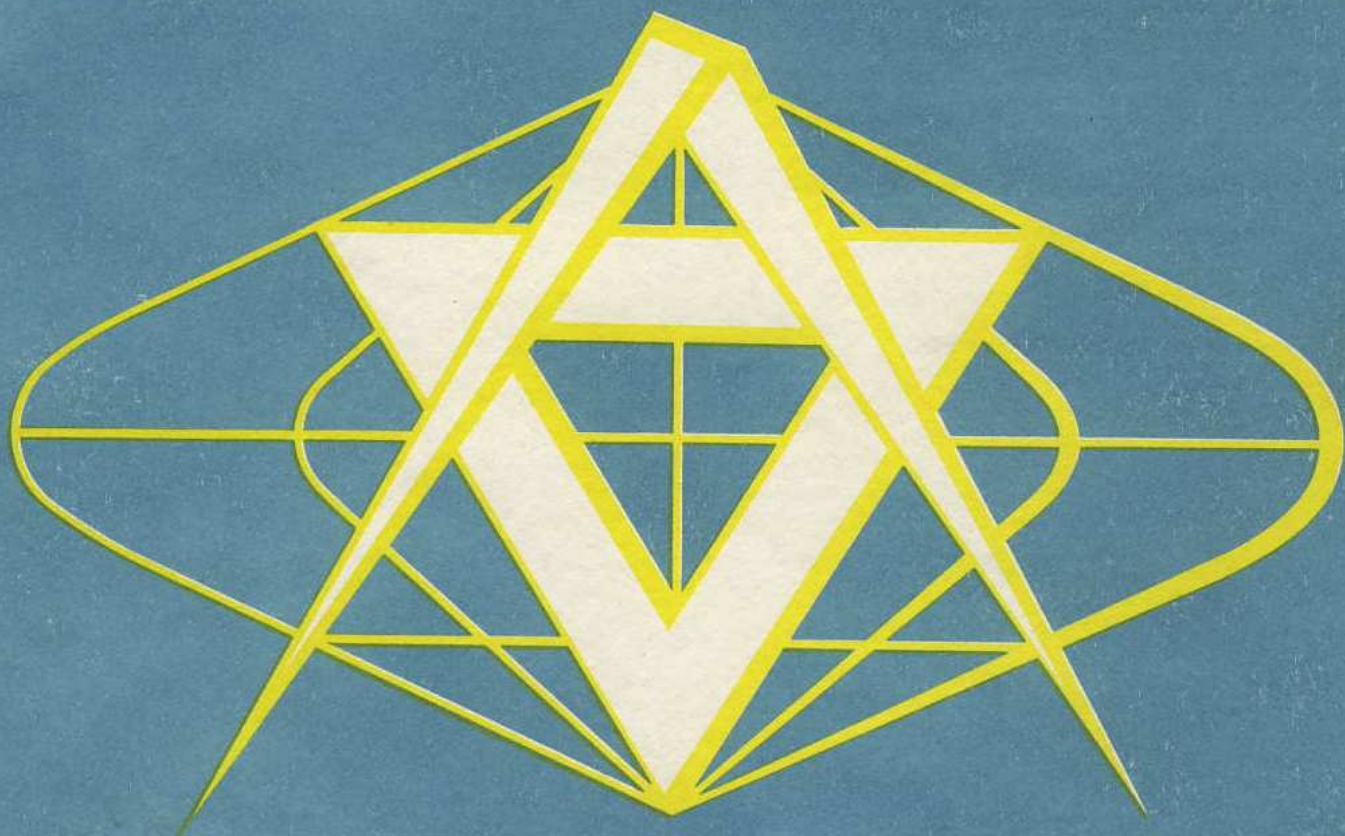


**SBORNÍK
TOPOGRAFICKÉ
SLUŽBY
MNO**



**VOJENSKÝ
TOPOGRAFICKÝ OBZOR**

2/87

OBSAH

Strana

Ing. Miloš Pick, DrSc. — pplk. Ing. Drahomír Dušátko, CSc.: Moderní technologie určování průběhu kvazi-geoidu	1
<i>Recenzent: Prof. Ing. Jan Fixel, CSc.</i>	
Ing. Jaroslav Prachař, CSc.: K možnostem transformací souřadnic v družicových sítích	12
<i>Recenzent: Prof. Ing. Zdeněk Nevosád, DrSc.</i>	
Pplk. Ing. Dalibor Moravec, CSc.: Modely v automatizované tvorbě map	22
<i>Recenzent: Prof. Ing. Lubomír Lauermann, CSc.</i>	
Mjr. Ing. Vladimír Šilhan: Určení prvků vnější orientace snímků kolineací	40
<i>Recenzent: mjr. Ing. Tomáš Babčický</i>	
Ing. Jan Říkal, CSc. — Ing. Boris Tichý: Knihovna úloh počítačové geometrie pro automatizované řešení kartografické generalizace	46
<i>Recenzent: Prof. Ing. Lubomír Lauermann, CSc.</i>	
Pplk. Ing. Ladislav Buřita, CSc.: Automatizované územní informační systémy	55
<i>Recenzent: plk. Doc. Ing. Dalibor Vondra, CSc.</i>	
Ing. Marta Simonová: Zkoušky nových typů filmů z n. p. FOTOHEMA	60
<i>Recenzent: Ing. Jaromír Ježek, CSc.</i>	
Ing. Rudolf Hovorka: Rádiový dálkoměr MT-A1	65
<i>Recenzent: plk. Ing. Martin Pisár</i>	

Ing. Miloš Pick, DrSc. — pplk. Ing. Drahomír Dušátko, CSc.

Moderní technologie určování průběhu kvazigeoidu

Úvod

Řešení geodetických a navigačních úloh v prostoru je ovlivňováno silovým působením tíhového pole Země. Zákony pohybu těles jsou komplikovány prostorově proměnným tíhovým polem. Hlavní charakteristiky tohoto pole, používané pro řešení geodetických úloh, jsou tíhové anomálie, tížnicové odchylky a výšky kvazigeoidu. Důležité úlohy spjaté s definicí parametrů a vytvářením geodetických systémů vůbec vyžadují znalost průběhu kvazigeoidu.

Praktické metody určování převýšení kvazigeoidu v geodézii mají svůj počátek v práci [1]. Použitá metoda astronomické nivelace doznala v dalším období různých modifikací a rozvoje. Využívání klasické teorie určování průběhu nulové ekvipotenciální plochy podle Stokese (1848) v geodetické praxi bylo zahájeno téměř po sto letech v pracích Tanniho [2], [3], kdy již bylo shromážděno dostatek tíhových údajů pro přibližné řešení. V předdružicovém období sovětská geodetická škola významně přispěla pracemi Krasovského, Moloděnského, Jeremejeva a Jurkinové do teorie a praxe určování průběhu kvazigeoidu pro určování tvaru tělesa Země a budování rozsáhlých geodetických sítí. Pojem kvazigeoidu vznikl právě v rámci těchto prací, kdy překlenutí redukčního problému exaktní teorií Moloděnského umožnilo další rozvoj fyzikální geodézie.

1. Určení převýšení kvazigeoidu dN mezi dvěma body A, B

Historicky nejstarší je metoda astronomické nivelace; při znalosti složky tížnicových odchylek na bodech A, B ve směru meridiánu platí

$$dN_{A,B} = -\frac{1}{2\rho''} (\xi''_A + \xi''_B) dS_{A,B}, \quad (1)$$

v obecném směru pak

$$dN_{A,B} = -\frac{1}{2\rho''} [(\xi''_A + \xi''_B) \cos A_{A,B} + (\eta''_A + \eta''_B) \sin A_{A,B}] dS_{A,B}, \quad (2)$$

kde

- ρ'' = 206 264,8,
- ξ'', η'' — složky tížnicové odchylky,
- $A_{A,B}$ — azimut spojnice A, B ,
- $dS_{A,B}$ — vzdálenost mezi body A, B .

Vzdálenosti $dS_{A,B}$ mezi Laplaceovými (astronomickými) body A, B jsou dnes obvykle od 50 km do 150 km. Při rostoucích dS rychle roste chyba v dN . K rovnicím (1), (2), které jsou geometrické povahy, se připojuje fyzikální oprava ze zakřivení tížnice.

Podstatné zvýšení přesností metody se dosahuje astronomicko-gravimetrickou nivelací, tj. připojením gravimetrické opravy k (1), (2).

Základní rovnice astronomicko-gravimetrické nivelace zní [4], [5]

$$\Delta N = -\frac{1}{2\rho''} S_{A,B} (\theta_A + \theta_B) + (N_B - N_A) + \frac{S_{A,B}}{2\rho''} (\theta_A^G + \theta_B^G), \quad (3)$$

kde

- ΔN — převýšení kvazigeoidu,
 θ_A, θ_B — složky astronomicko-geodetické tížnicové odchylky na bodech A, B ve směru spojnice AB ,
 $S_{A,B}$ — délka spojnice \overline{AB} mezi Laplaceovými (astronomickými) body,
 N_A, N_B — gravimetrické výšky geoidu v bodech A, B určené podle Stokesa,
 θ_A^G, θ_B^G — gravimetrické tížnicové odchylky v bodech A, B určené podle Vening-Meineszových vztahů.

Přitom je třeba zdůraznit, že členy ΔN a θ_A, θ_B se vztahují ke geodetickému (tj. referenčnímu) elipsoidu, ostatní členy k elipsoidu absolutnímu (gravimetrickému). Výpočty základních geodetických úloh se provádějí na referenčním elipsoidu, proto musí být hodnota ΔN , potřebná k výpočtu různých redukcí, vztažena k referenčnímu elipsoidu příslušného geodetického systému.

Se vznikem a rozvojem dopplerovské geodézie lze rozdíl výšek geoidu na pevninách určit jednoduše ze vztahu

$$\Delta N = H_B^{el} - H_A^{el} - (H_B^{niv} - H_A^{niv}), \quad (4)$$

kde

- H_A^{el}, H_B^{el} — elipsoidické, dopplerovsky určené výšky bodů A, B , transformované do geodetického systému,
 H_A^{niv}, H_B^{niv} — normální (niveľované) výšky týchž bodů.

Družicová geodézie přinesla další možnost určení převýšení geoidu ze známého topografického reliéfu hladiny moří a oceánů určeného metodou družicové altimetrie. Dálkoměrem umístěným na UDZ systému TRANSIT jsou průběžně měřeny nejkratší vzdálenosti od definované dráhy UDZ k subsatelitnímu bodu, přičemž jejich rozdíly jsou hledaná převýšení. Dopplerovská geodézie tak umožňuje určení globální informace o průběhu geoidu.

2. Určení průběhu kvazigeoidu pro rozsáhlá území

Jak bylo uvedeno, řešení úlohy bylo úzce spjato s důslednou aplikací projektivní metody triangulace, teoreticky a prakticky rozpracované v SSSR a dnes běžně používané ve světě. Znalost průběhu kvazigeoidu pro velká území vzhledem k používanému referenčnímu elipsoidu poskytuje informaci o vhodnosti umístění elipsoidu vzhledem k tělesu Země i jeho tvaru. Znamená to, že průběh kvazigeoidu je důležitou systémovou veličinou, charakterizující kvalitu velkých geodetických systémů.

Plošné metody určení průběhu kvazigeoidu jsou:

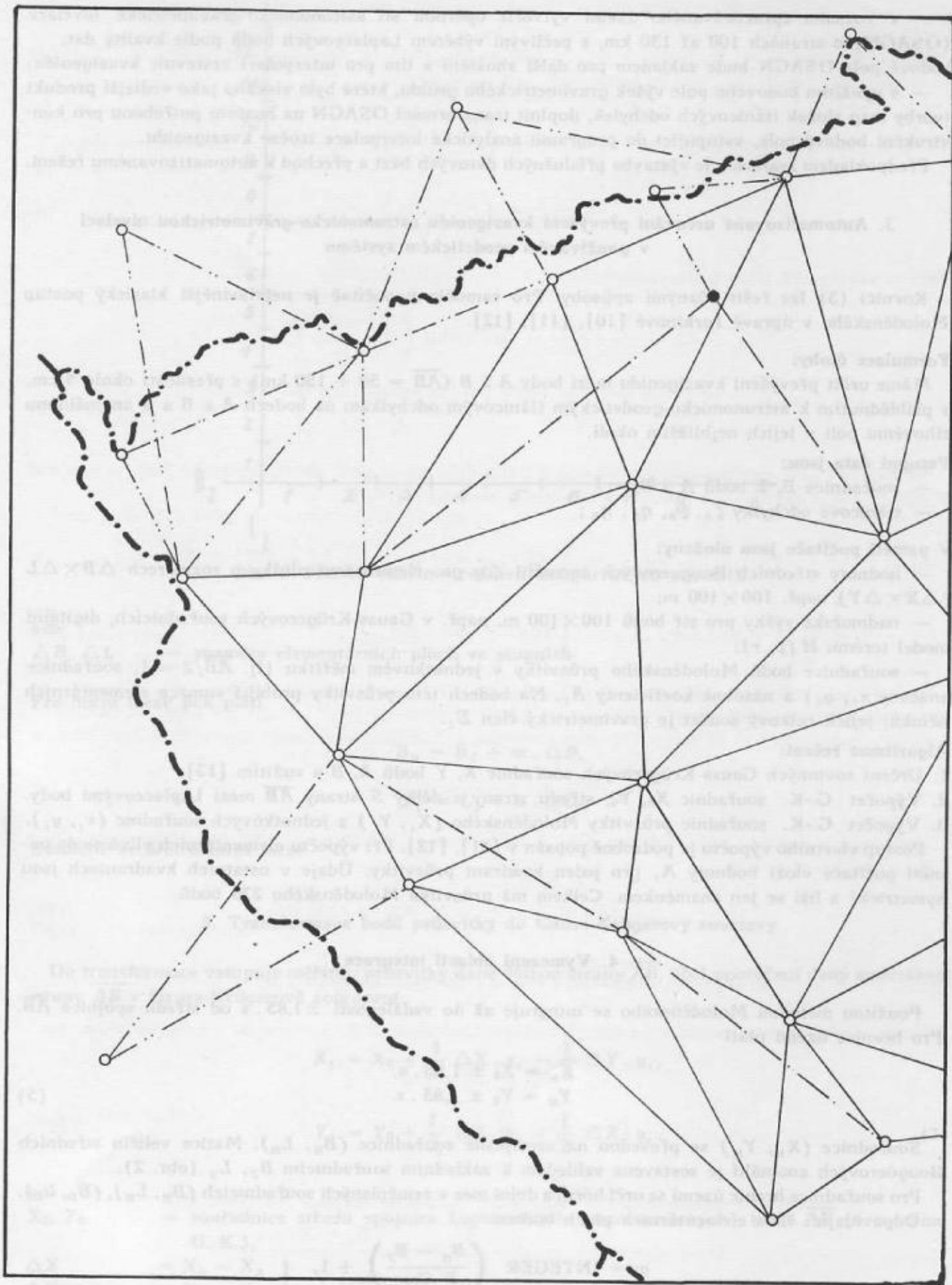
a) **astronomická nivelace**, vedená ve směru poledníků a rovnoběžek, kdy jsou uzávěry převýšení v obrazcích vyrovnány pomocí MNC. U nás byl schematický průběh relativního geoidu takto určen v [6], [7]; pro střední Evropu v [8]. Vzhledem k rychle rostoucím deformacím směrem k okrajům území nelze metodu použít v kontinentálním měřítku;

b) **astronomicko-gravimetrická nivelace**, vedená po rovnoběžkách a polednicích nebo po stranách obecných obrazců s vyrovnáním jejich uzávěrů. Příklad opěrné sítě astronomicko-gravimetrické nivelace (AGN) pro potřeby 2. souborného vyrovnání geodetických sítí socialistických států je na obr. 1. U nás byla metodika uvedena a upravena pracemi [9];

c) **určení gravimetrického geoidu** podle Stokesa integrací elementárních vlivů s uvažováním vlivu vzdálených zón s následnou transformací do geodetického systému;

d) **určení družicového geoidu** z koeficientů rozvoje geopotenciálu do sférických funkcí dopplerovskou technologií nebo družicovou altimetrií, transformovaného do geodetického systému.

V současných podmínkách zabezpečení daty a vzhledem k možnostem výpočetní techniky je nejvhodnější tento postup:



Obr. 1. Schéma AGN ČSSR (výřez)

- v rozsahu zpracovávaného území vytvořit opěrnou síť astronomicko-gravimetrické nivelace (OSAGN) o stranách 100 až 150 km, s pečlivým výběrem Laplaceových bodů podle kvality dat;
- s využitím bodového pole výšek gravimetrického geoidu, které bylo získáno jako vedlejší produkt tvorby map složek tížnicových odchylek, doplnit transformací OSAGN na hustotu potřebnou pro konstrukční bodové pole, vstupující do programů analytické interpolace izochar kvazigeoidu.

Předpokladem realizace je výstavba příslušných datovýchází a přechod k automatizovanému řešení.

3. Automatizované určování převýšení kvazigeoidu astronomicko-gravimetrickou nivelací v používaném geodetickém systému

Rovnici (3) lze řešit různými způsoby. Pro samočinný počítač je nejvhodnější klasický postup Moloděnského v úpravě Jurkinové [10], [11], [12].

Formulace úlohy:

Máme určit převýšení kvazigeoidu mezi body A a B ($\overline{AB} = 50 \div 150$ km) s přesností okolo 5 cm, s přihlédnutím k astronomicko-geodetickým tížnicovým odchylkám na bodech A a B a k anomálnímu tíhovému poli v jejich nejbližším okolí.

Vstupní data jsou:

- souřadnice B, L bodů A a B ;
- tížnicové odchylky $\zeta_A, \zeta_B, \eta_A, \eta_B$;

V paměti počítače jsou uloženy:

- hodnoty středních Bouguerových anomálií Δg pro elementární plošky o rozměrech $\Delta B \times \Delta L$ ($\Delta X \times \Delta Y$), např. 100×100 m;
- nadmořské výšky pro síť bodů 100×100 m, např. v Gauss-Krügerových souřadnicích, digitální model terénu $H(p, r)$;
- souřadnice bodů Moloděnského průsvitky v jednotkovém měřítku (tj. $\overline{AB}/2 = 1$, souřadnice značeny x_i, y_i) a násobné koeficienty A_i . Na bodech této průsvitky probíhá sumace elementárních účinků; jejich celkový součet je gravimetrický člen Σ_i .

Algoritmus řešení:

1. Určení rovinných Gauss-Krügerových souřadnic X, Y bodů A, B s využitím [13].
 2. Výpočet G.-K. souřadnic X_0, Y_0 , středu strany a délky S strany \overline{AB} mezi Laplaceovými body.
 3. Výpočet G.-K. souřadnic průsvitky Moloděnského (X_i, Y_i) z jednotkových souřadnic (x_i, y_i).
- Postup vlastního výpočtu je podrobně popsán v [11], [12]. Při výpočtu elementárních vlivů se do paměti počítače vloží hodnoty A_i pro jeden kvadrant průsvitky. Údaje v ostatních kvadrantech jsou symetrické a liší se jen znaménkem. Celkem má průsvitka Moloděnského 236 bodů.

4. Vymezení oblasti integrace

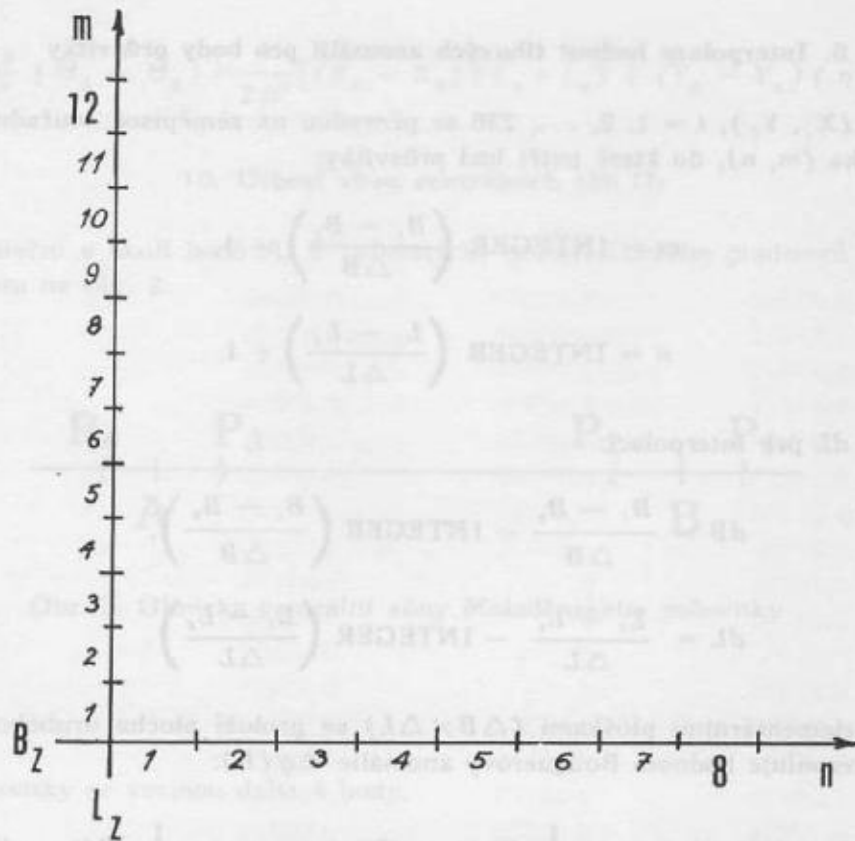
Použitou metodou Moloděnského se integruje až do vzdálenosti $\pm 1,85 \cdot s$ od středu spojnice \overline{AB} . Pro hranice území platí

$$\begin{aligned} X_H &= X_0 \pm 1,85 \cdot s, \\ Y_H &= Y_0 \pm 1,85 \cdot s. \end{aligned} \quad (5)$$

Souřadnice (X_H, Y_H) se převedou na zeměpisné souřadnice (B_H, L_H) . Matice veličin středních Bouguerových anomálií je sestavena vzhledem k základním souřadnicím B_Z, L_Z (obr. 2).

Pro souřadnice hranic území se určí horní a dolní mez v zeměpisných souřadnicích $(B_H, L_H), (B_D, L_D)$. Odpovídající čísla elementárních ploch budou:

$$\begin{aligned} m &= \text{INTEGER} \left(\frac{B_H - B_Z}{\Delta B} \right) + 1, \\ n &= \text{INTEGER} \left(\frac{L_H - L_Z}{\Delta L} \right) + 1, \end{aligned} \quad (6)$$



Obr. 2. Matice veličin středních Bouguerových anomálií

kde

$\Delta B, \Delta L$ — rozměry elementárních ploch ve stupních.

Pro horní meze pak platí

$$B_H = B_Z + m \cdot \Delta B,$$

$$B_L = L_Z + n \cdot \Delta L.$$

Obdobně se určí ostatní meze.

5. Transformace bodů průsvitky do Gauss-Krügerovy soustavy

Do transformace vstupuje měřítko průsvitky dané délkou strany \overline{AB} , úhel pootočení daný směrníkem strany \overline{AB} v Gauss-Krügerově zobrazení:

$$X_i = X_0 + \frac{1}{2} \Delta X \cdot x_i - \frac{1}{2} \Delta Y \cdot y_i,$$

$$Y_i = Y_0 + \frac{1}{2} \Delta Y \cdot x_i + \frac{1}{2} \Delta X \cdot y_i, \quad (7)$$

kde

X_0, Y_0 — souřadnice středu spojnice Laplaceových (astronomických) bodů \overline{AB} (v systému G.-K.),

ΔX = $X_B - X_A$ }
 ΔY = $Y_B - Y_A$ } v systému G.-K.,

x_i, y_i — souřadnice bodů průsvitky pro $i = 1, 2, \dots, 236$ (jednotkové souřadnice),

X_i, Y_i — transformované souřadnice bodů průsvitky, zaokrouhlené na 100 m (systém G.-K.).

6. Interpolace hodnot tíhových anomálií pro body průsvitky

Souřadnice bodů (X_i, Y_i) , $i = 1, 2, \dots, 236$ se převedou na zeměpisné souřadnice B_i, L_i . Určí se elementární ploška (m, n) , do které patří bod průsvitky:

$$\begin{aligned} m &= \text{INTEGER} \left(\frac{B_i - B_z}{\Delta B} \right) + 1, \\ n &= \text{INTEGER} \left(\frac{L_i - L_z}{\Delta L} \right) + 1. \end{aligned} \quad (8)$$

Určí se zbytky dB, dL pro interpolaci:

$$\begin{aligned} dB &= \frac{B_i - B_z}{\Delta B} - \text{INTEGER} \left(\frac{B_i - B_z}{\Delta B} \right), \\ dL &= \frac{L_i - L_z}{\Delta L} - \text{INTEGER} \left(\frac{L_i - L_z}{\Delta L} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Nejbližšími pěti elementárními ploškami $(\Delta B \times \Delta L)$ se proloží plocha druhého řádu a pro bod $P(X_i, Y_i)$ se vyinterpoluje hodnota Bouguerovy anomálie $\Delta g(P)$:

$$\begin{aligned} \Delta g(P) &= (1 - dB^2 - dL^2) \cdot \Delta g_{m,n} + \frac{1}{2} dB (1 + dB) \Delta g_{m+1,n} - \frac{1}{2} dB (1 - dB) \cdot \Delta g_{m-1,n} + \\ &+ \frac{1}{2} dL (1 + dL) \Delta g_{m,n+1} - \frac{1}{2} dL (1 - dL) \cdot \Delta g_{m,n-1}. \end{aligned} \quad (10)$$

Protože jsou známy souřadnice bodů průsvitky (X_i, Y_i) zaokrouhlené na 100 m, lze vybrat z pole $H_i(p, r)$ příslušnou výšku H_i bez interpolace.

7. Výpočet Fayeovy anomálie

Pro výpočet Fayeovy anomálie $\Delta g_f(P)$ z Bouguerovy $\Delta g(P)$ s redukční hustotou zemské kůry $2,67 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ platí

$$\Delta g_f(P) = \Delta g(P) + 0,1967 \cdot H(P). \quad (11)$$

8. Výpočet celkového vlivu Σ_1 tíhových anomálií Δg_f

Fayeovy anomálie se postupně vynásobí příslušným koeficientem A_i a sečtou se v rozsahu průsvitky

$$\begin{aligned} N_B - N_A &= \Sigma_1 + O_2, \\ \Sigma_1 &= \frac{S_{A,B}}{\rho''} \sum_{i=1}^{236} (\Delta g_f) \cdot A_i. \end{aligned} \quad (12)$$

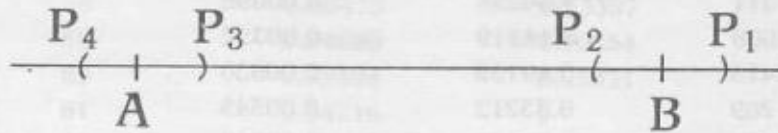
9. Výpočet astronomického členu AGN ve směru spojnice \overline{AB} (člen O_1)

$$\begin{aligned} \theta_A &= \xi_A \cos \varepsilon + \eta_A \sin \varepsilon; & \sin \varepsilon &= \frac{X_B - X_A}{S_{A,B}}, \\ \theta_B &= \xi_B \cos \varepsilon + \eta_B \sin \varepsilon; & \cos \varepsilon &= \frac{Y_B - Y_A}{S_{A,B}}. \end{aligned} \quad (13)$$

$$O_1 = \frac{S_{A,B}}{2\rho''} (\theta_A + \theta_B) = \frac{1}{2\rho''} [(X_B - X_A)(\xi_A + \xi_B) + (Y_B - Y_A)(\eta_A + \eta_B)] \quad (14)$$

10. Určení vlivu centrálních zón O_2

Výpočet se uskuteční v okolí bodů A, B (ohniscích) prostřednictvím gradientů tíhových anomálií Δg_F podle schématu na obr. 2.



Obr. 3. Ohniska centrální zóny Moloděnského průsvitky

Jako body průsvitky se vezmou další 4 body:

$$P_1(a, 0), P_2(b, 0), P_3(-b, 0), P_4(-a, 0),$$

kde

$$a = 1,061\,78 \cdot s,$$

$$b = 0,950\,58 \cdot s.$$

Souřadnice bodů P_1, P_2, P_3, P_4 se přetransformují do Gauss-Krügerovy soustavy podle odstavce 5 a podle odst. 6, 7 se určí Fayeovy anomálie. Pro gradienty tíhových anomálií na bodech A, B pak platí

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta g_B}{\partial X} &= \frac{\Delta g_{P_1} - \Delta g_{P_2}}{0,0556 \cdot s}; \\ \frac{\partial \Delta g_A}{\partial X} &= \frac{\Delta g_{P_3} - \Delta g_{P_4}}{0,0556 \cdot s}. \end{aligned} \quad (15)$$

Oprava O_2 má pak tvar

$$O_2 = - \left\{ \frac{\partial \Delta g_A}{\partial X} + \frac{\partial \Delta g_B}{\partial X} \right\} \frac{0,006\,329\,0}{2\rho''} \cdot S_{A,B} \quad (16)$$

11. Výsledné převýšení kvazigeoidu

je pak dáno sumou

$$\Delta N = \Sigma_1 + O_1 + O_2. \quad (17)$$

Závěr

Uvedený postup umožňuje s využitím dosud získaných dat a v kombinaci se současným programovým vybavením dokončit komplexní zabezpečení zájmového území charakteristikami tíhového pole Země. Doplnění datové základny digitálním modelem topografického reliéfu a anomálního tíhového pole umožní zároveň podstatné zpřesnění map složek tížnicových odchylek.

