

ŠTÚDIE

**RELIÉF AKO PRIESTOROVÝ SUBSYSTÉM S_{RF} GEOGRAFICKEJ KRAJINY
A JEHO KOMPLEXNÝ DIGITÁLNY MODEL (KDMT)**

JOZEF KRCHO

Jozef Krcho: Relief as the Spatial Subsystem S_{RF} of Geographical Landscape and Its Complex Digital Model (CDTM). Geogr. Čas., 31, 3, 1979; 12 figs, 59 refs.

The study deals with the problem of position of relief in the geographical landscape and with its modelling on automatic computers by means of its complex digital model (i. e. CDTM — complex digital terrain model). The geographical landscape is considered as a spatial dynamic system S_G , a component of which is the subsystem of anthroposphere — S_{AG} , the subsystem of natural part of the geographical sphere (of the physico-geographical sphere) — S_{FG} and the subsystem of relief as a form — S_{RF} . The subsystems S_{AG} , S_{FG} , and S_{RF} are interacting. CDTM is the modelling system of modelled system S_{RF} . From the viewpoint of engineering time scale CDTM can be considered certainly to a scale 1:10 000 as static system. The definition of CDTM is given as well as its properties, further the characteristic of inputs and outputs of CDTM.

ÚVOD

Súčasná doba stále nástojčivejšie v celosvetovom meradle nastoľuje potrebu operatívneho spracovania informácií tak o jednotlivých zložkách krajiny, ako aj o geografickej krajine ako celku, ktorej súčasťou je i reliéf. Takéto operatívne spracovanie informácií je však možné iba za použitia samočinných počítačov (ďalej len Sa-Po) a za existencie koncepcne solídne rozpracovaného informačného systému — BANKY DÁT o krajine, ktorý musí súčasne obsahovať registre s informáciami o reliéfe. Bez takejto BANKY DÁT nie je možné pomocou Sa-Po operatívne spracovať informácie o krajine, modelovať časovú a priestorovú zmenu stavov krajiny a jej jednotlivých zložiek.

Integrovaný informačný systém o území — ISU takéto požiadavky predbežne svojou koncepciou nespĺňa. Pritom ISU predbežne taktiež neobsahuje registre s údajmi o reliéfe, ktoré by umožňovali kedykoľvek a z ktorejkoľvek oblasti získať ktorémukoľvek oprávnenému používateľovi úplné informácie o morfometrických parametroch reliéfu a ich priestorovom rozložení.

Preto sa v jednotlivých rezortoch, projektových a výskumných ústavov, ako aj pri iných inštitúciách, ktoré pracujú s priestorovo lokalizovanou informáciou o krajine, prejavuje silná tendencia budovať si vlastné geoinformačné systémy obsahujúce aj registrácie o reliéfe [30, 33, 34, 35, 36, 38, 51]. Reliéf ako forma je totiž jedným zo základných diferenciálnych faktorov v priestorovom geografickom komplexe (geografickej krajine) uvažovanom v zmysle prác [20, 26, 27] ako priestorový dynamický systém S_G . Svojimi jednotlivými morfometrickými parametrami vplýva na priestorovú diferenciáciu socioekonomickej sféry ako subsystému S_{AG} aj na priestorovú diferenciáciu fyzicko-geografickej sféry ako subsystému S_{FG} .

Preto problematika modelovania reliéfu pomocou Sa-Po tvorí z hľadiska najrôznejších požiadaviek náplň mnohých ústavov v ČSSR i v zahraničí. Všeobecne sa zžil pre tieto modely názov „digitálny model terénu“ — DMT. Tieto modely sú však vždy úzko účelové z hľadiska technických potrieb.

V tejto práci sa budeme v zmysle prác [9, 11, 12, 13, 21, 23, 24, 25, 28] zaoberať problematikou komplexného digitálneho modelu reliéfu (ďalej KDMT), na základe ktorého môžeme pomocou Sa-Po zo základného súboru vstupných dát tvorených reprezentatívnym diskretným bodovým poľom modelovať v ľubovoľnom mieste priebeh jednotlivých hodnôt morfometrických parametrov reliéfu a súčasne podľa ľubovoľne zadaných kritérií vyhraničovať priestorové rozloženie ich jednotlivých požadovaných hodnôt s výstupom na mapu. Jednotlivé morfometrické parametre reliéfu ako formy, ktoré uvažujeme v KDMT, boli formulované v prácach [15, 23].

Pomocou KDMT možno však modelovať nielen krajinný reliéf, ale akékoľvek druhy abstraktných priestorových plôch, ako aj ich izočiarové vyjadrenia. Prítom môžeme interpretovať, čo nám vyjadrujú štrukturálne polia, t. j. sekundárne polia jednotlivých morfometrických parametrov týchto plôch tak, ako boli formulované v prácach [13, 23]. K tomu patrí i modelovanie tzv. informačných povrchov a ich morfometrická analýza, ktorá poskytuje nové informácie o vlastnostiach týchto povrchov. Exaktné formulovaná morfometrická analýza reliéfu nadobúda tak širší všeobecný význam.

Myšlienka digitálnych modelov DTM nie je nová. Možno sa s ňou stretnúť už v polovici päťdesiatych rokov, kedy v súvislosti so zavádzaním Sa-Po do projektovania komunikácií navrhli na Massachusetts Institute of Technology koncept DTM označovaný ako MIT-systém [6].

