) do (9), obdržíme po úpravě celkový zákon generalizace změn ve tvaru:

$$x_{(p_{oi})} = \frac{a_{oi}}{100} \epsilon^{-b_{oi}} x_{(p_0)}^{1-\tau b_{oi}} [x_{(p_0)} - U_i] \quad (11)$$

Výpočet množství změn na mapě i-tého odvození lze tedy uskutečnit, známe-li:

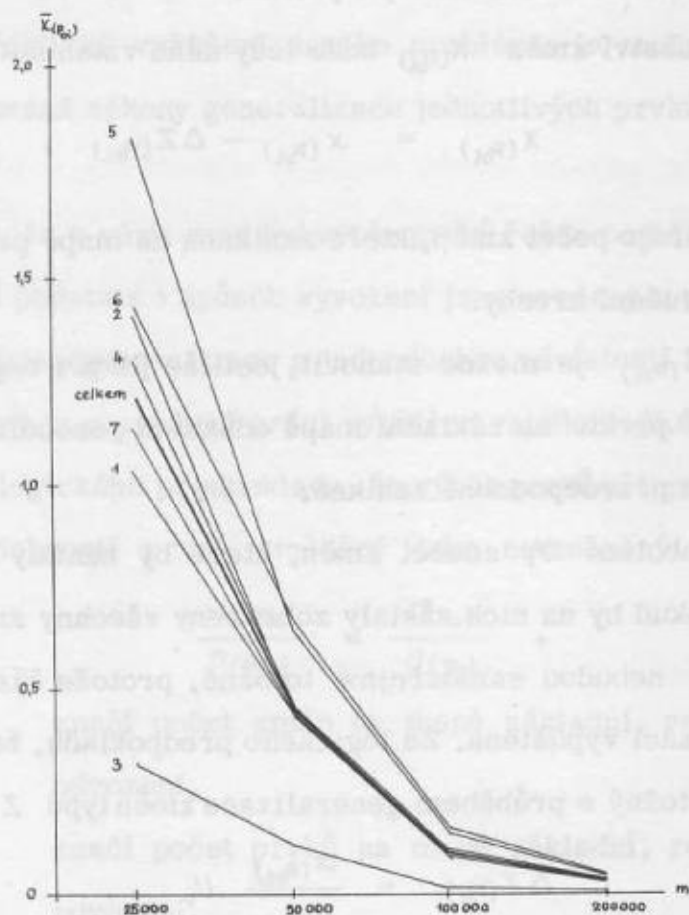
- počet změn v jednotce plochy na základní mapě $\chi_{(P_0)}$
- vztah mezi počtem prvků a počtem změn na základní mapě /parametry ε, τ /,
- zákon výběru prvků při generalizaci /parametry a_{oi} , b_{oi} /,
- počet změn, které zaniknou na mapách různých měřítek vlivem zjednodušení kresby /hodnota U_i /.

Uveďme konkrétní příklad vyšetření generalizace změn při zobrazení polních a lesních cest na topografických mapách měřítkové řady 1:25 000 - 1:50 000 - 1:100 000 - 1:200 000. Zákony generalizace polních a lesních cest, vyvozené v práci [8] jsou definované vztahy /3.65a/ s parametry:

$$1:25\ 000 - 1:50\ 000 \quad a_{01} = 102 \quad b_{01} = 0,49$$

$$- 1:100\ 000 \quad a_{02} = 43 \quad b_{02} = 0,74$$

$$- 1:200\ 000 \quad a_{03} = 14 \quad b_{03} = 0,87.$$



Obr. 7

Z rozboru vztahu mezi počtem cest a změnami při nich na mapě 1:25 000 byly vyvozeny v rovnici (7) parametry:

$$\varepsilon = 7, \quad \tau = 1.$$

Po dosazení uvedených parametrů včetně hodnot U_i do výrazu (11) bylo možno vypočítat množství změn v uvažovaných měřítkách map. Výsledky jsou graficky znázorněny na obr. 7.

Z obrazu je patrné, jak se při generalizaci zmenšuje počet změn na jednotku plochy i jak se zmenšují rozdíly mezi jednotlivými mapovými listy.

Obdobným způsobem je možno stanovit pravděpodobné množství změn i u dalších prvků mapového obsahu a s pomocí některého ukazatele vyvodit stupeň zastarání odvození mapy. Celý problém je vhodné řešit v rámci rajonizace, vytvořené na základním mapovém podkladu.

L I T E R A T U R A

- [1] Böhme R.: Probleme der Materialbeschaffung für die Laufendhaltung kleinmasstäbiger Kartenwerks. Internationales Jahrbuch für Kartographie 1965
- [2] Die Generalstabskarten von Gross-Britanien. Allgemeine Vermessungs- Nachrichten č. 2/1963
- [3] Goldman L. M.: Obnovljenija topografičeskich kart za rubežom. Geodezia i kartografija č. 12/1960
- [4] Lysenko F.F.: Odin iz sposobov ocenki stěpeni starenija soděržanija karty. Geodezija i kartografija č. 7/1970
- [5] Panin G.F., Zakuvajev N.L., Šapovalenko I.D.: Topogeodezičeskoje obespečenie boja. S-Topo-6-84
- [6] Szymański J.: Zmiany tresci mapy w czasie. Prace IGiK č. 2/1964
- [7] Žáček J.: Matematickoštatistický rozbor zmien v obsahu čs. topografických máp. Diplomní práce, Brno 1970
- [8] Srnka E.: Analytické řešení generalizace v kartografii, Brno 1968.

Problémy automatizace vyhodnocování informací o území

Referát byl přednesen na kartografickém semináři VAAZ - K 23 v Brně 14.–15. října 1971

Pod pojmy vyhodnocování informací o území jsou zde chápány činnosti od čtení /snímání/ informací z číselného nebo grafického podkladu až po jejich obsahovou i formální transformaci, neboli zpracování podle stanoveného požadavku. Všechny tyto činnosti jsou v současné době předmětem automatizace. Problémy, které jsou s tím spojené, jsou jednak rázu teoretického a metodického, jednak rázu organizačního a kádrového a nakonec technického a technologického.

Dnes je metodicky, technologicky i organizačně značně rozvinuta a stupni automatizace snad nejbližší fotogrammetrie jako speciální metoda vyhodnocování informací o území. Z ní je také převzato slovo vyhodnocování, i když není dále fotogrammetrické vyhodnocování podrobněji posuzováno.

Článek pojednává zejména o takovém vyhodnocování informací, při kterém jsou využívány jako podklady mapy, plány a soubory digitálních informací.

1. Metodické problémy

Po metodické stránce je měření souřadnic bodů na mapách, měření délek čar, ploch, průměrných sklonů terénu apod. náplní samostatné části oboru kartografie, zvané kartometrie. Z hlediska metodického má pro nejbližší období prvořadý význam rozvoj kartometrických metod ve smyslu automatizace těchto prací. Současné učebnice a skripta vysokých škol poskytují k řešení těchto otázek jen velmi málo nebo žádné informace. Nemělo by se proto zapomínat na systematické zpracovávání těchto otázek.

Charakter požadavků na kartometrické práce má v současné době některé nové rysy. Především roste co do rozsahu i sortimentu. Je ovlivněn rozvojem počítačů a metod řešení nejrůznějších úloh na těchto zařízeních. Předpokládá se, že význam cí-

slicových počítačů dále poroste, i když jsou zároveň zdokonalovány též počítače analogové a hybridní. Odpovídají tomu též plány technického rozvoje výpočetních středisek na nejbližších 5 až 10 let, pokud jsou tyto údaje známy.

Využití grafických podkladů pro číslicové počítače je zatím zprostředkováno digitalizací. Proto také je považována digitalizace grafických informací o území za podmínku jednak automatizace kartografické tvorby a jednak algoritmizace a strojového řešení mnohých rešeršních, kalkulačních a optimalizačních úloh, ve kterých je uvažován vliv území. To neznamena, že by bylo nutné nebo účelné digitalizovat všechny informace. Je třeba vycházet z konkrétních požadavků řešitelů jednotlivých typů úloh na rozsah i formu digitalizace. Nutno však přitom dodržet některé zásady, které z jednotlivých požadavků bezprostředně nevyplývají. Je to zejména vytváření jednotné struktury a číselného zakódování informací a sledování otázek jejich efektivního využití pro různé úlohy prostřednictvím banky informací o území.

Automatizace vyhodnocování informací o území je součástí širšího procesu automatizace, který probíhá ve společenské, výrobní, řídicí, vojenské a jiných činnostech. Kartografie svým specifickým způsobem slouží nejširší společenské činnosti. Bylo tomu tak v minulosti a je tomu tak i dnes. Měla by se proto těmto otázkám věnovat náležitá pozornost i v podmínkách řešení úkolů automatizace u různých řídicích a správních resortů.

Pro bezprostřední potřeby kartografie se jeví jako naléhavější a atraktivnější řešení automatizace kartografické tvorby a vůbec řešení otázek racionalizace vlastní výrobní a řídicí činnosti. Pro řešení otázek kartografické tvorby však nejsou k dispozici vyhovující technická zařízení; jejich vybudování si v budoucnu vyžádá značných investic. Nemělo by se proto zapomínat na spoluúčast různých resortů, které budou mít zájem na spolupráci při tvorbě a využívání souborů informací o území v digitální formě. S jejich pomocí pak budovat technickou základnu automatizace v kartografii. Není to pouze otázka taktická, i když tuto stránku také nelze pominout, nýbrž otázka zásadního stanoviska k různým společenským požadavkům.

Značné prostředky jsou věnovány na řešení automatizace procesů řízení, vyhodnocování různých statistických šetření, řešení problémů ochrany životního prostředí, geologického průzkumu apod. Tyto resorty jsou ekonomicky silnější než je obor kartografie v rámci vojenské topografické služby nebo úsek automatizace v rámci

kartografie. Prací ve prospěch těchto resortů by bylo možné získat některou potřebnou automatizační techniku snad dříve než z vlastních omezených zdrojů. Kromě výpočetní techniky se zde jedná zejména o digitalizační a různá čtecí zařízení. Jsou to vesměs drahá zařízení s možností využití v mnoha resortech, což je z hlediska potřeb kartografie určitou výhodou. Tyto otázky jsou aktuální především v počátcích mechanizace a automatizace tvorby map.

Při řešení otázek automatizace vyhodnocování informací o území je proto žádoucí sledovat a řešit požadavky těchto dvou skupin úloh:

1. Automatizace tvorby kartografických děl, která zahrnuje:
 - a/ Zkoumání algoritmů automatické generalizace jednotlivých prvků a závislých skupin prvků při odvozování map menších měřítek.
 - b/ Zkoumání algoritmů strojového řešení různých speciálních map konstruovaných metodami rajonizace nebo vyjadřovaných pomocí izočar.
 - c/ Zkoumání metod a algoritmů tvorby, doplňování a oprav registrů banky informací o území.
 - d/ Provozní realizaci digitalizačních postupů a jiné.
2. Úlohy řešící různé otázky prognóz, plánování, řízení apod. Budou to zejména tyto úlohy:
 - a/ Řešení optimalizačních úloh na počítačích aplikací metod operačního výzkumu a jiných matematických metod.
 - b/ Vzájemné prostorové přiřazování různých charakteristik území s cílem jejich komplexnějšího hodnocení.
 - c/ Sestavování projektů a vyhodnocování výsledků geologického průzkumu.
 - d/ Prostorově definované rešeršní úlohy a mnoho dalších.

Obě skupiny vyžadují značné množství informací o území nejrůznějšího obsahu a formy. Zpravidla se jedná o digitální informace. Aniž by bylo možné se zde zabývat podrobným rozbohem požadavků jednotlivých úloh na strukturu informací o území, je nutno přijmout pouhé konstatování, že jsou dosti různé a že vyhovět efektivně všem těmto požadavkům jedním digitálním souborem informací je prakticky nemožné.

Při digitalizaci informací pro některou konkrétní úlohu se zpravidla nejedná o pouhé měření a záznam souřadnic jednotlivých bodů nebo posloupností bodů na čarách, měření délek čar, velikostí ploch apod., jak to popisuje současná kartometrie.