Souřadnice Moloděnského průsvitky (x_i , y_i) a hodnoty koeficientů A_i

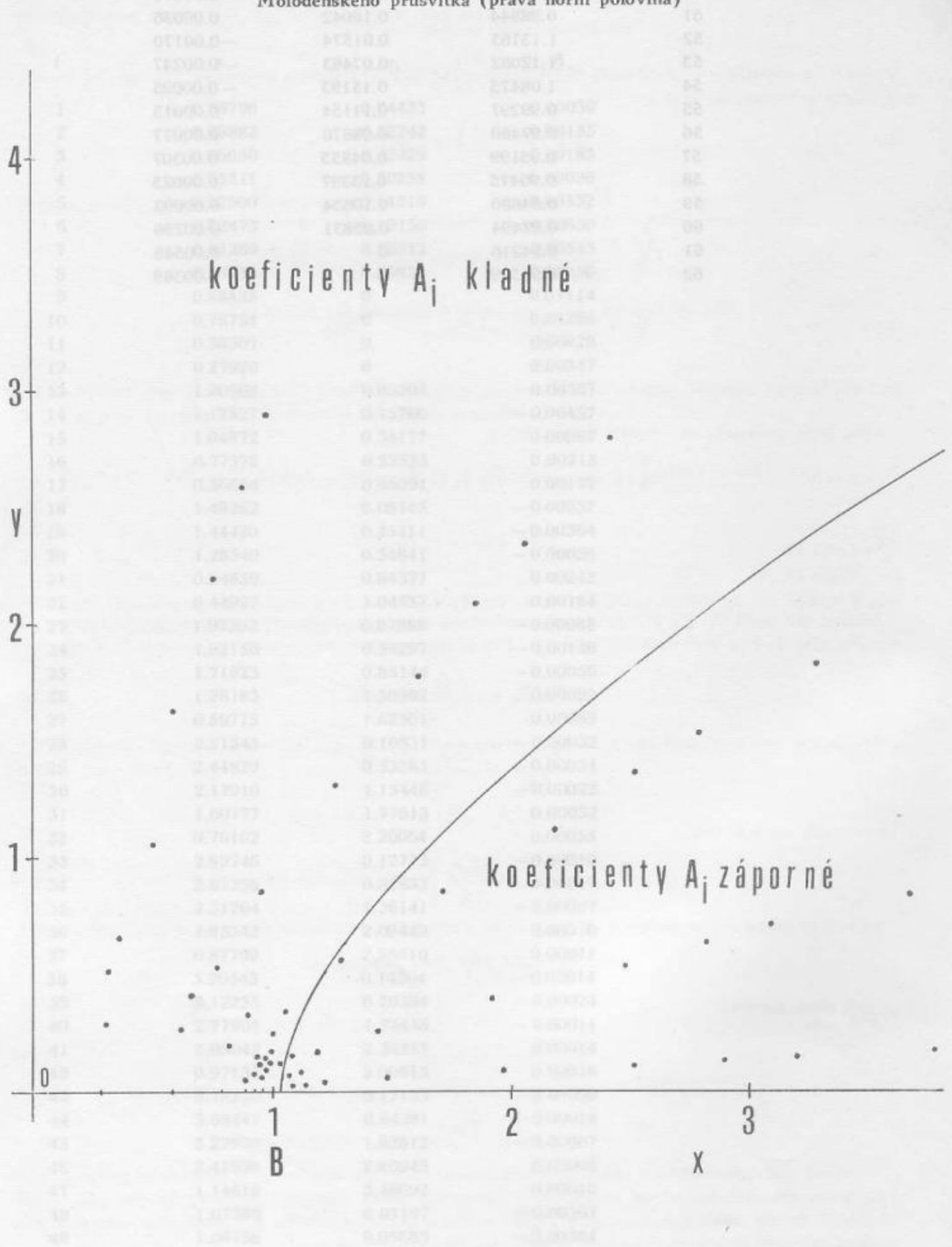
i	x_i	y_i	A_i
1	0.99796	0.24433	0.00039
2	0.88882	0.32242	0.00155
3	0.66030	0.42429	0.00183
4	0.31511	0.50238	0.00096
5	0.92600	0.14519	0.00352
6	0.82473	0.19159	0.00650
7	0.61269	0.25212	0.00543
8	0.29238	0.29852	0.00250
9	0.88425	0	0.01114
10	0.78754	0	0.01286
11	0.58507	0	0.00829
12	0.27920	0	0.00347
13	1.20962	0.03204	-0.00367
14	1.17827	0.15760	-0.00457
15	1.04872	0.34177	0.00087
16	0.77376	0.52535	0.00312
17	0.36654	0.65091	0.00177
18	1.48262	0.05145	-0.00237
19	1.44420	0.25311	-0.00364
20	1.28540	0.54841	-0.00056
21	0.94839	0.84371	0.00242
22	0.44927	1.04537	0.00184
23	1.97262	0.07988	-0.00088
24	1.92150	0.39297	-0.00146
25	1.71023	0.85144	-0.00050
26	1.26183	1.30992	0.00092
27	0.59775	1.62301	0.00089
28	2.51343	0.10831	-0.00032
29	2.44829	0.53283	-0.00054
30	2.17910	1.15448	-0.00022
31	1.60777	1.77613	0.00032
32	0.76162	2.20064	0.00035
33	2.89746	0.12773	-0.00010
34	2.82236	0.62833	-0.00017
35	2.51204	1.36141	-0.00007
36	1.85342	2.09449	0.00010
37	0.87799	2.59510	0.00011
38	3.20543	0.14304	-0.00014
39	3.12235	0.70364	-0.00024
40	2.77904	1.52458	-0.00011
41	2.05042	2.34553	0.00014
42	0.97131	2.90613	0.00016
43	3.78250	0.17133	-0.00008
44	3.68447	0.84281	-0.00014
45	3.27935	1.82612	-0.00007
46	2.41956	2.80943	0.00008
47	1.14618	3.48092	0.00010
48	1.07786	0.01197	-0.00307
49	1.06756	0.05689	-0.00384

	i	x_i	y_i	A_i
[1] ГАЛЛЕ А.	50	1.03321	0.11550	-0.00070
[2] ТАММ Л.	51	0.98944	0.16042	0.00036
[3] ТАММ Л.	52	1.13163	0.01574	-0.00170
[4] БЕЛЛИН Л.	53	1.12082	0.07483	-0.00247
[5] ПИК М.	54	1.08475	0.15193	-0.00095
[6] ПИК М.	55	0.99297	0.11154	0.00013
[7] ПИК М.	56	0.97460	0.08870	0.00077
[8] ПИК М.	57	0.95199	0.04855	0.00307
[9] ПИК М.	58	0.96475	0.13397	0.00025
[10] ПИК М.	59	0.94690	0.10654	0.00093
[11] ВУЛФ Б.	60	0.92494	0.05831	0.00256
[12] ВУЛФ Б.	61	0.94216	0	0.00548
[13] БУРРА М.	62	0.91539	0	0.00389
[14] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[15] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[16] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[17] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[18] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[19] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[20] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[21] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[22] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[23] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[24] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[25] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[26] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[27] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[28] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[29] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[30] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[31] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[32] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[33] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[34] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[35] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[36] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[37] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[38] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[39] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[40] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[41] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[42] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[43] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[44] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[45] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[46] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[47] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[48] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[49] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[50] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[51] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[52] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[53] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[54] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[55] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[56] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[57] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[58] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[59] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[60] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[61] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[62] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[63] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[64] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[65] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[66] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[67] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[68] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[69] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[70] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[71] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[72] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[73] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[74] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[75] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[76] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[77] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[78] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[79] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[80] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[81] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[82] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[83] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[84] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[85] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[86] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[87] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[88] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[89] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[90] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[91] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[92] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[93] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[94] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[95] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[96] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[97] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[98] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[99] ГОЛОМЕНКО М. В.				
[100] ГОЛОМЕНКО М. В.				

Дата: 28. 12. 1988

Коэффициенты A

Moloděnského průsvitka (pravá horní polovina)



Literatura:

- [1] GALLE, A.: Das Geoid im Harz. In: Veröff. Kön. Preuss. Geod. Institut. Nr. 61. Berlin 1914.
- [2] TANNI, L.: On the continental undulations of the geoid as determined from the present gravity material. Helsinki 1948.
- [3] TANNI, L.: The regional rise of the geoid in Central Europe. Helsinki 1949.
- [4] PELLINEN, L. P.: Vysšaja geodezija. Moskva, Nedra 1978. 263 s.
- [5] PICK, M. — PÍCHA, J. — VYSKOČIL, V.: Úvod ke studiu tíhového pole Země. Praha, Academia 1973. 516 s.
- [6] BUCHAR, E.: Tížnicové odchylky a geoid v ČSR. Praha, Věd.-techn. nakl. 1951. 143 s.
- [7] PICK, M.: Transformace čs. jednotné katastrální sítě elipsoidu Besselova do systému 1952 na elipsoid Krasovského. In: Voj. topogr. Obzor, 1956, zvl. č.
- [8] WOLF, H. — BERROTH, K.: Beiträge zur Lotabweichungsausgleichung und Geoidbestimmung. 1—2. In: Veröff. Institut. Erdmess. Bd. 6. Bamberg 1952.
- [9] BURŠA, M.: Astronomisch-gravimetrisches Nivellement in der Tschechoslowakischen Republik. Geofyz. Sbor. 1959. Praha, Nakl. ČSAV 1960, 1961.
- [10] MOLODENSKIJ, M. S.: Bestimmung der Gestalt des Geoides unter gemeinsamer Anwendung astronomisch-geodätischer Lotabweichungen und Schwerstörungen. Verh. Balt. geod. Komm. Tag 9. Helsinki 1937.
- [11] MOLODENSKIJ, M. S.: Opredelenije figury geoida pri sovместnom ispolzovanii astronomo-geodezičeskich uklonenij otvesa i karty anomalij sily tjažesti. Trudy CNIIGAiK, vyp. 17. Moskva 1937.
- [12] JURKINA, M. I. : Eliptičeskaja paletka M. S. Molodenskogo dlja vyčislenija prevyšeniij kvazigeoida. Trudy CNIIGAiK, vyp. 121. Moskva 1957.
- [13] Tabulky pro výpočet Gauss-Krügerových souřadnic. Praha, Naše vojsko 1953.

Došlo 29. 4. 1986

K možnostem transformací souřadnic v družicových sítích

1. Úvod

V souvislosti s tím, že se neustále zvětšuje počet bodů, jejichž poloha byla určena na povrchu Země z přesných družicových měření, dostávají se do popředí odborného zájmu nejčastěji dva okruhy otázek. Do prvního z nich lze zařadit problematiku spojování družicových sítí a jejich doplňování dalšími družicově určenými body. Do druhého okruhu pak spadají otázky vzájemné transformace sítí družicových a klasických sítí astronomicko-geodetických.

I když v obou případech půjde v podstatě o transformaci souřadnic bodů rozmístěných na velkých částech povrchu Země, nelze očekávat, že pro řešení obou okruhů úloh bude univerzálně použitelný jeden výpočetní postup, který by jak pro spojování sítí družicových, tak pro vzájemnou transformaci sítí družicových a klasických sítí astronomicko-geodetických dával optimální výsledky.

Nutnost hledání různých výpočetních postupů, tj. různých typů transformace na velkých částech zemského povrchu pro oba vymezené okruhy úloh, je dána zásadními rozdíly v hustotě, v relativní přesnosti a v lokálních deformacích bodových polí, která jsou v jednom případě výsledkem měření družicových a ve druhém případě výsledkem klasických triangulací.

2. Základní charakteristiky družicových sítí a klasických sítí astronomicko-geodetických

Specifickým znakem bodových polí, v nichž polohy bodů byly určeny družicovými metodami, je jejich značně malá hustota, avšak na druhé straně vysoká relativní přesnost se zanedbatelně malými lokálními deformacemi. Tato specifičnost je důsledkem skutečnosti, že jak v sítích vytvořených z jednotlivých izolovaně určovaných bodů, tak i v trojúhelníkových družicových sítích se chyby měřených veličin přenesou do prostorové polohy buď pouze jednoho, nebo maximálně dvou sousedních bodů, zatímco ostatní okolní body zůstanou uvažovaným vlivem nedotčeny. Kromě toho u družicově určených bodů (ať již jsou měřeny veličinami prostorově orientované směry, vzdálenosti, nebo rozdíly vzdáleností) lze prakticky se stejnou přesností určit jak polohu bodu na elipsoidu, tak i jeho elipsoidickou výšku.

Z uvedených charakteristik je zřejmé, že pokud bychom ve dvou nezávisle vybudovaných družicových sítích přímočaře spojili sousední identické body, získáme v prostoru dva modely mnohostěnů, u nichž odchylky od exaktní podobnosti budou velmi malé. Na základě této konkrétní představy lze tedy očekávat, že pro vzájemné spojení dvou družicových sítí zpravidla postačí použít prostorovou podobnostní transformaci, která splní požadavek minima čtverců odchylek v prostorové poloze identických bodů.

Na rozdíl od sítí družicových je výsledkem klasických triangulací hustá síť bodů, jejichž přesnost je na krátké vzdálenosti sice vysoká, avšak na dlouhé vzdálenosti a na velkých plochách dochází k nepříznivému hromadění zbytkových systematických chyb. Běžně užívaný postup budování a vyrovnávání astronomicko-geodetických sítí, jak plošných, tak i řetězcových, má totiž i své nepříznivé důsledky. Chyby měřených veličin (úhlů, základěn i astronomických azimutů) neznehodnocují polohu pouze jednotlivého bodu, nýbrž i celé řady bodů okolních a tím způsobují poměrně rozsáhlé plošné lokální deformace sítě.

Jistým nedostatkem je i to, že výsledkem vyrovnání astronomicko-geodetických sítí jsou u všech bodů pouze dvě hodnoty zeměpisných souřadnic na ploše přijatého rotačního elipsoidu. Pro prostorovou polohu jednotlivých bodů sítě by bylo třeba navíc určovat i jejich elipsoidické výšky, pozůstávající nejen z normální výšky (nad kvazigeoidem), nýbrž i z vertikální odlehlosti kvazigeoidu a elipsoidu, což předpokládá mít k dispozici značný rozsah dostatečně přesných výsledků tíhových měření. Z těchto důvodů nelze předpokládat, že u všech bodů astronomicko-geodetických sítí budou ve všech systémech k dispozici i jejich elipsoidické výšky. Ty v některých případech nebudou vůbec dostupné nebo mohou být určeny s výrazně nižší přesností než zeměpisné souřadnice B, L .

Z těchto charakteristik astronomicko-geodetických sítí je tedy zřejmé, že při spojování nebo doplňování bodových polí, z nichž alespoň jedno bylo zaměřeno klasickými, nedružicovými metodami, nejsou vytvořeny potřebné předpoklady pro oprávněné použití podobnostní transformace.

3. Postupy transformace souřadnic použitelné na velkých částech povrchu Země

Z předchozí analýzy vlastností družicově i klasicky zaměřených bodových polí vyplývá, že pro jejich vzájemné spojování na velkých částech povrchu Země budou v některých případech oprávněně použitelné transformace lineární, avšak v řadě jiných případů transformace nelineární. Pokud budou u všech bodů dvou různých systémů k dispozici spolehlivé hodnoty nejen zeměpisných souřadnic, nýbrž i elipsoidických výšek, bude účelné řešit jejich vzájemné spojení transformací prostorovou, nejlépe v soustavě pravoúhlých prostorových souřadnic. Nebudou-li však buď v jednom, nebo v obou systémech dostupné dostatečně přesné hodnoty elipsoidických výšek, bude nezbytné použít transformaci plošnou, nejlépe v soustavě křivočarých souřadnic na referenční ploše rotačního elipsoidu.

3.1. Transformace v soustavě pravoúhlých prostorových souřadnic

3.1.1. Ortogonální transformace lineární

Použití již zmíněné prostorové podobnostní (tj. ortogonální lineární) transformace nutně předpokládá mít k dispozici (na nejméně třech vhodně rozložených identických bodech) spolehlivé hodnoty nejen zeměpisných souřadnic B, L , nýbrž i elipsoidických výšek H ve dvou soustavách, u nichž jsou známy parametry použitých elipsoidů a, e^2 .

Převod zeměpisných souřadnic B, L i elipsoidických výšek H na pravoúhlé prostorové souřadnice X, Y, Z (u všech bodů v původním systému a u identických bodů v novém systému) uskutečníme numerickým řešením rovnic

$$\begin{aligned} X &= (N + H) \cos B \cos L, \\ Y &= (N + H) \cos B \sin L, \\ Z &= [N(1 - e^2) + H] \sin B, \end{aligned} \quad (1)$$

kde

$$N = a(1 - e^2 \sin^2 B)^{-\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Mezi pravoúhlými prostorovými souřadnicemi týchž bodů X_p, Y_p, Z_p (v původním systému) a X_n, Y_n, Z_n (v novém systému) platí vztahy prostorové podobnostní, tj. úplné ortogonální (sedmiprvkové) transformace

$$\begin{bmatrix} X_n - X_p \\ Y_n - Y_p \\ Z_n - Z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & Y_p & 0 & -Z_p & X_p \\ 0 & 1 & 0 & -X_p & Z_p & 0 & Y_p \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -Y_p & X_p & Z_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \\ \omega \\ \varepsilon \\ \psi \\ \Delta m \end{bmatrix} \quad (3)$$

v nichž jako konstanty vystupují posuny počátků $\Delta X_0, \Delta Y_0, \Delta Z_0$, dále rotace kolem os $\varepsilon, \psi, \omega$ a konečně i měřítková změna Δm .

Přisoudíme-li vztahům (3), předepsaným do anulovaného tvaru, charakter rovnic oprav, pak z rozdílů pravoúhlých prostorových souřadnic na identických bodech můžeme získat metodou nejmenších čtverců vyrovnané hodnoty zmíněných sedmi transformačních konstant. Po jejich výpočtu lze rovnice (3) použít pro transformaci pravoúhlých prostorových souřadnic všech zbývajících bodů z původního do nového systému.

Pro zpětný převod takto transformovaných pravoúhlých prostorových souřadnic na hodnoty B, L, H v novém systému lze použít postupně vztahy

$$\operatorname{tg} L = \frac{Y}{X}, \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} B_0 = \frac{Z(1 + e'^2)}{\sqrt{X^2 + Y^2}}, \quad (5a)$$

$$dB = \frac{\cos^2 B_0}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \left[(N_0 e^2 \sin B_0 - Ze'^2) \left(1 + N_0 e^2 \frac{\cos^3 B_0}{\sqrt{X^2 + Y^2}} \right) \right], \quad (5b)$$

$$B = B_0 + dB, \quad (5)$$

$$H = Z \operatorname{cosec} B - N(1 - e^2). \quad (6)$$

3.1.2. Obecná transformace kvadratická (kubická)

Jak již bylo uvedeno, prostorová podobnostní transformace není schopna odstranit ani zmírnit lokální deformace klasicky vybudovaných bodových polí. Pro alespoň částečné snížení jejich vlivu je však možné rozdíly pravoúhlých prostorových souřadnic na všech bodech původního i nového systému aproximovat např. úplnou kvadratickou empirickou funkcí tří proměnných ve tvaru

$$\begin{aligned} X_n - Y_p &= a_0 + a_1 X_p + a_2 Y_p + a_3 Z_p + a_4 X_p Y_p + a_5 X_p Z_p + a_6 Y_p Z_p + a_7 X_p^2 + a_8 Y_p^2 + a_9 Z_p^2, \\ Y_n - Y_p &= b_0 + b_1 X_p + b_2 Y_p + b_3 Z_p + b_4 X_p Y_p + b_5 X_p Z_p + b_6 Y_p Z_p + b_7 X_p^2 + b_8 Y_p^2 + b_9 Z_p^2, \\ Z_n - Z_p &= c_0 + c_1 X_p + c_2 Y_p + c_3 Z_p + c_4 X_p Y_p + c_5 X_p Z_p + c_6 Y_p Z_p + c_7 X_p^2 + c_8 Y_p^2 + c_9 Z_p^2. \end{aligned} \quad (7)$$

Výpočet neznámých konstant a_0 až a_9 , b_0 až b_9 , c_0 až c_9 metodou nejmenších čtverců předpokládá znalost zeměpisných souřadnic i elipsoidických výšek v obou systémech na více než deseti identických bodech. Po výpočtu zmíněných třiceti konstant lze rovnice (7) použít pro transformaci pravoúhlých prostorových souřadnic všech zbývajících bodů z původního do nového systému. Stejně tak jako u předchozí ortogonální transformace lineární lze v prvním kroku pro výpočet X, Y, Z použít rovnice (1) a (2) a v posledním kroku pro výpočet B, L, H rovnice (4) až (6).

Pokud by v některých případech byl počet identických bodů (rovnoměrně rozmístěných v celé ploše obou systémů) znatelně vyšší než 15 a obecnou kvadratickou transformací by nebylo dosaženo požadovaného sblížení obou systémů, bylo by možné pokusně použít neúplnou empirickou funkci kubickou. V tomto případě by plně postačilo rozšířit pravé strany rovnic (7) ne o všech deset, nýbrž pouze o čtyři další členy třetího stupně, tzn. použít vztahy

$$\begin{aligned} X_n - X_p &= a_0 + a_1 X_p + a_2 Y_p + a_3 Z_p + a_4 X_p Y_p + a_5 X_p Z_p + a_6 Y_p Z_p + a_7 X_p^2 + a_8 Y_p^2 + a_9 Z_p^2 + \\ &+ a_{10} X_p Y_p Z_p + a_{11} X_p^3 + a_{12} Y_p^3 + a_{13} Z_p^3, \\ Y_n - Y_p &= b_0 + b_1 X_p + b_2 Y_p + b_3 Z_p + b_4 X_p Y_p + b_5 X_p Z_p + b_6 Y_p Z_p + b_7 X_p^2 + b_8 Y_p^2 + b_9 Z_p^2 + \\ &+ b_{10} X_p Y_p Z_p + b_{11} X_p^3 + b_{12} Y_p^3 + b_{13} Z_p^3, \\ Z_n - Z_p &= c_0 + c_1 X_p + c_2 Y_p + c_3 Z_p + c_4 X_p Y_p + c_5 X_p Z_p + c_6 Y_p Z_p + c_7 X_p^2 + c_8 Y_p^2 + c_9 Z_p^2 + \\ &+ c_{10} X_p Y_p Z_p + c_{11} X_p^3 + c_{12} Y_p^3 + c_{13} Z_p^3. \end{aligned} \quad (8)$$

Pak by řešení metodou nejmenších čtverců vedlo na výpočet třikrát čtrnácti neznámých, tj. číselných hodnot konstant a_0 až a_{13} , b_0 až b_{13} , c_0 až c_{13} .

3.2. Lineární transformace v soustavě zeměpisných souřadnic

3.2.1. Konformní transformace Bodemüllerova

Pro spojování rozsáhlých klasicky vybudovaných geodetických sítí a pro jejich převody do jiných

souřadnicových systémů byla v předdružicovém období považována za jednu z nevhodnějších konformní transformace Bodemüllerova. Její varianta pro přibližně kruhové oblasti umožňuje transformovat zeměpisné souřadnice uvnitř kružnice o poloměru 1000 km se zachováním relativní přesnosti $1 \cdot 10^{-6}$.

Vlastní výpočet pomocí značně složitých vztahů (získaných rozvojem v mocninovou řadu) zahrnuje dvě samostatné etapy. V první se uskuteční konformní převod zeměpisných souřadnic z plochy původního na plochu nového referenčního elipsoidu numerickým řešením rovnic, které jsou na straně 1271 publikace [3] označeny číslem (29). Druhá etapa pak zahrnuje vlastní transformaci zeměpisných souřadnic na společné ploše nového referenčního elipsoidu. K výpočtu hodnot koeficientů rovnic oprav pro čtyři neznámé je třeba použít rovněž složitých vztahů, označených čísly (49) a (50) na straně 1278 v [3].

Jistou výhodou Bodemüllerovy transformace je to, že vypočtené hodnoty čtyř neznámých přímo charakterizují vztah a vzájemnou polohu obou systémů. Vyjadřují posuny zeměpisných souřadnic ve zvoleném centrálním bodě, úhel stočení obou sítí a jejich změnu měřítka.

3.2.2. Ortogonální šestiprvková transformace v soustavě zeměpisných souřadnic

Plně srovnatelné a v řadě případů i lepší výsledky než složitým řešením Bodemüllerovým lze dosáhnout mnohem jednodušší ortogonální (šestiprvkovou) transformací zeměpisných souřadnic. U ní se předpokládá, že rozdíly zeměpisných šířek i délek v původním a novém systému jsou funkcemi jednak rozdílů parametrů obou elipsoidů, jednak tří translací ΔX_0 , ΔY_0 , ΔZ_0 a tří rotací kolem os ω , ε , ψ . Transformačním rovnicím ve tvaru

$$B_n - B_p = -\frac{1}{M} [(\Delta X_0 \cos L_p + \Delta Y_0 \sin L_p) \sin B_p - \Delta Z_0 \sin B_p] + \left[\frac{Ne_p^2 (a_n - a_p)}{Ma_p} + \frac{(2 - e_p^2 \sin^2 B_p) (e_n^2 - e_p^2)}{2(1 - e_p^2)} \right] \sin B_p \cos B_p - \varepsilon \sin L_p + \psi \cos L_p,$$

$$L_n - L_p = -\frac{\sec B_p}{N} (\Delta X_0 \sin L_p - \Delta Y_0 \cos L_p) - \omega + (\varepsilon \cos L_p + \psi \sin L_p) \operatorname{tg} B_p \quad (9)$$

(kde N , M — příčný a meridiánový poloměr křivosti rotačního elipsoidu, použitého jako referenční plochy pro původní systém) lze v první etapě přisoudit charakter rovnic oprav a metodou nejmenších čtverců vypočíst neznámé ΔX_0 , ΔY_0 , ΔZ_0 , ω , ε , ψ . K tomu je nezbytné mít k dispozici na více než třech vhodně rozmístěných identických bodech hodnoty zeměpisných souřadnic B , L v obou systémech. Ve druhé etapě je možno rovnice (3) použít i pro transformaci zeměpisných souřadnic všech zbývajících bodů z původního do nového systému.

3.3. Konformní nelineární transformace v soustavě symetrických souřadnic

Ze základních charakteristik družicových i astronomicko-geodetických sítí uvedených v kapitole 2 je zřejmé, že pro jejich vzájemné spojování nebudou konformní transformace nevhodnější, a proto také nelze očekávat jejich časté použití. Je to dáno tím, že požadavek zachování konformity znemožňuje dosáhnout výraznějšího sblížení poloh identických bodů a tím v podstatě snižuje účinnost částečné eliminace lokálních deformací u klasických nedružicových sítí. I přes tato fakta by však nebylo plně oprávněné možnost použití konformních nelineárních transformací na velkých částech povrchu Země předem zcela vyloučit.

Značnou složitost výpočetních vztahů i nutnost omezování jejich platnosti na menší oblasti (např. do kruhové plochy o poloměru 1000 km, které jsou typické pro Bodemüllerovu lineární konformní transformaci na elipsoidu) lze odstranit přechodem do soustavy symetrických souřadnic. Jimi, jak známo, jsou na ploše rotačního elipsoidu zeměpisná délka L a izometrická šířka Q , kterou je možno ze zeměpisné šířky B a z parametrů použitého elipsoidu a , e vypočíst dosazením do rovnice

$$Q = \ln \operatorname{tg} \left[\frac{B}{2} + \frac{\pi}{4} \right] \left[\frac{1 - e \sin B}{1 + e \sin B} \right]^{\frac{e}{2}}. \quad (10)$$

Vztah mezi symetrickými souřadnicemi původní soustavy Q_p, L_p a nové soustavy Q_n, L_n lze obecně vyjádřit ve vztahu mocninové řady

$$Q_n + iL_n = (a + ib) + (c + id)(Q_p + iL_p) + (e + if)(Q_p + iL_p)^2 + (g + ih)(Q_p + iL_p)^3 + \dots \quad (11)$$

Z ní po umocnění, vynásobení a oddělení reálných členů od imaginárních získáme rovnice konformní transformace

$$Q_n = a + cQ_p - dL_p + e(Q_p^2 - L_p^2) - 2fQ_pL_p + gQ_p(Q_p^2 - 3L_p^2) - hL_p(3Q_p^2 - L_p^2) + \dots, \\ L_n = b + dQ_p + cL_p + f(Q_p^2 - L_p^2) + 2eQ_pL_p + hQ_p(Q_p^2 - 3L_p^2) + gL_p(3Q_p^2 - L_p^2) + \dots \quad (12)$$

Poněvadž pro praktická použití se většinou uplatní kvadratická až kubická konformní transformace, bude zřejmě počet členů v rovnicích (12) postačující. Pokud by se ve zcela ojedinělých případech ukázalo oprávněným použít konformní transformaci bikvadratickou, pak potřebné transformační vztahy by bylo možné získat doplněním členů 4. stupně do rovnic (11) a (12).