Ako sme však už spomenuli, všetky DTM boli viacmenej jednoúčelové pre potreby projekcie, ako aj výpočet kubatúr na zvolených cestných a železničných trasách z hľadiska zemných prác, výpočet profilov, kresba vrstevníc atď. V japonskom DMT [31] sa však už operuje aj so sklonom reliéfu v smere spádových kriviek. V ČSSR na VÚGTK v Prahe sa taktiež už odvodil DMT práve tak pre účely projekcie [44, 45, 46, 47, 48, 49]. Pod tlakom komplexnejšieho prístupu ku krajine a jej reliéfu rozpracúvajú sa ďalšie automatizované postupy z hľadiska komplexnej morfometrickej analýzy reliéfu [25]. KDMT je v tomto smere vhodný preto, lebo nás v ňom na rozdiel od doterajších DMT zaujíma nielen výškové pole ako také, ale nás zaujíma, ako možno z neho pomocou Sa-Po plnoautomatizovaným spôsobom realizovať komplexnú morfometrickú analýzu a dynamiku oslnenia reliéfu v zmysle prác [15, 16, 17, 18, 19, 21, 23] regionalizáciu reliéfu ako formy atď.

Táto problematika, ako aj problematika dynamiky oslnenia reliéfu z hľa-

diska vplyvu jednotlivých morfometrických parametrov reliéfu bola v ČSSR rozvíjaná v rokoch 1964—1970 s postupným vyjadrením maticového zápisu reliéfu pre Sa-Po v tvare vstupnej matice A [15, 16., 17, 18, 19, 21]. Tieto postupy, ktoré teraz tvoria podklad pre programové vybavenie KDMT, boli vtedy pre nedostatok Sa-Po prevedené na grafikonumerický spôsob riešenia. V prácach [21, 22, 24, 25, 28] bol potom rozpracovaný vlastný KDMT. V tejto práci si všimneme iba základný princíp KDMT.

RELIÉF AKO SUBSYSTÉM S_{RF} SYSTÉMU FYZICKOGEOGRAFICKEJ SFÉRY

Už z úvodu práce vyplýva, že z hľadiska KDMT je dôležité poňatie reliéfu. Toto poňatie sa odzrkadlí v koncepcii KDMT a teda aj jeho štruktúry. Preto sa stručne dotkneme tohto problému. Reliéf uvažujeme v zmysle prác [20, 26, 27] ako subsystém

$$S_{FR} = \{G_{RF}, R_{RF}\} \quad (1)$$

geografickej krajiny ako systému S_G s jej subsystémom S_{AG} (antroposféra) a S_{FG} (fyzickogeografická sféra).

Množina

$$G_{RF} = \{z, h, \gamma_N, A_N, \omega, K_r, \dots\} \quad (2)$$

v subsystéme (1) je množina kvantitatívnych morfometrických ukazovateľov, pričom z — nadmorská výška, h — prevýšenie od údolnice v smere spádnic, γ_N — uhol sklonu v smere spádnic, A_N — orientácia reliéfu voči svetovým stranám, ω — normálová krivosť reliéfu, K_r — horizontálna krivosť reliéfu atď. (podrobne práca [23]). Hodnoty týchto veličín sa menia v určitých intervaloch charakteristických pre jednotlivé typy reliéfu.

Množina R_{RF} je množina závislostí jednak medzi prvkami (2) navzájom a jednak medzi prvkami (2) a okolím $(a_0)_{RF}$ systému S_{RF} [20, 26, 27].

Reliéf ako forma je nehmotná veličina, hmotný je len nositeľ tejto formy, a to litosféra a_3 a pedosféra — a_4 ako prvky množiny G_{FG} systému S_{FG} [26, 27]. Ich vlastnosti, charakterizované množinou parametrov patriacich do parametrickej bázy F [58] sa v dôsledku prebiehajúcich procesov v systéme S_{FG} prejavujú v priestorovom rozložení tých častí a_3, a_4 , ktoré tvoria pevné rozhranie medzi atmosférou a_1 , resp. hydrosférou a_2 (reliéf morského dna, jazerný a riečny reliéf). Reliéf je výslednicou modelačných procesov, pričom však súčasne sám spätne prostredníctvom svojich morfometrických parametrov (2) ovplyvňuje procesy v krajine.

Subsystém (1) študujeme na určitej rozlišovacej úrovni a vo zvolenej mierke 1:M, pričom je funkčný vzťah medzi rozlišovaciou úrovňou a mierkou M. Počnúc určitou mierkou (napr. 1:10 000) môžeme z hľadiska inžinierskej časovej škály v rozsahu 100—150 rokov vplyvy procesov v systéme S_{FG} na hodnoty jednotlivých morfometrických parametrov (2) v globále zanedbať a uvažovať iba vplyv reliéfu na jednotlivé prvky systému S_{FG} i S_{AG} , čo má veľký význam pre koncepciu registrov o reliéfe v budovanom ISU alebo v geoinformačných rezortných systémoch z hľadiska stálosti a obnovy základných nasnímaných údajov o reliéfe.