Tato měření musí být obvykle doplněna dalšími znaky a výsledky seřazeny tak, aby soubor informací jako celek i v jednotlivostech co nejlépe odpovídal podmínkám následujícího zpracování. V tom je tvůrčí charakter kartometrie, shodný s charakterem tvorby kartografických děl vůbec. K tomu je dále uvedeno několik příkladů.

Při digitalizaci silniční sítě, železnic, potrubí a vedení všeho druhu je vhodné zaznamenávat kromě průběhu a označení prvku též všechny křižovatky jako samostatné prvky se samostatným označením. K nim dále připojit údaje o všech koincidenčních křižovatkách nebo uzlech, tj. takových, ke kterým vede z uvažovaného uzlu přímá spojnice. Takový záznam je například nutný pro řešení úloh v dopravní síti metodami teorie grafů. Mohl by však být užitečný též při řešení otázek kartografické generalizace.

Jiným příkladem může být digitalizace vodních toků. I zde mohou vzniknout pro digitalizaci některé nové požadavky ovlivněné metodou výběru při generalizaci. Může to být požadavek klasifikace vodních toků podle počtu přítoků nebo některého jiného znaku, což není možné vždy zjistit z jednoho mapového listu. Nutná je předběžná příprava digitalizace. Podobně při digitalizaci výškopisu by pro mnohé úlohy bylo výhodné zaznamenávat kromě výškových bodů a vrstevnic též průběh čar terénní kostry, i když nejsou uvedeny v značkovém klíči a v mapě jako samostatné prvky. Mnohé rešeršní, kalkulační nebo optimalizační úlohy vyžadují, aby informace byly vyjadřovány v malých ploškách pravidelného tvaru. Je to tzv. maticový způsob vyjadřování charakteristik území. Takových požadavků je jistě více.

Vzhledem k značné pracnosti a nákladnosti kartometrických prací je žádoucí zabezpečovat, pokud je to vůbec možné, vícenásobné a efektivní využití výsledků. Proto by měl výběr prvků, jejich uspořádání na vstupním mediu samočinného počítače a číselné označení odpovídat již dnes známým nebo alespoň obecně formulovaným požadavkům. Formulace těchto požadavků a jejich prosazování v kartometrické praxi je v zájmu úspěšné automatizace vyhodnocování informací o území. Nutno dodat, že je to úkol náročný a dosti nevděčný, podobně jako hledání účelné klasifikace a číselného zakódování těchto informací, k čemuž je uvedeno několik poznámek v následující stati.

2. Klasifikace a číselné zakódování informací o území

Pracovník nebo pracoviště, které má zabezpečovat kartometrické práce, musí zpravidla před vlastním měřením provést klasifikaci a číselné zakódování těchto

informací. Při digitalizaci jednotlivých prvků pro jednu předem definovanou úlohu zde nevznikají žádné větší problémy. Když ale má být snímáno velké množství informací z různých podkladů a pro různé typy předpokládaných úloh, je klasifikace a číselné zakódování informací dosti složitou záležitostí. Projevuje se to zejména u těch informačních souborů, které mají být uloženy do tzv. banky pro případné budoucí využití. Výchozích hledisek, která by měla být respektována, pokud má být číselník využíván v širším informačním systému a pokud má být stálejší, je mnoho. Mezi důležitá hlediska je možno zařadit:

1/ Aby struktura číselníku odpovídala předpokládanému rozsahu, metodám zpracování, vlastnostem výpočetní techniky a jiným požadavkům úloh, pro které je informační systém budován.

2/ Aby struktura odpovídala co nejvíce struktuře popisované skutečnosti, jakož i struktuře vědních disciplin, řídicích a správních institucí, které se zabývají jejich studiem, shromažďováním nebo využíváním.

3/ Aby struktura co nejvíce odpovídala struktuře informačních zdrojů, ze kterých má být banka informací doplňována.

4/ Aby bylo možné vytvořit co nejjednodušší dekadický číselník těchto informací.

Z uvedených obecných zásad vyplývají tyto praktické závěry:

1. Nelze úplně a ve všech rozlišovacích úrovních převzít strukturu a číselník nějakého informačního systému o území, pokud se požadavky řešených úloh neshodují. Připravovaná banka informací o území se bude zřejmě v tomto poslání lišit od informačních systémů jiných resortů a proto je nutné aktivně se podílet na tvorbě struktury a číselníku shromažďovaných a zpracovávaných informací.

2. Před tvorbou struktury a číselníku informací je třeba dostatečně ujasnit rozsah, cíl a metody zpracování.

3. Struktura a číselník informací bude nutně výsledkem kompromisního řešení, protože výchozí struktury, kterými jsou: popisovaná skutečnost, vědní disciplíny, které ji studují, vědecké, správní a řídicí instituce, informační zdroje jako jsou automatizované informační systémy jiných resortů, mapy, geografická a kartografická literatura a jiné, nejsou jednotné. Jsou zde různá hlediska studia, shromažďování a zpracování, existují mnohé překryty nebo i mezery.

4. Strukturu číselníku je nutno vytvářet jako otevřený systém se značnými zálohami.

Vzhledem k používané a perspektivní technice je výhodný dekadický číselník. Měl by být alespoň sedmimístný. Jeho obecná struktura by mohla být vytvořena například takto:

a/ První dvě dekadická místa zleva ponechat zatím volná pro označení informací o území v informačním systému centrální nebo jiné vyšší instituce.

b/ Na třetím místě zleva označit část geosféry včetně člověka a jeho činnosti. Zde by bylo vhodné vycházet ze struktury samotné skutečnosti bez většího ovlivňování strukturou informačních zdrojů a institucí, které mají k těmto skutečnostem nějaký vztah. Struktura informačních zdrojů a institucí je dosti proměnlivá. Vlivu této proměnlivosti by bylo vhodné se vyhnout, alespoň v této první rozlišovací úrovni.

c/ Na čtvrtém místě zleva označit významné skupiny prvků, jevů nebo činností příslušné části informační sféry. Mohou zde být vyjádřeny též vědní obory a hospodářskosprávní resorty, které tuto část geosféry studují, popisují nebo řídí a které jsou z hlediska účelu informačního systému významné. Na tomto místě se zřejmě nejvíce projeví nutnost kompromisního řešení číselníku. Tato rozlišovací úroveň vyžaduje proto důkladného kolektivního posouzení.

d/ Zbývající nejméně tři dekadická místa je nutné vyhradit pro označení objektů, prvků, jevů nebo činností. Pro první experimentální práce je možno zde označit jednotlivé prvky obsahu mapy podle značkového klíče. Případné další doplňky odvodit z požadavků experimentálních úloh. Podle těchto zásad by bylo možné vytvořit například takovouto hrubou strukturu informací o území.

.. 0	KOSMICKÝ /SVĚTOVÝ/ PROSTOR
.. 00	Astronomie /obecná/
.. 01	Geodetická astronomie
.. 02	Umělé družice Země
.. 03	Družicová geodézie
.. 04	Zatím neurčeno
.. 05	-"-
.. 06	-"-
.. 07	-"-
.. 08	Speciální charakteristiky kosmického prostoru

- .. 09 . . . Jiné
- .. 1 ZEMSKÉ OVZDUŠÍ
- .. 10 . . . Aktuální stav ovzduší
- .. 11 . . . Krátkodobá předpověď stavu ovzduší
- .. 12 . . . Dlouhodobá předpověď stavu ovzduší
- .. 13 . . . Klimatologie
- .. 14 . . . Radioaktivní zamoření ovzduší
- .. 15 . . . Zamoření ovzduší chemickými látkami
- .. 16 . . . Zatím neurčeno
- .. 17 . . . -"-
- .. 18 . . . Speciální charakteristiky ovzduší
- .. 19 . . . Jiné
- .. 2 VODSTVO /HYDROSFÉRA/
- .. 20 . . . Hydrologie atmosféry
- .. 21 . . . Hydrologie vod tekoucích /potamologie/
- .. 22 . . . Hydrologie vod stojatých /limnologie/
- .. 23 . . . Hydrologie bažin
- .. 24 . . . Hydrologie podzemních vod /hydrogeologie/
- .. 25 . . . Hydrologie ledovců /glaceologie/, sněh
- .. 26 . . . Hydrologie moří /oceánologie/
- .. 27 . . . Zatím neurčeno
- .. 28 . . . Speciální charakteristiky hydrosféry
- .. 29 . . . Jiné
- .. 3 PEVNINA /LITOSFÉRA/
- .. 30 . . . Geologie a tektonika
- .. 31 . . . Geomorfologie
- .. 32 . . . Pedologie
- .. 33 . . . Geofyzika
- .. 34 . . . Radioaktivita pevniny

- .. 35 ... Energetické suroviny a rudy
- .. 36 ... Stavební suroviny
- .. 37 ... Zatím neurčeno
- .. 38 ... Speciální charakteristiky litosféry
- .. 39 ... Jiné

- .. 4 ... ORGANICKÝ SVĚT /BIOSFÉRA/
- .. 40 ... Lesy, lesnictví
- .. 41 ... Hospodářsky pěstované dřeviny, ovocnářství
- .. 42 ... Hospodářské plodiny, rostlinná výroba, zemědělství
- .. 43 ... Ostatní rostlinstvo, botanika
- .. 44 ... Bakterie a mikroorganismy
- .. 45 ... Hospodářské zvířectvo, živočišná zemědělská výroba
- .. 46 ... Ostatní živočišstvo, zoologie
- .. 47 ... Zatím neurčeno
- .. 48 ... Speciální charakteristiky litosféry
- .. 49 ... Jiné

- .. 5 ... ČLOVĚK A SPOLEČNOST
- .. 50 ... Obyvatelstvo, domy a byty
- .. 51 ... Sídliště
- .. 52 ... Správní a politické uspořádání
- .. 53 ... Morálněpolitická úroveň obyvatelstva
- .. 54 ... Výrobní schopnosti obyvatelstva
- .. 55 ... Kulturní úroveň obyvatelstva
- .. 56 ... Astronomické charakteristiky a zdravotní stav
- .. 57 ... Zatím neurčeno
- .. 58 ... Speciální charakteristiky obyvatelstva
- .. 59 ... Jiné

- .. 6 ... ČINNOST ČLOVĚKA /SPOLEČNOSTI/
- .. 60 ... Průmyslová výroba a stavebnictví

.. 61	...	Doprava a telekomunikace	.. 61
.. 62	...	Distribuce a obchod	.. 62
.. 63	...	Politická a veřejná činnost	.. 63
.. 64	...	Služby	.. 64
.. 65	...	Kultura	.. 65
.. 66	...	Sport	.. 66
.. 67	...	Zatím neurčeno	.. 67
.. 68	...	Speciálně sledovaná činnost	.. 68
.. 69	...	Jiné	.. 69
.. 7	PRODUKTY ČINNOSTI ČLOVĚKA /SPOLEČNOSTI,	.. 7
.. 70	...	Výrobní zařízení	.. 70
.. 71	...	Komunikace a jiná dopravní zařízení	.. 71
.. 72	...	Obchodní síť, sklady, zásoby	.. 72
.. 73	...	Objekty a zařízení politické a veřejné správy	.. 73
.. 74	...	Objekty zdravotnictví a ostatních služeb	.. 74
.. 75	...	Kulturní zařízení	.. 75
.. 76	...	Sportovní zařízení	.. 76
.. 77	...	Zatím neurčeno	.. 77
.. 78	...	Objekty speciální přípravy území	.. 78
.. 79	...	Jiné	.. 79
.. 8	GEODÉZIE A KARTOGRAFIE	.. 8
.. 80	...	Geodézie a geodetická astronomie	.. 80
.. 81	...	Topografie, fotogrammetrie, mapování	.. 81
.. 82	...	Matematická kartografie	.. 82
.. 83	...	Redakce a sestavování map	.. 83
.. 84	...	Fotoreprodukce a tisk, polygrafie	.. 84
.. 85	...	Kartometrie, digitální kartografie	.. 85
.. 86	...	Kartografické vydavatelství, zásobování mapami	.. 86
.. 87	...	Zatím neurčeno	.. 87
.. 88	...	Speciální vyhodnocování území	.. 88

V navržené hrubé struktuře je obsažena jak přírodní, tak i společenská stránka geosféry, jak to vyžaduje obecná formulace funkce banky informací o území. V existujících nebo projektovaných informačních systémech o území u jiných resortů je zpravidla, podle jejich působnosti, podrobněji popisována pouze některá z těchto stránek. To často vyvolává nutnost duplicitního sběru a uchovávání informací o stejných prvcích. Značné překrývání je patrné zejména u obyvatelstva, které je v návrhu sledováno, buď přímo nebo nepřímo, ve čtyřech částech informační sféry.