Stejně tak jako ve všech předchozích transformacích lze v první etapě použít vztahy (12) pro výpočet neznámých koeficientů a, b, c, d, e, f , případně dalších. Pro jejich určení bude nejvhodnější metoda nejmenších čtverců, a to ve všech případech, kdy počet p vhodně rozmístěných identických bodů splní nerovnost

$$p > n + 1,$$

kde $n = 2, 3$ — použitý stupeň konformní transformace.

Při aplikaci metody nejmenších čtverců na úlohy řešené v soustavě symetrických souřadnic Q, L však nelze mechanicky uplatňovat požadavek

$$[v_0^2] + [v_i^2] = \min.$$

Zde je nezbytné (např. zavedením vhodných vah) nejprve dosáhnout toho, aby odchylky v symetrických souřadnicích (odpovídající jednotce metrické míry) dosahovaly ve všech zeměpisných šířkách týchž hodnot.

Po správné aplikaci metody nejmenších čtverců na výpočet koeficientů a konstant transformačních rovnic lze přistoupit k hromadnému převodu zeměpisných souřadnic všech zbývajících bodů z původního systému do nového, a to postupem, pozůstávajícím z těchto dílčích etap:

1. Převod zeměpisné šířky B_p na izometrickou šířku Q_p dosazením do rovnice (10).
2. Transformace symetrických souřadnic Q_p, L_p na Q_n, L_n pomocí vztahů (12).
3. Zpětný převod izometrické šířky Q_n na zeměpisnou šířku B_n (např. stacionárním iteračním procesem s použitím rovnice (10) a z ní odvozeného poměru diferenciálů $dB : dQ$).

3.4. Obecné nelineární transformace v soustavě zeměpisných souřadnic

Podstata obecných transformací spočívá v tom, že rozdíly zeměpisných šířek i rozdíly zeměpisných délek (na všech bodech původního i nového systému) aproximujeme vzájemně nezávisle empirickou funkcí dvou proměnných, obvykle druhého až čtvrtého stupně, např. ve tvaru

$$B_n - B_p = q_0 + g_1B_p + g_2L_p + g_3B_p^2 + g_4B_pL_p + g_5L_p^2 + g_6B_p^3 + g_7B_p^2L_p + g_8B_pL_p^2 + g_9L_p^3 + \dots, \\ (L_n - L_p) \cos B_p = h_0 + h_1B_p + h_2L_p + h_3B_p^2 + h_4B_pL_p + h_5L_p^2 + h_6B_p^3 + h_7B_p^2L_p + h_8B_pL_p^2 + h_9L_p^3 + \dots \quad (13)$$

Vzhledem k tomu, že se v rovnicích (13) uplatní koeficienty g pouze pro určení rozdílů zeměpisných šířek a koeficienty h pouze u zeměpisných délek, je zřejmé, že u obecných transformací bude nezbytné

počítat více neznámých než u transformací konformních. Určení zmíněných konstant g a h metodou nejmenších čtverců proto bude možné pouze v těch případech, kdy počet vhodně rozmístěných identických bodů překročí hodnotu součtu posloupnosti přirozených čísel $p(n)$, danou vztahem

$$p(n) = \sum_{i=1}^{n+1} k_i,$$

kde

$k = 1, 2, \dots, n$ je použitelný stupeň obecné transformace.

Po výpočtu všech $p(n)$ neznámých g_0, g_1, \dots z rozdílů zeměpisných šířek a potom téhož počtu neznámých h_0, h_1, \dots z rozdílů zeměpisných délek (při současném splnění požadavků nejprve

$$[v_B^2] = \min$$

a potom zcela nezávisle

$$[v_L^2 \cos^2 B] = \min)$$

lze rovnice (13) použít i pro transformaci zeměpisných souřadnic všech zbývajících bodů z původního do nového systému.

Z údajů v následující tabulce 1 je zřejmé, že počet určovaných konstant je u obecných transformací téhož stupně znatelně vyšší než u transformací konformních. Pro dosažení lepšího sblížení poloh identických bodů by proto měly být vhodnější transformace obecné. Navíc by se u nich mělo projevit i zvýšení stupně transformace mnohem výraznějším poklesem hodnot zbytkových odchylek na identických bodech než u transformací konformních.

Tabulka 1

Stupeň transformace	Počet určovaných konstant u transformace	
	konformní	obecné
2	6	12
3	8	20
4	10	30

4. Výsledky praktického ověření různých druhů transformací

Pro získání názorné představy o tom, jaké konkrétní výsledky lze očekávat u různých druhů transformace klasických astronomicko-geodetických sítí do sítí družicových, byla vykonána řada ověřovacích výpočtů. Ty byly uskutečněny s použitím dostupných, neutajovaných souřadnicových údajů existujícího geodetického systému a existující sítě družicové, v níž byly polohy jednotlivých bodů určeny pomocí družic dopplerovského radionavigačního systému s metrovou přesností. Hlavním cílem tohoto testu bylo prakticky ověřit, do jaké míry se budou měnit hodnoty zbytkových odchylek v poloze identických bodů v závislosti na volbě a zvyšování stupně použité transformace. Dalším cílem bylo získat konkrétní představu o tom, jak výrazně se v hodnotách zbytkových odchylek projeví postupné zmenšování plochy území, na němž byly obě sítě transformací spojovány.

Poněvadž u všech identických bodů byly v obou systémech k dispozici nejen zeměpisné souřadnice, nýbrž i elipsoidické výšky, bylo možné na pokusném spojování těchto dvou bodových polí vzájemně porovnat výsledky všech druhů transformací, popsanych v předchozí kapitole 3. Pro tyto ověřovací výpočty byla nejprve použita celková plocha území, tj. 4150×4000 (km), na níž je rovnoměrně

rozmístěno 26 identických bodů. Kromě toho byly všechny ověřovací výpočty v plném rozsahu uskutečněny s použitím postupně redukováného počtu identických bodů nejprve na 19 (na ploše 2100 km × 1650 km) a konečně na 16 (na ploše 2000 km × 1250 km).

Výsledky těchto tří testů jsou shrnuty v následujících tabulkách 2 až 4, v nichž je symbolem n označen počet neznámých konstant použitého tvaru transformačních rovnic a symbolem r počet nadbytečných identických bodů. Střední hodnoty zbytkových odchylek v zeměpisných souřadnicích m_B , m_L i v elipsoidických výškách m_H jsou udány v jednotkách metrů. Z nich jsou vypočteny i střední hodnoty zbytkových odchylek v poloze identických bodů

$$m_p = \sqrt{m_B^2 + m_L^2}$$

a u prostorových transformací navíc i charakteristika

$$m_D = \sqrt{m_B^2 + m_L^2 + m_H^2}$$

Výsledky s použitím 26 identických bodů na ploše 4150 × 4000 (km)

Tabulka 2

Transformace v soustavě prostorových pravoúhlých souřadnic							
	n	r	m_B	m_L	m_p	m_H	m_D
Lineární	7	23	1,59	2,62	3,06	2,13	3,68
Kvadratická úplná	30	16	0,84	0,74	1,12	1,22	1,66
Kubická neúplná	42	12	0,60	0,47	0,76	1,02	1,27
Transformace v soustavě křivočarých souřadnic							
	n	r	m_B	m_L	m_p		
Konformní Bodemüllerova			nepoužitelná				
Ortogonální šestiprvková	6	23	1,35	1,97	2,39		
Konformní kvadratická	6	23	2,22	2,59	3,41		
Konformní kubická	8	22	1,28	1,50	1,97		
Konformní bikvadratická	10	21	1,18	0,93	1,50		
Obečná kvadratická	12	20	0,96	1,58	1,85		
Obečná kubická	20	16	0,81	0,70	1,07		
Obečná bikvadratická	30	11	0,70	0,39	0,80		

Transformace v soustavě prostorových pravoúhlých souřadnic												
					n	r	m_B	m_L	m_P	m_H	m_D	
Lineární					7	16	1,35	2,15	2,54	1,50	2,95	
Kvadratická úplná					30	9	0,83	0,67	1,07	0,90	1,40	
Kubická neúplná					42	5	0,22	0,25	0,33	0,65	0,73	

Transformace v soustavě křivočarých souřadnic												
					n	r	m_B	m_L	m_P			
Konformní Bodemüllerova					4	17	1,14	1,86	2,18			
Ortogonální šestiprvková					6	16	1,03	1,15	1,54			
Konformní kvadratická					6	16	1,07	1,26	1,65			
Konformní kubická					8	15	1,10	0,88	1,41			
Konformní bikvadratická					10	14	1,03	0,94	1,39			
Obecná kvadratická					12	13	0,84	0,87	1,21			
Obecná kubická					20	9	0,49	0,60	0,92			
Obecná bikvadratická					30	4	0,21	0,22	0,30			

Transformace v soustavě prostorových pravouhlých souřadnic							
	n	r	m_B	m_L	m_P	m_H	m_D
Lineární	7	13	1,15	1,01	1,53	1,27	1,99
Kvadratická úplná	30	6	0,34	0,43	0,55	0,74	0,92
Kubická neúplná	42	2	0,14	0,16	0,21	0,34	0,40

Transformace v soustavě křivočarých souřadnic					
	n	r	m_B	m_L	m_P
Konformní Bodemüllerova	4	14	0,83	1,16	1,43
Ortogonální šestiprvková	6	13	0,84	0,83	1,18
Konformní kvadratická	6	13	0,83	0,88	1,21
Konformní kubická	8	12	0,78	0,74	1,08
Konformní bikvadratická	10	11	0,77	0,67	1,02
Obecná kvadratická	12	10	0,67	0,66	0,94
Obecná kubická	20	6	0,37	0,33	0,50
Obecná bikvadratická	30	1	0,20	0,09	0,22

5. Závěr

Dosažené výsledky u transformací prostorových ve všech případech plně potvrzují předchozí závěr z kapitoly 2, že pro převod souřadnic bodů z klasických sítí astronomicko-geodetických do sítí družicových zpravidla nebude postačující lineární transformace.

Jako zajímavý lze dále hodnotit i výsledek, že z lineárních transformací se zcela jednoznačně ukázala jako nejvhodnější ortogonální (šestiprvková) transformace v soustavě zeměpisných souřadnic. Nezávisle na velikosti plochy, na níž jsou rozloženy identické body, dala ve všech případech výsledky značně lepší než obě zbývající ověřované transformace lineární, tj. Bodemüllerova i ortogonální sedmiprvková transformace v soustavě pravouhlých prostorových souřadnic. Dokonce ani konformní kvadratická transformace v soustavě symetrických souřadnic se v žádné z ověřovaných oblastí neukázala jako vhodnější.

Dosažené výsledky rovněž prokázaly možnost praktického použití i obecných nelineárních transformací v soustavě zeměpisných souřadnic, a to až do 4. stupně. Navíc plně potvrdily i předchozí závěr kapitoly 3.4 o možnostech výrazně lepšího sblížení poloh identických bodů u transformací obecných než u transformací konformních.

Kromě uvedených poznatků o vhodnosti různých druhů transformací mohou dát údaje v tabulkách 2 až 4 odpověď i na otázku, do jaké míry má smysl zvyšovat stupeň transformace. Pokud bychom totiž pro konkrétní ověřovaný případ požadovali, aby zbytkové odchylky v poloze identických bodů dosaho-

valy ve střední hodnotě asi 1 m (což odpovídá metrové polohové přesnosti bodů použité družicové sítě), plně by postačila v soustavě pravoúhlých prostorových souřadnic transformace kvadratická. V soustavě zeměpisných souřadnic by tomuto požadavku vyhověla obecná transformace kubická a na rozlohou menších plochách i obecná transformace kvadratická. Avšak vzhledem ke skutečnosti, že již v současné době a ve velmi blízké budoucnosti je možné očekávat dosažení přesnosti v určování poloh bodů družicových sítí prakticky o celý řád vyšší, mají své oprávnění i dosažené výsledky transformací třetího a čtvrtého stupně.

1. 0 7 6 4

...součástí kartografie státní a tvorbě mapy...
...včetně výškových bodů...
...včetně výškových bodů...
...včetně výškových bodů...

Výsledkem z tohoto stavu je automaticky...
...a počítačové grafiky v podobě databází...
...a počítačové grafiky v podobě databází...
...a počítačové grafiky v podobě databází...

...výškové bodové...
...výškové bodové...
...výškové bodové...

...výškové bodové...
...výškové bodové...
...výškové bodové...

...výškové bodové...
...výškové bodové...
...výškové bodové...

...výškové bodové...
...výškové bodové...
...výškové bodové...

...výškové bodové...
...výškové bodové...
...výškové bodové...

Literatura:

- [1] BÖHM, J.: Transformace souřadnic v geodesii. Praha 1948.
- [2] BURŠA, M.: Základy kosmické geodézie. Díl I. Praha, MNO 1967. 226 s.
- [3] JORDAN, W. — EGGERT, O. — KNEISSL, M.: Handbuch der Vermessungskunde. Bd. 4. 10. Ausg. Stuttgart 1959.
- [4] PRACHAŘ, J.: Kosmická geodézie. Brno, VAAZ 1984.
- [5] PRACHAŘ, J.: K transformaci prostorových pravoúhlých souřadnic na souřadnice zeměpisné. In: Voj. topogr. Obzor, 1972, č. 1.

Došlo 9. 2. 1987

Modely v automatizované tvorbě map

1. Úvod

Současná kartografie sleduje v tvorbě map zkrácení lhůt výroby, standardizaci a zkvalitnění obsahu map, zejména zvýšení polohové přesnosti, zvýšení věrohodnosti, aktuálnosti a nakonec také zefektivnění technologií. Obecně vzato se požadavky uživatelů stále více dostávají do rozporu s možnostmi zpracovatelů, které jsou omežovány technologickými postupy bez předpokladů radikálního zvýšení produktivity a kvality zpracování map.

Východiskem z tohoto stavu je automatizovaná tvorba map, závislá na aplikaci výpočetní techniky a počítačové grafiky v podobě databázových a interaktivních systémů. Automatizovaná tvorba map úzce souvisí s novými poznatky z oblasti teorie geografie a kartografie a s využíváním možností, které skýtají kybernetika, teorie systémů, topologie, teorie grafů a další vědecké disciplíny. Automatizovanou tvorbu map je žádoucí v dostatečné míře modelovat, protože jednorázové, nedostatečně promyšlené a dílčími postupy neověřené řešení nemá naději na úspěch. Z tohoto důvodu jsou uváděny obecně známé definice pojmů model, modelování, aplikované do kartografie.

Mapy stále chápeme jako časově podmíněné, rovinné, obrazově znakové modely rozmístění a vztahů fyzickogeografických a socioekonomických objektů i jevů, které jsou účelově vybrány, charakterizovány a graficky znázorněny.

Modelem rozumíme každé izomorfní zobrazení modelovaného systému. Model jako zobrazující systém se může i věcně lišit od systému modelovaného, avšak izomorfie jako podstata modelování je dána funkční podobností až totožností obou systémů. Modelování je operátorem transformace mezi modelovaným a modelujícím systémem. Tvorbu map můžeme ztotožnit s modelováním, jestliže do výchozího systému zahrneme kromě objektivní reality krajinné sféry i další podstatné počklady, kterými mohou být již dříve vyhotovené mapy, letecké snímky, snímky dálkového průzkumu Země, soubory číselných a textových dat.

2. Informatický a funkční model automatizované tvorby map

Tradiční i automatizovaná tvorba i obnova map mají totožný cíl — zhotovení finálních mapových produktů. V obou se pracuje s obsahově shodnými kartografickými informacemi, při jejichž získání se vychází přímo nebo zprostředkovaně z objektivní reality fyzickogeografických a socioekonomických objektů krajinné sféry. Je zřejmé, že analýzou a následnou syntézou konvenční tvorby a obnovy map lze dospět k zobecňujícím výsledkům, jejichž uplatnění bude analogické i pro automatizovanou tvorbu map.

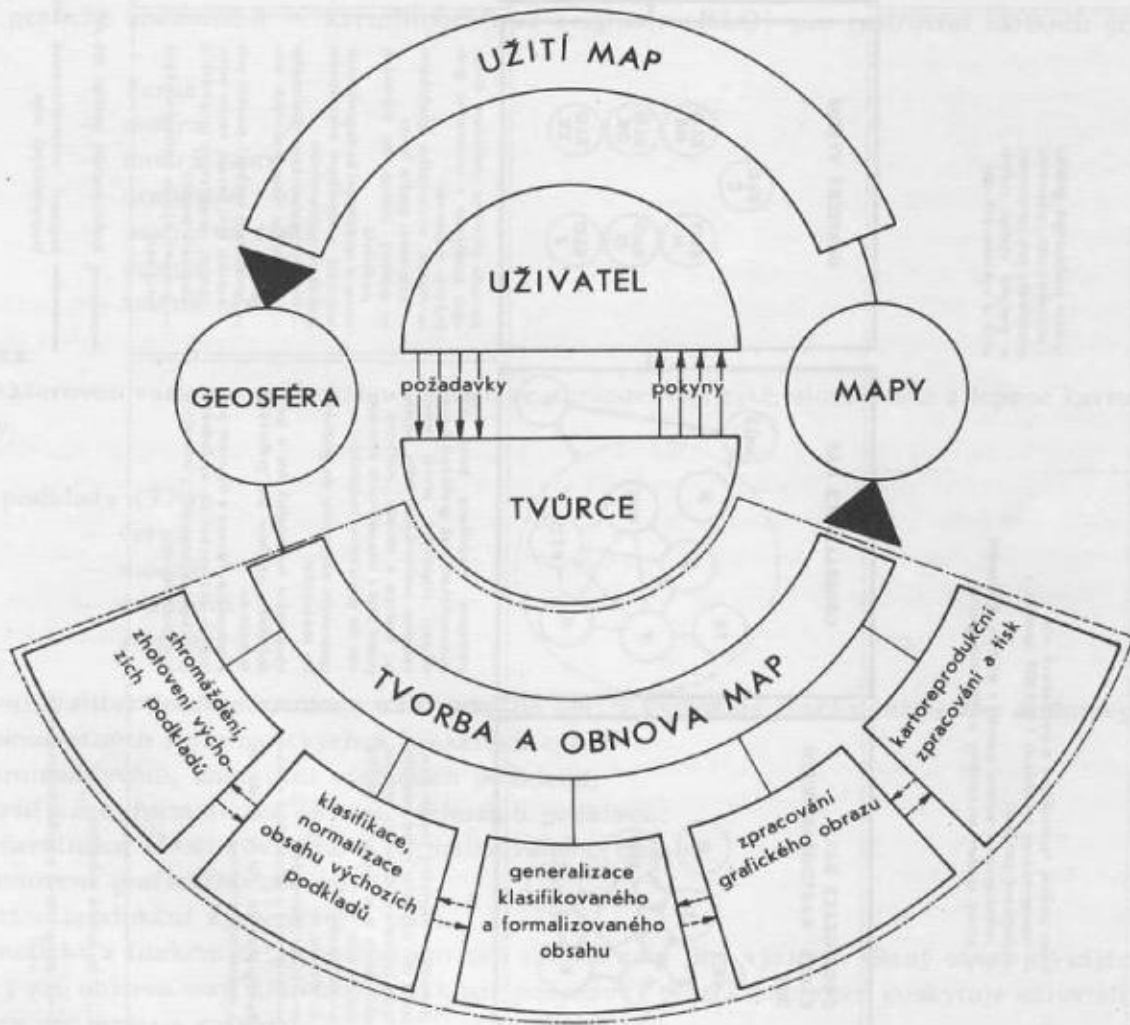
Je-li konvenční tvorba a obnova map zkoumána v patřičných souvislostech, pak lze z procesu vzniku, zpracování a komunikace kartografických informací vyvodit informatický model automatizované tvorby map.

Studiem vnitřní struktury a prvků konvenční tvorby a obnovy map ve vzájemných časových i logických vztazích získáváme poznatky, které se po zvážení možností náhrady dílčích činností nebo realizací nových, vědecky podložených a efektivních řešení mohou formovat do funkčního modelu automatizované tvorby map.

Informatické procesy jak v konvenční, tak v automatizované tvorbě map jsou východiskem pro utváření funkční struktury. V konvenční tvorbě a obnově map se informatické prvky a vztahy hluboce prolínají s funkčními závislostmi. Automatizovaná tvorba map je sjednocením informatických a funkčních procesů, zabezpečovaných v co největší míře technickými a programovými databázovými a interaktivními prostředky výpočetních systémů a počítačové grafiky.

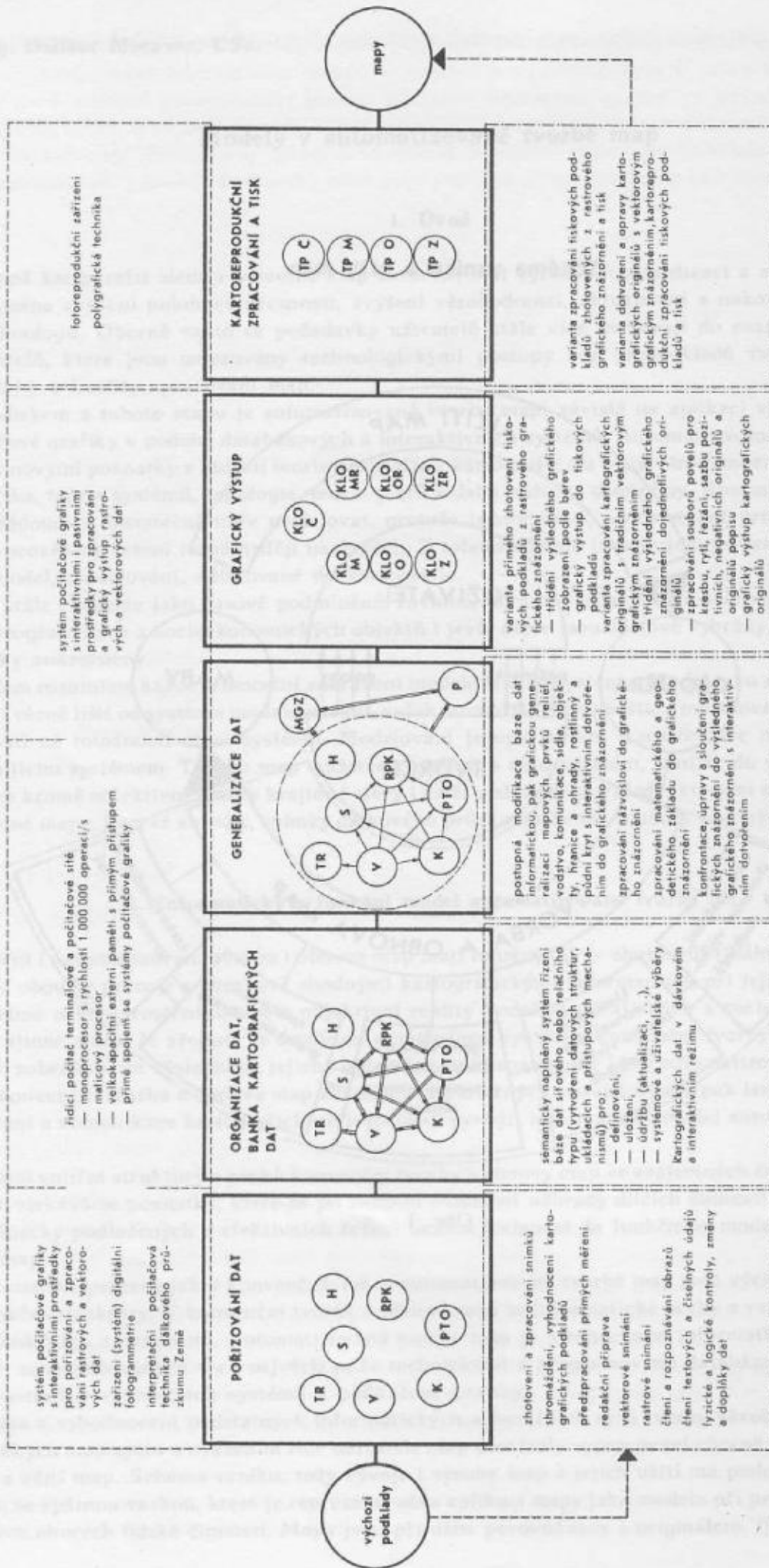
Analýza a vyhodnocení podstatných informatických a funkčních rysů tvorby všeobecněgeografických i tematických map spolu s uvážením role uživatele map umožnily vypracování obecně platného schématu vzniku a užití map. Schéma vzniku, tedy vývoje i výroby map a jejich užití má podobu kybernetického systému se zpětnou vazbou, která je reprezentována aplikací mapy jako modelu při projektování a řízení v různých oborech lidské činnosti. Mapy jsou při užití porovnávány s originálem, tj. výchozím stavem

Schéma vzniku a užití map



Obr. 1

Informatický a funkční model automatizované tvorby map



— technické vybavení
 - - - - - programové a technické vybavení
 — technologický postup, tak dat
 - - - - - segment - automatizované tvorby topografických map

Obr. 2

Vysvětlivky k obr. 2 „Automatizovaná tvorba map“

mapové prvky

TR	— terénní reliéf
V	— vodstvo
K	— komunikace
S	— sídla
PTO	— průmyslové a topografické objekty
RPK	— rostlinný a půdní kryt
H	— hranice a ohrady
MGZ	— matematický a geodetický základ
P	— popis

barevné grafické znázornění — kartolitografické originály (KLO) pro rastrovou variantu grafického výstupu

Č	— černá
M	— modrá
MR	— modrá rastr
O	— oranžová
OR	— oranžová rastr
Z	— zelená
ZR	— zelená rastr

Poznámka:

Pro vektorovou variantu grafického výstupu se zpracovávají ryté, sloupávané a lepené kartografické originály.

tiskové podklady (TP)

Č	— černá
M	— modrá
O	— oranžová
Z	— zelená

objektivní reality. Schéma vzniku a užití map na obr. 1 vyjadřuje rozčlenění tvorby a obnovy do relativně samostatných informatických a funkčních celků:

- shromažďování, zhotovení výchozích podkladů;
- klasifikace, formalizace obsahu výchozích podkladů;
- generalizace klasifikovaného a formalizovaného obsahu;
- zhotovení grafického obrazu;
- kartoreprodukční zpracování a tisk.

Informatické a funkční celky mohou mít pro tvorbu map jiný význam, různý obsah i vzájemné proporce než pro obnovu map. Uživatel map klade požadavky tvůrci map a ten poskytuje uživateli pokyny, informace pro práci s mapami.

Schéma vzniku a užití map bylo aplikováno při formování informatického a funkčního modelu automatizované tvorby map, v němž se rozčlenění do zmíněných relativně samostatných celků plně odrazilo. Informatický a funkční model na obr. 2 obsahuje segmenty:

- pořizování dat;
- organizace dat;
- generalizace;
- grafický výstup;
- kartoreprodukční zpracování a tisk.

Ústředním segmentem automatizované tvorby map se stává organizace dat daná bankou kartografických dat. Technologie, které banku dat akceptují, jsou označovány jako technologie databankové.

Segmenty pořizování dat a organizace dat jsou pro veškeré technologie společné co do funkce, tzn. že získaná, uložená a aktualizovaná kartografická data jsou i s přístupovými mechanismy k dispozici pro kartografické i nekartografické aplikace. Tvorba map vždy zahrnuje všechny segmenty v případě

zpracování mapových listů základního měřítka. Tvorba odvozených map začíná až od segmentu generalizace. Totéž, ale již pro všechna měřítka, platí pro obnovu map.

Informatický a funkční model automatizované tvorby map vykazuje značná pozitiva ve srovnání s týmiž stupni úzce účelově zaměřených projektů, které bývají pouhými kopiemi konvenčních technologických postupů a jsou zásadně omezeny atypickým a jednorázovým pořízením dat. Tyto projekty tvorby vždy jediného druhu a měřítka mapy nezahrnují do řešení organizaci dat jako banku dat, čímž nejsou vytvořeny předpoklady vícenásobného a víceúčelového využití kartografických dat.

V informatickém a funkčním modelu je každému segmentu přiřazeno jisté technické, programové a technologické vybavení; odsud lze také vyvodit základní materiálové a organizační zabezpečení.

Postup po segmentech představuje podstatné technologické činnosti a informační toky, z nichž lze vytvářet variantní a flexibilní databankové technologie zpracování jednotlivých mapových prvků nebo i úplného obsahu map.