Avšak aj v inžinierskej časovej škále musíme uvažovať vplyv systému S_{AG} na množinu G_{RF} (2) systému (1), ktorý sa prejavuje vznikom tzv. antropogénnych foriem reliéfu, čo súčasne spätne vyvoláva zmenu pôsobenia S_{RF} na S_{AG} i na S_{FG} v určitom priestorovom rozsahu.

Z hľadiska nášho cieľa neuvažujeme v matematickom opise reliéfu ako formy časový parameter, t. j. systém S_{RF} pokladáme za statický. V zmysle prác [23, 26, 27] reliéf ako formu môžeme na určitej rozlišovacej úrovni vo zvolenej súradnicovej sústave $\langle O, i, j, k \rangle$ opísať funkčným vzťahom

$$z = f(x, y); \quad x = g_1(\varphi, \lambda); \quad y = g_2(\varphi, \lambda), \quad (3)$$

kde g_1, g_2 sú zobrazovacie funkcie ľubovoľného bodu $A_N(\varphi_n, \lambda_n)$ na referenčnej ploche do zobrazovacej roviny (x, y) , v ktorej mu je jednoznačne priradený bod $P_n(x_n, y_n)$ ($n = 1, 2, \dots$). Premenné veličiny φ, λ sú zemepisné súradnice, kde φ — zemepisná šírka, λ — zemepisná dĺžka. Zobrazovacia rovina na topografických mapách je volená tak, že pre naše účely môžeme v každom liste topografickej mapy pokladať modul dĺžkového skreslenia $m_\alpha = 1$ pre každý smer α .

Funkčný vzťah (3) platí pre ľubovoľnú zvolenú mierku 1:M s príslušnou rozlišovacou úrovňou, v ktorej reliéf nahrádzame jeho topografickou plochou ako jeho matematickým modelom. Zo vzťahu (3) sú odvodené prvky množiny (2).

V zmysle prác [15, 23] uhol sklonu γ_N v smere spádových kriviek je určenej absolútnou hodnotou gradienta výšok

$$|\text{grad } z| = \text{tg } \gamma_N = \sqrt{f_x'^2 + f_y'^2} \cdot \gamma_N = \text{arc tg } \sqrt{f_x'^2 + f_y'^2} \quad (4)$$

a orientácia reliéfu voči svetovým stranám A_N je určená vzťahom

$$\text{tg } A_N = - (f_x' / f_y'); \quad A_N = \text{arc tg } (-f_x' / f_y'). \quad (5)$$

Normálová krivosť a horizontálna krivosť K_r sú určené vzťahmi

$$\omega = \frac{f''_{xx} f_x'^2 + 2 f''_{xy} f_x' f_y' + f''_{yy} f_y'^2}{(f_x'^2 + f_y'^2) \sqrt{[1 + (f_x'^2 + f_y'^2)^2]^3}}; \quad K_r = \frac{-f''_{xx} + 2 f''_{xy} f_x' f_y' - f''_{yy} f_x'^2}{\sqrt{(f_x'^2 + f_y'^2)^3}}, \quad (6)$$

pričom vo vzťahoch (4), (5), (6) skrátený zápis $f'_x, f'_y, f''_{xx}, f''_{xy}, f''_{yy}$ pri úplnom zápise označuje derivácie tak, že

$$f'_x(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial x}; \quad f'_y(x, y) = \frac{\partial f(x, y)}{\partial y}; \quad f''_{xx} = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2};$$

$$f''_{xy}(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x \partial y}; \quad f''_{yy}(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (7)$$

Podrobne sú vzťahy (4) až (6) odvodené v práci [23]. Na základe veličín ω, K_r (6) možno kvantitatívne vyjadriť geometrické formy reliéfu.

Uvažujeme v zmysle práce [23], str. 202–214, v každom bode P_n reálneho

priestoru $\langle O, x, y, z \rangle$ fázový priestor $\langle O, \omega, K_r \rangle$, ktorého $O \equiv P_n$. V jeho jednotlivých kvadrantoch I. Q, II. Q, III. Q, IV. Q sú na základe morfometrických veličín ω, K_r určených vzťahmi (4) až (6) v ľubovoľnom bode P_n študovaného reálneho priestoru kvantitatívne vyjadrené formy reliéfu $F(F_{XX}, F_{KX}, F_{KK}, F_{XK})$, pre ktoré platí, že

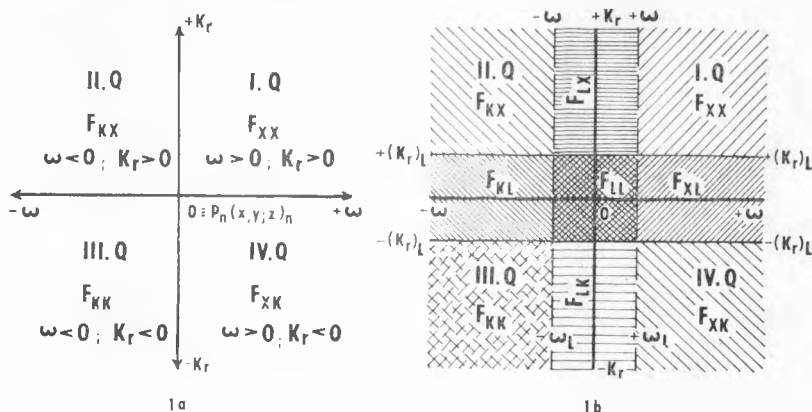
$$\left. \begin{array}{ll} \text{I. Q. } F_{XX} (\omega > 0; K_r > 0); & \text{II. Q. } F_{KX} (\omega < 0; K_r > 0) \\ \text{III. Q. } F_{KK} (\omega < 0; K_r < 0); & \text{IV. Q. } F_{XK} (\omega > 0; K_r < 0) \end{array} \right\}, \quad (8)$$