V části 5 Člověk a společnost jsou kromě informací o obyvatelstvu zahrnuty též informace o domech, bytech a sídlištích, i když se do značné míry překrývají zejména s částí 7. Toto řešení je navrhováno proto, aby bylo možné jednodušeji a bez podstatnějších úprav přejímat informace ze sčítání lidí, domů a bytů, kde jsou vedeny společně. Systém sběru a zpracovávání těchto informací je dnes všestranně propracován a proto by nebylo správné příliš narušovat strukturu tohoto informačního zdroje.

V části 6 Činnost člověka /společnosti/ by mohly být vedeny všechny parametry, které tuto činnost charakterizují a které jsou pro řešení praktických úloh důležité. Zde je opět značný překryt s předešlou i následující částí. Pro některé úlohy je však nutné tyto části sledovat samostatně, má-li být dobře zachycena též dynamická stránka území. Kromě toho jsou v mnoha resortních informačních systémech shromažďovány informace charakterizující především intenzitu činnosti v určitých územních jednotkách a oborech činnosti. Důležitost těchto informací pro komplexnější hodnocení území, jakož i požadavek jednoduchého přejímání těchto informací z jiných systémů ještě více zdůrazňují nutnost samostatného vyčlenění této části.

V části 7 Produkty činnosti člověka /společnosti/ jsou zahrnuty především ty, které se staly trvalou součástí území. Z produktů duševní činnosti člověka je podrobně sledována především geodézie a kartografie. Vzhledem k jejímu zvláštnímu významu pro informační systém o území je vyčleněna jako samostatná osmá část.

9. část je jako záloha vyčleněna pro ty informace, které z jakýchkoli důvodů nebudou zařazovány do předešlých částí.

V každé části se předpokládá zařazení nejméně jedné skupiny jako zálohy a jedné skupiny informací popisující speciální charakteristiky. Tyto informace by zpravidla vznikly přepracováním a vyhodnocováním ostatních skupin této nebo i dalších částí celé informační sféry pro potřeby řešení konkrétních úloh, pro které je informační systém budován. V návrhu číselníku jsou tyto informace zařazovány vždy do 8. skupiny příslušné části. Bylo by žádoucí, aby tyto skupiny měly maximálně sjednocenou prostorovou identifikaci.

Mnohé potíže způsobuje používání více souřadnicových systémů, zejména různé metody prostorové identifikace informací o území. Řešení je závislé jednak na metodách zpracování informací a jednak na technickém vybavení kartometrického pracoviště. Nejčastěji jsou to různé pracovní souřadnice snímacího stolu, dále souřadnice "S 42", souřadnice Křovákova celostátního systému, zeměpisné souřadnice nebo plošky různého tvaru, velikosti a uspořádání, definované v některém z uvedených souřadnicových systémů.

Řešení technologických otázek souvisejících s automatizací vyhodnocování informací o území je také značně složité. Většinou se předpokládá kartometrické vyhodnocování grafických informací z map. Soudobé mapy však nejsou k takovému využívání dostatečně přizpůsobeny. Přes značné úsilí, které je ve světě věnováno různým snímacím a digitalizačním zařízením, nebyl odstraněn z těchto technologických etap značný podíl ruční práce. Navíc jsou taková zařízení nákladná. Proto se jeví jako účelné současně řešit i některé speciálnější postupy, které by umožnily automatizovat kartometrické vyhodnocování alespoň některých charakteristik území. Měly by to být především ty charakteristiky, které jsou praxí nejvíce žádány a jejichž řešení je nebo může být teoreticky, technicky i jinak zdůvodněno a zabezpečeno.

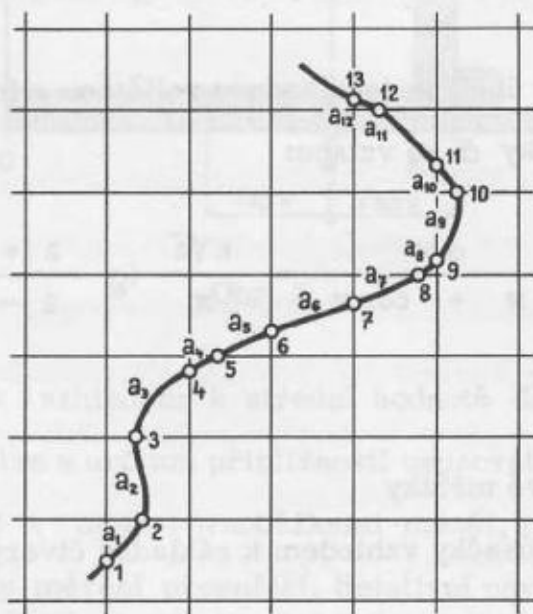
Jednou z takových úloh je automatizace měření délky čáry. Geometrická podstata této metody je popsána v následující stati.

3. Automatizace měření délky čáry

Měření délky čáry je dosti častou kartometrickou úlohou. Z délek vrstevnic v určité ploše lze např. určit střední sklon terénu, měřením délek komunikací a vodních toků mohou být odvozeny různé koeficienty potřebné pro analytické řešení generalizace, délka čarových prvků v plošné jednotce mapy může být dobrou charakteristikou

hodnocení vojenského významu prostoru, může být také kritériem při normování kartografických prací apod. Dosud se k měření délky čáry v mapě nejčastěji používá buď křivkoměru nebo odpichovátko. V poslední době se délky čar počítají z digitálního záznamu souřadnicových přírůstků bodů na čarách. Je to postup nejpřesnější, ale také nejnákladnější, /pokud není tato práce spojena s řešením jiných úkolů/, protože vyžaduje, aby bylo k dispozici digitalizační zařízení a samočinný počítač.

Značný objem těchto prací by patrně v budoucnu nebylo možné zvládnout bez jejich mechanizace nebo automatizace. Zde je popsáno jedno z možných řešení.



Obr. 1 Výpočet délky čáry

Délka čáry je rozdělena pravidelnou sítí na úseky a_i , které sice nejsou stejné, ale za určitých předpokladů lze jejich střední délku vypočítat. Příklad rozdělení čáry na úseky pomocí čtvercové mřížky je znázorněn na obr. 1. Celková délka čáry je pak dána vztahem:

$$s = n \cdot \bar{a} , \quad (1)$$

ve kterém značí:

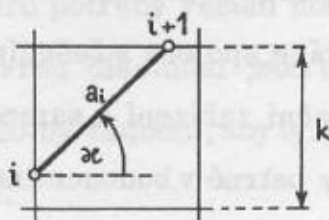
n počet úseků

\bar{a} střední délku úseků.

Počet úseků se rovná počtu průsečíků měřené čáry se stranami čtvercové mřížky, pokud platí, že délka prvního a posledního úseku má poloviční střední hodnotu oproti ostatním úsekům. Tato podmínka přibližně platí. Vliv případného nedodržení

této podmínky je tím menší, čím je mřížka hustější a měřená čára delší.

Při dostatečně husté mřížce mohou být úseky čáry považovány za části přímek, které svírají se základnou čtverce úhel κ , jak je to znázorněno na obr. 2



Obr. 2 Výpočet střední délky úseku v jednom čtverci

Za předpokladu, že úhel κ je náhodnou veličinou z intervalu $/0; \frac{\pi}{2} /$, lze vypočítat střední délku úsečky \bar{a} ze vztahu:

$$\bar{a} = \frac{2k}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\kappa}{\sin \kappa + \cos \kappa} = \frac{k\sqrt{2}}{\pi} \lg \frac{2 + \sqrt{2}}{2 - \sqrt{2}} = 0,7935 k, \quad (2)$$

ve kterém značí:

k stranu čtvercové mřížky

κ úhel pootočení úsečky vzhledem k základně čtverce.

Po dosazení získaného výsledku do vztahu (1) bude platit:

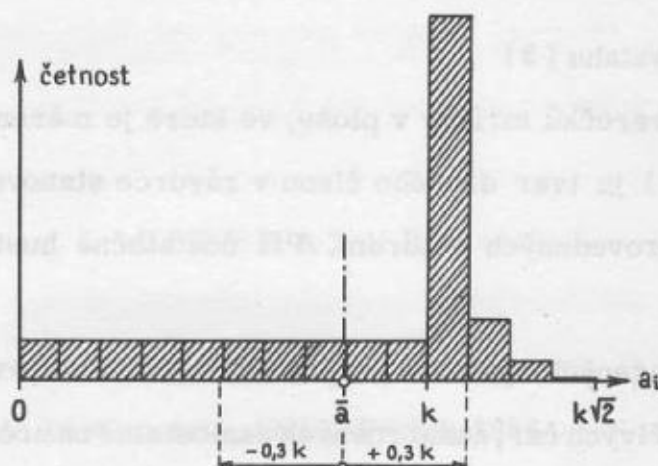
$$s = 0,7935 k n. \quad (3)$$

Pro posouzení využitelnosti metody v praxi je důležité porovnat rychlost a přesnost měření oproti klasickým metodám. Ze zkušenosti prvních kontrolních měření vyplývá, že rychlost počítání průsečíků již volným okem je příznivější než měření délky čáry pomocí odpichovátko. Počítání průsečíků je však možné automatizovat, což je hlavní výhodou navrhované metody. Proto je popisována tato metoda v souvislosti s automatizací vyhodnocování informací o území.

Čáry mřížky mohou být nahrazeny pohybem úzkého světelného paprsku vedeného přes transparentní podložku s kresbou měřené čáry směrem na fototranzistor. Každé přerušeni proudu může být zaznamenáno na elektronickém počítači pulzů. Součet přerušeni proudu při pohybu světelného paprsku po rovnoběžkách vzdálených od sebe o konstantu k ve dvou na sebe kolmých směrech odpovídá hodnotě n ze vztahu (3). Funkční vzorek elektronické části takového zařízení byl vyzkoušen. Po vyřeše-

ní mechanické části může toto zařízení podstatně zrychlit a zjednodušit měření čar na mapě.

Pro posouzení přesnosti metody je uveden nejdříve histogram, který charakterizuje rozložení délek a_i kolem střední hodnoty \bar{a} .



Obr. 3

V intervalu $\pm 0,3 k$ vzhledem k střední hodnotě \bar{a} je podle obr. 3 přes 60 % všech případů, z čehož lze s určitou přibližností usuzovat na přesnost měření délky čáry. Čím bude interval k mezi rovnoběžkami menší, resp. čím bude více průsečíků, tím budou výsledky měření přesnější. Relativní chyba výsledku klesá přibližně s odmocninou počtu průsečíků n .

Metoda byla vyzkoušena měřením délky vrstevnic mapy 1:10 000 na rozloze $1,5 \times 2,0 \text{ km}^2$. Nejdříve byla délka těchto vrstevnic změřena pomocí odpichovátko. 3x opakovaným měřením při různém rozevření odpichovátko byla zjištěna délka $S = 5390 \text{ mm}$. Tatáž délka byla potom měřena popsanou metodou. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce.

Poř. čís.	k /mm/	n	s /mm/	Odchyly	
				/mm/	%
1	9,970	697	5 496	-106	-1,9
2	"-	701	5 528	-138	-2,5
3	"-	693	5 465	- 75	-1,4
4	4,985	1345	5 320	+ 70	+1,3
5	"-	1376	5 443	- 53	-1,0
6	"-	1364	5 396	- 6	-0,1

Délky s , které jsou měřeny pomocí odpichovátko, jsou považovány za skutečné hodnoty. Délky s jsou počítány podle empiricky upraveného vzorce(3):

$$s = 0,7935 kn \left(1 - \frac{1}{N} \right), \quad (4)$$

ve kterém značí:

k, n jako ve vztahu (3)

N počet čtverečků mřížky v ploše, ve které je měřena délka čar.