Mezi segmenty vznikají rozhraní ve formách:

- souborů pořízených dat;
- báze kartografických dat;
- modifikované báze kartografických dat;
- souborů grafických (digitálních) dat;
- kartografických originálů.

Kromě obecně známých výhod, jež vyplývají z využívání banky dat, skýtá navržený informatický a funkční model další efekty, zejména:

- standardizaci a unifikaci zpracování v segmentu pořizování dat;
- uvedení dat do příslušných vztahů s možností organizace, ale především aktualizace nezávisle na kartografické hierarchii prvků obsahu základní podkladové mapy; kartografická hierarchie mapových prvků je respektována až při řešení generalizace;
- generalizaci dat pro tvorbu odvozených map z jediného datového fondu;
- postupný vznik náplně banky dat podle uživatelských potřeb.

Akceptování informatického a funkčního modelu automatizované tvorby map v segmentovaném pojetí zaručuje další systémový rozvoj, značnou nezávislost na inovacích současných a zavádění progresivnějších technických prostředků, flexibilitu a variantnost databankových technologií a nakonec i plné zúročení vynaloženého výzkumného a vývojového úsilí.

3. Logickomatematický model

Konvenční tvorbu a obnovu map převážně realizujeme jako obrazově znakové modelování vybraných fyzikogeografických a socioekonomických objektů a jevů, jejich rozmístění a vztahů v krajinné sféře. Toto kartografické modelování, jež formuje obsah a postupy zpracování map, využívá kromě kartografického jazyka vymezeného daným souborem smluvených značek také přirozeného jazyka. Vlastností i výhodou přirozeného jazyka je práce s vágními pojmy, což dovoluje obcházet složitost modelovaného systému a umožňuje vyšší neurčitost v diferencování reality.

Automatizovaná tvorba a obnova map, v níž se vychází z modelování struktury kartografických dat v číselné formě, naopak vyžaduje co nejpřesnější určení reality a definování pojmů. Významným předpokladem automatizované tvorby a obnovy je sestavení logickomatematického modelu map. Model lze charakterizovat přívlaskty: determinovaný, deduktivní a strukturální. Logickomatematický model map můžeme považovat za systém s relacemi a k jeho popisu využít aparát teorie množin a teorie grafů.

Intuitivně zřejmé jsou výchozí pojmy prvek a množina. Množinu A , obsahující všeobecné neindexované prvky a , vyjádříme jako $A = \{a\}$ nebo $A = \{a \in A : V(a)\}$, kde $V(a)$ je výroková funkce. Na množinách se vykonávají množinové operace. Další potřebné pojmy představují kartézský součin, relace (vztah), funkce (zobrazení) a systém.

Kartézským součinem množin A, B, \dots, M rozumíme úplnou množinu uspořádaných m -tic všeobecných neindexovaných prvků a, b, \dots, m , kde $a \in A, b \in B, \dots, m \in M$, což vyjádříme

$$A \times B \times \dots \times M = \{ \langle a, b, \dots, m \rangle \}. \quad (1)$$

Relaci definujeme jako podmnožinu kartézského součinu s vlastnostmi, podmínkami ν

$$R^n \subseteq A \times B \times \dots \times M. \quad (2)$$

Binární relaci f nazveme funkcí, jestliže pro

$$\langle a, b \rangle \in f, \langle a, c \rangle \in f \text{ platí } b = c. \quad (3)$$

Funkce přiřazuje každému prvku $a \in A$ právě jeden prvek $b = f(a) \in B$. Funkci značíme $f: A \rightarrow B$, hovoříme o definičním oboru vzorů A a funkčním oboru obrazů B . Pojem funkce můžeme podle potřeby rozšířit nebo blíže specifikovat.

Systém s relacemi se vyjadřuje vztahem

$$S = \langle A, R_1, R_2, \dots, R_m \rangle, \quad (4)$$

kde množina A je oborem systému a R_1, R_2, \dots, R_m jsou relace m -násobného kartézského součinu A^m .

Pro množinu fyzickogeografických a socioekonomických objektů a jevů $O = \{o\}$ znázorňovaných na mapách zavedeme násobné kartézské součiny

$$\begin{aligned} O \times O &= O^2 \\ O \times O \times O &= O^3 \\ \underbrace{O \times O \times O \dots \times O}_m &= O^m, \end{aligned} \quad (5)$$

což umožňuje definovat relace jako podmnožiny

$$R \subseteq \{O^2, O^3, \dots, O^m\}. \quad (6)$$

Toto určení relací vyplývá z poznatku, že ve vzájemných vztazích se mohou vyskytovat dvojice, trojice, případně m -tice objektů a jevů. Binární relace však budou v logickomatematickém modelu převažovat.

Logickomatematický model map můžeme získat z modelů (obrazů) reálného systému krajinné sféry S , a to buď z nekartografických modelů (fotografické snímky, televizní obraz, číselný model atd.)

$$f: M_N \rightarrow M_{LM}, \quad (7)$$

nebo ze základních topografických map, tj. z kartografického modelu

$$g: M_K \rightarrow M_{LM}, \quad (8)$$

kde funkce f, g jsou operátory zobrazení metrických prostorů na metrické prostory.

V konvenční tvorbě a obnově převážné většiny map se využívá přechodu model — model, protože výchozími podklady jsou dříve vyhotovené mapy, letecké a kosmické snímky spolu s dalšími zprostředkujícími materiály. Proto bude pro sestavení logickomatematického modelu přirozené i jednodušší uplatnění operátoru g .

Logickomatematický model map lze definovat, jestliže $O = \{o\}$ je množinou fyzickogeografických a socioekonomických objektů a jevů znázorňovaných v mapách, jako systém s relacemi

$$M_{LM} = \langle O, \{R^p\}, \{R^o\}, R^t \rangle, \quad (9)$$

kde horní znaky u relací vyjadřují jejich podstatné, tj. p — prostorové, o — obsahové, t — časové vlastnosti.

V logickomatematickém modelu map potřebujeme lokalizovat objekty, jevy, relace a pracovat s jejich topologickými vlastnostmi. Proto užíváme termíny metrický a topologický prostor.

Nechť je dána množina M a funkce $\rho : M \times M \rightarrow E^1$, kde E^1 je množina reálných čísel. Funkci ρ nazveme metrikou, má-li tyto vlastnosti:

- pro každé dva prvky $a, b \in M$ je

$$\rho(a, b) \geq 0, \rho(a, b) = 0, \text{ když } a = b, \rho(a, b) = \rho(b, a),$$

- pro každé tři prvky $a, b, c \in M$ je

$$\rho(a, b) + \rho(b, c) \geq \rho(a, c). \quad (10)$$

Dvojici (M, ρ) nazveme metrickým prostorem. Pro logickomatematický model zavedeme dvourozměrný metrický prostor (E^2, ρ_e) , kde E^2 je množina všech uspořádaných dvojic reálných čísel a euklidovská metrika ρ_e je definována

$$\rho(S_i, S_j) = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (11)$$

pro každé dva body $S_i = \langle x_i, y_i \rangle, S_j = \langle x_j, y_j \rangle \in E^2$.

Euklidovská metrika ρ_e nevyklučuje zavedení jiných metrik v rovině E^2 .

Topologický prostor definujeme buď přímo, nebo zobecněním metrického prostoru.

Topologickou strukturou na množině M nazýváme systém T podmnožin množiny M s vlastnostmi:

- $0, M \in T$; (12)
- sjednocení libovolného systému množin z T patří do T ;
- průnik každých dvou množin z T patří do T .

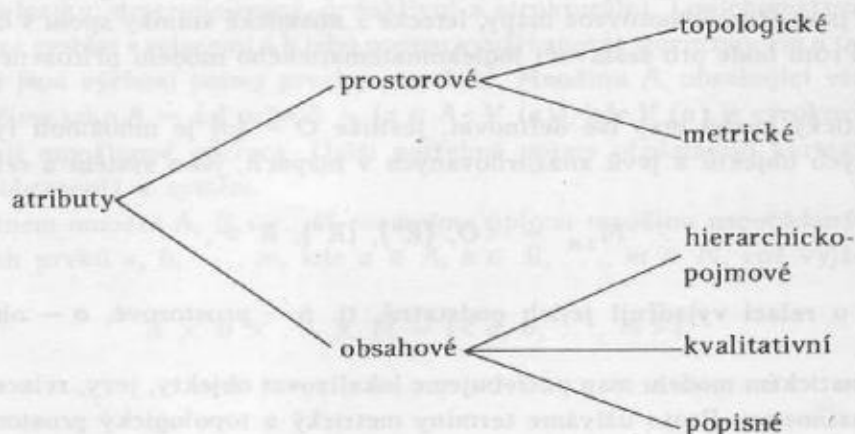
Dvojici (M, T) nazveme topologickým prostorem. Z definice vyplývá, že v metrickém prostoru (M, ρ) , tedy i (E^2, ρ_e) lze definovat topologické struktury a pracovat s nimi. Každá vlastnost topologického prostoru definovaná prostřednictvím topologické struktury je jeho topologickým invariantem. Za topologické vlastnosti pokládáme ty vlastnosti, k jejichž určení využíváme pojmy otevřená množina, uzavřená množina, bod, okolí bodu, bod uzávěru, hromadný bod, uzávěr, vnitřek, vnějšek a hranice množiny, oblouk, oblast, spojitě zobrazení a další.

Pro popis a práci s logickomatematickým modelem map lze aplikovat topologické pojmy vrchol, oblouk, oblast, jim příbuzné pojmy uzel, hrana, multihrana orientovaná i neorientovaná z teorie grafů, vyšetřovat topologické relace, zejména sousedství a incidenci, na metrických vlastnostech zakládat lokalizaci a konstrukci geometrických útvarů.

Objekty a jevy logickomatematického modelu jsou dány soubory svých atributů s prostorovou a obsahovou povahou. Objekt či jev modelu je pomocí typické množiny atributů $A = \{a\}$ a množiny relací na nich $\{RO\}$ vyjádřen opět jako systém

$$o = \langle A, \{RO\} \rangle. \quad (13)$$

Pomocí atributů vyjadřujeme lokalizační, topologickou a sémantickou náplň objektů a jevů logickomatematického modelu. Základní rozčlenění atributů je znázorněno ve schématu:



Prostorově topologické atributy slouží k popisu morfologie objektů a jevů logickomatematického modelu, zejména jejich vnější i vnitřní struktury, nezávisle na metrických a obsahových vlastnostech. Již zavedené pojmy vrchol, oblouk, oblast jsou skladebnými topologickými jednotkami, kterými lze vyjádřit topologickou strukturu bodových, liniových a plošných útvarů jednotlivých objektů a jevů. Topologickou strukturu sice považujeme za určující a výchozí pro metrické, případně obsahové atributy objektů a jevů, musíme však připustit, že některé z metrických a obsahových vlastností mohou topologickou strukturu indukovat.

Bodový útvar vystupuje obvykle jako izolovaný bod, nebo jako vrchol vůči obloukům a oblastem, nebo jako podmnožina oblasti. Z hlediska vlastních prostorově topologických atributů však zůstává primitivním prvkem.

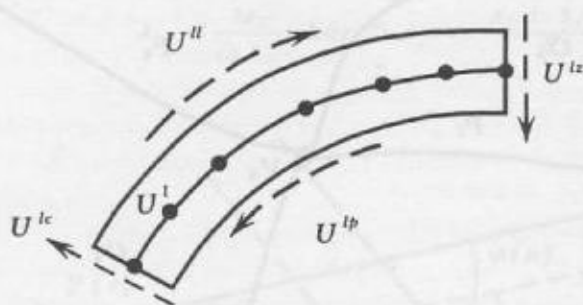
Liniový útvar X představuje uspořádanou množinu, orientovaný prostý sled vrcholů a oblouků

$$U^l(X) = [V_0, P_1, V_1, P_2, \dots, P_n, V_n], \quad (14)$$

kde $V_0 \neq V_n$ pro neuzavřený útvar, $V_0 = V_n$ pro uzavřený útvar. S ohledem na metriku logickomatematického modelu pokládáme vrcholy a oblouky sledu do geometrické osy liniového útvaru. V kartografickém modelu jsou liniové útvary znázorňovány s jistou hodnotou své šířky nebo také dvoučáře. Při důsledném respektování homeomorfie lze v logickomatematickém modelu definovat s využitím hodnoty metrické vzdálenosti — šířky — liniový útvar

$$U_s^l(X) = U^{lc}(X) \cup U^{ll}(X) \cup U^{lz}(X) \cup U^{lp}(X), \quad (15)$$

kde znaky c, l, z, p určují čelní, levý, zadní, pravý orientovaný sled vrcholů a oblouků. Situaci znázorňuje obr. 3 včetně orientace nosného sledu $U^l(X)$ a orientací pomocných sledů. Pomocné sledy U^{lc} , U^{ll} , U^{lz} , U^{lp} jsou hranicí oblasti liniového útvaru, která je ovšem topologicky nepodstatná.



Obr. 3

Plošný útvar X považujeme za souvislou množinu — oblast, která může být prstencovým okolím jiných oblastí. Hranici plošného útvaru vymezují vrcholy a oblouky, jejichž množinu definujeme

$$U^p(X) = H^{pl}(X) \cup U^{pe}(X), \quad (16)$$

kde $H^{pl}(X)$ je množina hranic daných interními oblouky a $U^{pe}(X)$ je sled externích vrcholů a oblouků, určujících vnější hranici s orientací.

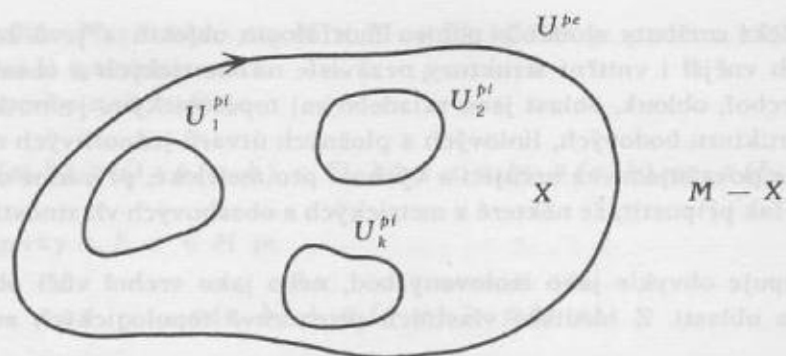
Pak pro k vnitřních oblastí platí

$$H^{pl}(X) = \bigcup_1^k U_i^{pl}(X), \quad (17)$$

$U_i^{pl}(X)$ jsou sledy interních vrcholů a oblouků.

Topologická struktura plošného útvaru je znázorněna na obr. 4.

Příklady topologicky interpretovatelných útvarů jsou nasnadě v kartografickém modelu. Liniové prvky reprezentují pozemní a drážní komunikace, vrstevnice, jednočáře znázorněné vodní toky. Plošné

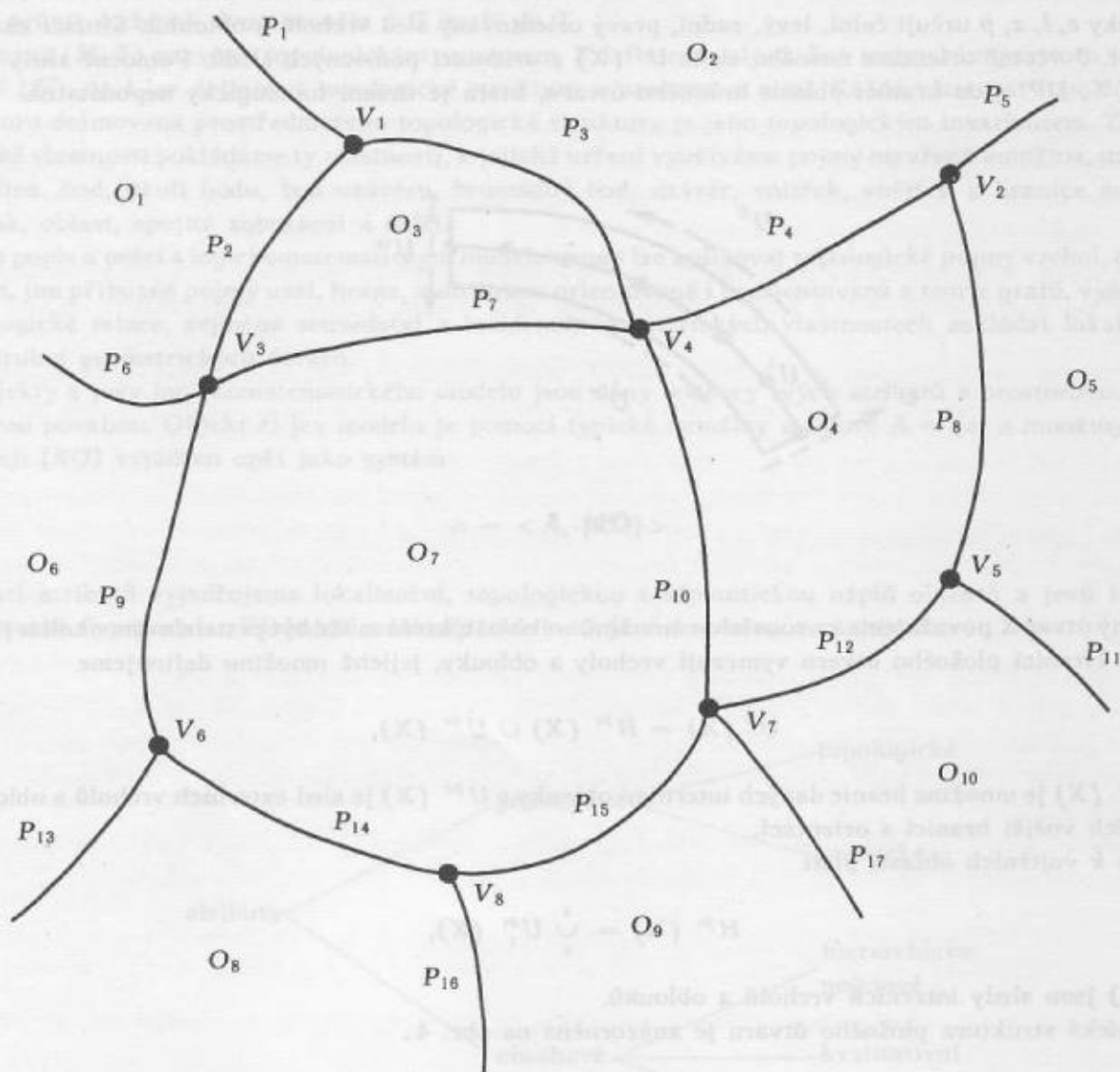


Obr. 4

útvary představují v měřítku znázorněné vodní toky, nádrže, plochy půdního a rostlinného krytu, budovy, bloky budov atd.

Lokalizaci a popis geometrického tvaru objektu nebo jevu logickomatematického modelu realizují v prostoru (E^2, ρ_e) a v dané pravoúhlé kartézské souřadnicové soustavě prostorově metrické atributy.

V souvislém a v topologicky úplném prostoru můžeme konstruovat systém konečného počtu $(n \geq 2)$ jednoduchých oblouků P_i , které vymezují oblasti O_j . Krajní body oblouků nazveme vrcholy V_k (obr. 5).



Obr. 5

Prostorově metrický atribut bodového útvaru vyjádříme pouhou souřadnicovou dvojicí

$$a^{pm} = \langle x, y \rangle, \quad (18)$$

Liniové útvary, vyjadřující některé objekty a jevy logickomatematického modelu, se v mapách znázorňují čarami, které z hlediska diferenciální geometrie většinou nelze označit za regulární křivky ani za křivky. Neexistuje totiž pro ně vyjádření spojitými reálnými funkcemi reálné proměnné. Hlavně proto jsou liniové útvary interpretovány po částech uspořádanými bodovými množinami. Množiny leží v geometrických osách liniových útvarů, přičemž zvoleným směrem pohybu po linii určujeme uspořádání bodů, které zaznamenáme jejich narůstajícím indexem $i = 1, 2, \dots, n$. Bodovou množinu L liniového útvaru nyní vyjádříme

$$L = \{ \langle x_i, y_i \rangle \}_{i=1}^n. \quad (19)$$

Přímkovým spojením po sobě jdoucích bodů

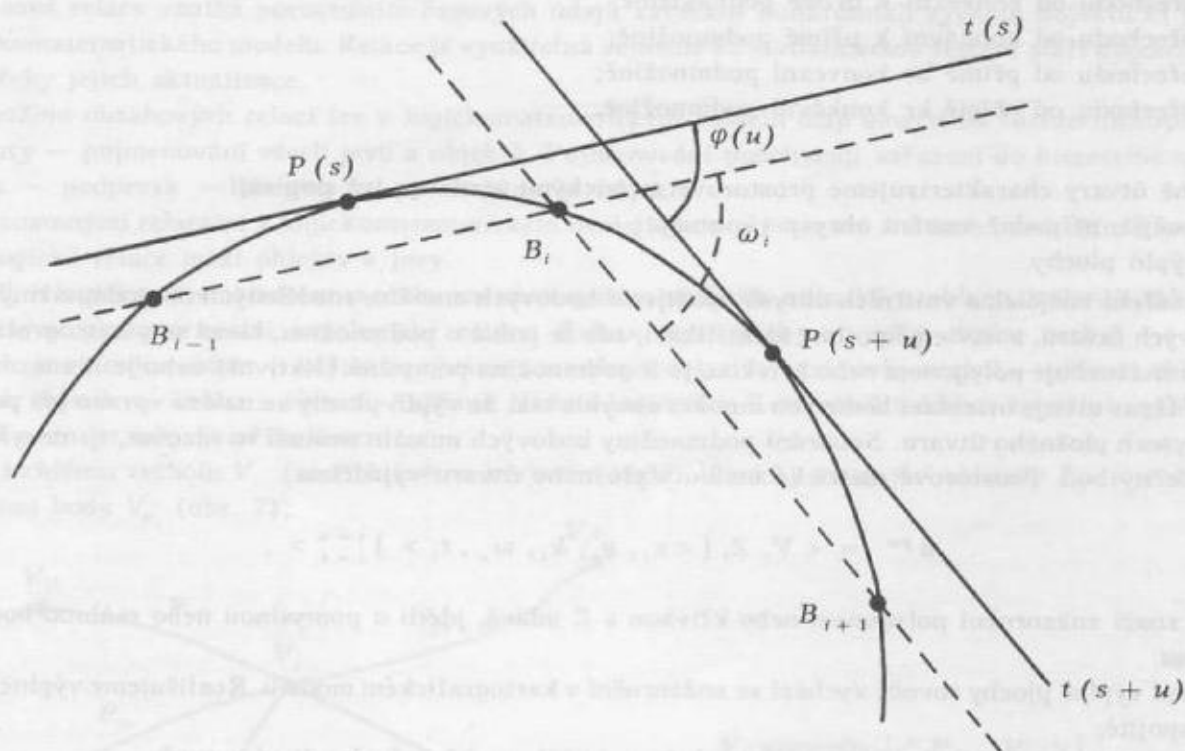
$B_i = \langle x_i, y_i \rangle, B_{i+1} = \langle x_{i+1}, y_{i+1} \rangle$ konstruujeme na bodové množině L polygon o stranách s_i , směrnících α_i pro $i = 1, 2, \dots, n-1$. Mezi směrníky stran α_i, α_{i-1} lze určovat orientované rozdíly $\omega_i = \alpha_i - \alpha_{i-1}$ pro $i = 2, 3, \dots, n-1$.

Na rovinné regulární křivce dané vektorovou rovnicí $\vec{p} = \vec{p}(s)$, kde parametr s je oblouk, o bodech $P(s), P(s+u)$, o tečnách $t(s), t(s+u)$ s neorientovaným úhlem $\varphi(u)$ platí pro křivost

$$k(s) = \lim_{u \rightarrow 0} \frac{\varphi(u)}{u}. \quad (20)$$

Nyní podle obr. 6 na polygonu, zkonstruovaném v bodové množině L , pro každou jeho trojici bodů B_{i-1}, B_i, B_{i+1} o stranách $s_{i-1}, s_i \rightarrow 0$ platí se zanedbatelnou chybou pro křivost kruhového oblouku:

$$k_i = \frac{\omega_i}{\Delta s_i}, \text{ kde } \Delta s_i = \frac{s_i + s_{i-1}}{2}. \quad (21)$$



Obr. 6

Z této úvahy vyplývá, že pomocí úhlů ω_i můžeme obdobně jako na křivkách určovat i v bodových množinách liniových útvarů konvexní, konkávní a přímé podmnožiny.

Podmnožinu bodové množiny danou body P_i, P_{i+1}, \dots, P_j pro $1 < i < j < n$ nazveme, je-li každý z úhlů

$$\omega_i, \omega_{i+1}, \dots, \omega_j, \left\{ \begin{array}{l} > 0 \text{ konkávní} \\ < 0 \text{ konvexní} \\ = 0 \text{ přímou} \end{array} \right\} \text{ podmnožinou.}$$

V podmnožině

- konkávní nazveme bod P_k s $\omega_k = \max.$ lokálním maximem,
- konvexní nazveme bod P_k s $\omega_k = \min.$ lokálním minimem.

Body přechodu P_k mezi podmnožinou konvexní a konkávní s $\omega_k \rightarrow 0$ a naopak nazýváme inflexními body.

Body přechodu mezi přímou a konvexní nebo konkávní podmnožinou a naopak, inflexní a běžné body můžeme nazvat regulárními body bodových množin. Obdoby singulárních bodů, zejména násobné body křivek, nebudou na bodových množinách liniových útvarů určovány, protože vesměs vymezují topologické relace mezi objekty a jevy logickomatematického modelu. Liniové útvary jsou tak rozkládány do více bodových množin, které souhrnně určují geometrický tvar objektů a jevů. Liniové útvary jsou tedy dány bodovými množinami, jež se v kartografickém modelu znázorňují buď polygonem, nebo po částech či souvisle interpolovanou nebo aproximovanou křivkou.

V ideálním případě vyjádříme liniový útvar prostorově metrickými atributy:

$$a^{pm} = \langle V, [\langle x_i, y_i, k_i, \omega_i, t_i \rangle]_{i=1}^{i=n} \rangle, \quad (22)$$

kde V určuje znázornění polygonem nebo křivkou, k_i hodnotu křivosti, ω_i orientovaný úhlový rozdíl, t_i typ pro i -tý bod množiny.

Typem t_i rozlišujeme body:

- počáteční;
- koncový;
- lokálního maxima;
- lokálního minima;
- inflexní;
- přechodu od konvexní k přímé podmnožině;
- přechodu od konkávní k přímé podmnožině;
- přechodu od přímé ke konvexní podmnožině;
- přechodu od přímé ke konkávní podmnožině.

Plošné útvary charakterizujeme prostorově metrickými atributy, jež popisují:

- vnější, případně vnitřní obrysy (kontury);
- výplň plochy.

Pro vyjádření vnějších a vnitřních obrysů využijeme bodových množin, rozdělených na podmnožiny jako u liniových útvarů, a navíc připojíme identifikaci, zda se jedná o podmnožinu, která se v kartografickém modelu znázorňuje polygonem nebo křivkou, je-li podmnožina pomyslná (fiktivní) nebo je-li znázorněna reálně. Úzus určuje orientaci bodových množin obvykle tak, že výplň plochy se nalézá vpravo při pohybu po obrysech plošného útvaru. Sousední podmnožiny bodových množin nemusí navazovat, tj. nevyžaduje se společný bod. Prostorově metrické atributy plošného útvaru vyjádříme

$$a^{pm} = \langle V, Z, [\langle x_i, y_i, k_i, \omega_i, t_i \rangle]_{i=1}^{i=n} \rangle, \quad (23)$$

kde V značí znázornění polygonem nebo křivkou a Z udává, jde-li o pomyslnou nebo reálnou bodovou množinu.

Určení výplně plochy rovněž vychází ze znázornění v kartografickém modelu. Rozlišujeme výplně:

- spojitě;
- diskrétní, složené obvykle z bodových kresebných prvků jednoho či více typů.

Interpretaci výplně vyhoví atribut

$$a^{pm} = \langle P, \langle x_u, y_u, x_p, y_p \rangle \rangle, \quad (24)$$

kde v P značíme typ spojitě či diskrétní výplně a čtveřice souřadnic udává jen pro diskrétní výplň výchozí bod, určující spolu s pomocným bodem umístění a orientaci výplně.

Obsahové atributy objektů a jevů logickomatematického modelu lze dělit ve více úrovních na atributy:

- hierarchickopojmové;
- kvalitativní
 - . prosté,
 - . s číselnou hodnotou;
- popisné
 - . prosté,
 - . s číselnou hodnotou,
 - . s druhotným alfabetským popisem.

Hierarchickopojmovým atributem objektu či jevu nazveme jeho pojmenování. Objekty a jevy můžeme právě pojmenováním zařadit do hierarchie třída — podtřída — skupina — podskupina — prvek odpovídající v kartografickém smyslu pro mapy hierarchii mapový prvek — mapový podprvek — skupina — podskupina — objekt či jev. Hierarchii můžeme vyjadřovat souvislým grafem, většinou minimálně souvislým grafem — stromem, přičemž nemusí být některé z úrovní, mimo první, tj. mapový prvek, a poslední, tj. objekt či jev, vůbec stanovovány.