pričom F_{XX} — konvex-konvexné formy, F_{KX} — konkáv-konvexné formy, F_{KK} — konkáv-konkávne formy, F_{XK} — konvex-konkávne formy obr. 1a, (podrobne pozri prácu [23]). Tieto formy možno ešte vnútorne kvantitatívne diferencovať podľa absolútnej hodnoty ω, K_r . Poznamenajme, že tieto formy sú typické pre procesy v systéme S_{FG} , v ktorom neexistujú lineárne (rovinne ploché) formy, ale len hodnoty k nim limitujúce hodnotami $\omega \rightarrow 0, K_r \rightarrow 0$. Avšak antropogénne formy reliéfu majú jednu alebo obe zložky lineárne, takže ich označíme symbolmi

$$\left. \begin{array}{ll} F_{XL}: \omega > 0; K_r = 0; & F_{KL}: \omega < 0; K_r = 0 \\ F_{LX}: \omega = 0; K_r > 0; & F_{LK}: \omega = 0; K_r < 0 \\ F_{LL}: \omega = 0; K_r = 0 \end{array} \right\}, \quad (8')$$

pričom F_{XL} — konvex-lineárne, F_{KL} — konkáv-lineárne, F_{LX} — lineár-konvexné, F_{LK} — lineár-konkávne a F_{LL} — lineár-lineárne formy. Podrobne je tento problém rozobraný v práci Krcho J. — Bureš L. [59]. Za takéto tvary, [8'] môžeme však v praxi pokladať aj formy podľa [8], a to počnúc od určitej hraničnej hodnoty $\omega_L, (K_r)_L$, pre ktoré je $|\omega| < |\omega_L|$ a $|K_r| < |(K_r)_L|$; obr. 1b.

Morfometrické veličiny γ_N, A_N (4), (5) vstupujú súčasne ako priame veličiny vo funkcii charakterizujúcej časovú a uhlovú dynamiku oslnenia reliéfu. Táto je vzhľadom na uhol δ_{exp} dopadu slnečného lúča na reliéf v priebehu ča-



Obr. 1

su T z hľadiska morfometrických parametrov reliéfu vyjadrená v zmysle prác [16, 19] vzťahom

$$N \cdot L = \cos \delta_{LN}, \text{ resp. } N \cdot L = \sin \delta_{exp}, \text{ kde } \delta_{LN} + \delta_{exp} = 90^\circ, \quad (9)$$

ktorý má po úprave vzhľadom na vzťahy (7'''), [18], [55] práce [19] a vzťahy (10), (11) práce [17] tvar

$$\frac{f'_x (C_{11} \cos T + C_{13}) - f'_y C_{22} \sin T + C_{31} \cos T + C_{33}}{\sqrt{f'^2_x + f'^2_y + 1}} = \sin \delta_{exp}. \quad (9')$$

Pre $\sin \delta_{exp} = 0$ je (9') rovnicou nulovej izalumklíny na reliéfe, ktorá je v konvex-konvexných formách reliéfu F_{XX} súčasne rozhraním svetla a tieňa (obr. 3, obr. 7 práce [19]). Pre T a δ_{exp} ako premenné je vzťah (9') zároveň podkladom pre výpočet intenzity dopadajúceho slnečného žiarenia na reliéfe.

Pre koncepciu KDMT je dôležité, že vzťah (9') zmenením vektora slnečného lúča L (L_X, L_Y, L_Z) na vektor rádiového lúča

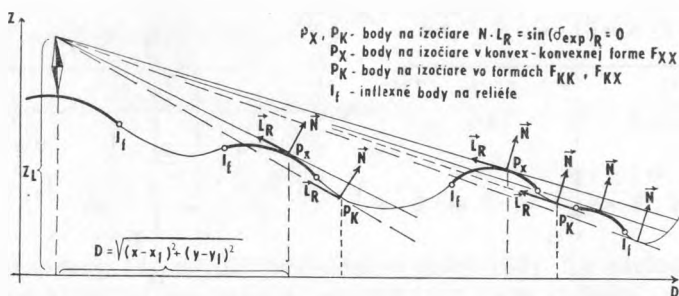
L_R ($L_{X,R}, L_{Y,R}, L_{Z,R}$), v ktorom

$$L_{X,R} = x - x_R; \quad L_{Y,R} = y - y_R; \quad L_{Z,R} = z - z_R, \quad (10)$$

pričom x, y, z sú súradnice uvažovaného bodu na reliéfe a x_R, y_R, z_R sú súradnice rádiového zdroja, umožňuje riešiť uhol dopadu $\{\delta_{exp}\}_R$ priamočiario sa šíriaceho rádiového signálu na reliéf a teda aj zatienené oblasti na reliéfe pred rádiovým signálom. Výsledný vzťah má tvar

$$\frac{-[f'_x](x - x_L) - f'_y(y - y_L) + f(x, y) - z_L}{\sqrt{[f'^2_x + f'^2_y] \{x^2 + y^2 + [f(x, y)]^2 - 2[x_L x + y_L y + z_L f(x, y)]\}}} = \sin \{\delta_{exp}\}_R. \quad (10')$$