Ve vztahu (4) je tvar druhého členu v závorce stanoven pouze přibližně z pomocných měření provedených autorem. Při dostatečně husté mřížce může být jeho vliv zanedbán.

Přesnost dosažených výsledků je velmi dobrá. Metoda je vhodná k měření delších a hustě vedených křivých čar, znázorněných samostatně na určité ploše, což je případ, který je pro klasická měření nevýhodný. Budou to zejména délky vrstevnic, vodních toků a komunikací. Tvar plochy může být libovolný. Kromě délky čar lze z počtu průsečíků odvozovat též jejich převládající směr, což je důležitá charakteristika čarových prvků území. Popsanou metodu je možné použít též k měření ploch, které jsou vhodným způsobem rastrované.

Používání metody v praxi bude v mnohém záviset na úspěšnosti technické realizace návrhu. Zatím je vyřešena elektronická část funkčního vzorku. Jejím autorem je kpt. Ing. Chmelík. Zájemcům byla tato část zařízení předvedena na kartografickém semináři pořádaném K 23 u příležitosti 20. výročí založení VAAZ v Brně.

4. Organizační a kádrové problémy

Souběžně s řešením teoretických, metodických a technologických otázek automatizace vyhodnocování informací o území by mělo probíhat organizační a kádrové zabezpečování realizace získaných poznatků v praxi. Prvním opatřením, které by snad nejvíce prospělo, by mělo být vybudování kartometrického pracoviště schopného provádět všechny druhy kartometrických prací. Takové opatření je dlouhodobého charakteru. Nejdříve je nutné získat dostatek zkušeností v těchto pracech, vyčlenit a vyvíjet několik pracovníků a dát jim, pokud možno, trvalý pracovní program. Zajistit vybudování takového pracoviště z existujícího počtu pracovníků a při jiných současných úkolech je jistě problémem. Nebylo by však vhodné s jeho řešením čekat až bu-

de zakoupeno snímací zařízení, případně jiná nákladná technika a teprve pak improvizovat v organizaci, technologii, náplni práce a ve všem, co s tím souvisí. Mnohé otázky by mohly být řešeny s dostatečným předstihem a bez mimořádných nákladů. Autorovou snahou bylo dát k řešení těchto aktuálních problémů alespoň několik námětů.

L I T E R A T U R A

- [1] Kuska F., Kartometria, Bratislava, 1956
- [2] Kovářík J., Úvod do kartometrie, SNTL Praha, 1956
- [3] Informační systémy, Sborník referátů z mezinárodní konference o mechanizovaném ukládání, vyhledávání a rozšiřování informací, ČTK, 1968
- [4] Cigánik M., Informačné fondy vo vede, technike a ekonomike, Matica slovenská, Martin 1969
- [5] Buslenko N. P., Šrejder J. A., Stochastické početní metody, SNTL Praha, 1965
/český překlad/.

Došlo dne 22. 12. 1971

Zkrácení barevné stupnice při tisku map

Referát přednesen na kartografickém semináři VAAZ - K 23 v Brně ve dnech 14.–15. října 1971

Vynález kamenotisku, jehož využití vyvrcholilo v 19. století, umožnil masovou výrobu vícebarevných tisků, při nichž bylo použito velkého množství barev, dvanácti až šestnácti, někdy i více. Pro každý barevný tón předlohy se musela zhotovit samostatná tisková forma. Růst produkce byl zabezpečován zdokonalováním tiskových strojů, zavedením fotomechanických přenosů při zhotovení tiskových forem, novými materiály pro tiskové formy a použitím nové tiskové techniky - ofsetu. Již na přelomu 19. a 20. století dochází k dalšímu zrychlení produkce zavedením tří- a čtyřbarvotisku, jehož zásady jsou dodnes platné u všech tiskových technik. Ofsetová produkce však ještě nedávno potřebovala při zhotovení barvotisku větší počet barev, zpravidla šest až osm, aby se touto tiskovou technikou docílilo podobného účinku, jako má čtyřbarevný knihtisk nebo hlubotisk.

Použití čtyř barev místo obvyklých šesti až osmi přináší značné ekonomické úspory, neboť uvolňuje 30-50% kapacity tiskových strojů a kopírny tiskových desek. Kvalita soudobého čtyřbarevného ofsetu je vysoká a prakticky srovnatelná s výsledky čtyřbarevného knihtisku. Je to způsobeno dokonalou stabilizací celého procesu, použitím čistých a zářivých tiskových barev, dále použitím kvalitních papírů a jemných sítí. Tiskovou formou pro dokonalý čtyřbarevný ofset nemůže však být zrněná zinková deska, ale buď vícekovová forma /Cu, Cr/ nebo velmi jemně připravená eloxovaná hliníková deska. Hladkost povrchu těchto tiskových forem zaručuje tvorbu dokonale ostrého tiskového elementu - puntíku, neporušeného zrnem, takže nedochází k tónovým a gradačním ztrátám. Uplatněním všech těchto zásad dospěl v současné době čtyřbarevný ofset k tomu, že je po stránce kvality ekvivalentní čtyřbarevnému knihtisku.

Princip tříbarvotisku spočívá v tom, že pomocí tří čistých základních barev

/žlutá, červená, modrá/ lze subtraktivním mísením zhotovit všechny barevné tony. Věrné podání černé barvy tříbarvotiskem je velmi obtížné a vyžaduje přesné vzájemné sladění podílů tří zcela čistých základních barev. Kromě toho hmotné tiskové barvy postrádají čistotu spektrálních barev, takže prakticky nelze dosáhnout smísením podílů tří základních barev barvy černé. Proto ve všech tiskových technikách při rozmnožování barevných polotonových obrazů se používá čtyřbarvotisku, v němž je na rozdíl od tříbarvotisku zařazena samostatná černá barva.

Tiskové barvy používané při tří- a čtyřbarvotisku jsou normalizovány podle norem jednotlivých států. Jako základních barev se používá žluté, purpurové a modrozelené; z nich se s tiskem vytvářejí směsné barvy prvního řádu - červená, modrá a zelená. Normalizované barvy se vyznačují vysokým stupněm čistoty, transparentí a sytostí; blíží se k ideálním primárním barvám. V současné době existuje určitý počet barevných stupnic, jednou z nejznámějších je německá stupnice DIN 16 508 /knihtisk/ a 16 509 /ofset/. Německá stupnice obsahuje zelenavě žlutou, modravou purpurovou a zelenavou azurovou; v řadě evropských zemí se dává přednost stupnicím se základními barvami: červenavě žlutá, žlutavě purpurová a modravě azurová. Evropská technická komise pro tiskové barvy schválila po důkladném průzkumu novou evropskou normu, která byla v NSR zveřejněna jako návrh normy DIN 16 538. U základních barev této normy a směsných barev prvního řádu byly stanoveny kolorimetrické souřadnice; barvy byly vytištěny na normalizovaný papír při tloušťce vrstvy $1 \mu\text{m}$. Současně byly určeny maximálně přípustné tolerance od středních hodnot kolorimetrických souřadnic. Podle této normy jsou všechny státy schopny vyrobit normalizované barvy odpovídající jednotným podmínkám.

Jak již bylo řečeno, vývoj barvotisku v polygrafii směřoval u všech tiskových technik ke tří- a čtyřbarvotisku. Tento způsob se stal dominující technologií v polygrafické výrobě a pouze malý objem produkce je tištěn více barvami. Do této oblasti polygrafické produkce patří i výroba map, i když se v různých státech i u nás postupně přechází na využití zkrácené barevné stupnice. Dosud se však mapy tiskly pomocí vysokého počtu tiskových barev, což je finančně i časově nákladné. Kartografie stojí dnes před otázkou, zda a do jaké míry lze i při tisku map uskutečnit redukci počtu tiskových barev a tisknout mapy čtyřbarvotiskem. Problém se dotýká velkého počtu topografických a tématických map a pro jeho řešení je třeba vytvořit určitou koncepci.

Je třeba říci, že odpověď na uvedenou otázku je všeobecně kladná, i když je řada problémů, které je třeba vyřešit.

Důvodem, zejména technickým, proč se zkrácená barevná stupnice dosud v kartografii neprosadila v takové míře jako v jiných oblastech polygrafie, je v první řadě různorodost map a jejich odlišnost od převládající polygrafické produkce. Dalším důvodem je značné zaostávání kartografické techniky za moderní polygrafickou technikou a určitý konzervatismus pracovníků v kartografii.

Výchozím bodem pro nalezení všeobecných zásad při redukci počtu barev map je odlišnost většiny vícebarevných map od běžné vícebarevné polygrafické produkce. Rozdíly mezi vícebarevnou mapou a obrazem jsou zejména tyto:

1/ Mapa má pérový charakter, jejími základními elementy jsou jemné, ostře ohraničené pestré čáry, zatímco vícebarevný obraz má charakter polotónový a jeho základním elementem jsou pestré plochy.

2/ Barvy, které se používají v mapě, slouží ke klasifikaci a rozlišení jejího obsahu; u barevného obrazu, který má být co do barevného podání maximálně shodný s předlohou, vytvářejí se syntézou tří základních barev barevné tóny, z nichž se skládá obsah obrazu.

3/ Jednotlivé části obsahu mapy se zpravidla vyhotovují černobíle v podobě kartografického originálu a teprve při tisku jsou vyjádřeny barevně. U barevného polotónového obrazu jde o fotografickou analýzu barev předlohy a při tisku o jejich syntézu.

Kromě těchto hlavních rozdílů můžeme nalézt při srovnání mapy a barevného obrazu společné vlastnosti, které dávají podnět k redukci barevné stupnice při tisku map:

1/ Mapy i barevné obrazy se tisknou stejnými nebo podobnými barvami.

2/ Kromě čárových elementů obsahují mapy i pestré plošné elementy.

3/ Pro vyjádření pestrých ploch v mapě i obrazu se používají rastry, i když způsob jejich aplikace je různý.

4/ Reprodukční postupy užívané při výrobě map /např. fotoreprodukční a fotomechanické/, nátisk a způsob tisku na ofsetových strojích jsou v podstatě založeny na stejném principu jako metody užívané při reprodukci a tisku barevných obrazů.

Uvážíme-li rozdílnost i shodnost a podobnost jednotlivých faktorů, charakte-

ristických pro mapu i barevný obraz a způsoby rozmnožování těchto předloh, pak musíme připustit, že zejména u našich topografických map zpracovávaných podle klíče TOPO-4-1, se přímo nabízí zavedení redukované stupnice barev.

Společným rysem mapy i obrazu je barva, i když má často rozdílnou úlohu. Dominujícími barvami při tisku barevných obrazů jsou žlutá, červená, modrá a černá, tj. barvy, které se v plné míře uplatňují i u topografických map. Tyto barvy tvoří redukovanou barevnou stupnici; pomocí nich lze snadno vytvořit i směsné barvy, používané k znázornění pestrých ploch - plošných elementů map: oranžovou, zelenou, fialovou.

Při tisku map se zpravidla zatím nepoužívají normalizované barvy pro čtyřbarvotisk a to proto, že tyto barvy slouží např. u čtyřbarevného ofsetu k vyjádření polotónů barevného obrazu syntézou jejich podílů a nikoliv ke klasifikaci a k rozlišení obsahu mapy. Elementy mapy jsou zatím znázorňovány spíše červenavě žlutou, oranžovou a modrou, než zelenavě žlutou, purpurovou a modrozelenou. Pro tisk hnědých, fialových a zelených elementů se dosud používají vlastní barvy. V tiskařské praxi je zatím nesnadné docílit přesný tříbarevný soutisk čar silných 0,1 mm, rozložených rastrem a vkopírovaných do tří tiskových desek základních barev. Důvodů k tomu je několik - rozměrová nestálost tiskových podkladů, rozměrová deformace papíru při ofsetovém tisku, přesnost tiskového stroje apod. Pokud tedy máme přísné požadavky na ostrost čar, vyjádřené maximální odchylkou v poloze jednotlivých barev $\pm 0,1$ mm, a nemůžeme-li je splnit, pak nebudeme vytvářet barevný odstín jemných čar přetištěním podílů tří základních barev.