Kvalitativní atribut, ať prostý, nebo s číselnou hodnotou, v závislosti na pojmenování umožňuje grafické znázornění objektu nebo jevu logickomatematického modelu.

Popisný atribut, ať prostý, s číselnou hodnotou, nebo s druhotným alfabetským popisem, rovněž v závislosti na pojmenování určuje charakteristiku, která se kartograficky znázorňuje číselnou hodnotou s příslušnou dimenzí nebo znakovou zkratkou.

Objekt logickomatematického modelu byl vyjádřen jako systém atributů s relacemi. Relace mezi atributy lze charakterizovat takto:

- kvalitativní a popisné atributy závisí na pojmenování, tj. hierarchickopojmovém atributu; tento vztah je jedinečný, relace hierarchickopojmového atributu daného objektu nebo jevu na kvalitativní či popisný atribut mimo předem určený seznam není povolena;
- popisné atributy jako jediné mohou být lokalizovány jak k celému objektu, tak k podmnožině bodové množiny nebo i k bodu bodové množiny objektu.

Logickomatematický model byl definován jako systém zahrnující relací časovou a relace obsahové.

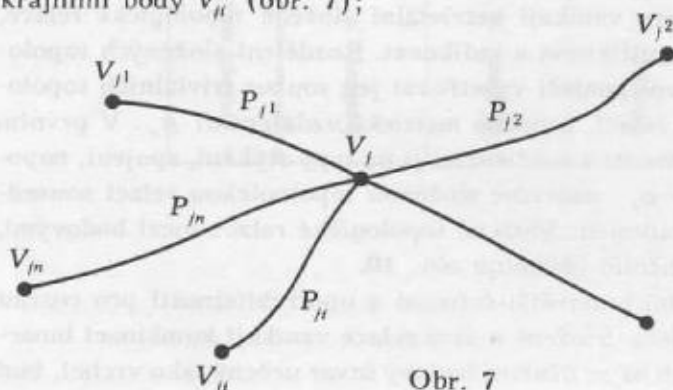
Časová relace vzniká porovnáním časových údajů zavedení konkrétních výskytů objektů či jevů do logickomatematického modelu. Relace je využitelná zejména ke statistickému šetření stáří objektů a jevů i potřeby jejich aktualizace.

Množinu obsahových relací lze v logickomatematickém modelu map omezit na hierarchickopojmové atributy — pojmenování všech jevů a objektů. Pojmenování podchycují zařazení do hierarchie mapový prvek — podprvek — skupina — podskupina — objekt.

Významnými relacemi v logickomatematickém modelu jsou prostorové a z nich především prostorově topologické relace mezi objekty a jevy.

Je-li v logickomatematickém modelu zaveden systém vrcholů, oblouků a oblastí, existují také mezi uvedenými prvky triviální topologické relace. Relace mezi prvky stejného druhu vrchol — vrchol, oblouk — oblouk a oblast — oblast nazýváme sousedství, relacím mezi prvky vrchol — oblouk, oblouk — vrchol, oblouk — oblast a oblast — oblouk říkáme incidence. Konkrétně můžeme triviální topologické relace určovat tak, že přiřadíme:

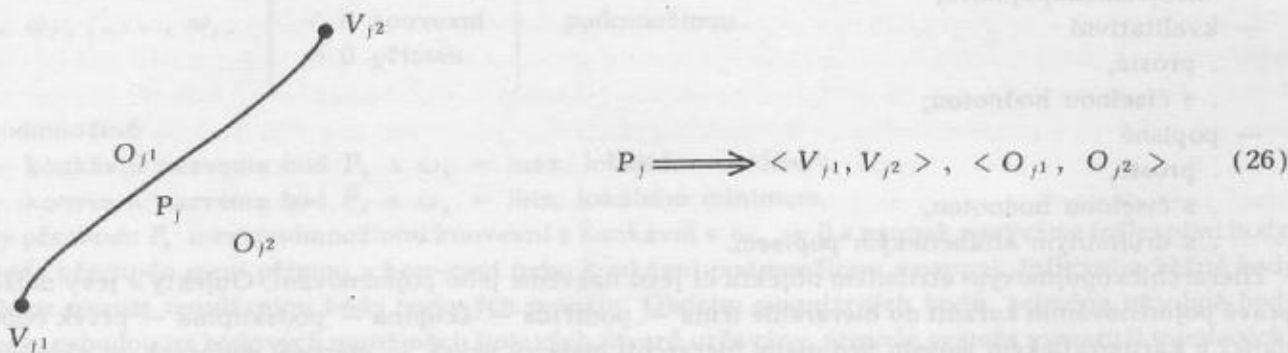
- každému vrcholu V_j (ztotožněnému krajnímu bodu oblouků) incidující oblouky P_μ s vrcholy — krajními body V_μ (obr. 7);



Obr. 7

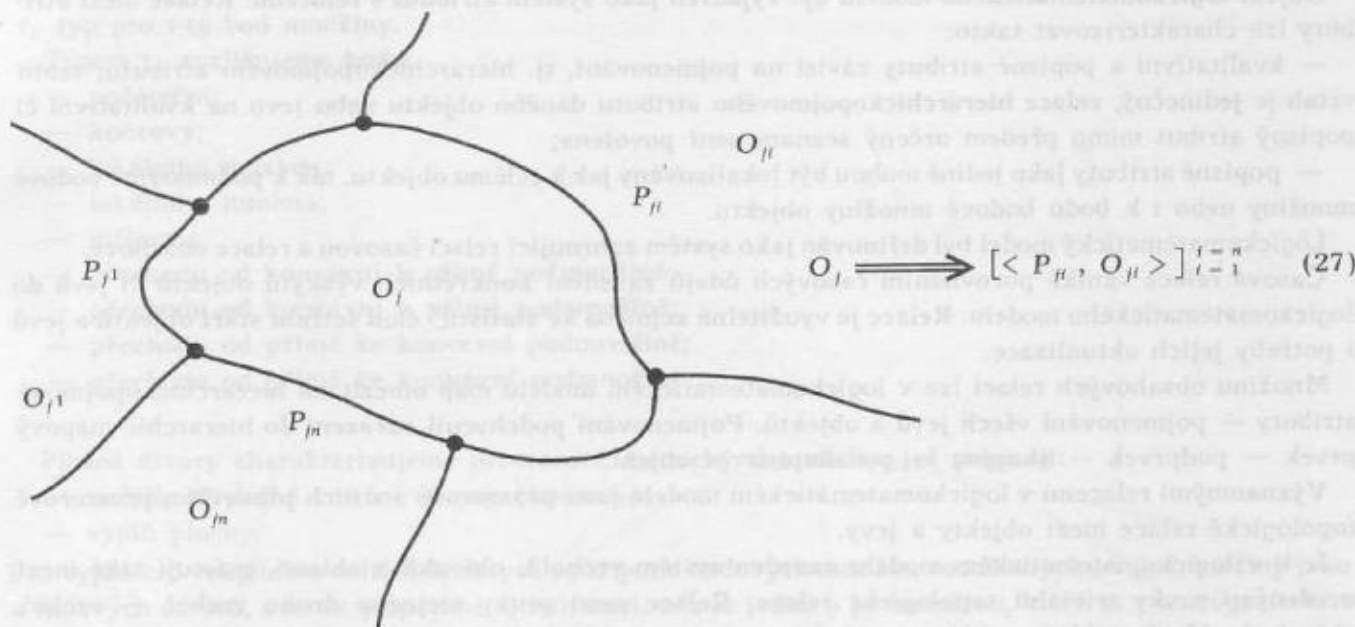
$$V_j \implies \{ \langle P_\mu, V_\mu \rangle \}_{\mu=1}^n \quad (25)$$

— každému oblouku P_i incidující krajní body V_{j1}, V_{j2} a obě oblasti ležící po jeho stranách O_{j1}, O_{j2} (obr. 8);



Obr. 8

— každé oblasti O_i její hranici danou oblouky $P_{j1}, P_{j2}, \dots, P_{jn}$ s přilehlými oblastmi $O_{j1}, O_{j2}, \dots, O_{jn}$ (obr. 9).



Obr. 9

V logickomatematickém modelu jsou objekty a jevy z hlediska geometrického utváření reprezentovány bodovými, liniovými a plošnými útvary. Mezi útvary vznikají netriviální složené topologické relace, které je žádoucí v logickomatematickém modelu identifikovat a indikovat. Rozdělení složených topologických relací je založeno na tom, zda k jejich určení postačí vyšetřovat jen soubor triviálních topologických relací nebo zda je nutno využít metrických relací, zejména metrické vzdálenosti ρ_e . V prvním případě nazveme složené topologické relace incidentností a rozčleníme ji na typy stýkání, spojení, napojení, křížení a vložení. V případě aplikace metriky ρ_e nazveme složenou topologickou relaci sousedností, která zahrne dva typy, souběžnost a ekvidistantnost. Složené topologické relace mezi bodovými, liniovými a plošnými útvary i s grafickým znázorněním obsahuje obr. 10.

Na obr. 10 uvedené relace jsou relacemi binárními s největší četností a upotřebitelností pro tvorbu topologických struktur v logickomatematickém modelu. Složené n -ární relace vznikají kombinací binárních relací. Některé z uvedených relací, zvláště ty, jichž se účastní bodový útvar určený jako vrchol, buď

Tabulka složených topologických relací

relace mezi útvary	Incidentnost						sousednost	
	stýkání	spojení	napojení	křížení	vložení	souběžnost	ekvidistantnost	
bodový × bodový	11						17	
bodový × líniový	21	22					27	
bodový × plošný	31						37	
líniový × líniový	41	42	43	44		46	47	
líniový × plošný	51		53			56	57	
plošný × plošný	61				65		67	

označení vrcholu

Obr. 10

běžný, nebo izolovaný, jsou triviálními relacemi. Složené topologické relace obsahují typ prvku, jenž je nositelem relace a na němž je relace určena.

Máme-li dva útvary X_1, X_2 (liniové, plošné, liniový a plošný) dané sledy vrcholů a oblouků $U(X_1), U(X_2)$ o m, n vrcholech, pak můžeme vyjádřit relaci

– stýkání 41, 51, 61 společným sledem vrcholů a oblouků

$$[V_{i-1}, P_i, V_i, \dots, P_j, V_j] = U(X_1) \cap U(X_2), \quad (28)$$

kde V_{i-1}, V_i jsou jeho krajní vrcholy a $i = 1, 2, \dots, k$ pro $k \leq \min(m, n)$,

– napojení 43, 53 společným vrcholem

$$V = U(X_1) \cap U(X_2), \quad (29)$$

kde $V = V_i(X_1) = V_0(X_2)$ nebo $V = V_i(X_1) = V_n(X_2)$ pro $i = 1, 2, \dots, m-1$,

– křížení 44 společným vrcholem

$$V = U^i(X_1) \cap U^j(X_2) = V_i(X_1) = V_j(X_2), \quad (30)$$

kde $i = 1, 2, \dots, m-1$ a $j = 1, 2, \dots, n-1$,

– vložení 65 společným uzavřeným sledem oblouků (hranicí)

$$U^{pi}(X_1) \cap U^{pj}(X_2) \neq 0 \quad (31)$$

pro $i = 1, 2, \dots, k$, kde k je počet vnitřních oblastí,

– souběžnosti a ekvidistantnosti 46, 56, 47, 57, 67 dvojicemi dílčích sledů vrcholů a oblouků

$$U(X_1) \overset{!}{\nu} U(X_2) \leq t_v \quad (32)$$

pro $\rho_c(X_1, X_2) \leq t_v$, kde t_v je census vzdálenosti, t_s je census délky a \bullet značí operátor sousednosti.

Vedle binárních a složených n -árních topologických relací můžeme nad obsahově, hlavně hierarchicko-pojmově danými množinami objektů a jevů, reprezentovaných bodovými, liniovými a plošnými útvary, vytvářet v logickomatematickém modelu topologické struktury – areály, posloupnosti, sítě. Topologické struktury jsou charakterizovány typizovanými vnějšími a vnitřními vlastnostmi, které lze vyvozovat ze složených topologických relací mezi zařazenými objekty a jevy.

Vnitřní vlastnosti vypovídají o převažující skladbě bodových, liniových nebo plošných útvarů, popisují prostorové rozložení těchto útvarů a stanovují charakteristické složení topologické struktury.

Vnější vlastnosti určují celkovou prostorovou lokalizaci a utváření topologické struktury.

Topologickým strukturám, v nichž uvažujeme pouze vrcholy a oblouky, lze přiřazovat minimálně souvislé a souvislé orientované a neorientované grafy, orientované a neorientované multigrafy.

Obecný graf $G = \langle U, E, \varepsilon \rangle$, kde U je množina uzlů, E je množina hran a ε je zobrazení incidence

$$\varepsilon : E \rightarrow U \cup \binom{U}{2} \cup (U \times U).$$

Graf $G = \langle U, E, \varepsilon \rangle$ nazveme pro

$$\begin{aligned} - \varepsilon : E \rightarrow U \cup \binom{U}{2} & \text{ neorientovaným grafem,} \\ - \varepsilon : E \rightarrow U \times U & \text{ orientovaným grafem.} \end{aligned} \quad (33)$$

Hranu grafu $e \in E$

$$\begin{aligned} - e(e) \in U & \text{ smyčkou,} \\ - \varepsilon(e) = \langle x, y \rangle \in \binom{U}{2} & \text{ neorientovanou hranou,} \\ - \varepsilon(e) = \langle x, y \rangle \in U \times U & \text{ orientovanou hranou.} \end{aligned} \quad (34)$$

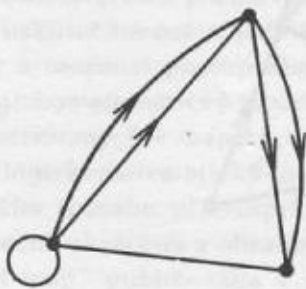
V grafu $G = \langle U, E, \varepsilon \rangle$ nazýváme číslo $|\varepsilon^{-1}(\langle x, y \rangle)|$ násobností hrany $\langle x, y \rangle$. Jestliže graf obsahuje hrany s násobností > 1 , pak je multigrafem. Obsahuje-li multigraf orientované hrany, je orientovaným multigrafem, obsahuje-li neorientované hrany, je neorientovaným multigrafem. Pomineme-li orientaci hran, můžeme přiřadit orientovanému grafu neorientovaný graf, který nazýváme symetrizací

původního grafu. Inverzní operaci říkáme symetrická orientace neorientovaného grafu. V grafech můžeme definovat stupeň uzlu, sled, tah, cestu, souvislost, tj. pojmy blízké obdobným pojmům z topologie.

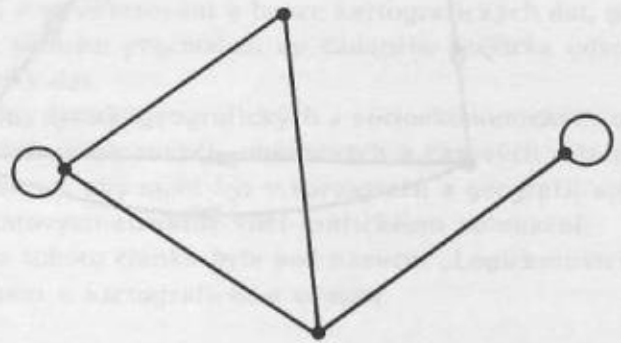
Jestliže uvažujeme hrany grafu jako vícebodové množiny, pak zavádíme pojem hypergraf.

Hypergraf $H = (U, E, \varepsilon)$, kde U je množina uzlů, E je množina hran a $\varepsilon : E \rightarrow P(U)$ je incidenční funkce. $P(U)$ je množina všech neprázdných podmnožin množiny U .

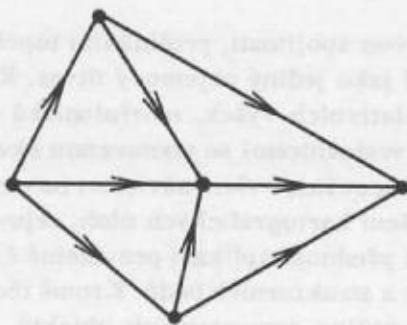
Některé z předchozích definic doplníme grafickým znázorněním na obr. 11:



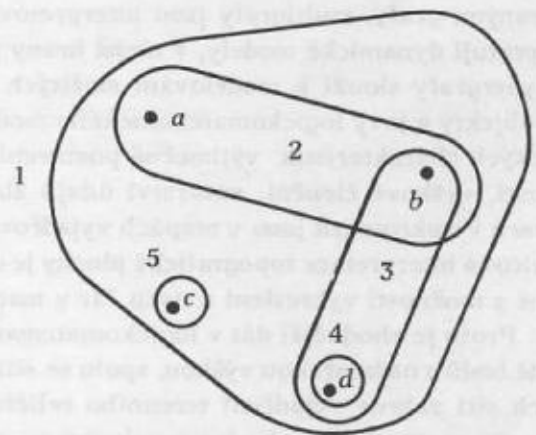
obecný graf



neorientovaný graf

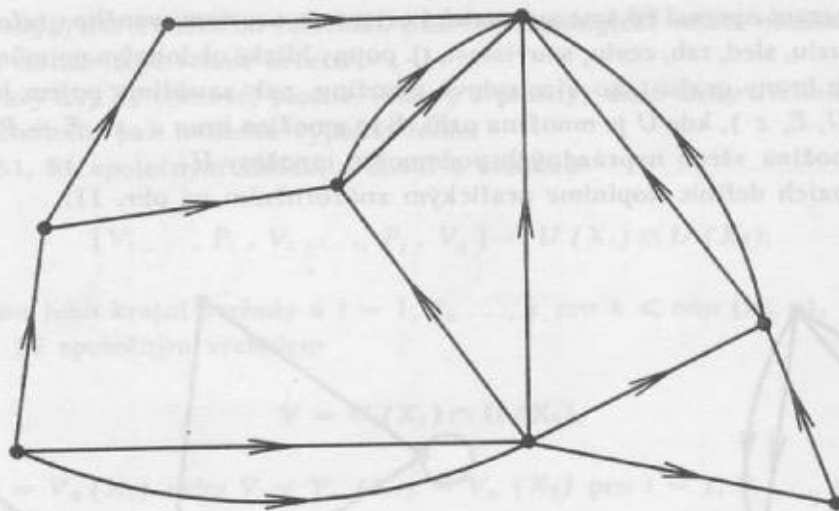


orientovaný graf



hypergraf s hranami

- (1) = {a, b, c, d}
- (2) = {a, b}
- (3) = {b, d}
- (4) = d
- (5) = c



orientovaný multigraf

Obr. 11

Aplikace grafů v logickomatematickém modelu znamená nejen přiřadit vhodný orientovaný či neorientovaný graf nebo multigraf množině objektů a jevů, ale také vyčerpávajícím způsobem graf matematicky popsat. Známé popisy grafů představují výčet vrcholů a hran, výčet okolí vrcholů, seznamy hran s určitými uzly a zejména matice sousednosti či incidence. Praktické zkušenosti z užití grafů říkají, že neorientovanými grafy, multigrafy jsou interpretovány statické modely. Orientovanými grafy, multigrafy se interpretují dynamické modely, v nichž hrany představují postup, děj a uzly charakterizují dosažený stav. Hypergrafy slouží k modelování složitých systémů.

Mezi objekty a jevy logickomatematického modelu zaujímá svou spojitostí, prolínáním topologických a metrických charakteristik výjimečné postavení terénní reliéf jako jediný objemový útvar. Regionální zvláštnosti, výškové členění, množství údajů absolutních i relativních výšek, morfologická modelace mikrotvarů i makrotvarů jsou v mapách vyjadřovány převážně vrstevnicemi se stanovenou ekvidistancí. Vrstevnicová interpretace topografické plochy je dokonale propracována, ovšem závislost na ekvidistanci odvozené z možnosti vykreslení a tisku čar v mapě omezuje řešení kartografických úloh, zejména generalizace. Proto je vhodnější dát v logickomatematickém modelu přednost aplikaci pravidelné či nepravidelné sítě bodů s nadmořskou výškou, spolu se sítí fiktivních čar a strukturálních bodů. Kromě těchto topologických sítí zahrne vyjádření terénního reliéfu rozsáhlou množinou samostatných objektů, které lze lokalizovat, popsat jejich obsah i topologickou strukturu již uvedenými prostředky pro bodové, liniové a plošné útvary. Terénní reliéf lze rozčlenit na morfometrické typy podle výškového rozpětí:

- rovina (do 30 m > ,
- pahorkatina (30 až 150 m > ,
- vrchovina (150 až 300 m > ,
- hornatina (300 až 600 m > ,
- velehornatina (nad 600 m).

Toto morfometrické členění můžeme akceptovat pro obě topologické sítě, charakterizované po uvedených intervalech hustotou bodů výšek a morfologií strukturálních čar. Do topologické sítě či multigrafu terénního reliéfu zařadíme ze strukturálních fiktivních čar čáry vešměs ortogonální k vrstevnicím – hřbetnice, vodní předěly, údolnice, žebra, zářezy i čáry souběžné k vrstevnicím – úpatnice a stupně. Strukturální body pak představují vrcholy, sedla a uzly, vznikající jako body incidence mezi hřbetnicí a údolnicí, mezi údolnicí a úpatnicí nebo jako body spojení, rozvedení údolnic a hřbetnic.

Determinovaný, deduktivní a strukturální logickomatematický model map, popsaný jako systém s relacemi, vytváří podmínky pro sestavení konceptuálního a logického modelu báze kartografických dat.

Tyto další a nezbytné modely jsou s dostatečnou mírou podrobnosti popisovány při aplikaci na topografické mapy v literatuře [2].

Formování infromatického a funkčního modelu vychází z uživatelských potřeb a z uskutečněné analýzy konvenční tvorby a obnovy map. Model zahrnuje segmenty pořizování dat, organizace dat, generalizace, grafického výstupu, kartoreprodukčního zpracování a tisku s přiřazením současného i perspektivního technického, programového a technologického vybavení. Transformacemi kartografických dat po segmentech lze vytvářet variantní a flexibilní databankové technologie zpracování jednotlivých mapových prvků nebo i úplného obsahu map. Rozhodujícími efekty uplatnění infromatického a funkčního modelu jsou standardizace pořizování dat, jejich uložení a strukturování v bance kartografických dat, generalizace uskutečňovaná z jediného datového fondu přímým přechodem do žádaného měřítka odvozované mapy a možnost postupného vzniku náplně banky dat.

Logickomatematický model je systémem množiny fyzickogeografických a socioekonomických objektů, znázorňovaných v mapách, a mezi nimi existujících prostorových, obsahových a časových relací. Navržený logickomatematický model je dostatečně obecný, aby mohl být v kartografii a geografii aplikován v širším rozsahu při respektování invariance datových struktur vůči grafickému zobrazení.

Značně zkrácená a obsahově redukováná verze tohoto článku byla pod názvem „Logickomatematický model map“ publikována v r. 1985 v Geodetickém a kartografickém obzoru.

Literatura:

- [1] ČECH, E.: Bodové množiny. Praha, Academia 1974.
- [2] MORAVEC, D.: Modelování automatizované tvorby topografických map. In: Studia geographica 90. Brno, Geogr. ústav ČSAV 1986.
- [3] NEŠETRIL, J.: Teorie grafů. Praha, Stát. nakl. techn. lit. 1979.
- [4] VASMUT, A. S.: Modelirovanije v kartografii s primenenijem EVM. Moskva, Nedra 1983.

Došlo 5. 8. 1987

Určení prvků vnější orientace snímků kolineací

1. Úvod

Při řešení některých fotogrammetrických úloh je nutná nebo přinejmenším potřebná znalost prvků vnější orientace použitých snímků. Tato potřeba ještě vzrůstá v případě netradičních snímků s rotačními prvky, převyšujícími hodnoty udávané pro tzv. strmé (téměř svislé) snímky.

Úlohu určení prvků orientace lze řešit v zásadě třemi hlavními metodami. Při malých nárocích na přesnost a bez použití výpočetní techniky graficky, použitím mikrokalkulaček, mikropočítačů a při požadavcích na operativní výpočet s využitím pouze tří identických bodů prostorovým protínáním zpět metodou Earl Churcha, popsanou např. v [6], a při požadavcích na vysokou přesnost s využitím počítače např. metodou kolineace. Kromě těchto základních metod existuje řada dalších modifikací, z nichž z poslední doby je v kategorii operativních metod zajímavé např. řešení viz [7].

Kategorie operativních metod, kde není dostatek nadbytečných veličin pro vyrovnání podmínky průseku metodou nejmenších čtverců, má však omezení v tom, že neposkytuje uspokojivé výsledky v případě dlouhofokálních úzkouhlých objektivů s málo určitým určením bodu průseku paprskových trsů.

Současně s určením prvků vnější orientace lze počítat i opravy prvků vnitřní orientace, při praktických výpočtech však vznikají zpravidla obtíže způsobené řádovými rozdíly ve velikostech oprav orientačních prvků v počátečních iteracích. Proto se v praxi postupuje buď tak, že se tento výpočet provádí odděleně, nebo se při komplexním určování všech orientačních prvků zahájí řešení prvků vnitřní orientace až v té iteraci, v níž se řádově sblíží všechny hodnoty oprav orientačních prvků.

2. Popis výpočetního algoritmu

Rovnice kolineace vyjadřují podmínku, že pro jakýkoliv snímek leží střed snímání, kterýkoliv předmětový bod i jeho obraz v jedné přímce, a lze je vyjádřit ve tvaru:

$$\begin{aligned} x_i &= -f \frac{a_1 (X_i - X_0) + a_2 (Y_i - Y_0) + a_3 (Z_i - Z_0)}{c_1 (X_i - X_0) + c_2 (Y_i - Y_0) + c_3 (Z_i - Z_0)}, \\ y_i &= -f \frac{b_1 (X_i - X_0) + b_2 (Y_i - Y_0) + b_3 (Z_i - Z_0)}{c_1 (X_i - X_0) + c_2 (Y_i - Y_0) + c_3 (Z_i - Z_0)}. \end{aligned} \quad (1)$$

Tyto rovnice obsahují devět neznámých. Tři rotační úhly φ , ω , κ jsou obsaženy v koeficientech a_i , b_i , c_i , které představují směrové kosiny určující matici rotací snímků, X_0 , Y_0 , Z_0 jsou souřadnice středu projekce a X_i , Y_i , Z_i souřadnice snímávaného předmětu.