Vzťah (10') pre $\sin \{\delta_{exp}\}_R = \text{konšt}$ dáva rovnicu izočiar rovnakého uhla dopadu rádiového signálu na reliéf, pričom pre $\sin \{\delta_{exp}\}_R = 0$ dostaneme rovnicu izočiar nulového uhla $\{\delta_{exp}\}_R = 0$. Táto izočiara je v konvex-konvexných formách reliéfu F_{XX} súčasne rozhraním medzi zatienenou a ožiarenou



Obr. 2

oblasťou na reliéfe (obr. 2). To má ďalekosiahly význam pre správu rádiokomunikácií z hľadiska výpočtu zatienených oblastí pred rádiotelevíznym signálom, ako aj pre lokalizáciu vykrývacích vysielateľov.

Načrtnuté základné vzťahy (4) až (10') sú koncepčným východiskom pre KDMT, v ktorom tvoria jeho základnú štruktúru.

MODELOVANIE RELIÉFU AKO SUBSYSTÉMU S_{RF} POMOCOU KOMPLEXNÉHO DIGITÁLNEHO MODELU (KDMT) V MIERKE 1:M

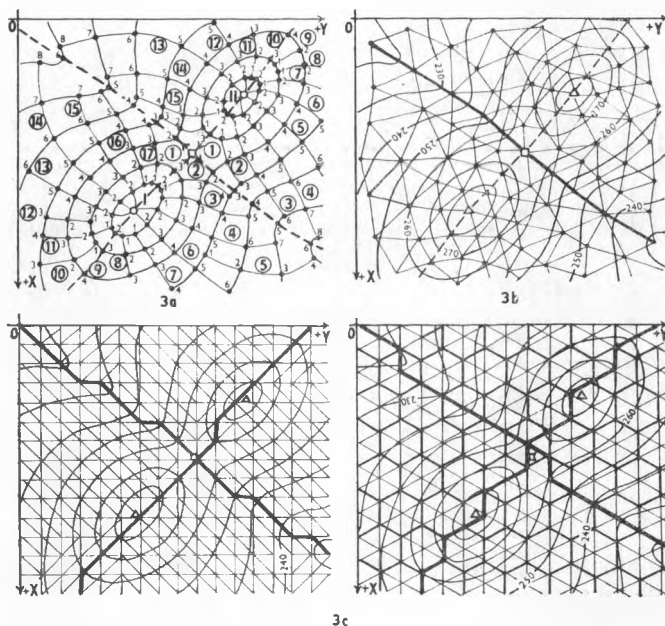
Analytické vyjadrenie funkcie (3) opisujúcej reliéf v celej študovanej oblasti na určitej zvolenej rozlišovacej úrovni i bez obsiahnutia premenného časového parametra T (t. j. ako statického systému) je veľmi zložitá. Požadovanú presnosť opísania reliéfu je však možné v študovanej oblasti dosiahnuť po častiach, a to zavedením aproximujúcich funkcií za predpokladu, že existuje v danej oblasti reprezentatívne primárne diskkrétne bodové pole výšok [ďalej PDBP]. Môžeme použiť buď aproximujúce funkcie dvoch premenných

$$z = a_1x^n + a_2y^n + a_3x^{n-1}y + a_4xy^{n-1} + \dots + a_m, \quad (11)$$

alebo aproximujúce funkcie jednej premennej

$$y = a_0x^n + a_1x^{n-1} + \dots + a_{n-1}x + a_n \quad (12)$$

[11, 12, 13].



Obr. 3

Aproximujúce funkcie pre výpočet hodnôt prvkov množiny G_{RF} (2) sú odvodené zo základných aproximujúcich funkcií (11), (12) a tvoria z hľadiska požadovanej presnosti ekvivalenty k funkciám (4) až (10). V prípade KDMT je reprezentatívne PDBP obsiahnuté v pamäťovom médiu Sa-Po, pričom postupy pre výpočet jednotlivých hodnôt prvkov množiny G_{RF} (2) tvoria navzájom prepojené programové bloky v Sa-Po. Definíciu KDMT uvedieme neskôr.

V zásade možno rozlíšiť tri druhy reprezentatívnych PDBP výšok:

1. PDBP získané z vrstevnicového poľa s výškovým intervalom Δ_z a jeho trajektóriového (spádniceového) poľa s diskretným prechodom Δ_D , ktorého body so súradnicami x_{ij} , y_{ij} , z_{ij} tvoria prvky a_{ij} vstupných matíc **A** podľa jednotlivých singulárnych oblastí [21], obr. 3a,

2. nepravidelné PDBP výšok, ktorého body tvoria vrcholy trojuholníkov nepravidelných trojuholníkových sietí so súčasne splnenou podmienkou, že ramená ich trojuholníkov neprechádzajú z jednej singulárnej oblasti do druhej (obr. 3b),

3. pravidelné PDBP, ktorého body tvoria vrcholy pravidelnej primárnej trojuholníkovej, štvoruholníkovej alebo šesťuholníkovej siete (obr. 3c).