Z této skutečnosti vyplývá první poučka všeobecné koncepce pro redukci tiskových barev při výrobě map: jemné pestré čáry obsahu mapy včetně jemného písma a číslic nebude obvykle možné vytvořit ostře vzájemným přetištěním příslušných podílů základních barev.

Jak tedy lze vytvořit při použití zkrácené stupnice barev takové elementy obsahu mapy, jakými jsou např. vrstevnice?

V řadě případů budeme nuceni použít jednu z tiskových barev, které jsou obsaženy v redukované stupnici, pokud tato barva bude v souladu se zavedenou koncepcí barevného vyjádření obsahu map. V případě vrstevnic u map, pro něž je vzorem barevnosti klíč TOPO-4-1, se jejich barva příliš neliší od oranžové barvy výplně komunikací I.

a II. třídy. Pro znázornění vrstevnic se proto zdá únosné použít barev spadajících do červené oblasti zkráceného spektra. Může to být tedy červená, oranžová nebo purpurová. Volba barvy pro znázornění vrstevnic bude tedy závislá na tom, jaká stupnice základních barev bude přijata. Kromě stupnice složené ze žluté, purpurové a modrozelené barvy, jsou možné určité modifikace, jako např. již vzpomenutá zelenavě žlutá, modravá purpurová, zelenavě azurová, nebo červenavě žlutá, žlutavě purpurová a modravě azurová, nebo žlutá, červená a modrá. Abychom mohli vybrat stupnici barev, jejichž barevný tón a tón směsných barev by nejlépe vyhovoval pro vyjádření obsahu map, museli bychom zhotovit celou řadu směsných schémat při použití rastrů různých tónových hodnot a různých stupnic základních barev. Z takových schémat by se jistě vybraly nejvhodnější barvy základní stupnice a jejich kombinace pro vyjádření všech elementů náplně map.

Neuspokojí-li v jednotlivém případě barvy redukované stupnice, pak by bylo nutné použít pro daný element obsahu mapy vlastní barvu, ovšem za cenu zvýšení počtu barev, jimiž by byla mapa tištěna.

Mapy obsahují velké množství pestrých ploch. Pro jejich znázornění se většinou používá vlastních barev, přestože se zde přímo nabízí metoda vzájemného přetištění rastrových podílů normalizovaných barev. Tímto způsobem je možné získat barevné odstíny do značné míry blízké vzorům barevnosti obsaženým ve značkovém klíči. U pestrých rastrových ploch není všeobecně na závalu nižší obrysová ostrost v protikladu s čárovými elementy.

Jistě existují i další důvody pro skutečnost, že se dosud při tisku map nepoužívá redukované stupnice barev k vytvoření pestrých ploch přetištěním rastrových podílů základních barev, např.:

1/ Používají-li se k barevnému vyjádření obsahu map základní barvy, které se vyznačují většími odchylkami od středních hodnot normalizovaných barev, pak nezískáme čisté směsné barevné tóny prvního řádu. Např. při použití červenavě žluté a červenavě modré nevzniká čistá a zářivá zelená, ale do určité míry zašpiněná a tupá v důsledku zvýšeného podílu červené v obou barvách.

2/ Zhotovení tiskových podkladů map je náročnější o vkopírování a současné rozrastrování jednotlivých barev, z nichž má být vytvořena určitá pestrá plocha.

3/ Pro rastrování musí být k dispozici řada kopírovacích bodových rastrů vel-

kého formátu, zhotovených v různých tónových hodnotách /např. 10% až 90%/ pro různé úhly natočení sítě. Zhotovení takových rastrů není jednoduchou záležitostí.

4/ Některé faktory mohou způsobit malé zesvětlení nebo ztmavění barvy; na to má vliv tvar pigmentu, druh pojidla barvy a i určité minimální množství pigmentů černých, které jsou obsaženy ve většině tiskových barev. Při tisku jedné barvy jsou vlivy těchto faktorů nepostřehnutelné, při tisku více barev se příslušné jevy sčítají, což je viditelné při srovnání se samostatnými barvami téhož barevného odstínu.

5/ Omezením pro používání normalizované stupnice barev při tisku topografických map je také skutečnost, že většina purpurových pigmentů se rozpouští v lihu a v acetonu; základní barvy vyrobené z takových pigmentů se nemohou lakovat lihovými laky ani nitrolaky.

Pro pestré plochy map platí, že mohou být tištěny buď plným tónem některé z barev, obsažených v redukované stupnici, nebo vzájemným přetištěním rastrových podílů základních barev.

Pro přechod na zkrácenou stupnici barev je třeba stanovit základní koncepci a vytvořit nutné podmínky. V první řadě se musí zhotovit kopírovací bodové rastry odstupňované např. lineárně po 10% tónové hodnoty, nebo s použitím logaritmické stupnice /např. pro hypsometrii, kde se vyžaduje, aby přírůstky optických hustot se jevily oku jako stejnoměrně odstupňované/. Tyto rastry lze zhotovit pomocí kontaktních polotónových sítí nebo skleněných projekčních rastrů. Použití kontaktních rastrů je podmíněno kopírovacím zařízením, které zaručuje stejnoměrné osvětlení celé plochy rastru. Abychom dosáhli požadované vykrytí rastrové plochy v%, musíme použít měřičky postihnutelné metody, založené na znalosti charakteristiky rastru i fototechnického materiálu. Z hotových bodových kopírovacích rastrů je třeba sestavit tabulku, jejíž jednotlivá pole mají zvolený přírůstek v%, a z těchto tabulek vytisknout normalizovanými /nebo i jinými/ základními barvami redukované stupnice barevná schémata. Z tabulek lze pak vybrat pro vyjádření obsahu map konkrétní barevné odstíny a určit barvy, z nichž jsou tyto odstíny složeny, i jejich rastrové procentové hodnoty.

V závěru je možné konfrontovat uvedené úvahy např. se soudobými mapami měřítko 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000 /klíč TOPO-4-1/. Uvedené mapy jsou tištěny těmito barvami:

černá - polohopis;

oranžová	- výplň bloků s převládajícími ohnivzdornými stavbami, výplň dálnic a silničních komunikací 1. a 2. kategorie;
žlutá	- výplň bloků s převládajícími spalnými stavbami, výplň silničních komunikací 3. kategorie;
hnědá	- vrstevnice
modrá	- břehová čára a výplň vodních ploch /48bodový rastr 1/8 tónu/;
zelená	- výplň ploch lesů, výplň ploch sadů a nízkých porostů /27čárový rastr 1/4 tónu/;
fialová	- označení průsečíků souřad. sítě, lemovka státních hranic /48bodový rastr 1/8 tónu/;
šedá	- stínovaný terén

Obsah mapy je tedy vytištěn osmi tiskovými barvami.

Při použití redukované stupnice barev je možné toto řešení:

1/ Polohopis by se vytiskl plnou černou barvou redukované stupnice tiskových barev.

2/ Výplň dálnic, silničních komunikací 1. a 2. kategorie a bloků s převládajícími ohnivzdornými stavbami se vytiskne purpurovou /červenou/ barvou redukované stupnice. Purpurovou barvu je možné převést na červený až oranžový tón kombinací se žlutou barvou /kombinace plné barvy a barvy rozložené bodovým rastrem/.

3/ Výplň silničních komunikací 3. kategorie a bloků s převládajícími spalnými stavbami se vytiskne plnou žlutou barvou redukované stupnice. V případě potřeby je možné zesvětlit tuto barvu pomocí rastru o vhodné tónové hodnotě.

4/ Vrstevnice se vytisknou barvou obsaženou v redukované stupnici, tj. purpurovou /červenou/.

5/ Břehové čáry se vytisknou plnou modrozelenou /modrou/ barvou redukované stupnice; pro výplň vod by se u téže barvy zvolil rastr o vhodné tónové hodnotě.

6/ Zelená barva výplně lesů se docílí vzájemným přetištěním rastrových podílů základních barev redukované stupnice. Pro znázornění ploch sadů a nízkých porostů lze použít nižší procentové tónové hodnoty rastrů žluté a modrozelené barvy.

7/ K vyznačení průsečíků souřadnicové sítě se použije plné purpurové barvy redukované stupnice. Jelikož se jedná o elementy dostatečně tlusté, mohl by se docí-

lit fialový odstín soutiskem rastrových podílů purpurové a modrozelené barvy. Le-
movka státních hranic by se vyjádřila tímž způsobem.

8/ Stínovaný terén by bylo nutné znázornit černou tiskovou barvou zesvětlenou
rastrem; v případě potřeby by se tato barva mohla kombinovat i s rastrem modroze-
lené barvy.

Při realizaci tohoto postupu by se stupnice barev zkrátila z původních osmi na
čtyři, což by znamenalo 50% úsporu tiskové kapacity ofsetových strojů. Je zřejmé,
že tato úprava by do určité míry ovlivnila celkový vzhled mapy; rozhodně by však
nebyla zřetelně snížena její čitelnost.

To je jedno z řešení, které je zde navrhováno jako možné, nikoliv jako nutné.
Je pochopitelné, že konečné řešení může být přijato až na základě komplexního vý-
zkumu. Konečné rozhodnutí bude možné vyslovit teprve po konfrontaci názorů od-
borníků a ekonomů. Výsledkem výzkumné práce by měly být tabulky soutisku dvou
a tří barev /kombinace/ pomocí rastrů o různých tónových hodnotách, stupnice jed-
notlivých barev a vzorové výtisky map vytištěných novou technologií. Tyto výtisky
spolu s ekonomickým rozbohem by byly kritériem, které by rozhodlo o aplikaci re-
dukované stupnice při tisku topografických a tématických map.

Používání velkého počtu barev při tisku map je krajně nevhodné; ekono-
mičtí pracovníci našich ústavů by hravě vypočítali časové i finanční úspory způsobené
přechodem na zkrácenou barevnou stupnici. Tisk topografických map pomocí redu-
kované stupnice barev by se výrazně uplatnil při použití čtyřbarevných ofsetových
strojů, na které se dnes v polygrafii všeobecně přechází. Negativní důsledky zkrá-
cené stupnice na barevné vyjádření obsahu map nebudou zřejmě tak závažné, aby sní-
žily jejich hodnotu. O tom se konečně můžeme přesvědčit při posuzování mapy Zá-
padní Evropy 1:250 000, vytištěné černou, žlutou, červenou a modrou barvou.

Domnívám se, že zkrácená barevná stupnice se při tisku map nutně prosadí,
i když jsme zatím jen na začátku cesty. Bylo by žádoucí, aby se odpovědní pracovníci
zaměřili na tuto metodu a vytvořili maximální podmínky pro její realizaci, protože
ekonomická stránka výroby map hovoří jednoznačně ve prospěch této pokrokové
technologie.

Světelné zdroje ve fotomechanickém procesu

Ú V O D

K osvitu citlivých fotomechanických vrstev je nutné použít zdroje aktinického záření, které v nich způsobí fyzikálně chemické změny v požadovaném stupni. Volba světelného zdroje je především závislá na spektrální citlivosti fotomechanických vrstev. Světelný zdroj má vykazovat vysoký světelný tok při co nejnižším vývinu tepla. Propustnost skel používaných u fotomechanických zařízení má být v hlavní emisní oblasti zdroje popř. v oblasti maxima spektrální citlivosti fotomechanické vrstvy.

V současné době se v našich provozech používají dva druhy fotomechanických vrstev:

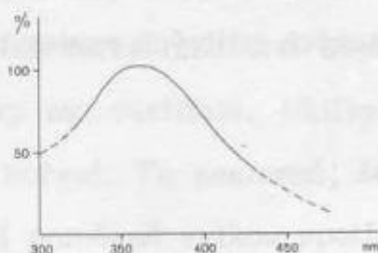
1/ klasické vrstvy obsahující chromanové makromolekulární koloidy, jako např. chromovaná arabská klovatina,

2/ moderní vrstvy, tvořené jen organickým nízkomolekulárním sensibilizátorem, který účinkem světla mění svoji rozpustnost. Tyto organické sloučeniny nemohou obvykle samy o sobě vytvořit podmínky pro dobrý příjem a přenos barvy při offsetovém tisku. Proto se tyto látky obvykle kondenzují se syntetickými pryskyřicemi. Příkladem takové vrstvy je u nás užívaný Diazolit.