Směrové kosiny v rovnicích (1) lze vyjádřit buď pomocí rotací φ , ω , κ , nebo ν , ψ , α ve smyslu značení použitého v [6], kde je vysvětlen též význam jednotlivých úhlů. Ortogonální matici rotací lze vyjádřit takto:

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} \cos \kappa \cos \varphi & \cos \kappa \sin \varphi & \sin \kappa \\ \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \cos \varphi & \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa + \cos \omega \cos \varphi & \sin \omega \cos \varphi \\ \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa - \cos \omega \cos \varphi & \sin \omega \cos \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \varphi & \sin \omega \cos \varphi \sin \kappa + \cos \omega \sin \varphi \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Jednotlivé směrové kosiny jsou definovány v pravotočivé soustavě souřadnic pomocí úhlů φ , ω , κ takto:

$$\begin{aligned} a_1 &= \cos \varphi \cos \kappa, \\ a_2 &= \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \varphi, \\ a_3 &= \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa - \cos \omega \sin \varphi \cos \kappa, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
b_1 &= -\cos \varphi \sin \kappa, \\
b_2 &= \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \varphi \sin \kappa, \\
b_3 &= \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa, \\
c_1 &= \sin \varphi, \\
c_2 &= -\sin \omega \cos \varphi, \\
c_3 &= \cos \omega \cos \varphi.
\end{aligned} \tag{3}$$

Z určených směrových kosinů lze jednotlivé rotační úhly vyjádřit přímo vztahy:

$$\begin{aligned}
\sin \varphi &= c_1, \\
-\operatorname{tg} \omega &= \frac{-\sin \omega \cos \varphi}{\cos \omega \cos \varphi} = \frac{c_2}{c_3}, \\
-\operatorname{tg} \kappa &= \frac{-\cos \varphi \sin \kappa}{\cos \varphi \cos \kappa} = \frac{b_1}{a_1}.
\end{aligned} \tag{4}$$

Důležitou vlastností každé přímky vyjadřující dráhu zobrazovacího paprsku je, že součet čtverců směrových kosinů je roven jedné. Tuto vlastnost lze využít při kontrole správnosti výpočtu prvků matice rotací, kdy toto pravidlo platí pro jednotlivé řádky i sloupce matice \mathbf{M} . Další významnou vlastností ortogonální matice \mathbf{M} pro získání inverzních vztahů je, že její inverzi získáme transponováním:

$$\mathbf{M}^{-1} = \mathbf{M}^T \tag{5}$$

Rovnice kolineace jsou nelineární. Jejich linearizaci lze provést pomocí Taylorova rozvoje. Napřed upravíme rovnice (1) do tvaru:

$$\begin{aligned}
F_x &= 0 = u_i x_i + v_i f, \\
F_y &= 0 = u_i y_i + w_i f,
\end{aligned} \tag{6}$$

kde

$$\begin{aligned}
u_i &= c_1 (X_i - X_0) + c_2 (Y_i - Y_0) + c_3 (Z_i - Z_0), \\
v_i &= a_1 (X_i - X_0) + a_2 (Y_i - Y_0) + a_3 (Z_i - Z_0), \\
w_i &= b_1 (X_i - X_0) + b_2 (Y_i - Y_0) + b_3 (Z_i - Z_0).
\end{aligned}$$

Pomocí Taylorova rozvoje se rozepíše rovnice (6) takto:

$$\begin{aligned}
0 &= (F_x)_0 + \left(\frac{\partial F_x}{\partial x_i} \right)_0 dx_i + \left(\frac{\partial F_x}{\partial \omega} \right)_0 d\omega + \left(\frac{\partial F_x}{\partial \varphi} \right)_0 d\varphi + \left(\frac{\partial F_x}{\partial \kappa} \right)_0 d\kappa + \\
&+ \left(\frac{\partial F_x}{\partial X_0} \right)_0 dX_0 + \left(\frac{\partial F_x}{\partial Y_0} \right)_0 dY_0 + \left(\frac{\partial F_x}{\partial Z_0} \right)_0 dZ_0 + \left(\frac{\partial F_x}{\partial X_i} \right)_0 dX_i + \\
&+ \left(\frac{\partial F_x}{\partial Y_i} \right)_0 dY_i + \left(\frac{\partial F_x}{\partial Z_i} \right)_0 dZ_i,
\end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
0 &= (F_y)_0 + \left(\frac{\partial F_y}{\partial y_i} \right)_0 dy_i + \left(\frac{\partial F_y}{\partial \omega} \right)_0 d\omega + \left(\frac{\partial F_y}{\partial \varphi} \right)_0 d\varphi + \left(\frac{\partial F_y}{\partial \kappa} \right)_0 d\kappa + \\
&+ \left(\frac{\partial F_y}{\partial X_0} \right)_0 dX_0 + \left(\frac{\partial F_y}{\partial Y_0} \right)_0 dY_0 + \left(\frac{\partial F_y}{\partial Z_0} \right)_0 dZ_0 + \left(\frac{\partial F_y}{\partial X_i} \right)_0 dX_i + \\
&+ \left(\frac{\partial F_y}{\partial Y_i} \right)_0 dY_i + \left(\frac{\partial F_y}{\partial Z_i} \right)_0 dZ_i.
\end{aligned}$$

Po úpravách můžeme rovnice (7) vyjádřit ve zjednodušené podobě jako rovnice oprav:

$$v_i = b_{1,i} d\omega + b_{2,i} d\varphi + b_{3,i} d\kappa - b_{4,i} dX_0 - b_{5,i} dY_0 - b_{6,i} dZ_0 + b_{4,i} dX_i + b_{5,i} dY_i + b_{6,i} dZ_i + L_i, \quad (8)$$

$$v_{n+i} = b_{1,n+i} d\omega + b_{2,n+i} d\varphi + b_{3,n+i} d\kappa - b_{4,n+i} dX_0 - b_{5,n+i} dY_0 - b_{6,n+i} dZ_0 + b_{4,n+i} dX_i + b_{5,n+i} dY_i + b_{6,n+i} dZ_i + L_{n+i},$$

kde koeficienty b jsou parciálními derivacemi funkcí F_x, F_y podle jednotlivých neznámých. Budeme-li považovat známé souřadnice identických bodů X_i, Y_i, Z_i za bezchybné, zůstane v soustavě rovnic (9) pouze šest neznámých prvků orientace, respektive jejich přírůstků $dX_0, dY_0, dZ_0, d\varphi, d\omega, d\kappa$ vůči počátečním aproximacím, pro něž řešíme jednotlivé hodnoty parciálních derivací.

Celkový počet rovnic oprav je $2n$ (n pro souřadnice x a n pro souřadnice y), kde n je počet identických bodů s určenými snímkovými i terénními souřadnicemi. Dostatečný počet identických bodů pro jednoznačné určení šesti neznámých prvků vnější orientace jsou tři, při větším počtu bodů pak řešíme soustavu rovnic (8) vyrovnáním metodou nejmenších čtverců. Koeficienty b a prosté členy L v těchto rovnicích budou mít po provedení parciálních derivací funkcí F_x, F_y podle jednotlivých orientačních prvků následující vyjádření (po zavedení $\Delta X_i = X_i - X_0, \Delta Y_i = Y_i - Y_0, \Delta Z_i = Z_i - Z_0$):

$$\begin{aligned} b_{1,i} &= \left(\frac{\partial F_x}{\partial \omega} \right)_0 = \frac{x_i}{u_i} (-c_3 \Delta Y_i + c_2 \Delta Z_i) + \frac{f}{u_i} (-a_3 \Delta Y_i + a_2 \Delta Z_i), \\ b_{2,i} &= \left(\frac{\partial F_x}{\partial \varphi} \right)_0 = \frac{x_i}{u_i} [\Delta X_i \cos \varphi + \Delta Y_i (\sin \omega \sin \varphi) + \Delta Z_i (-\sin \varphi \cos \omega)] + \\ &+ \frac{f}{u_i} [\Delta X_i (-\sin \varphi \cos \kappa) + \Delta Y_i (\sin \omega \cos \varphi \cos \kappa) + \Delta Z_i (-\cos \omega \cos \varphi \cos \kappa)], \\ b_{3,i} &= \left(\frac{\partial F_x}{\partial \kappa} \right)_0 = \frac{f}{u_i} (b_1 \Delta X_i + b_2 \Delta Y_i + b_3 \Delta Z_i), \\ b_{4,i} &= \left(\frac{\partial F_x}{\partial X_0} \right)_0 = \frac{x_i}{u_i} c_1 + \frac{f}{u_i} a_1, \\ b_{5,i} &= \left(\frac{\partial F_x}{\partial Y_0} \right)_0 = \frac{x_i}{u_i} c_2 + \frac{f}{u_i} a_2, \\ b_{6,i} &= \left(\frac{\partial F_x}{\partial Z_0} \right)_0 = \frac{x_i}{u_i} c_3 + \frac{f}{u_i} a_3, \end{aligned} \quad (9)$$

$$L_i = \frac{(u_i x_i + v_i f)}{u_i},$$

$$b_{1,n+i} = \left(\frac{\partial F_y}{\partial \omega} \right)_0 = \frac{y_i}{u_i} (-c_3 \Delta Y_i + c_2 \Delta Z_i) + \frac{f}{u_i} (-b_3 \Delta Y_i + b_2 \Delta Z_i),$$

$$\begin{aligned} b_{2,n+i} &= \left(\frac{\partial F_y}{\partial \varphi} \right)_0 = \frac{y_i}{u_i} [\Delta X_i \cos \varphi + \Delta Y_i (\sin \omega \sin \varphi) + \Delta Z_i (-\cos \omega \sin \varphi)] + \\ &+ \frac{f}{u_i} [\Delta X_i (\sin \varphi \sin \kappa) + \Delta Y_i (-\sin \omega \cos \varphi \sin \kappa) + \Delta Z_i (\cos \omega \cos \varphi \sin \kappa)], \end{aligned}$$

$$b_{3,n+i} = \left(\frac{\partial F_y}{\partial \kappa} \right)_0 = \frac{f}{u_i} (-a_1 \Delta X_i - a_2 \Delta Y_i - a_3 \Delta Z_i),$$

$$b_{4,n+i} = \frac{y_i}{u_i} c_1 + \frac{f}{u_i} b_1,$$

$$b_{3, n+1} = \frac{y_i}{u_i} c_2 + \frac{f}{u_i} b_2,$$

$$b_{6, n+1} = \frac{y_i}{u_i} c_3 + \frac{f}{u_i} b_3,$$

$$L_{n+1} = \frac{(u_i y_i + w_i f)}{u_i}.$$

V maticové formě může být systém rovnic oprav kolineárních rovnic vyjádřen takto:

$${}_m \mathbf{V}_1 = ({}_m \mathbf{M}_6) \cdot ({}_6 \mathbf{X}_1) - ({}_m \mathbf{L}_1), \quad (10)$$

kde

$m = 2 \cdot n$ — počet rovnic;

\mathbf{V} — matice zbytkových chyb (oprav) měřených snímkových souřadnic x, y ;

\mathbf{M} — matice koeficientů b ;

\mathbf{X} — matice neznámých přírůstků počátečních aproximací, respektive při iteračním výpočtu matice hodnot přírůstků vyčíslených z předchozí aproximace;

\mathbf{L} — matice prostých členů.

3. Praktická využitelnost metody

Podle uvedeného algoritmu byl autorem zpracován výpočetní program pro iterativní řešení úlohy s vyrovnáním nadbytečně určených hodnot identických rovinných pravoúhlých a snímkových souřadnic metodou nejmenších čtverců. Pro ladění programu a testování výpočetní přesnosti byl použit šikmý kosmický snímek, na kterém bylo vybráno a na monokomparátoru ASCORECORD proměřeno 87 snímkových, jednoznačně identifikovatelných bodů. K nim byly určeny a kartometricky odměřeny z topografické mapy 1:10 000 odpovídající identické rovinné pravoúhlé souřadnice. Snímkové souřadnice x_i, y_i musí být pro účely výpočtů hodnot parciálních derivací redukovány na hlavní bod snímku a hodnoty rotačních prvků i jejich oprav se zavádějí a počítají v radiánech. Ukázka závěrečné fáze výpočtu poslední iterace s výstupem výsledných hodnot prvků vnější orientace $X_0, Y_0, Z_0, \varphi, \omega, \kappa$ a matice ortogonální transformace je uvedena v příloze 1.

4. Závěr

Uvedená metoda určení prvků vnější orientace je založená na iterativním řešení linearizovaných kolineárních rovnic metodou nejmenších čtverců a představuje při dostatečném počtu identických bodů možný způsob analytického řešení úlohy. Metoda může mít, kromě případů vyžadujících vysokou přesnost určení prvků vnější orientace, zejména význam u netradičních snímků, zejména kosmických či leteckých průzkumných s šikmou osou záběru nebo s úzkými paprskovými trsy (dlouhofokální objektivy) a velkou distorzí. V těchto případech totiž například řešení popsané autorem v [6] nezábezpečí zpravidla potřebnou výpočetní přesnost a v některých případech nemusí ani konvergovat ke správným hodnotám. V uvedené citaci je možné nalézt podrobnější rozbor řešitelnosti a přesnosti určení prvků vnější orientace ze tří identických bodů prostorovým protínáním zpět.

Při praktických výpočtech se na základě výpočetních testů ukázalo, že při využití všech identických bodů, včetně těch, které jsou v blízkosti hlavního bodu, je potřebná dvojnásobná přesnost deklarace proměnných. V opačném případě je nutné vylučování bodů z okolí hlavního bodu podle vhodného kritéria. Tento přístup bude nutné aplikovat zejména při použití mikropočítačů s nižší vnitřní výpočetní přesností.

VYSLEDNE POCNEDY PPAKU VNEJŠI ORIENTACE ŠNIMKU C. 19769
 =====

- CELKOVY POCET VSECH IDENTICKYCH BCCU ... 87
- VELIKOST ZOBY PRO VYLOUCENÍ BCCU Z OKOLI HB ... 0.0 MM
- V ZADANE ZOB-E VYLOUCENO CELKEM ... 0 BCCU
- POCET ZBYLYCH BCCU PRO VYPOCET ... 87

7. ITERACE

Y0 = 482801.3	FX0 = 0.0	FI = 0	31	1.3	DFI = 0	0.0
Y0 = 602473.0	CY0 = 0.0	CF = -8	7	22.3	DOM = 0	0.0
Z0 = 280257.1	CZ0 = -0.0	KAP = 90	7	7.1	DKAP = 0	0.0

VYSLEDNA MATICE ORTOGONALNI TRANSFORMACE VYPOCTENA Z UPRAVENYCH ROTACI

M(1,1) = 0.14121888	M(1,2) = 0.97986541	M(1,3) = -0.14111418
M(2,1) = 0.98993727	M(2,2) = -0.14106999	M(2,3) = 0.01111107
M(3,1) = 0.00902253	M(3,2) = 0.14129062	M(3,3) = 0.98992701

Literatura:

- [1] TOMSA, K.: Teoretické základy letecké fotogrammetrie. Praha, Academia, 1984. 172 s.
- [2] LOBANOV, A. N.: Analitičeskaja fotogrammetrija. Moskva, Nedra 1972. 223 s.
- [3] LOBANOV, A. N. — ŽURKIN, I. G.: Avtomatizacija fotogrammetričeskich processov. Moskva, Nedra 1980. 239 s.
- [4] Manual of photogrammetry. 4th ed. Falls Church (Virg.), Amer. Society of Pphotogrammetry 1981.
- [5] WOLF, P. R.: Elements of photogrammetry. Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha 1974. 562 s. — International Student Edition.
- [6] ŠILHAN, V.: Operativní výpočet prvků vnější orientace kosmických fotografických snímků. In: Sbor. topogr. Služby MNO, 1985, č. 2, s. 53—67.
- [7] RAMPAL, K. K.: A closed solution for space resection. Photogram. Engng and remote Sens. 45, 1979, IX, č. 9, s. 1255—1261.

Došlo 5. 2. 1987

Knihovna úloh počítačové geometrie pro automatizované řešení kartografické generalizace

1. Úvod

Při automatizovaném řešení kartografické generalizace se velmi často opakují některé geometrické úlohy v rovině. Proto byl vypsán tematický úkol pro zpracování knihovny úloh počítačové geometrie pro technologie automatizované tvorby a obnovy topografických a speciálních map.

Cílem tohoto článku je seznámit čtenáře se stručným popisem a způsobem použití podprogramů, které byly v rámci řešení tematického úkolu zpracovány v jazyku PL/1 a odladěny pod operačním systémem OS MVT 6.1. Podprogramy mají napomáhat při řešení automatizované generalizace v rámci databankových technologií. Jejich řešení vychází tedy z prostředí banky kartografických dat BKD 200 a popis podprogramů používá termínů element, řádka, řetěz a vztah, které jsou v prostředí BKD 200 zcela běžné a nelze se bez nich obejít. Dokonalé vysvětlení pojmů však mnohonásobně přesahuje rozsah tohoto článku. Na tomto místě uvedeme pouze stručné objasnění těchto pojmů s tím, že úplné a přesné vysvětlení je uvedeno v [1]. Element je základní informační jednotka, v jejímž celém průběhu jsou neměnné její charakteristiky a ke změně kolizních situací s jinými elementy dochází pouze na začátku a na konci elementu. Řádka je uspořádaná množina definičních bodů, které určují jeden nebo více elementů. Řetěz představuje uspořádanou množinu elementů, které tvoří geografický objekt. Vztah pak představuje definiční bod, ze kterého vycházejí, respektive v kterém končí nejméně dvě řádky.

Uvedené podprogramy nejsou úplným a vyčerpávajícím souborem všech podprogramů, které jsou potřebné pro automatizovanou generalizaci. V takovém souboru by dozajista nemohly chybět podprogramy pro výpočet střední křivky, pro redukci bodové množiny a některé další. Podprogram pro redukci bodové množiny je například popsán v [2]. Další jsou pak součástí [3]. Uvedené podprogramy tvoří základní stavební kameny automatizované generalizace v oblasti uvolňování objektů, nahrazování plošných objektů značkami, řešení metrických úloh pro censální výběry objektů, řešení kolizních vztahů elementů, určování charakterů vzájemného průběhu elementů, určování charakteru objektů, průniků objektů, výskytů bodů v objektech apod. Vedle tohoto hlavního poslání se však mohou uplatnit i při ukládání digitalizovaných dat v segmentu organizace dat a i při řešení grafických výstupů.

2. Popis jednotlivých podprogramů

BKLINDE (SOULI, N, DEL)

— LINie — DÉlka

Výpočet délky DEL linie zadané souřadnicemi SOULI o N bodech.

BKLINPL (SOULI, N, PL)

— LINie — PLocha

Výpočet plochy areálu ohraničeného linií zadanou souřadnicemi SOULI o N bodech. Předpokládá se, že linie není uzavřena. To znamená, že se souřadnice prvního a posledního bodu nemusí rovnat. Mnohoúhelník, který ohraničuje plochu, nesmí být zvrhlý, to znamená, že se žádné dvě jeho úsečky nesmějí protínat, včetně spojnice prvního a posledního bodu. Tento požadavek je možno formulovat i tak, že při postupu po obvodu obrazce, jehož plocha se má vypočítat, musí být obrazec neustále na stejné straně.

BKKRILI (SOULI, N, MAX, PRU)

— KRItérium LInearity

Podprogram zjišťuje maximální MAX a průměrnou PRU vzdálenost bodů linie SOULI od přímé spojnice 1. a N-tého bodu linie. Pokud je poslední bod totožný s prvním, nabývají výsledné parametry hodnoty 99999.

BKRAMLI (*SOURA, N, XMAX, YMAX, XMIN, YMIN*)

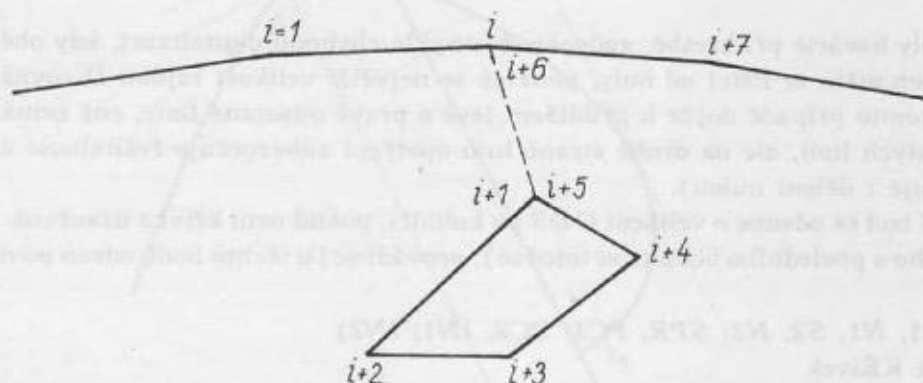
— RÁM LInie

Určení extrémních hodnot souřadnic linie *SOURA* o *N* bodech.

BKBODAR (*SOUAR, N, BOD, VYSL*)

— příslušnost *BODu* do zadaného *AREálu*

Podprogram zjišťuje, zda zadaný *BOD* leží uvnitř nebo na hranici areálu *SOUAR* o *N* bodech. Pokud je tomu tak, pak je výsledný parametr *VYSL* roven '1'B, jinak se rovná '0'B. Areál může být uzavřen (souřadnice 1. a posledního bodu jsou totožné), ale nemusí. Tvar areálu není nijak omezen, může obsahovat i ostrovy uvnitř. Posloupnost zadání hraničních bodů při vnitřním ostrovu vyplývá z obrázku 1.



Obr. 1

Fiktivní spojnice ostrova musí být zadána dvakrát (body $i, i + 1$ a $i + 5, i + 6$). Je možné zadat obdobným způsobem i areál složený z více navzájem nespojitých oblastí, ale s rizikem, že bod ležící na fiktivní spojnici oblastí bude určen jako příslušný do areálu.

Princip řešení vychází z určení počtu průsečíků polopřímky, vycházející ze zadaného bodu v kladném směru osy *X*, se stranami areálu. Při sudém počtu průsečíků leží bod mimo areál, při lichém počtu uvnitř areálu. Případy, kdy bod leží na hranici areálu nebo se polopřímka dotýká hranice areálu či obsahuje jednu nebo více hraničních úseček areálu, jsou řešeny zvlášť. Doba řešení je závislá na počtu bodů areálu. Podprogram je uspořádán tak, aby se všechny potřebné údaje zjistily při jednom průchodu cyklem.

BKVZDBO (*SOULI, N, BOD, VZD, UMBOD, INDEX*)

— VZDálenost *BOdu* od linie

Podprogram umístí *BOD* na linii o *N* bodech zadaných souřadnicemi *SOULI*. Vrátí zpět souřadnice umístěného bodu *UMBOD*, vzdálenost *VZD* daného a umístěného bodu a *INDEX* bodu linie, před kterým leží nebo se kterým je totožný umístěný bod. Bod se umístí na linii tak, aby vzdálenost *VZD* byla minimální. Vzdálenost *VZD* je buď vzdálenost k nejbližšímu vrcholu polygonu, který reprezentuje linii, nebo vzdálenost od paty kolmice spuštěné na nejbližší úsečku polygonu.

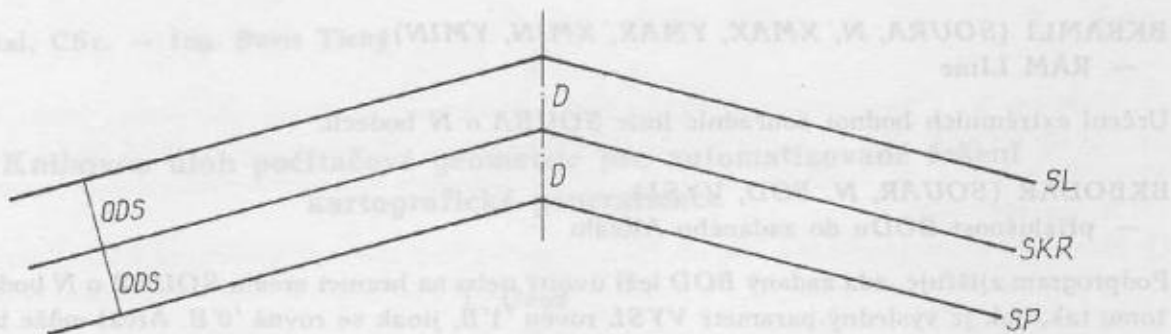
Podprogram se dá použít pro řešení různých úloh. Např. při výpočtu nejkratší vzdálenosti dvou neprotínajících se křivek, při určení optického těžiště nepravidelného obrazce, před uvolňováním linie od objektu apod.

BKODSLI (*N, SKR, SL, SP, ODS*)

— *ODS*un *LInie*

K zadaným souřadnicím linie (křivky) *SKR* o *N* bodech se vypočtou souřadnice linií odsunutých od zadané linie o velikosti odsunu *ODS* vlevo *SL*, respektive vpravo *SP*. Počet bodů zůstává beze změny.

Druhý až předposlední bod se odsune po ose úhlu, který svírají obě úsečky z něho vycházející. Výpočet odsunutých bodů se provede rajónem. Situace je znázorněna na obr. 2.



Obr. 2

Aby se odstranily havárie při kresbě, způsobené obvykle chybnou digitalizací, kdy obě úsečky svírají příliš ostrý úhel jen málo se lišící od nuly, používá se největší velikost rajónu D rovná desetinasobku odsunu ODS . V tomto případě dojde k přiblížení levé a pravé odsunuté linie, což nemá podstatný vliv na průběh odsunutých linií, ale na druhé straně toto opatření zabezpečuje řešitelnost úlohy v každém případě (odstraňuje i dělení nulou).

První a poslední bod se odsune o velikost ODS po kolmici, pokud není křivka uzavřená. Je-li uzavřená (souřadnice prvního a posledního bodu jsou totožné), provádí se i u těchto bodů odsun po ose úhlu.

BKPRUKR ($S_1, N_1, S_2, N_2, SPR, PC_1, PC_2, IN_1, IN_2$)

— PRŮSEČÍK KŘIVEK

Výpočet průsečíku SPR dvou křivek S o N bodech. Pořadové číslo PC určuje index bodu, před kterým leží nebo se kterým je totožný průsečík. Indikace IN určuje, zda je průsečík totožný s bodem křivky. (Parametry s číslem 1 se vztahují k první křivce, s číslem 2 k druhé křivce.) Pokud mají křivky více než jeden průsečík, je vypočten ten, který leží blíže konci první křivky. Další průsečík se snadno určí opakovaným voláním podprogramu pouze se změnou parametru N_1 . Pokud křivky nemají průsečík, jsou parametry SPR, PC_1 a PC_2 rovný nule.

Podstata řešení spočívá v určení, zda průsečík libovolných dvou přímek určených vždy dvojicí po sobě následujících bodů na jedné a druhé křivce leží na křivkách, či nikoli. Tento postup vede ke dvěma do sebe vloženým cyklům, tak aby byla prověřena každá úsečka jedné křivky, definující přímku, se všemi úsečkami křivky druhé. Při větším počtu bodů obou křivek může tento výpočet trvat značně dlouhou dobu. Proto je použit při řešení postup znázorněný na obr. 3, který má za cíl snížit počet šetřených úseček obou křivek.

Koncovými body křivky k_1 proložíme přímkou p a zjistíme body s extrémními souřadnicemi y v soustavě, kdy je osa X totožná s přímkou p . Těmito body vedeme rovnoběžky z_1, z_2 s přímkou p . Tyto rovnoběžky protnou křivku k_2 v bodech A, B . Vezmeme-li body A, B za koncové body křivky k_2 a aplikujeme na ni výše popsaný postup, potom se šetřená délka na křivce k_1 již velmi značně zkrátí (vzdálenost mezi body C, D). Výše popsaný postup je v podprogramu použit ve dvou iteracích. Dověst řešení až do nalezení jedné úsečky na každé křivce nelze, protože při nevhodné vzájemné poloze křivek naznačené na obr. 4 může tento pokus vyvolat nekonečný cyklus. Dvě iterace jsou zpravidla dostatečné a výrazně sníží objem výpočtu.

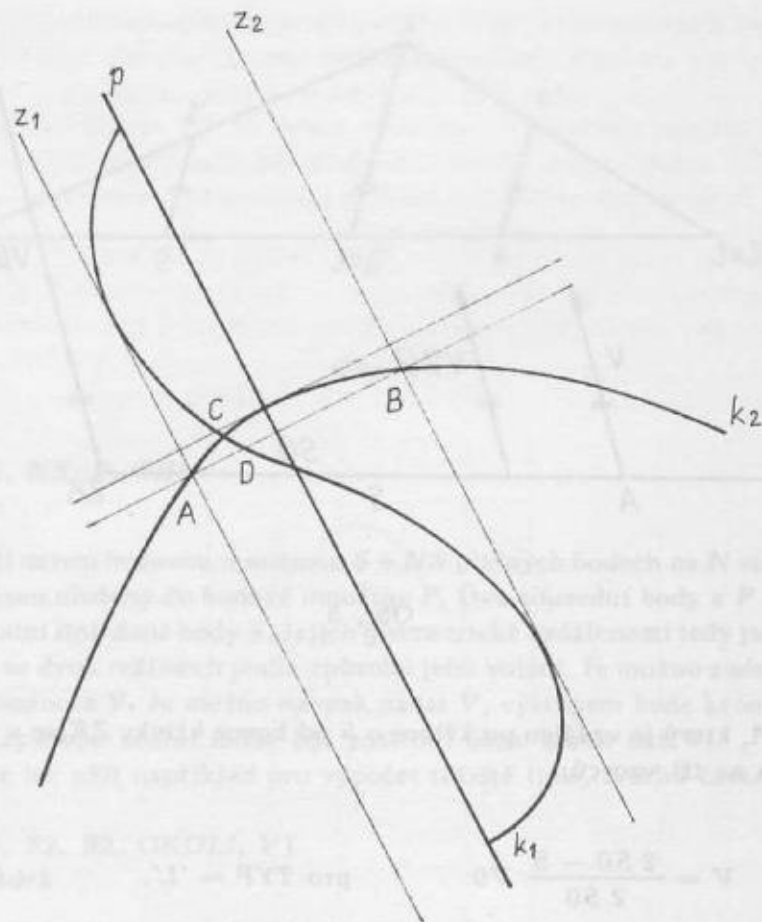
BKZONA ($SOULI, N, ODS, SOUAR$)

— ZÓNA kolem linie

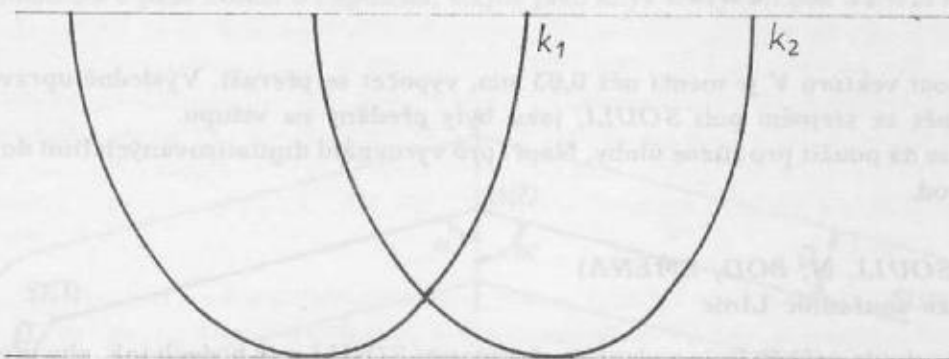
Podprogram vytvoří zónu kolem linie zadané souřadnicemi $SOULI$ o N bodech. Výsledné souřadnice zóny $SOUAR$ vzniknou sloučením křivek odsunutých vlevo a vpravo o velikost ODS tak, aby plocha byla vpravo od hranice zóny při postupu od menšího indexu k většímu. Počet bodů zóny bude vždy $2N$. Pro výpočet odsunutých křivek se používá podprogram $BKODSLI$.