V prípade aproximácie funkcie (3) funkciou (11) je princíp postupu takýto:

V každom uvažovanom druhu PDBP sa vždy pre určitý počet jeho bodov, nachádzajúcich sa v testovanej časti študovanej oblasti, modeluje priebeh aproximovanej časti topografickej plochy tak, že sa zo súradníc x , y , z uvažovaného počtu bodov PDBP v testovanej oblasti vypočítajú koeficienty a_1 až a_m funkcie (11) a potom sa počítajú v týchto bodoch, ako aj v ďalších ľubovoľne zvolených bodoch v testovanej oblasti prvky množiny G_{RF} (2). Pri ich výpočte však vo vzťahoch (4), (5), (6), (9), (10') vystupujú parciálne derivácie (7) aproximujúcej funkcie (11),

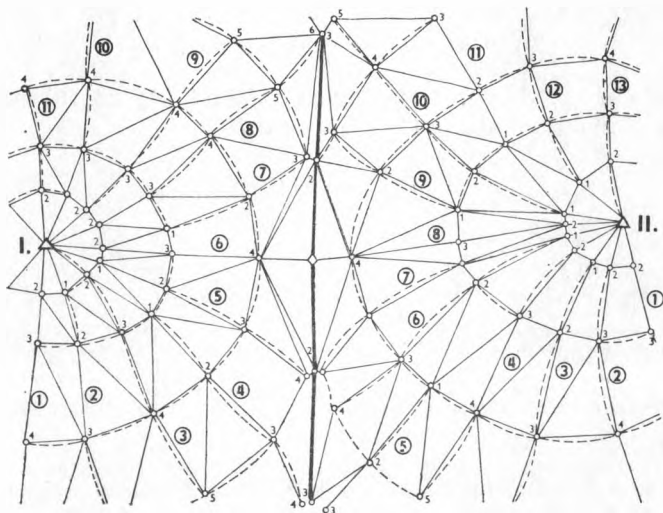
$$\text{pričom } \left. \begin{aligned} f'_x(x, y) &= na_1x^{n-1} + (n-1)a_3x^{n-2}y + a_4y^{n-1} + \dots \\ f'_y(x, y) &= na_2y^{n-1} + a_3x^{n-1} + (n-1)a_4xy^{n-2} + \dots \\ f''_{xx}(x, y) &= n(n-1)a_1x^{n-2} + (n-1)(n-2)a_3x^{n-3}y + \dots \\ f''_{xy}(x, y) &= (n-1)a_3x^{n-2} + (n-1)a_4y^{n-2} + \dots \\ f''_{yy}(x, y) &= n(n-1)a_2y^{n-2} + (n-1)(n-2)a_4xy^{n-3} + \dots \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Výstup je v princípe možný buď grafický (analogový), alebo digitálny. Hlavným problémom pri tomto spôsobe výpočtu je nájdenie spojitého prechodu z jednej časti modelovanej plochy aproximujúcou funkciou (11) do druhej. DTM na základe funkcie (11) pre zvolené $n = 2$ bol v ČSSR pre inžinierske účely rozpracovaný v prácach [44, 45, 46, 47, 48, 49]. Umožňuje výpočet výšok z , kubatúr profilov atď. Avšak ani jeden z doteraz odvodených DTM neumožňuje výpočet ostatných prvkov množiny G_{RF} (2).

Druhým spôsobom je výpočet aproximáciou pomocou funkcie (12). My sme v našom KDMT pre výpočet prvkov množiny (2) volili postup pomocou funkcie (12), ktorou v princípe možno pomerne jednoducho vypočítať prvky množiny G_{RF} (2) zo všetkých troch druhov PDBP výšok uvedených v bodoch 1, 2, 3.

Z PDBP bodu 1 možno zo vstupnej matice **A** v každom ľubovoľnom bode pomocou funkcie (12) vypočítať prvky množiny G_{RF} (2) dvojakým spôsobom:

1a) postupným výpočtom v smere riadkov a stĺpcov vstupnej matice **A**, ktorého postup je podrobne rozpracovaný v prácach [9, 11, 21],



Obr. 4

1b) spôsobom zostrojenia primárnej trojuholníkovej siete z prvkov vstupnej matice **A** tak, aby odvesny trojuholníkov vždy tvorili spojnice dvoch bodov na spádových krivkách a na vrstveniciach (obr. 4). Tento spôsob je spoločný so spôsobom výpočtu PDBP bodov 2 a 3.