Spektrální citlivost chromovaných koloidů leží v rozsahu 350 - 450 nm. Extrémní krajní hranice zjištěné laboratorně jsou u neupravených vrstev mezi 320 nm a 580 nm. Spektrální citlivost chromovaných koloidů lze rozšiřovat do zelené i žluté oblasti sensibilizátory, které však obvykle snižují trvanlivost citlivého roztoku. Maximum spektrální citlivosti chromované želatiny je při 360 nm a v obou směrech rychle klesá /obr. 1/; totéž platí o chromovaném bílku.

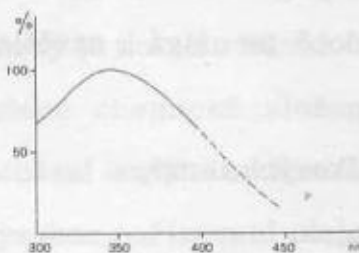
Spektrální citlivost Diazolitu je závislá na použité diazosloučenině. Téměř všech-

ny diazosloučeniny jsou žluté nebo žlutozelené barvy a absorbují v oblasti mezi 300 - 450 nm. Na obr. č. 2 je vyjádřena spektrální citlivost Diazolitu, jejíž maximum leží pravděpodobně při 350 nm.



Obr. 1

Citlivost chromované želatiny



Obr. 2

Citlivost diazolitů

Při osvitu fotomechanických vrstev v rámu přes krycí sklo dochází ke ztrátám zářivé energie, protože sklo všeobecně pohlcuje ultrafialové záření v závislosti na vlnové délce záření, na složení a tloušťce skla. Např. normální sklo o tloušťce 1 cm pohlcuje 20 - 50% záření o délce vlny 360 nm. Naproti tomu tzv. uviolové sklo /s velkým obsahem křemičitanů/, z něhož se vyrábějí baňky nebo trubice některých výbojek, propouští záření podstatně kratších vlnových délek. Uviolové krycí sklo kopírovacích rámců zkracuje pak osvit až o jednu polovinu při použití ultrafialového zdroje záření.

Z těchto vlastností fotomechanických vrstev a z ostatních podmínek pro fotomechanický proces plynou tyto požadavky na světelný zdroj užívaný ke kopírování:

- musí dávat světlo silně aktinické, aby vzhledem k použité vrstvě docházelo k úplné fyzikálně chemické změně vrstvy v krátkém čase, t.j. musí vyzářit velkou světelnou energii na jeden Watt;
- musí mít správné spektrální složení, t.j. maximum energie vyzářit na vlnových délkách, při kterých jsou vrstvy nejcitlivější;
- musí být co nejeekonomičtější, t.j. spotřebovat málo elektrické energie;
- nemá vyžadovat žádné pomocné provozní materiály /uhlíky, filtry/;
- musí být zdravotně co nejméně závadný. Nemá produkovat kouř, prach, velké teplo a podobně.

Při vojenských aplikacích přistupují ještě tyto faktory:

- zdroj musí být otřesuvzdorný,
- musí umožňovat rychlé a jednoduché opravy,
- výroba má být tuzemská /nebo z produkce států Varšavské dohody/,
- musí umožnit kopírovat v krátké době najednou 4 - 6 kovolistů A3.

V současné době se užívá k osvětlení fotomechanických citlivých vrstev těchto zdrojů světla:

1. obloukových uhlíkových lamp,
2. xenonových výbojek,
3. zářivek,
4. rtuťových výbojek.

1. Obloukové uhlíkové lampy

Byly v posledních letech značně zdokonaleny. Vysoce aktinické světlo vyzařované z oblouku mezi dvěma uhlíky má barevnou teplotu v rozmezí 5000 - 6000°K a podobá se světlu dennímu. Jeho spektrální složení je celkem jednotné přes celý viditelný úsek, se slabým spektrálním posunem do úseku modrozelené barvy a značně zmenšenou intenzitou červené barvy. Skutečné spektrální složení světla je však závislé jednak na povaze solí přidávaných do jádra uhlíku, jednak na délce oblouku mezi uhlíkovými elektrodami. Poměděním uhlíků můžeme docílit vlnové délky až 180 nm. Ultrafialové záření však nelze pro osvit plně využít, neboť je silně pohlcováno sklem kopírovacího rámu. Sklem /v závislosti na jeho tloušťce a složení/ proniká ještě UV záření délky 360 - 370 nm. Proto volíme pro osvit fotomechanické vrstvy světlo modro-bílé a modré, které je dostatečně aktinické a jehož intenzita není sklem kopírovacího rámu zmenšována.

Uhlíková lampa má ale mnohé nedostatky. S měnící se délkou oblouku, která je závislá na příkonu ze sítě, mění se i zbarvení světla během osvětlení.

Čím větší je příkon, tím více se prodlouží oblouk mezi uhlíky, čímž se zvětší intenzita světla v modrofialové a modré oblasti.

Snížení příkonu, způsobené kolísáním napětí v síti, se projeví zmenšením, tedy i zkrácením oblouku s přechodem barevného složení světla z úseku ultrafialového a modrého na úsek žlutý a červený, ke kterému jsou fotomechanické vrstvy jen málo

citlivé. Vlivy změn v intenzitě osvětlení lze vyloučit použitím světelného integrátoru /Visomat/. Také obloukové lampy s elektromotorickým posunem uhlíků dávají stálejší světlo a méně se u nich projeví kolísání napětí v síti.

Nedostatkem uhlíkových lamp je, že se po jisté provozní době začínají projevovat poruchy v systému elektromotorického nebo elektromagnetického posunu uhlíků. Vzniká velké množství kouře a prachu, který je nutno odsávat - z toho plynou požadavky na ventilaci. Uhlíky nemají zaručené chemické složení a tím i vlastnosti při hoření. To znamená, že spektrální složení světla se tím mění. Uhlíkové lampy mají poměrně velkou spotřebu uhlíků a vysokou pořizovací cenu. Nejsou domácí výroby - musí se dovážet! Kromě toho mají vysokou spotřebu elektrické energie.

Některé charakteristiky uhlíkových lamp podle Ivanova:

typ obloukovky	světelný tok /l/	jas /10 ⁸ nt/	měrný výkon /lm/W/	životnost bez regulace /h/
s čistými uhlík. elek.	700 - 8500	1 - 1,5	3,5 - 10	6 - 25
s magnet. katodou	5000 - 12 000	-	15 - 24	4 - 6
s elektrodami z karbidu titaničitého	5000 - 9000	-	21 - 25	3 - 5
projekční normální	10 000 - 15 000	1 - 2	10 - 12	-
projekční intenzivní	18 000 - 20 000	4 - 15	14 - 15	-

2. Xenonové výbojky

se vyrábějí pro příkon 3000 W, 6000 W, 9000 W, 12 KW, 18KW, 24 KW. Spektrální složení záření zahrnuje celý rozsah viditelného záření /350 nm - přes 800 nm/ s podílem v dlouhovlnné ultrafialové oblasti a s větším podílem v infračervené oblasti - z toho důvodu vyžadují tyto lampy většinou vodní chlazení.

Svojí velkou světelnou intenzitou zkracují dobu osvětlení na minimum. Světlo xenonové výbojky má nejen velkou intenzitu, ale i vhodnou barevnou teplotu /6400° K/ a velmi se podobá dennímu světlu. Barevná teplota nepodléhá výkyvům proudu ani stárnutí. Měrný výkon je přibližně 35 lm/W; světelný tok je pro 2000 W xenonovou výbojku přibližně 60 tisíc lm. Pro 6000 W xenonovou výbojku je to přibližně 210 000 lm. Je to ideální zdroj světla. Jeho hlavními nedostatky jsou vysoké pořizovací náklady,

složitá instalace /vodní chlazení/ a skutečnost, že jsou výhradně zahraniční produkce.

3. Zářivky

Pro kopírování na fotomechanické citlivé vrstvy se užívá modrobílých zářivek. Zářivky s denním světlem se nehodí, protože maximum energie vyzáří v oblasti žlutozelené a červené. Seřadí-li se větší počet zářivek vedle sebe, vytvoří se plošné osvětlení. Tento druh světla se ujal pro svoji nízkou intenzitu a jistě nepohodlí práce jen jako nouzové řešení při nedostatku jiného druhu osvětlení. Nebudeme se tedy s ním v tomto článku zabývat.

4. Rtuťové vysokotlaké výbojky

Rtuťových vysokotlakých výbojek vhodných k osvětlování fotomechanických citlivých vrstev se dnes ve světě vyrábí velké množství, přibližně 60-70 druhů.

V tomto článku popíšeme několik druhů vysokotlakých rtuťových výbojek domácí výroby, které splňují požadavky kladené na světelné zdroje ve fotomechanickém procesu.

U nás výbojky vyrábí n. p. Tesla Praha-Holešovice v mnoha modifikacích. Výbojky mají křemenný hořák válcového tvaru, který je naplněn argonem o tlaku 20 mm Hg a přesně odváženým množstvím rtuti. V hořáku jsou dvě hlavní a dvě zapalovací elektrody. Hlavní elektroda má tvar stupňovité spirály z wolframového drátu. V jejím středu se nachází spirálka pomocné elektrody s nanesenou emisní pastou. Zapalovací elektrody jsou spojeny vždy s protilehlou hlavní elektrodou přes odpor 10-20 k Ω . Teplota na povrchu hořáku dosahuje až 700°C. Hořák v baňce upevňují niklové dráty. Prostor mezi vnější baňkou a hořákem vyplňuje kysličník uhličitý o tlaku pod jednu atmosféru.

Rtuťové vysokotlaké výbojky výroby n. p. Tesla použitelné pro fotomechanické aplikace jsou tyto:

A/ RVL 80 W, 125 W, 250 W, 400 W, 1000 W

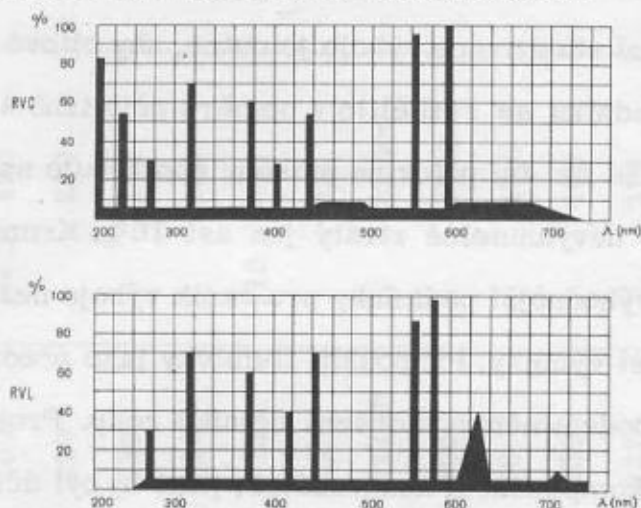
RVC 80 W, 125 W, 250 W, 400 W, 1000 W

B/ RVI 400 W, 2000 W

C/ RVK 125 W, 250 W, 400 W

Pro střední a větší provozy se nehodí výbojky pod 250 W.