BKVZTLI ($BOD, SOULI, N, ZK, TYP, S_0$)

— VZTažení LINIE k zadanému bodu

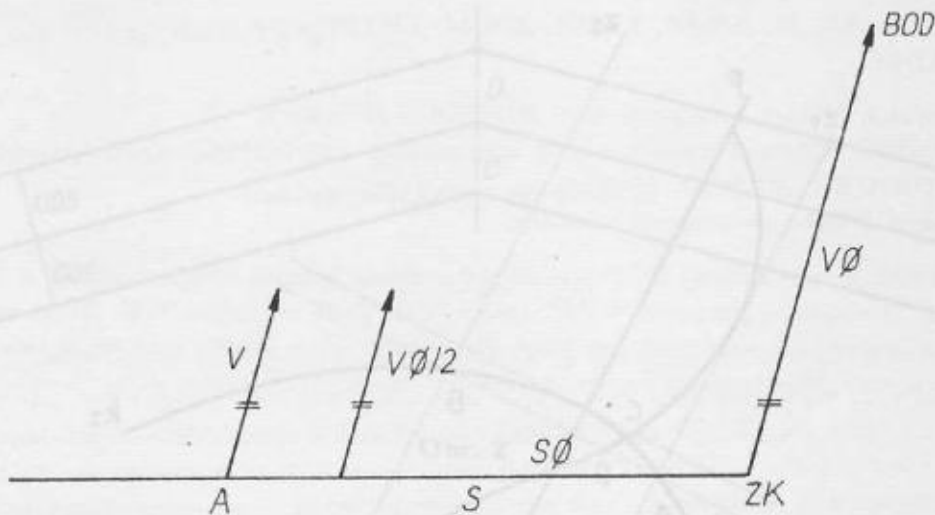


Obr. 3



Obr. 4

Podprogram naváže linii o N bodech a souřadnicích $SOULI$ k zadanému bodu BOD . Parametr ZK určuje, zda bude navázán začátek nebo konec linie. Vzdálenost $S0$ představuje vzdálenost po linii, při které bude posun bodu linie roven polovině posunu na začátku, respektive konci linie. Jestliže se posunuje jeden konec linie, zůstanou souřadnice opačného konce beze změny, i když dojde vinou chybně zadaného parametru $S0$ ke zlomu na linii, protože se předpokládá, že opačný konec linie může být již pevně vázán v kolizním vztahu. Výpočet velikosti V vektoru posunu je patrný z obrázku 5.



Obr. 5

Velikost V v bodě A , který je vzdálen po křivce o S od konce křivky ZK , se v závislosti na zvoleném TYPu vypočte jedním ze tří vzorců:

$$V = \frac{2 S_0 - S}{2 S_0} V_0 \quad \text{pro TYP} = 'L',$$

$$V = \frac{S_0}{S_0 + S} V_0 \quad \text{pro TYP} = 'H',$$

$$V = \frac{V_0}{2 S/S_0} \quad \text{pro TYP} = 'E' \text{ nebo jiný.}$$

Jakmile velikost vektoru V je menší než $0,03 \text{ mm}$, výpočet se přeruší. Výsledné upravené souřadnice jsou vráceny zpět ve stejném poli *SOULI*, jako byly předány na vstupu.

Podprogram se dá použít pro různé úlohy. Např. pro vyrovnání digitalizovaných linií do vztahů, k uvolňování linií apod.

BKKORLI (*SOULI, N, BOD, ZMENA*)

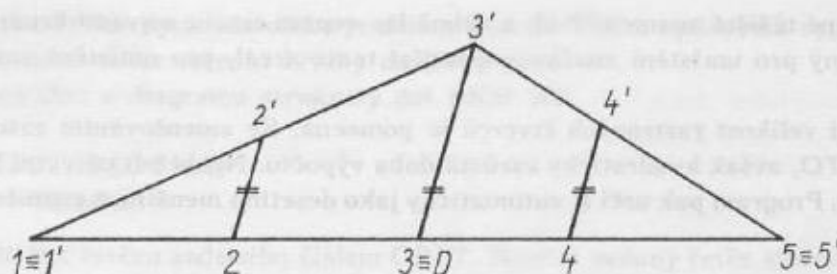
— KOREKCE souřadnic LINIE

Podprogram koriguje průběh linie zadané souřadnicemi *SOULI* o N bodech tak, aby procházela bodem *BOD* a její začátek i konec zůstal podle možnosti beze změny. Jestliže dojde ke změně souřadnic začátečního, respektive koncového bodu linie, nabývá parametr *ZMENA* hodnoty ' Z ', respektive ' K ', jinak se rovná mezeře. Na výstupu jsou souřadnice linie upravené, počet bodů zůstává stejný.

Pomocí podprogramu *BKVZDBO* se na linii nalezne lomový bod, který má nejbližší k bodu, kterým má linie procházet. Pokud je tímto bodem začátek nebo konec linie, dojde ke změně souřadnic začátečního či koncového bodu linie. Dále se pak linie rozdělí na dvě větve a každá z nich se pomocí podprogramu *BKVZTLI* upraví tak, aby její začátek, respektive konec procházel daným bodem a posun na konci, respektive začátku byl zanedbán. Princip řešení je patrný z obrázku 6.

Velikost posunu je přímo úměrná vzdálenosti po křivce posunovaného bodu od dělicího bodu D , přičemž velikost posunu v dělicím bodě je taková, aby se posunul do zadaného bodu.

Podprogram lze s výhodou použít při uvolňování průběhu linie od jiného objektu, jestliže mají zůstat její konce beze změny, protože jsou již zapojeny v pevných ověřených kolizních vztazích.



Obr. 6

BKCLELI (N, V, S, NS, P, CH)

— ČLEnění LINIE

Podprogram člení linii danou bodovou množinou S o NS platných bodech na N stejných úsekců délky V . Vypočtené dělicí body jsou uloženy do bodové množiny P . Dva sousední body z P mají konstantní rozepty odměřené po původní linii dané body S . Jejich geometrické vzdálenosti tedy jsou i menší než V .

Podprogram pracuje ve dvou režimech podle způsobu jeho volání. Je možno zadat N při $V = 0$, výstupem je pak kromě P i hodnota V . Je možno naopak zadat V , výstupem bude kromě P i počet vzniklých úseků N . Při druhém způsobu volání může být poslední úsek kratší než V .

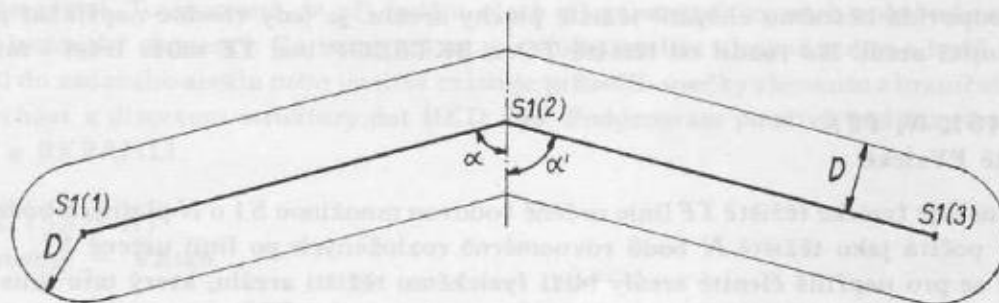
Uvedené členění linie lze užít například pro výpočet těžiště linie, tvorbu čárkované čáry a podobně.

BKTOTRA (S1, B1, S2, B2, OKOLI, V)

— TOTožnost ŘÁdek

Podprogram testuje totožnost dvou linií (řádek) určených bodovými množinami $S1$ a $S2$. Testuje se prvních $B1$ bodů $S1$ a prvních $B2$ bodů $S2$ se zadanou nepřesností $OKOLI$. Výsledek testu je zapsán do parametru V .

Podprogram vytvoří kolem $S1$ pás šířky $2 \times OKOLI$ (viz obr. 7) a zjistí, zda všechny body $S2$ leží uvnitř tohoto pásu. Dále pokud první bod $S1$ je v okolí ($OKOLI$) prvního bodu $S2$ a poslední bod $S1$ je v okolí posledního bodu $S2$, vrátí podprogram hodnotu $V = 1$. Pokud je tomu naopak, vrátí $V = -1$. Pokud nejsou koncové body $S1$ v okolí koncových bodů $S2$, vrací podprogram $V = 0$, i když je podmínka výskytu bodů $S2$ v pásu kolem $S1$ splněna, stejně jako když kterýkoli bod $S2$ leží mimo tento pás.



Obr. 7

BKTEZOP (S1, N, TO, MT, R)

— TĚŽIŠTĚ OPTICKÉ

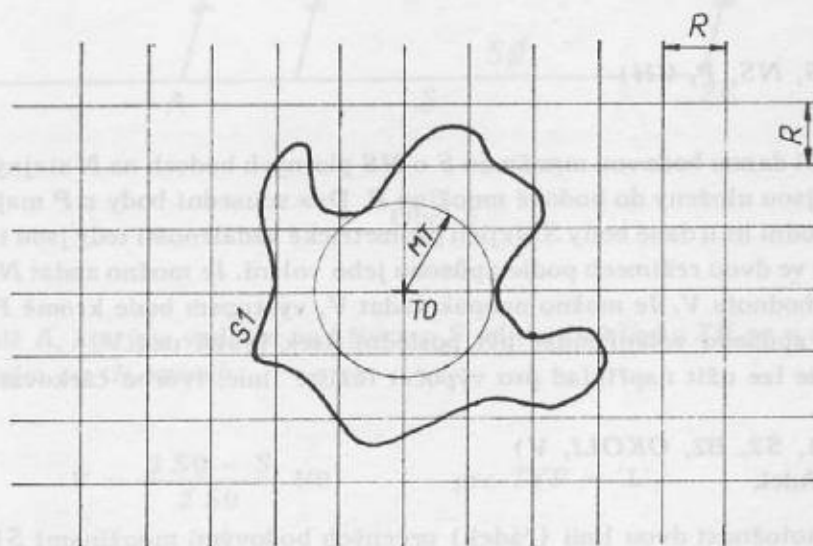
Podprogram určuje optické těžiště TO areálu určeného obrysovou bodovou množinou $S1$ o N platných bodech.

Optické těžiště TO je zde definováno jako ten bod rastru $R \times R$, který leží uvnitř areálu a jehož vzdálenost od obrysu areálu je největší ($= MT$).

Prakticky takto určené těžiště znamená bod, z něhož lze vepsat areálu největší kružnici (o poloměru MT), a tedy bod vhodný pro umístění značky popisující tento areál, pro umístění značky nahrazující areál i pro jiné účely.

Proměnná R určující velikost rastrových čtverců je pomocná. Se zmenšováním rastru R se zvyšuje přesnost vypočteného TO , avšak kvadraticky vzrůstá doba výpočtu. Nechce-li uživatel R stanovit explicitně, zadá $R = 99999$. Program pak určí R automaticky jako desetinu menšího z rozměrů areálu v osách X a Y .

Příklad:



BKTEZEX (S1, N, TE, R)

— TĚŽIŠTĚ EXaktní

Podprogram určuje exaktní těžiště TE areálu určeného obrysovou bodovou množinou $S1$ o N platných bodech.

Exaktní těžiště je zde definováno jako těžiště těch průsečíků rastru $R \times R$, které leží uvnitř areálu. Pro parametr R platí totéž co pro R v BKTEZOP.

Těžiště TE odpovídá běžnému chápání těžiště plochy areálu, je tedy vhodné například pro umístění značky nahrazující areál. Na rozdíl od těžiště TO z BKTEZOP bod TE může ležet i mimo areál.

BKTEZFY (S1, N, TF)

— TĚŽIŠTĚ FYzické

Podprogram určuje fyzické těžiště TF linie určené bodovou množinou $S1$ o N platných bodech. Fyzické těžiště linie se počítá jako těžiště N bodů rovnoměrně rozložených po linii určené $S1$.

Těžiště linie se pro nepřilíš členité areály blíží fyzickému těžišti areálu, který tato linie ohraničuje. Jeho výpočet je však rychlejší než výpočet exaktního těžiště areálu pomocí BKTEZEX. Tento fakt je vhodné brát v úvahu při jejich užívání.

BKRETDE (CRET, DELKA)

— ŘETěz — DÉlka

Počítá se $DELKA$ řetězu zadaného číslem $CRET$, které představuje současně $CALC$ položku výskytu věty v bázi dat BKD 200. Vypočtená délka řetězu se skládá z délek jednotlivých řádek a délek případných mezer mezi jednotlivými řádkami. Do délky řetězu není zahrnuta spojnice mezi prvním bodem první řádky a posledním bodem poslední řádky. U řetězu tvořeného z řádek se stranovou indikací (ohraničující plochu) a s rozlišením levé a pravé strany, to je plošný řetěz v soustavě tekoucího vodstva, je od délky vypočtené výše uvedeným způsobem odečtena délka spojnice posledního bodu levé břehovky a

prvního bodu pravé břehovky a celá délka je dělena dvěma. Tímto způsobem vypočtená délka odpovídá s dostačující přesností délce střední křivky daného řetězu.

Podprogram vychází z diagramu struktury dat BKD 200.

BKRETPL (CRET, PLOCHA)

— ŘETěz — PLOcha

Určuje se *PLOCHA* řetězu zadaného číslem *CRET*. Není-li zadaný řetěz složen z řádek se stranovou indikací, to znamená, že neohraničuje plochu, je hodnota výsledného parametru rovná nule.

Případné mezery mezi koncem a začátkem po sobě následujících řádek jsou nahrazeny přímou spojnicí koncového a počátečního bodu.

Podprogram vychází z diagramu struktury dat BKD 200.

BKRADDE (RAD CIS, DELRA)

— ŘADka — DÉlka

Výpočet délky *DELRA* řádky zadané jejím číslem *RAD CIS*, které představuje současně *CALC* položku výskytu věty v bázi dat BKD 200.

Podprogram vychází z diagramu struktury dat BKD 200.

BKRADOB (OKOLI, SEZNAM, N)

— seznam ŘÁDek v OBLasti zadané řádky

Podprogram vrátí *SEZNAM* řádek, které mohou incidovat s okolím řádky, která je v okamžiku volání načtena ve větě *RADKA*. Řádka může incidovat s okolím v tom případě, jestliže jí opsaný obdélník (určený podprogramem *BKRAML I*) má průnik s obdélníkem opsaným řádce načtené v operační paměti, zvětšeným o *OKOLI*.

Podprogram vychází z diagramu struktury dat BKD 200.

BKELEAR (SOUAR, M, REG, ZAH, TYP, SEZNAM, DIM)

— seznam ELEmentů incidujících s AREálem

Podprogram vrátí *SEZNAM* elementů zadaného registru *REG*, záhlaví *ZAH* a typu *TYP*, které incidují s areálem o *M* bodech. Parametr *DIM* určuje na vstupu dimenzi pole *SEZNAM*, na výstupu pak určuje počet incidujících elementů. Pokud je počet incidujících elementů větší než *DIM*, nejsou nadbytečné elementy do řešení zahrnuty, je vytištěna zpráva o této skutečnosti a návratový kód v kroku úlohy se nastaví na '014'. Pokud některý z parametrů *REG*, *ZAH* nebo *TYP* je nulový, není na něj při výběru elementu brán zřetel. To znamená, že při zadání všech tří parametrů rovných nule bude seznam obsahovat všechny incidující elementy. Za incidenci se považuje, jestliže alespoň jeden z bodů určujících element přísluší do zadaného areálu nebo jestliže existuje průsečík úsečky elementu a hraniční úsečky areálu.

Řešení vychází z diagramu struktury dat BKD 200. Podprogram používá podprogramy *BKBODAR*, *BKPRUKR* a *BKRAML I*.

BKELEVZ (SEZ, H)

— ELEmenty — VZtah

Podprogram naplní seznam *SEZ* informacemi o elementech incidujících ve vztahu, který je vyšším programem zapsán ve větě *VZTAH*. Informace o každém elementu obsahuje číslo jemu příslušejícího záznamu *RADKA*, typ elementu a záhlaví elementu. Hodnota parametru *H* při vstupu do podprogramu oznamuje velikost připraveného seznamu *SEZ* (pro kontrolu jeho přeplnění), při výstupu udává naplnění seznamu *SEZ*, tedy počet zjištěných elementů ve vztahu.

BKELEZO (OKOLI, REG, ZAH, TYP, SEZNAM, DIM)

— seznam ELEmentů incidujících se ZÓnou řádky

Podprogram vrátí *SEZNAM* elementů zadaného registru *REG*, záhlaví *ZAH* a typu *TYP*, které incidují se zónou řádky, která je v okamžiku volání načtena ve větě *RADKA*. Zóna je kolem řádky vytvořena pomocí podprogramu *BKZONA*. Velikost zóny určuje parametr *OKOLI*. Seznam nebude obsahovat

elementy, které přísluší k řádce, pro kterou se volání uskutečňuje. Ostatní funkce jsou stejné jako u podprogramu BKELEAR.

Řešení vychází z diagramu struktury dat BKD 200. Podprogram volá podprogramy BKODAR, BKPRUKR, BKRADOB a BKZONA.

BKPREAR (E1, N1, E2, N2, E3, N3)

— PŘEKRYT AREÁLŮ

Podprogram zjistí, které elementy ze seznamů E1, E2 určujících dva areály tvoří areál — průnik E1 s E2. Zjištěné elementy zapíše do seznamu E3. Hodnoty N_i vyjadřují počty elementů v příslušných seznamech.

Podprogram vychází z diagramu struktury dat BKD 200.

Příklad:

vstup: E1: 1, 2, 3, 4, 5, 6

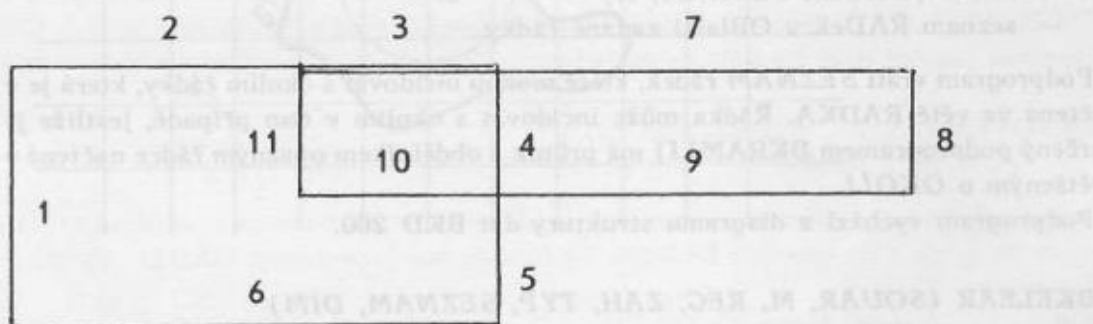
N1: 6

E2: 7, 8, 9, 10, 11, 3

N2: 6

výstup: E3: 10, 11, 3, 4

N3: 4



Literatura:

- [1] MORAVEC, D.: Modelování automatizované tvorby topografických map. In: *Studia geographica* 90, Brno, Geogr. ústav ČSAV 1986.
- [2] MORAVEC, D.: Problém redukce bodové množiny ve strukturovaném programování. In: *Sbor. topogr. Služby MNO*, 1984, č. 2, s. 20–30.
- [3] MORAVEC, D. a kol.: *Prováděcí projekt databankové technologie tvorby prvku vodstvo topografických map 1:25 000 až 1:200 000.* [Výzkumná zpráva.] Praha, VS 090 1985.

Došlo 7. 1. 1987

Automatizované územní informační systémy

V článku bych se chtěl pokusit o rozbor cílevědomě shromažďovaných záznamů o automatizovaných územních informačních systémech (AÚIS), jež byly zaznamenávány od roku 1985, nejprve jen ve spojitosti s bankou dat kartografických informací pro tvorbu a obnovu topografických map a později i z širšího hlediska, a to ze všech dostupných zdrojů, jako jsou odborné publikace, referátové a odborné časopisy, zprávy ze seminářů a konferencí, výběr ze zahraniční banky informací apod. Je třeba konstatovat, že informace se získávají obtížně a jsou většinou neúplné. Z evidovaných záznamů o AÚIS není celých 30 % sledovaných údajů vyplněno (nejsou v informačních zdrojích uvedeny).

1. Rozbor zaznamenaných AÚIS

Záznamy jsou vedeny na kartách, kde se vyplňují následující údaje:

- název, řešitel, uživatel;
- oblast určení AÚIS;
- popis datové báze AÚIS;
- technické a programové vybavení AÚIS;
- technologie zpracování dat;
- informační zdroje.

Celkem bylo zaznamenáno 69 AÚIS, z toho 13 z USA, 9 z NSR, 8 ze Švédska, po 6ti z ČSSR a Velké Británie, 5 z SSSR, 3 z Francie, po 2 z BLR, Finska, Itálie, Rakouska, Švýcarska a po 1 z Irska, Japonska, MLR, NDR, Norska, PLR. V následujících tabulkách je proveden rozbor záznamů o AÚIS. V tabulkách samozřejmě nesouhlasí celkový součet evidovaných záznamů, neboť u některých AÚIS je pro sledované hledisko rozboru uvedeno více možností, jindy pak není známé. Jedinečné výskyty určitých charakteristik nejsou v tabulkách uvažovány.

Účel AÚIS (oblast určení, funkce)	Počet
Tvorba tematických map	24
Informační systém pro národní hospodářství, ekologii ...	21
Tvorba map velkých měřítek, pozemkových	17
Tvorba map středních měřítek, topografických	16
Tvorba map malých měřítek	7
Digitální model území, digitální model reliéfu	6
Výroba katalogů, atlasů	5

Technické a programové vybavení AÚIS	Počet
Pracoviště interaktivní počítačové grafiky	20
AÚIS na bázi minipočítače	19
— z toho PDP, VAX, SMEP	15
— z toho HP	2
AÚIS na bázi univerzálního (střediskového) počítače	18
— z toho IBM, JSEP	16
V AÚIS aplikovaný paralelní počítač, multiprocessor	3
V AÚIS aplikovaný systém řízení báze dat (SŘBD)	17

Způsob pořizování dat v AÚIS	Počet
Digitalizace kartografických podkladů	29
Vyhodnocení snímků fotogrammetrickými metodami	11
Kartometrický (přímé měření v terénu)	9
Skenerování grafických podkladů, snímků	8

Charakteristiky báze dat AÚIS	Počet
Data udržována ve vektorové formě	28
Data udržována v rastrové formě	9
Hybridní forma dat (vektorová a rastrová)	3
Data udržována v měřítku	
– 1:10 000 a větším	5
– 1:50 000	10
– 1:200 000 (250 000)	6
– 1:1 000 000 a menším	7

2. Zahraniční pracoviště a instituce, zabývající se AÚIS

K zaznamenaným pracovištím patří především topografické, zeměměřické a další podobné služby.

USGS — U. S. Geological Survey [Geologická služba USA] a její 4 národní střediska (NGS).

DMA — Defense Mapping Agency [Armádní topografická služba] v USA se svými středisky a vojenskou kartografickou školou.

ETL — Engineer Topographic Laboratories [Ženíjní topografické laboratoře] v USA.

LVerma — Landesvermessungsamt [Zemský zeměměřický úřad] v každé spolkové zemi NSR; rovněž některé městské zeměměřické úřady.

OS — Ordnance Survey [Vojenská zeměměřická služba] ve Velké Británii.

BVA — Bundesvermessungsamt [Spolkový zeměměřický úřad] v Rakousku.

Finnmap — Finská zeměměřická společnost

... a další.

Dále jsou to specializovaná vědeckovýzkumná pracoviště.

IfAG — Institut für angewandte Geodäsie [Institut aplikované geodézie] v Hannoveru, NSR.

DVNC — Akademie věd Dálného východu SSSR, Institut automatizace a procesů řízení.

ECU/NECR — Experimental Cartography Unit/Natural Environment Research Council [sekte experimentální kartografie Rady pro výzkum přírodního prostředí] ve Velké Británii.

IfGG AdW — Institut für Geographie und Geoökologie der Akademie der Wissenschaft [Institut geografie a geoekologie Akademie věd] NDR.

VpS AV — Výpočetní středisko Akademie věd SSSR.

AdV — Pracovní společenství zeměměřických správ NSR.

I.G.M.I. — Vojenský geografický ústav v Itálii

... a další.

A ještě univerzity a vysoké školy.

TUG — Technická univerzita Graz v Rakousku,

. Institut digitálního zpracování obrazů a grafiky,

. Institut aplikované geodézie a fotogrammetrie.

C-MU — Carnegie-Mellon University v USA.

LBL — Lawrence Berkeley Laboratory University of California v USA.

KI — Kartografický institut univerzity Hannover v NSR

... a další.

3. Příklady vybraných AÚIS

DCDB — Digital Cartographic Data Base [báze digitálních kartografických dat], báze dat řešena v USGS pro topografické mapy měřítka 1:24 000. V provozu od roku 1980, v roce 1983 zpracováno 40 tisíc listů, předpoklad ukončení prací pro prostor USA do roku 2000.

Data pořizována fotogrammetricky (ruční digitalizace stereomodelu s hlasovou identifikací objektů); báze dat má topologickou datovou strukturu, systém řízení báze dat SYSTEM 2000. Výpočetní systémy IBM/370 a STARAN (multiprocessorový), interaktivní grafický systém COMPUTING.

DESBOD — Digitale Erfassung, Speicherung und Bearbeitung ortsbezogener Daten [digitalizace, uložení a zpracování dat o území], systém řešen v TUG pro topografické a tematické mapy měřítka 1:50 000. Výzkum od roku 1980, v roce 1984 pořízeny 4 listy z oblasti Štýrska (polohopis; výškopis; údaje geologické, morfologické, vegetace ...).

Data pořizována fotogrammetricky a skenerováním; báze dat má hierarchickou strukturu, data uložena ve vektorové formě. Zpracování dat na interaktivní grafické stanici, minipočítač VAX 11/750.

GIS — geografický informační systém IfGG AdW, projekt ukončen v roce 1984, systém určen pro územní plánování, řešení výzkumných úloh a perspektivně i pro kartografii.

Data pořizována klasickými prostředky; báze dat souborově orientovaná (kmenová, administrativní, lokalizační data), měřítko 1:25 000. Výpočetní systém EC 1040.

ATM — systém automatizace mapování pro topografické mapy měřítek 1:25 000 a 1:50 000, řešený v I.G.M.I.; v provozu od roku 1980. Data pořizována automatickou digitalizací systémem KARTOSCAN, zpracována na interaktivní grafické stanici KONGSBERG s minipočítačem VAX.

GIS — geografický informační systém ECU/NECR, řešený od roku 1972, určený pro výzkum životního prostředí.

Data pořizována digitalizací a skenerováním; množina bází dat vlastní struktury pro pobřežní čáry, hydrografii, komunikace, sídla, porosty ... v měřítkách 1:50 000, 1:250 000 a 1:1 000 000 (rozsah vektorových dat stovky MBy).

K dispozici jsou pracoviště zpracování vektorových (na bázi minipočítače PDP) a rastrových dat (na bázi minipočítače HP) a počítačová síť služeb NECR.

DLMS — Digital Landmass System Data Base [digitální model území], zavedený v DMA od roku 1980, určený pro navádění raket, letecké тренаžéry (výcvik), tvorbu reliéfních map.

Data pořízena digitalizací výškopisu a vyhodnocením snímků; datová báze v rastrové formě obsahuje prostor USA a střední Evropy. Výpočetní systémy CDC a PDP.

MAPS — Map Assisted Photointerpretation System [mapový a fotointerpretační systém], řešený začátkem 80tých let v C-MU pro výzkumné účely.

Báze dat souborově orientovaná, hierarchické struktury, obsahující konceptuální a funkční část, snímky v rastrovém tvaru a digitalizované mapy; vše z prostoru Washington (100 snímků, 3 mapy — měřítko od 1:12 000 do 1:124 000).

ALK — Automatisierte Liegenschaftskarte [automatizovaná pozemková mapa], systémy řešeny v LVermA (Dolní Sasko, Hesensko, Bavorsko, Porýní-Vestfálsko), v provozu od konce 70tých let, určena především pro tvorbu německé základní mapy měřítka 1:5000 (DGK 5).

Data pořizována kartometricky, digitalizací polohopisu a fotogrammetrickým vyhodnocením výškopisu. Báze dat má souborovou organizaci. Aplikovaný komerční SRBD (UDS, IDMS, ADABAS). Pracoviště interakční grafiky GIAP, GRADIS; výpočetní systém PDP, VAX, IBM, HP.