Pre postup 1a má aproximujúca funkcia (12) pre $n = 4$ jednak tvar

$$y = a_0x^4 + a_1x^3 + a_2x^2 + a_3x + a_4 \quad (14)$$

a jednak modifikovaný tvar

$$z = a_0n^4 + a_1n^3 + a_2n^2 + a_3n + a_4. \quad (15)$$

Funkcia (14) slúži na výpočet veličín A_N , K_r , ako aj priebehu vrstevníc zo súradníc $(x, y)_{ij}$ prvkov a_{ij} v riadkoch vstupnej matice **A**, a to vždy zo štyroch prvkov a_{ij} , $a_{i,j+1}$, $a_{i,j+2}$, $a_{i,j+3}$ pre jeden výpočtový krok [9, 11, 13, 21]. Hodnoty A_N , K_r sa počítajú jednak pre každý prvok a_{ij} matice **A** a jednak pre ďalší ľubovoľný bod na vrstvenici. Hodnoty koeficientov a_0 až a_4 sa pre každý krok počítajú zo súradníc x, y bodov tvoriacich uvedené štyri prvky matice **A** [21].

Modifikovaná funkcia (15) slúži na výpočet veličín z , γ_N , ω zo súradníc x, y, z tvoriacich prvky a_{ij} v stĺpcoch matice **A**, a to vždy zo štyroch prvkov $a_{i+1,j}$, $a_{i+2,j}$, $a_{i+3,j}$ pre jeden výpočtový krok [13, 21]. Hodnoty γ_N , A_N , ω sa počítajú jednak pre každý prvok a_{ij} matice **A** a jednak súčasne s hodnotou $-z$ pre každý ďalší ľubovoľný bod na spádnici. Funkcia (15) je v zmysle práce [13] uvažovaná v miestnej súradnicovej sústave $\langle O, n, z \rangle$ na spádových krivkách vždy pre uvedené štyri prvky tak, že počiatok $O \equiv a_{ij}$ a

$$n = \int_{x_{ij}}^x \sqrt{1 + (4a_0x^3 + 3a_1x^2 + 2a_2x + a_3)^2} dx$$

obr. 5. Hodnoty koeficientov a_0 až a_4 funkcie (15) sa pre každý výpočtový krok počítajú z uvedených štyroch prvkov a_{ij} , $a_{i+1,j}$, $a_{i+2,j}$, $a_{i+3,j}$ matice **A** [13, 21].

Výpočet veličín γ_N , A_N , ω , K_r určených vzťahmi [4] až [6] bude teda na základe aproximujúcich funkcií (14), (15) takýto:

$$\operatorname{tg} \gamma_N = \frac{dz}{dn} = 4a_0 n^3 + 3a_1 n^2 + 2a_2 n + a_3, \quad (16)$$

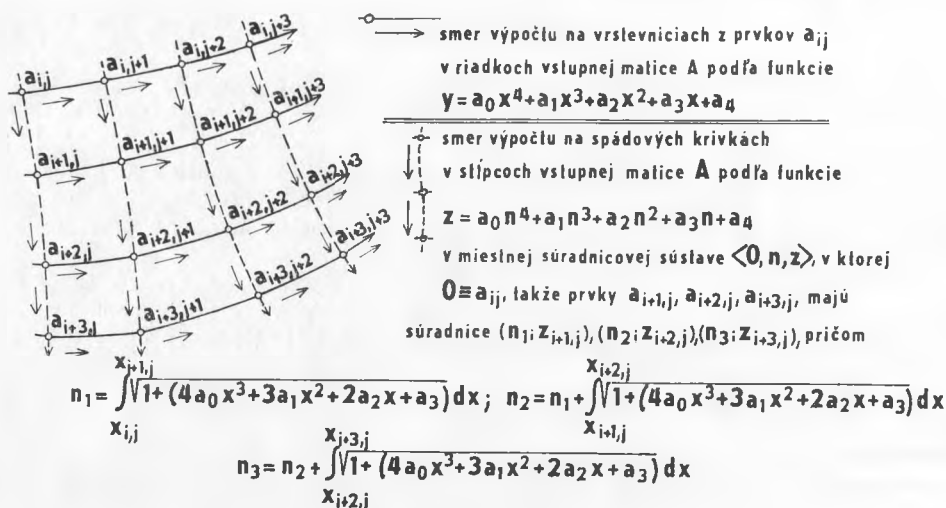
$$\operatorname{tg} A_N = - \frac{1}{\frac{dy}{dx}} = - \frac{1}{4a_0 x^3 + 3a_1 x^2 + 2a_2 x + a_3}, \quad (17)$$

$$\omega = \frac{12a_0 n^2 + 6a_1 n + a_2}{\sqrt{[1 + (4a_0 n^3 + 3a_1 n^2 + 2a_2 n + a_3)^2]^3}}; K_r = \frac{12a_0 x^2 + 6a_1 x + a_2}{\sqrt{[1 + (4a_0 x^3 + 3a_1 x^2 + 2a_2 x + a_3)^2]^3}} \quad (18)$$

V prípade nepravidelného PDBP výšok bodu 2 s nepravidelnou primárnou trojuholníkovou sieťou (obr. 3b), ďalej pravidelného PDBP s pravidelnými primárnymi sieťami bod 3 (obr. 3c), ako aj trojuholníkovej siete v bode 1b sa v zmysle prác [25, 28] hodnoty γ_N , A_N v ťažiskách trojuholníkov $T_r \equiv S_r$ vypočítajú zo vzťahov

$$\operatorname{tg} \gamma_N = \frac{\sqrt{D_x^2 + D_y^2}}{D_z} \equiv \sqrt{[f'_x(x, y)]^2 + [f'_y(x, y)]^2}, \quad (19)$$

$$\operatorname{tg} A_N = \frac{D_y}{D_x}; \quad \sin A_N = \frac{D_y}{\sqrt{D_x^2 + D_y^2}}; \quad \cos A_N = \frac{D_x}{\sqrt{D_x^2 + D_y^2}}, \quad (20)$$