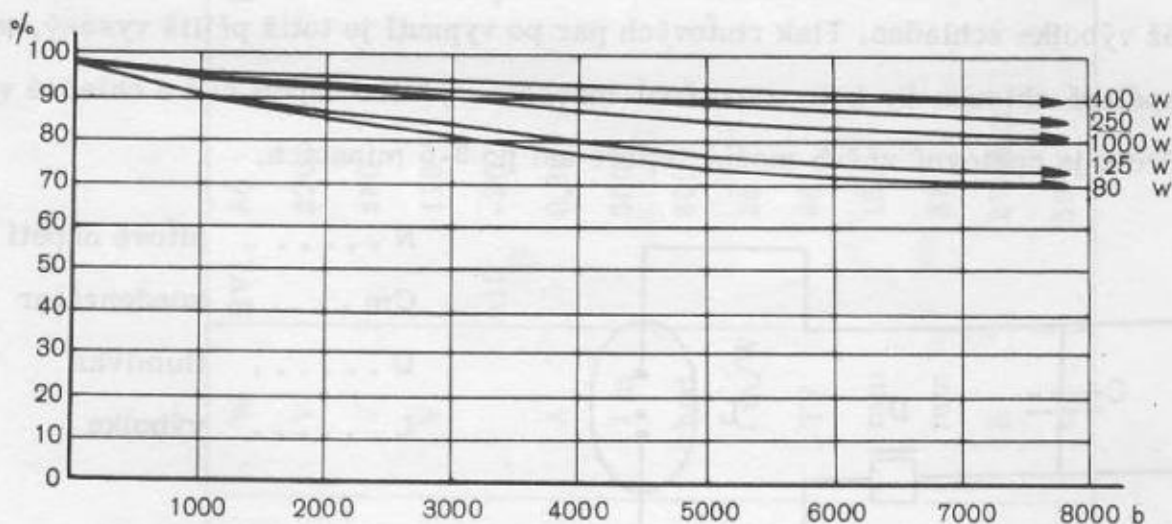
A/ Výbojky RVL a RVC se liší od sebe toliko tím, že výbojky RVL mají na vnější baňce zevnitř nanesen luminofor /obyčejně ortofosfát/, který zvyšuje podíl červeného světla, kdežto RVC ho nemají a tím i spektrum vyzařované energie je posunuto více do kratších vlnových délek /viz obrázek č. 3/.



Obr. 3 Graf vyzařované energie RVC a RVL výbojek

Ostatní parametry výbojek jsou totožné.

Provoz výbojek je vysoce ekonomický, neboť mají vysokou světelnou účinnost, dobrou životnost /viz obr. č. 4/, snadnou instalaci, nízkou pořizovací cenu a spolehlivé použití při nízkých teplotách.



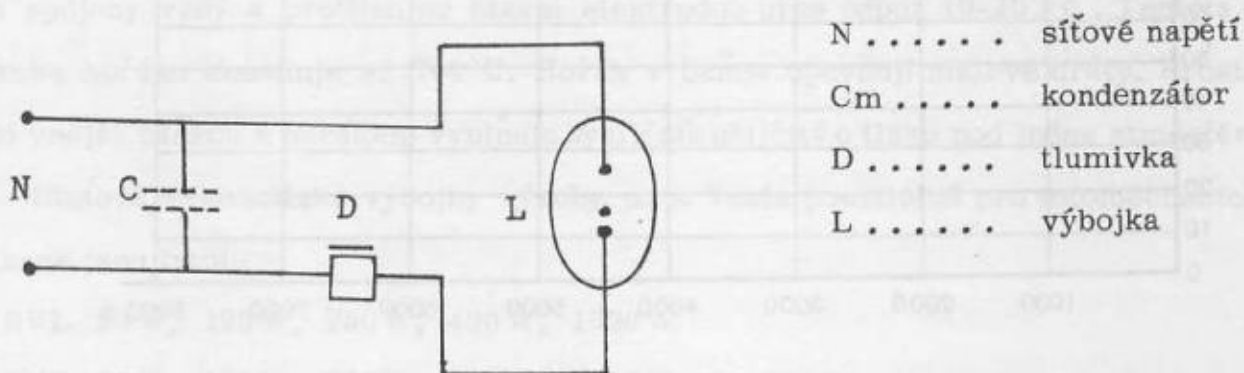
Obr. 4 Graf životnosti výbojek

Výbojky se nesmějí zapojovat na síťové napětí přímo, nýbrž přes předřadník. Předřadník je zařízení, které reguluje proud a zajišťuje stabilitu výboje. Příznačnou vlastností výbojky je totiž záporná impedační charakteristika, tzn., že odpor výboje

klesá s rostoucím proudem. Při přímém zapojení na síť by proud výbojky bez předřadníku velmi rychle stoupl na nepřijatelnou hodnotu a došlo by k jejímu zničení. Zařadíme-li do série s výbojkou tlumivku nebo ohmický odpor, nastaví se pracovní bod výbojky na impedační charakteristice automaticky na hodnotu jmenovitého proudu a tam se udržuje. K dosažení stabilizace výboje je nutné, aby síťové napětí na sériově zapojené výbojce a předřadníku se rozdělilo v poměru přibližně 1 : 1. U ohmického předřadníku to znamená, že se asi polovina příkonu spotřebuje na předřadníku. Při použití tlumivky činí tyto nevyhnutelné ztráty jen asi 10%. Kromě toho při použití tlumivky jsou vytvořeny výhodnější podmínky pro vznik výboje než při použití odporu, což má vliv na životnost výbojky. Při použití tlumivky jako předřadníku dojde vlivem induktivní zátěže k podstatnému zhoršení účinníku $\cos\varphi$. Proto je nutno zapojit na místě kondenzátoru C kompenzační kondenzátor, jímž by byl účinník zlepšen alespoň na 0,9. Při zapojení výbojky na síťové napětí se začne vypařovat rtuť kondenzovaná na stěnách trubice a tlak rtuťových par postupně narůstá na plnou hodnotu.

Při tomto procesu nabíhání výbojky se mění proud a napětí na oblouku, příkon i vyzařovaná energie. Teprve po 3 - 5 minutách je všechna rtuť ve výbojce vypařena a výboj dosahuje ustálených parametrů s plným zářivým výkonem.

Při vypnutí výbojky není možno opětovným zapnutím dosáhnout nového zážehu dříve než výbojka zchladne. Tlak rtuťových par po vypnutí je totiž příliš vysoký, takže k zapálení oblouku by bylo zapotřebí mnohem vyššího napětí než u chladné výbojky. Proto je opětovný zážeh možný teprve asi po 3-5 minutách.



Obr. 5 Schéma zapojení

B/ Halogenové vysokotlakové rtuťové výbojky RVI 2000 W a 400 W.

Výbojky RVI mají o 50% vyšší měrný výkon než běžné rtuťové výbojky stejného

Technická data :

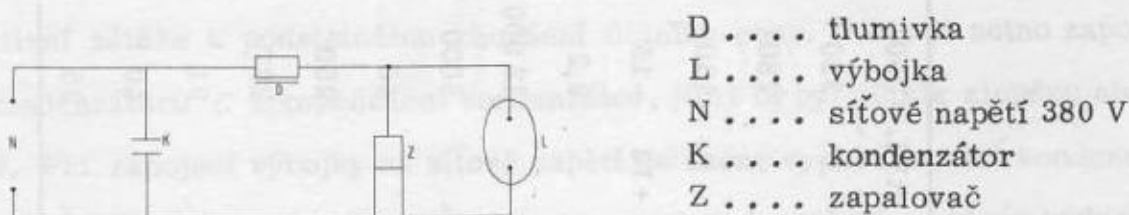
typ, příkon	W	RVL 80	RVL 125	RVL 250	RVL 400	RVL 1000
jmenovité napětí	V	220	220	220	220	220
zápalné napětí	V	180	180	180	180	180
obloukové napětí	V	115	125	130	135	145
		+10	+10	+10	+10	+10
proud jmenovitý	A	0,80	1,15	2,2	3,2	7,5
světelný tok	l m	3000	5400	12 000	22 000	52 000
životnost	hod.	8000	8000	8000	8000	8000
měrný světelný tok	l m/W	28	36,8	40	47,5	51
tlumivka k výbojce	TV	80	125	250	400	1000
celková délka max.	mm	165	184	227	292	410
průměr max.	mm	81	91	91	122	181
patice	E	27/B22	27/B22	40	40	40
balení v kartonu	ks	50	50	25	16	1

Obr. 6 Technická data výbojek

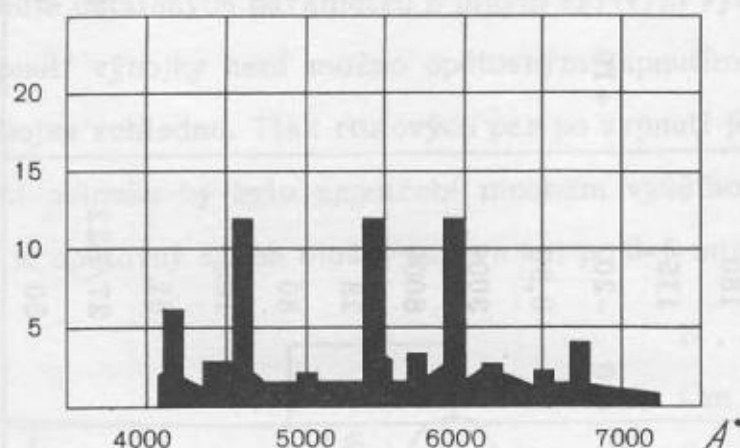
příkonu. Jodové příměsi způsobují lepší barevné podání než vykazují prosté rtuťové výbojky.

typové označení	napětí /V/	svět. tok /lm/	rozměry prům. délka	patice	l m/W
RVI 400	220	33 000	90 280	E 40	47,5
RVI 2000	380	190 000	100 430	E 40	95

Halogenová výbojka RVI 2000 W má o 70% vyšší světelný tok než normální rtuťové výbojky stejného příkonu. Poloha výbojky při svícení je vodorovná. Životnost je asi 2000 hodin.



Obr. 7 Schéma zapojení výbojky RVI 2000 W



Obr. 8 Spektrální složení světla výbojky RVI 2000 W

Vzhledem k spektrálnímu složení světla výbojky, které je podobné slunečnímu světlu, bylo by možné použít ji za jistých podmínek jako světelný zdroj pro reprodukční fotografii.

C/ Vysokotlaké rtuťové výbojky RVK jsou určeny pro použití v horských sluncích. Vyzařují převážně v UV oblasti. U výbojek typu RVK je nejvíce využito pásmo UV mezi 315 - 400 nm, kde leží fotomechanické maximum u 360 nm. Nevýhodou těch-

to výbojek pro praktickou aplikaci je, že při jakémkoli zacházení je nutno užívat ochranných brýlí, které nepropouštějí UV záření.

Několik poznámek k praktickým aplikacím výbojek

V posledních letech se ustálil názor, že pro osvit pérových a autotypických kopií je nejvhodnější světelný zdroj "bodový", kterým vznikne přesná reprodukce kresby s ostrými okraji. Tento názor způsoboval, že plošné zdroje světla byly zavrhovány a to i ve formě jednotlivých výbojek, t.j. tehdy, když plocha světla činila více než $1 - 2 \text{ cm}^2$.

Skutečné umělé zdroje světla mají konečné rozměry. Bodový zdroj je jenom fikcí, vhodnou pro odvození velice důležitých vztahů platících s dostatečnou přesností pro zdroje reálné za stanovených podmínek.

Za bodový zdroj můžeme považovat např. vlákno žárovky, hořák výbojky a pod., když jsme od nich dostatečně vzdáleni. Teoreticky by měla být uvažována vzdálenost nekonečná. Pro praktické potřeby výpočtů a měření postačuje až neuvěřitelně malá, 5-10 násobek největšího rozměru zdroje. Například u 400 W výbojky RVC je největší rozměr oblouku asi 70 mm. To znamená, že ve vzdálenosti 70-80 cm můžeme s dostatečnou přesností považovat tento zdroj za bodový.

Tato skutečnost značně zjednodušuje úvahy i potřebné výpočty. Připojíme-li podmínku, že charakteristický vyzařovací úhel vysokotlakých rtuťových výbojek Tesla je přibližně 15° , pak světelné výpočty zdroje k osvětlení rámu se omezí na několik jednoduchých vztahů.