TOPKIS — Topographisch-kartographisches Informationssystem [topografický a kartografický informační systém], systém řešený v AdV (1985 — úvodní zpráva) pro pozemkové mapování, digitální model území a topografické mapování.

Báze dat předpokládají vektorovou i rastrovou formu; samostatně vytvořené pro měřítka 1:5000, 1:50 000, 1:250 000 a 1:1 000 000.

GIRAS — Graphic Information, Retrieval and Analysis System for Handled Land Use and Land Cover Data [informační systém o hospodářsky využívané půdě a půdním krytu], vytvořený v USGS

pro potřeby tematického mapování, národního hospodářství a ekologii. Měřítko 1:60 000, 1:100 000, 1:250 000.

Data pořizována digitalizací leteckých snímků. Báze dat v topologické struktuře, ve vektorovém formátu s možností přechodu na rastrový; pokrývá celý prostor USA. Výpočetní systémy IBM/370, ILLIAC (multiprocessorový); pracoviště interakční grafiky.

CGIS — Canada Geographical Information System [kanadský geografický informační systém], zavedený v geografické projekční a konzultační službě. Možnost tvorby tematických map, aplikace pro územní plánování, ekologii . . . Patrně jeden z nejúspěšnějších celosvětových AÚIS.

Báze dat v topologické struktuře, pokrývá celé území státu.

CIKADA 3 — geografický informační systém, řešený ve VpS AV, v provozu od roku 1984; tvorba map měřítka 1:2 500 000. Data pořizována digitalizací snímků DPZ.

Báze dat síťové struktury. Výpočetní systém EC 1033, BESM 6; interakční grafika; SRBD MARS.

Z československých AÚIS uvádím typické představitele z projekční výzkumné a provozní oblasti.

Informační systém TERPLAN pro orgány územního plánování. Zahrnuje prostor ČSR. 41 datových registrů o přírodních podmínkách a urbanistických aktivitách, souřadnicová báze dat. Data pořizována digitalizací mapových podkladů měřítka 1:50 000, využití interakční počítačové grafiky.

Geografický informační systém o přírodních poměrech oblasti Rosice—Oslavany, řešen v Ústavu výpočetní techniky ÚJEP Brno. Báze dat ve formě diskrétní šestiúhelníkové sítě výškových bodů pro potřeby matematicokartografického modelování. Data děrována z formulářů, zpracování na počítači JSEP.

Kartografická báze dat pro tvorbu maloměřítkových map ve Slovenské kartografii, n. p., Bratislava. Obsahem báze dat prostor Evropy, prvky komunikací, výškopisu, hydrografie, sídel a hranic. Souborová sekvenční organizace dat, vlastní SRBD. Digitalizace mapy světa, zpracování na počítači JSEP.

4. Závěry z rozboru AÚIS

Z rozboru záznamů o AÚIS se pokusíme vyvodit některé závěry a poznatky. Nejdokonalejší AÚIS lze zatím registrovat v západních zemích (USA, NSR, Velká Británie, Švédsko), kde jsou AÚIS již široce zavedeny a využívány a rovněž jsou i nadále ve stadiu vědeckovýzkumného řešení.

Celá řada AÚIS byla vytvořena pro potřeby národního hospodářství (územní plánování, hospodaření s půdou a přírodním bohatstvím, ekologie . . .). Stává se nezbytností, aby byl k dispozici snadno přístupný a obsažný informační systém o území, nejlépe ve formě databanky, jež umožní řadě různých uživatelů pružně a rychle získat požadované informace či zabezpečí automatizovanou tvorbu tematických a pozemkových map. Zatím jsou AÚIS uplatňovány v menší míře pro automatizovanou tvorbu topografických map.

Technické a programové vybavení AÚIS je značně rozmanité a dosti nákladné; odráží stav produkce výpočetní techniky a počítačové grafiky, možnosti uživatele a požadavky na zpracování dat. Většinou se jedná o komplexy účelově sestavené, méně již o specializované systémy. Jaké jsou tedy požadavky na efektivní AÚIS pro potřeby informačního systému ve vojenství a automatizovanou tvorbu topografických map?

Označený AÚIS musí mít široké možnosti efektivního pořizování dat; digitální fotogrammetrické vyhodnocení snímků (s možností hlasové identifikace objektů), poloautomatickou digitalizaci a skenování kartografických podkladů a snímků se zabezpečeným pružným vstupem identifikací a charakteristik objektů i uživatelských informací.

Zpracování dat bude řešeno na interakčním grafickém pracovišti, vybaveném interakčním barevným rastrovým displejem s dostatečnou rozlišovací schopností (např. 1024 × 1024 bodů) na bázi výpočetního systému s minipočítačem a multiprocesorem pro zpracování rastrových dat. Grafické programové vybavení bude vycházet z normy GKS a aplikační programové vybavení musí zabezpečit pořizování a opravu dat, zpracování dat pro uložení do báze dat, aktualizaci báze dat, pružný výběr dat a výstup dat podle požadavků uživatelů a podle potřeb technologie automatizované tvorby map.

Rozsáhlá databanka by měla být udržována na dostatečně mohutném výpočetním systému se střediskovým počítačem, vybaveným terminálovou (počítačovou) sítí. Báze dat s podporou komerčního SRBD a databázového procesoru bude sjednocovat svými lokalizačními údaji informační systémy druhů vojsk a služeb, bude obsahovat digitální model území a bázi kartografických informací v hybridní formě dat (vektorové a rastrové) v některé z komplexních datových struktur (víceúrovňová se síťovou a relační strukturou na externí úrovni). Databáze budou zřejmě udržované nezávisle pro malá, střední a velká měřítka a z nich pro automatizovanou tvorbu odvozených map budou získána data generalizací. Z evidovaných AÚIS není žádná zmínka o případu komplexně vyřešené generalizace v rozsáhlém spektru odvozených map (např. od 1:25 000 až k 1:1 000 000). Zde musíme být v představách na převratné změny v procesech automatizované generalizace velice opatrní!

Zkoušky nových typů filmů z n. p. FOTOHEMA

1. Úvod

Československo se řadí mezi země s nejvíce znečištěným ovzduším.

Rok od roku silně klesá roční počet dnů s dobrou viditelností (dohledností), zejména v období březen až říjen. To má velký dopad na plnění plánu leteckého snímkování pro účely zeměměřické (LMS) i dálkový průzkum Země (DPZ). Je proto nezbytné využívat i méně příznivých meteorologických podmínek a realizovat snímkové lety za zhoršených dohledností. Jedním z prostředků, kterým by bylo možno částečně kompenzovat tyto okolnosti, je vhodný sortiment leteckých filmů. Rozšíření tohoto sortimentu, zejména o filmy vysoce citlivé, se jeví jako velice účelné, neboť dosud používané letecké filmy pro LMS mají citlivost do 25 °ČSN (ČSSR, Belgie).

2. Charakteristiky testovaných filmů

V n. p. FOTOHEMA Hradec Králové se v roce 1985 podařilo vyvinout dva nové typy halogenstříbrných snímkových materiálů. K posouzení byly dány vzorky filmů v adjustaci:

- FOMAPAN SPECIÁL („FOMA D“) — kinofilm (35 mm perfo);
- FOMAPAN VARIANT („FOMA DXV“) — svitek (60 mm neperfo).

Výrobce deklaruje pro své nové filmy tyto vlastnosti:

FOMAPAN SPECIÁL („Foma D“) 31 až 39 °ČSN

je klasický černobílý film s extrémně vysokou citlivostí a dalekou panchromatickou senzibilací. Je určen pro snímky za zvláště nepříznivých světelných podmínek, zejména při umělém žárovkovém osvětlení, kdy ho lze exponovat až jako 39 °ČSN. Nominální citlivost je 31 °ČSN, tj. 1000 ASA. Zpracování se provádí běžným způsobem. V doporučené vývojce FOMADON N se vyvolává po dobu 9 až 12 minut při 20 °C.

Film si může uživatel zpracovat za uvedených podmínek sám.

FOMAPAN VARIANT („Foma DXV“) 18 až 36 °ČSN

je černobílý chromogenně vyvolávaný film s extrémní citlivostí, vysokou expoziční pružností a se zrnitostí na úrovni nízkocitlivých filmů. Je vyroben nekonvenční technologií s využitím nových poznatků v aplikaci chráněných barvotvorných složek. Film lze optimálně exponovat v rozmezí 18 až 36 °ČSN, bez úpravy procesu zpracování. V krajních situacích dovoluje film expozici od 3 do 42 °ČSN, při žárovkovém osvětlení až do 45 °ČSN.

Film je nutno předat ke zpracování v n. p. FOTOHEMA.

Ceny obou materiálů nebyly dosud stanoveny. Podle složitosti technologie se odhaduje:

- FOMAPAN SPECIÁL — do 20,- Kčs,
- FOMAPAN VARIANT (s vyvoláním) — do 30,- Kčs.

3. Stručná informace o podmínkách a průběhu zkoušek

Byla uskutečněna letová zkouška, při které byly oba zkoušené filmy naexponovány při reálném snímkovém letu pomocí ručních fotografických přístrojů. Snímkový let byl uskutečněn za nepříznivých podmínek — zimní období, oblačnost, malá dohlednost, dlouhé stíny i při polední době snímkování. Parametry snímkového letu pro testované filmy i pro souběžně uskutečněné měřické snímkování téže lokality jsou uvedeny v tabulce 1. Černobílé fotolaboratorní zpracování měřických snímků se realizovalo ve vyvolávacích automatech MVS 240 v pásu šíře 240 mm, vyvolání filmu „FOMA D“ v dupo-

ručně vývojce ručně v tanku. Podmínky fotolaboratorního zpracování jsou uvedeny v tabulce 2. Barevné zpracování filmu „FOMA DXV“ bylo vázáno na programovatelný typ vyvolávacího strojku, který n. p. FOTOCHEMA využívá pro svou technologii FOMAPAN VARIANT při teplotě všech lázní 38 °C.

Senzitometrické hodnocení filmů bylo uskutečněno pomocí senzimetru DEFA a denzitometru MEODENSI TRD 04 — u černobílých filmů. Film FOMA DXV byl proměřen rovněž TRD 04 pod zeleným filtrem. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 2.

Z negativů obou zkoušených filmů byly zhotoveny černobílé zvětšeniny na fotografický papír do formátu blízkého 230 × 230 (mm). Rozlišení detailů v D_{\min} a D_{\max} i celková čitelnost zvětšenin ze zkušebních snímků byly hodnoceny ve srovnání s kontaktními černobílými kopiemi souběžně zhotovených měřických snímků téže lokality.

4. Hodnocení

Film FOMAPAN SPECIÁL („FOMA D“). Perspektiva jeho využitelnosti pro letecké snímkování za nepříznivých podmínek — vzhledem k jeho zvýšené citlivosti oproti dosud dostupným filmům — je zcela zřejmá. Dalším kladem je i klasická černobílá technologie fotolaboratorního zpracování, realizovatelná na existujících vyvolávacích automatech, která umožní i zpracování na vyšší strmost. Podmínkou je, aby n. p. FOTOCHEMA tento nový film pro účely ČSLA vyráběl na vhodných rozměrově stálých podložkách (např. Bexford triacetát nebo PE) a adjustoval jej v požadovaných šířích rolí, např. 70 mm a 240 mm neperfo.

Film FOMAPAN VARIANT („FOMA DXV“). Tento film představuje kvalitativně zcela novou kategorii. Je to v podstatě barevný film s barevnou technologií fotolaboratorního zpracování, jehož výsledný obraz je „černobílý“. To znamená, že v archívech černobílých negativů nebudou uchovány zásoby kovového stříbra ve formě vyvolaného fotografického obrazu, ale že obraz bude tvořen organickými barvivy. Extrémně vysoká citlivost, expoziční pružnost a nízká zrnitost předurčují tento film pro exponování snímků za extrémně nepříznivých podmínek. V případě fotografie letecké, kdy za nepříznivých podmínek pro snímkování je zpravidla velmi nízký kontrast terénních předmětů, tento film pro svou velmi nízkou strmost ($G = 0,6$ až $0,8$ — podle udání výrobce) dosud nenajde uplatnění. Dalším doposud těžko překonatelným faktorem je i barevná technologie fotolaboratorního zpracování při teplotě 38 °C, pro niž není v ČSLA k dispozici vhodné vybavení odpovídajícími typy vyvolávacích automatů. Proto pro leteckou fotografii nelze z uvedených důvodů tento film jednoznačně doporučit, i když letová zkouška prokázala použitelnost zvětšenin z naexponovaného vzorku filmu ve srovnání s kopiemi leteckých snímků, zhotovených za stejných podmínek.

5. Závěr

Filmy „FOMA D“ a „FOMA DXV“ byly v průběhu uskutečněných zkoušek hodnoceny z hlediska perspektivy uplatnění pro LMS a DPZ. Vzhledem k jejich extrémní citlivosti je ale zřejmé jejich široké uplatnění všude tam, kde je nutné fotografovat za extrémně nepříznivých světelných podmínek.

Literatura:

- [1] Průvodní listy leteckého fotografování a fotolaboratorního zpracování snímkových podkladů č. 334, 335, 296, 254/1985.
- [2] NOVÁK, I. a kol.: Ochrana ovzduší v ČSSR. Praha, Stát. zeměd. nakl. 1983.

Parametry snímkového letu

Číslo filmu (letu)	Číslo objednávky měřítko	Lokalita	Datum letu	Doba letu	Nadmořská výška letu (m)	Rychlost letu (km)	Dohlednost (km)
334	Zkouška nového typu filmu	Výsypka Merkur	12. 11. 1985	11.00 až 12.30	1300 až 1500	230	6
335	Zkouška nového typu filmu	Výsypka Merkur	12. 11. 1985	11.00 až 12.30	1300 až 1500	230	6
296	361/B 1 : 7000	Výsypka Merkur	12. 11. 1985	11.00 až 11.30	1300 až 1400	230	4 až 6
254	1 : 4000	Tušimice	8. 11. 1985	12.00 až 12.35	700 až 1600	220	2

Tabulka 1

Oblačnost	Typ LFP konstanta filtr	Expo- zice (sec)	Clona	Druh filmu emul. číslo délka	Formát snímku (mm)	Citli- vost udaná °ČSN	Kopie na papír zvětšení do form.
3/8 až 4/8 (1200)	PENTACON SIX 80 mm —	1/250	1. 2,8 2. 4 3. 5,6 4. 8 5. 11 6. 16 7. 22 8. 16 9. 11 10. 8	FOMAPAN VARIANT „Foma DXV“ 0,8 m svitek š. 60 mm neperfo	56×56	18 až 36	4,1× do 230×230 (mm)
3/8 až 4/8 (1200)	PRAKTICA PLC-3 50 mm —	1/250	1. 2,8 2. 4 3. 5,6 4. 8 5. 11 6. 16 7. 11 8. 8 9. 5,6 10. 4	FOMAPAN N SPECIÁL „Foma D“ 1,6 m kinofilm š. 35 mm perfo	24×36	31 až 39	8,5× do 205×263 (mm) (výřez)
2/8 (1200)	MRB 15/11 152,10 mm G 2AV	1/180	4,5	FOMA LA 40073-5 25 m	230×230	23	1 : 1 230×230 (mm)
8/8 (1100)	MRB 15 152,10 mm G 2AV	1/120	4,5	GEVAERT 33 67044693 30 m	230×230	24	1 : 1 230×230 (mm)

Fotolaboratorní zpracování a hodnocení filmů

Typ filmu	FOMAPAN SPECIAL "Foma D"	FOMAPAN VARIANT "Foma DXV"	FOMA LA	AVIPHOT PAN 33 PE GEVAERT
Datum fotolaboratorního zpracování	20. 11. 1985	19. 11. 1985	13. 11. 1985	8. 11. 1985
Vývolávací zařízení	ručně v tanku „35 mm“ VÚ 9681 Hradec Králové	vyvolávací strojek Jobo Fotochema — VÚFCH	MVS 240 VÚ 9681 Hradec Králové	MVS 240 VÚ 9681 Hradec Králové
Vývojka	Fomadon N	Barevný proces FOMAPAN VARIANT	G-251	G-251
Teplota vývojky (°C)	20 °C	38 °C	24 °C	24 °C
Vývolávací doba (min)	10'	předpírání barevná vývojka bělicí ustalovač praní utalovač závěrečné praní stabilizační lázeň	6'	7'
Dosažená strmost	1,15	—	1,2	1,3
Dosažená citlivost °CSN	29	—	24	24
D_{\min} klínu ($D_p + D_0$)	0,35	0,42	0,26	0,13
D_p	0,17	0,17	0,17	0,04
D_0	0,19	0,25	0,09	0,09
D_{\min} (obr.)	—	při různých clonách 1,27 0,99 0,94 1,28	0,53	0,43
D_{\max} (obr.)	—	1,54 1,13 1,29 1,65	1,19	0,94
ΔD (obr.)	—	0,27 0,14 0,35 0,37	0,66	0,51
Hodnocení obrazu na kopicích (zvětšutinách)	Při zvětšení 8,5X z kinofilmu se jeví i při poměrné zrnitosti značná rozlišitelnost detailů ve světlech a stínech	Zvětšení 4,1X. Bez zrnitosti dobré rozlišení v D_{\max} i D_{\min} na čb. zvětšení- ně z „barevného“ filmu; nízký kontrast	Čitelnost detailů v $D_{\max} + D_{\min}$ a ostatní kritéria vyhovují	Značná oblačnost, podexponováno, ne- byla jiná možnost (smaz). Snímkování havarie, mimoř. požadavek objednatel. Ménší čitelnost v D_{\max} i D_{\min}
Závěr	Perspektivní film. Objednat vzorek v šíři 240 mm, letová zkouška, proměření rozměr. stálosti	Film nelze plně využít, nízký kontrast. Nelze zpracovávat, není k dispozici vhodný automat		

Rádiový dálkoměr MT-A1

Úvod

Rádiový dálkoměr vyvinutý v roce 1957 (nazvaný teluometr) byl sestaven na takové technické výši, že stejný princip používají i současně vyráběné rádiové dálkoměry.

Nové poznatky v elektronice a vývoj miniaturizované součástkové základny umožnily další zdokonalení radiodálkoměrné techniky.

Vývojové práce se soustředily hlavně na vyřešení těchto technických požadavků:

- možnost vzájemné záměny stanic (každá stanice může pracovat buď jako řídicí, nebo jako odrazová);
- konstrukci přijímače i vysílače s anténním systémem jako samostatného celku, který by bylo možno pomocí stožáru vysunout nad terénní překážky;
- přechod na kratší vlnové délky (3 cm, 0,8 mm);
- automatické nastavování nosného kmitočtu;
- použití sinusové frekvenční modulace pro přenos nízkofrekvenčního signálu z odrazové stanice na řídicí;
- automatizaci měření s digitálním odečtem vzdálenosti.

Hlavní principy technického řešení dálkoměru MT-A1

V rádiovém dálkoměru MT-A1 výroby MLR je plně akceptován současný světový vývojový trend. Každá stanice může pracovat jako řídicí i jako odrazová. Vysílací a přijímací blok je konstruován jako samostatná jednotka, kterou je možno pomocí stožáru vysunout nad terénní překážky. Spojení s výhodnocovacím blokem je zajištěno kabelem o délce 30 m. Vysunutou část je možno dálkově směřovat v azimutu i vertikálně.

Zdrojem nosného kmitočtu je oscilační obvod s polovodičovou Gunnovou diodou pracující v pásmu 3 cm s výstupním výkonem 30 mW. Přechod na kratší vlnové délky má mimo jiné výhodu v tom, že při stejném výkonu a stejné velikosti antény se zvýší dosah dálkoměru.

Pro zajištění stabilizace spojení mezi řídicí a odrazovou stanicí je realizováno automatické doladování nosného kmitočtu. Před vlastním měřením se ručně nastaví pomocí indikátoru nosné kmitočty stanic tak, aby jejich rozdíl byl 33 MHz (mezifrekvenční kmitočet). Rozdílový kmitočet je automaticky doladován podle volby buď na řídicí, nebo odrazové stanici.

Oscilátor lze ladit v úzkém kmitočtovém pásmu 400 MHz. Měření se provádí na jednom nosném kmitočtu. Vliv délkové chyby vlivem odrazů se nevylučuje laděním nosného kmitočtu.

Otázka vlivu odrazu na přesnost měření je velmi složitá, ale na základě teoretických i experimentálních prací jsou vyvozeny určité závěry.

Pro n odrazů při koeficientu odrazu $r = 0,1$ až $0,4$ (r charakterizuje stupeň zeslabení signálu při odrazu) platí

$$\Delta D = \frac{\lambda_{MOD}}{2\pi} \sum_{i=1}^n r_i \sin \frac{2\pi \Delta D_i}{\lambda_{MOD}} \cdot \cos \frac{2\pi \Delta D_i}{\lambda_{NOS}}$$

kde

- ΔD — chyba v délce vlivem odrazu,
- ΔD_i — rozdíl v dráze přímého a odraženého paprsku,
- i — odražený paprsek,

r	– koeficient odrazu (hodnota 0,1 pro terén s křovinatým porostem, hodnota 0,4 pro klidnou vodní hladinu nebo zamrzlou vodní plochu),
λ_{MOD}	– délka vlny modulačního kmitočtu,
λ_{NOS}	– délka vlny nosného kmitočtu.

Z výrazu vyplývá, že chyba ΔD je závislá na nosném kmitočtu a mění se periodicky. Provede-li se měření na více nosných kmitočtech, střední hodnota výsledku bude méně zatížena chybou z odrazů než u jednoho měření. Možnost změny nosného kmitočtu u MT-A1 je přibližně jen 4 %, což nezajistí průběh celé periody kosinové funkce.

Ze vzorce je také zřejmé, že ΔD se zmenšuje se zmenšováním λ_{MOD} , tj. se zvyšováním modulačního měřicího kmitočtu. Např. u rádiového dálkoměru DISTOMAT DI 60 použitím měřicího kmitočtu 150 MHz se snížila chyba způsobená odrazy řádově na 1 cm při měření na jednom nosném kmitočtu.

Pro automatizaci měření je výhodné, aby údaj měřiče fáze byl vyčíslen přímo v délkových jednotkách. Aby to bylo možno splnit, je nutno použít takový měřicí kmitočet, který bude číselně roven poloviční rychlosti šíření elektromagnetické vlny $v/2$. Pro měřenou vzdálenost platí

$$D = N \frac{\lambda}{2} + \Delta N \frac{\lambda}{2},$$

kde	
D	– měřená vzdálenost,
N	– celé číslo,
λ	– vlnová délka.

Zvolíme-li $f = 150$ MHz a uvažujeme rychlost šíření $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, index lomu prostředí $n = 1$ ($\lambda = \frac{c}{f \cdot n}$), je doměrek $\Delta N \frac{\lambda}{2}$ měřen přímo v metrech. Výraz $\Delta N \frac{\lambda}{2}$ nemůže převýšit $\frac{\lambda}{2}$, tj. 1 m, a je-li celý rozsah měřiče fáze rozdělen na 1000 dílků, je jeden dílek 1 mm.

U rádiového dálkoměru MT-A1 jsou měřicí kmitočty voleny tak, aby fázový údaj odpovídal přímo délkovým jednotkám pro rychlost šíření vlny $c = 299\,792\,458$ m/s a pro index lomu prostředí $n = 1,000\,325$.

Měřicí kmitočty dálkoměru MT-A1

Kmitočet	MHz	Zjišťovaný fázový údaj na kmitočtu	Rozsah měřiče fáze (m)
f_1	149,847 528	f_1	1
f_2	149,846 030	$f_1 - f_6$	10
f_3	149,832 543	$f_1 - f_5$	100
f_4	149,697 681	$f_1 - f_4$	1 000
f_5	148,349 053	$f_1 - f_3$	10 000
f_6	134,862 775	$f_1 - f_2$	100 000

Měření na jednotlivých kmitočtech může proběhnout automaticky a na osmimístném displeji se objeví změřená délka. Zdrojem měřicích kmitočtů je tzv. syntezátor, který umožňuje vytvoření souboru různých kmitočtů z jednoho řídicího etalonového kmitočtu s vysokou kmitočtovou stabilitou.

Přenos fázové informace z odrazové stanice na řídicí je realizován nízkofrekvenčním sinusovým signálem. Nevýhoda dříve používaného impulsního přenosu u dálkoměrů spočívala v tom, že impuls sestává z velkého počtu kmitočtů, což způsobuje technické obtíže při jeho zpracování v elektrických obvodech, navíc rychlost jednotlivých vln v impulsu odpovídá sice fázové rychlosti, ale impuls jako celek se šíří pomaleji tzv. signálovou rychlostí, kterou nelze přesně definovat.

Analogové vyhodnocení rozdílů fází mezi vysílaným a přijímaným signálem je nahrazeno číslicovou metodou. Signály jsou tvarovány a použity k ovládní hradla čítače. Rozdíl fází je dán počtem impulsů o přesném kmitočtu prošlých v době otevření hradla. Základní chyba této metody je ± 1 prošlý puls. Pro zvýšení přesnosti je použito vícenásobné měření ($100\times$) a výsledky se průměrují. Číslicová metoda má vysokou přesnost ve srovnání s metodami analogovými. Výsledky je možno přímo zpracovávat mikroprocesorem, ukládat do paměti apod.

Hlavní technické údaje dálkoměru MT-A1

Měřená vzdálenost	100 m až 70 km
Šířka pásma vysílače	10,1 až 10,5 GHz
Výkon vysílače	minimálně 30 mW
Střední kvadratická chyba měření	$\Delta = \pm 10^{-2} m + 2 D \cdot 10^{-6}$ (D – měřená vzdálenost)
Výsledek výstupu je v číselné formě pro index lomu prostředí	$n = 1,000\ 325$ 1 mm
Indikace – 8místný indikátor s rozlišovací schopností	
Průběh a vyhodnocování měření je řízeno mikroprocesorem.	
Možnost nastavení vysílací a přijímací části automatické i ruční	
– okolo vertikální osy	360°
– horizontální náklon	$\pm 10^\circ$
Napájecí napětí	12,6 V $\pm 20\%$
Potřebný příkon při měření	-10%
Rozměry a hmotnost	35 W
– vysílací a přijímací část	16,25 kg
	440 × 510 × 320 (mm)
– vyhodnocovací jednotka	4,5 kg
	275 × 275 × 200 (mm)

Závěr

Dosud používané rádiové dálkoměry GET-B1 jsou prakticky na stejné technické úrovni jako první typy MRA vyráběné v roce 1958. Současně vyráběné dálkoměry při zachování původního principu se vyznačují vyšším stupněm technického řešení jednotlivých obvodů, což přináší zvýšení přesnosti a umožňuje automatizaci měření.

Rádiový dálkoměr MT-A1 představuje moderní typ dálkoměru, který dostihuje současnou světovou úroveň.

Cílem článku je seznámit s hlavními principy technického řešení a technickými parametry moderního dálkoměru MT-A1.

Literatura:

- [1] Firemní technická dokumentace k rádiovému dálkoměru MT-A1. Přel. z maď. Budapešť, Maď. optický závod 1986.
- [2] KROUPA, V. – PTÁČEK, V.: Měření kmitočtu. Praha, Stát. nakl. techn. lit. 1963.
- [3] BOLŠAKOV, V. D. a kol.: Elektronische Streckenmessung. Berlin, Verlag für Bauwesen 1985.

СОДЕРЖАНИЕ

Пик, М. — Душатко, Д.: Модерная технология определения характеристик квазигеоида	1
Прахарж, Я.: К возможностям преобразования координат в спутниковых сетях	12
Моравец, Д.: Моделирование в автоматизированном создании карт	22
Шильган, В.: Определение элементов внешнего ориентирования с помощью коллинеации	40
Ржикал, Я. — Тихи, Б.: Библиотека задач геометрии, решаемых на ЭВМ, для автоматизированного решения картографической генерализации	46
Буржита, Л.: Автоматизированные информационные системы о территории	55
Шимонова, М.: Испытания новых видов пленки нац. предприятия ФОТОХЕМА	60
Говорка, Р.: Радиодальномер MT-A1	65

INHALT

Pick, M. — Dušátko, D.: Moderne Technologie der Bestimmung des Quasigeoidverlaufs	1
Prachař, J.: Zu den Möglichkeiten der Koordinatentransformationen in den Satellitennetzen	12
Moravec, D.: Modelle in der automatisierten Kartenherstellung	22
Šilhan, V.: Bestimmung von Elementen der äußeren Orientierung der Aufnahmen mittels Kollineation	40
Říkal, J. — Tichý B.: Aufgabenbibliothek der Rechnergeometrie für automatisierte Lösung der kartographischen Generalisierung	46
Buřita, L.: Automatisierte Geländeinformationssysteme	55
Šimonová, M.: Prüfungen der neuen Filmtypen von VEB FOTOHEMA	60
Hovorka, R.: Mikrowellen-Entfernungsmesser MT-A1	65