Jsou to zejména :

a/ čtvercový zákon
$$E_1 = E_2 \left(\frac{C_2}{C_1} \right)^2 \quad (lx; m)$$

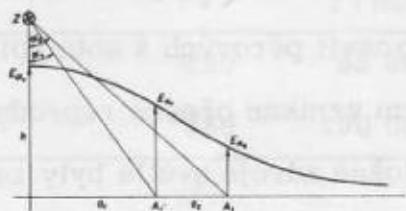
Osvětlení je nepřímo úměrné čtverci vzdálenosti uvažované plochy od světelného zdroje. Za předpokladu, že známe osvětlení E_2 plochy vzdálené od zdroje o C_2 , tato rovnice nám umožňuje vypočítat osvětlení E_1 na rovnoběžné ploše ve vzdálenosti C_1 .

b/ osvětlení vodorovné plochy.

c/ aditivní vztah
$$E = E_1 + E_2 \quad (lx)$$

Celkové osvětlení plochy ze 2 zdrojů světla se rovná součtu osvětlení této plochy od

prvního i druhého zdroje /viz obr. č. 10/. Tyto vztahy nám umožňují provádět libovolné výpočty při tvorbě výbojkového světelného zdroje pro fotomechanický proces.



$$E_{hA} = \frac{I\alpha}{h^2} \cos^3\alpha \quad (Ix; cd; m;)$$

I svítivost zdroje /pro výbojky
 $I = \text{const}/$

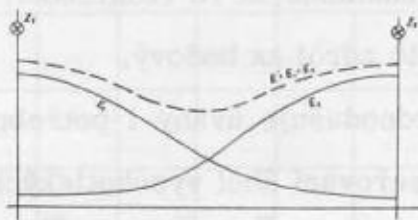
h vzdálenost osvětlované roviny od zdroje

α úhel pod kterým paprsek ze zdroje dopadne na plochu

Obr. 9 Osvětlení vodorovné plochy

Některá kritéria při navrhování plošných svítidel a výbojek.

Ze zkušenosti plyne, že změna expozice o 15-20% při kopírovacích časech 2 - 5 minut na dvojchromanovou, polyvinilalkoholovou a diazolitovou vrstvu se prakticky neprojeví. Je třeba tedy dbát při návržení plošného svítidla, aby podle aditivního vztahu výsledné osvětlení od více zdrojů na styku nepřevyšovalo tuto hodnotu.



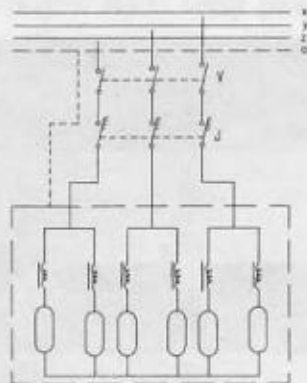
Obr. 10 Graf osvětlení od dvou zdrojů

Aby byl osvětlovací rám světelným zdrojem správně prosvětlen, je třeba, vzhledem k tomu, že osvětlovací zdroj je menší než kopírovací rám, posadit výbojky na takovou křivku, která by podmínky správného osvětlení splňovala.

Jak z teoretického výpočtu, tak i po praktické zkoušce se ukázala z křivek nejvhodnější parabola o rovnici $y^2 = 30x$.

I když výbojky správně pracují i při velkém kolísání proudu, je výhodné /kde je to možné/, zapojit je na třífázový proud. Obrázek č. 11 ukazuje elektrické zapojení osvětlovacího zařízení u našeho útvaru.

Vzhled osvětlovacího zařízení ukazuje obrázek č. 12 a 12a.



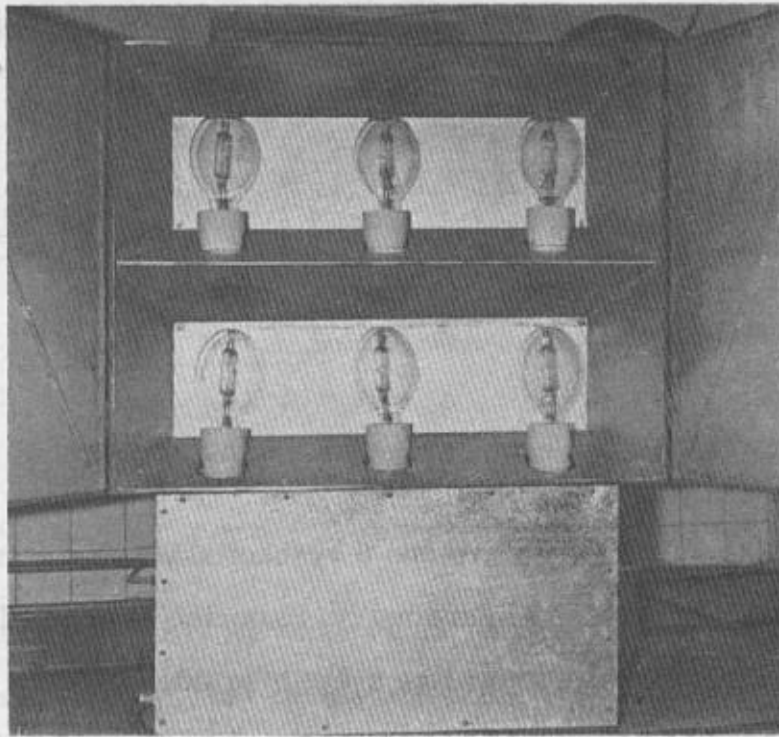
Obr. 11 Schéma zapojení osvětlovacího zařízení

Za základ tohoto svítidla bylo zvoleno 6 vysokotlakých rtuťových výbojek Tesla RVC 400 W, které mají nejvhodnější parametry. Expozice se provádí otevřením a zavřením dvířek. Zařízení lze kombinovat se světelným integrátorem na př. Visomat - pak ale je nutné nahradit dvířka padající roletou. Nemá to ale praktický význam. Tímto zdrojem je možno osvětlovat všechny známé vrstvy. Bylo odzkoušeno, že zdroj ještě naprosto perfektně kopíruje autotypy o hustotě 54 1/cm. Byly též nakopírovány v dostačující kvalitě i rastry o hustotě 100 1/cm.

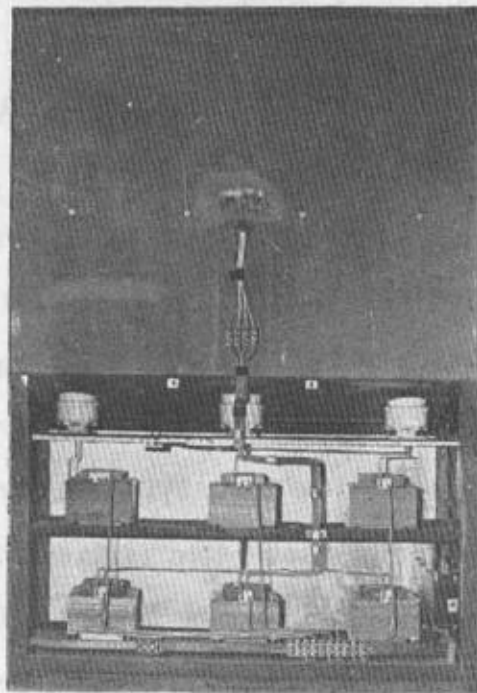
Výhody výbojkového světelného zdroje jsou evidentní. Za jeden rok činnosti osvětlovadlo nezaznamenalo jedinou poruchu /ani výměnu jediné výbojky/.

Světelný tok zdroje je	142 000 lm
najednou lze kopírovat	6 kovolistů A3 za 2-5 min.
z toho plyne rychlost kopírování jednoho kovolistu podle kvality předlohy	za 20 - 50 vteřin
životnost zdroje světla	8000 hodin
nízká pořizovací cena	cca 2000 Kčs
současná cena jedné výbojky	143 Kčs
nízká spotřeba elektrické energie	2,5 kW/h

Proti tříbodové uhlíkové lampě ušetří toto zařízení za rok minimálně 8-10 tisíc Kčs, nevažujeme-li pořizovací náklady /pak by úspora byla ještě vyšší/. Za předpokladu existence tohoto zařízení po dobu 10 let vzrostou celkové úspory na 80-100 tisíc Kčs, a to nevažujeme vůbec čistotu a hygieničnost prostředí, zbytečnost odsávacího a ventilačního zařízení a úspory vzniklé přibližně 500% zvýšením produktivity práce.



Obr. 12 Vzhled osvětlovacího zařízení /pohled zepředu/



Obr. 12 a Vzhled osvětlovacího zařízení /pohled zezadu/

Osvětlovací zařízení z výbojek RVC tedy představuje moderní a výkonný zdroj světla vhodný do všech provozů, kde je třeba vysoký výkon kopírny. Zvláště vhodným se jeví při kopírování na diazolit. Jeho nesporné výhody ho určují jako perspektivní světelný zdroj u nás. Jeho hlavní výhody jsou :

- zařízení je velmi výkonné,
- dává silné aktinické světlo, schopné způsobit potřebné fyzikálně chemické změny u všech používaných fotomechanických vrstev,
- je provozně velmi ekonomické,
- má nízkou pořizovací cenu,
- má relativně nízkou spotřebu elektrické energie,
- je funkčně naprosto spolehlivé,
- není citlivé na kolísání napětí,
- pracuje v teplotách -30°C - $+50^{\circ}\text{C}$,
- při práci nevzniká kouř a prach,
- má jednoduchou konstrukci,
- materiál je výhradně z domácích zdrojů,
- zařízení nevyžaduje k obsluze odborníka a veškeré event. závady jsou snadno opravitelné.

Z Á V Ě R

I když v současné době ve fotomechanických přenosech u nás je hlavním zdrojem osvětlování vrstev oblouková lampa a bude se s ostatními výpomocnými prostředky ještě dlouho užívat, můžeme registrovat, vzhledem k objevení se dokonalejších osvětlovacích prostředků, vývoj dvěma směry.

První je zavádění xenonových výbojek. Tato zařízení jsou ale investičně nákladná a jsou výhradně západní produkce.

Druhý je postupné zavádění rtuťových vysokotlakých výbojek. Pro tento směr mluví hlavně nízké investiční náklady, ekonomický a hygienický provoz a domácí výroba. Rychlý rozvoj výroby a zdokonalování těchto výbojek silně zvyšuje jejich perspektivnost v zavádění do fotomechanických procesů. Zvláště výhodným se jeví zavádění výbojek do kopíren polních souprav útvary VTS.

L I T E R A T U R A

- Buxbaum: Svítící trubice, SNTL Praha 1963
- Gigas: Moderne Chemigrafie in Theorie und Praxis, Frankfurt n/Moh. 1954
- Chaloupka: Elektrické osvětlení v praxi, SNTL Bratislava 1963
- Ivanov: Električeskije istočniki sveta; Goseenergoizdat Moskva, Leningrad 1955
- Ježek, Kosař: Teorie reprodukční fotografie; VAAZ Brno 1963
- Richter: Chemigrafie; SNTL Praha 1960
- Špinka: Osvětlování nádražních ploch; ČMT Praha 1952
- Prospekty n.p. Tesla, Praha-Holešovice

Došlo dne 29. 4. 1971

СОДЕРЖАНИЕ

Вагала: Трансформация мировых геодезических референц-систем	1
Прахарж: К трансформации пространственных прямоугольных координат в координаты географические	35
Филипски: Точная трансформация координат x, y в φ, λ (методом вспомогательной точки)	44
Душатко: Некоторые отношения между геодезической референц-системой 1967 и системой С-1942	57
Мартинак: Измерение полигонов с длинными сторонами при условии органической видимости	68
Шимон: Направления при повышении точности гравиметрических измерений	75
Срка: Теоретический анализ вопроса назначения сроков актуализации чехословацких топографических карт	85
Миклошик: Проблематика автоматизации обработки информации о территории	100
Косарж: Сокращение цветной шкалы при печатании карт	116
Врабел: Источники света в фотомеханическом процессе	124

I N H A L T

Vahala: Transformation der geodätischen Weltreferenzsysteme	1
Prachař: Zur Transformation der räumlichen rechtwinkligen Koordinaten auf geographische Koordinaten	35
Filipský: Genaue Transformation der Koordinaten x, y auf φ, λ (die Methode des Hilfspunktes)	44
Dušátko: Einige Beziehungen zwischen dem geodätischen Referenzsystem 1967 und dem System S-1942	57
Martinák: Messungen langseitiger Polygonzüge bei verringertem Licht	68
Šimon: Richtungen der Genauigkeitserhöhung der gravimetrischen Messungen	75
Srnka: Theoretische Analyse der Frage der Fristbestimmung bei der Erneuerung der tschechoslowakischen topographischen Karten	85
Miklošik: Probleme der Automatisierung der Auswertung von Geländeinformationen	100
Kosař: Reduktion der Farbenskala bei dem Kartendruck	116
Vrábel: Lichtquellen im fotomechanischen Prozess	124