Obr. 5

ke D_x, D_y, D_z sú determinanty vektorového súčinu,

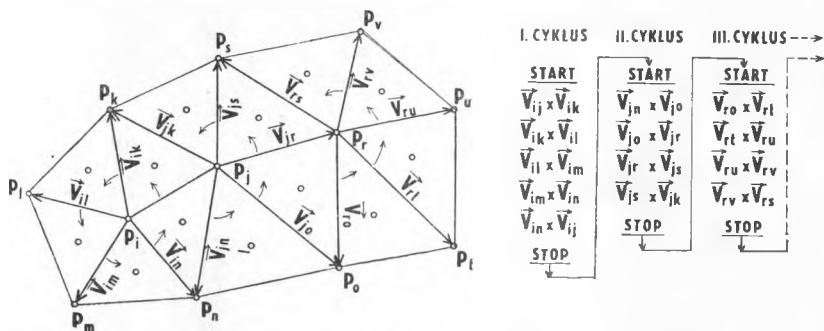
$$\mathbf{V}_{ij} \times \mathbf{V}_{ik} = D_x \mathbf{i} + D_y \mathbf{j} + D_z \mathbf{k}, \quad (21)$$

v ktorom $\mathbf{V}_{ij}, \mathbf{V}_{ik}$ sú vektory na ramenách $(ij), (ik)$ r -tého trojuholníka. Tie-to ramená sú určené poradovými číslami i, j, k jeho vrcholových bodov $P_i(x_i, y_i, z_i), P_j(x_j, y_j, z_j), P_k(x_k, y_k, z_k)$ [vzťahy (4.7), (4.8) práce [24]].

V zmysle prác [24, 25] každý trojuholník primárnej trojuholníkovej siete je jednoznačne určený trojicou poradových čísel i, j, k bodov P_i, P_j, P_k PDBP výšok v tvare $r[(ij), (ik), (jk)]$.

Vzťahy (19), (20) však platia iba pre ťažiská $T_r \equiv S_r$ trojuholníkov PDBP tvoriacich primárnu trojuholníkovú sieť PDBP výšok (práca [28]). Postup výpočtu podľa (21) je pre jednotlivé trojuholníky PDBP graficky vyjadrený na obr. 6.

Ťažiská $T_r \equiv S_r$ trojuholníkov primárnej trojuholníkovej siete tvoria základ sekundárneho diskrétného bodového poľa (ďalej SDBP), ktoré tvoria vrcholy tzv. základnej osnovy sekundárnej siete. Body $T_r \equiv S_r$ totiž tvoria vrcholy



Obr. 6

nejakého q -uholníka, ktorého „stredom“ je vždy nejaký i -tý bod P_i PDBP výšok. Počet q vrcholov $(S_r)_q$ spomenutého q -uholníka sa rovná počtu ramien trojuholníkov PDBP vychádzajúcich z i -tého bodu P_i , t. j. počtu trojuholníkov PDBP so spoločným vrcholom P_i . Obvodové ramená q -uholníka tvoria základnú osnovu ramien sekundárnej siete [28]. Spojnice vrcholov $(S_r)_q$ q -uholníka s ťažiskom P_i tvoria tzv. druhú osnovu ramien sekundárnej siete. Každý q -uholník pozostáva tak z q sekundárnych trojuholníkov (obr. 4.1., 4.2 práce [28]). V zmysle práce [28] „stred“ každého q -uholníka tvorený bodom P_i PDBP $(i = 1, 2, \dots)$ sa v tejto úlohe stáva bodom SDBP s priradenými sekundárnymi skalármi nahrádzajúcimi pôvodný primárny skalár. Úplné SDBP pozostáva teda jednak z ťažísk $T_r \equiv S_r$ trojuholníkov PDBP tvoriacich vrcholové body q -uholníka a jednak z bodov P_i $(i = 1, 2, \dots)$ PDBP tvoriacich „stredy“ q -uholníkov.

Pre „ťažiská“, resp. „stredy“ P_i q -uholníkov sa hodnoty $(\gamma_N)_i, (A_N)_i$ počítajú zo vzťahov (4.19), (4.19') práce [28] alebo ešte precíznejšie zo vzťahov

$$\{\gamma_N\}_i = \frac{\sum_1^q [\{\gamma_N\}_{Sr} \cdot P_r \cdot \sec \{\gamma_N\}_{Sr}]_q}{\sum_1^q [P_r \cdot \sec \{\gamma_N\}_{Sr}]_q} ; \{A_N\}_i = \frac{\sum_1^q [(A_N)_{Sr} \cdot P_r \cdot \sec \{\gamma_N\}_{Sr}]_q}{\sum_1^q [P_r \cdot \sec \{\gamma_N\}_{Sr}]_q}, \quad (22)$$

v ktorých veličina $P_r \cdot \sec \{\gamma\}_{Sr}$ udáva plochu príslušného trojuholníka PDBP v priestore, ktorá má význam váhy. Táto udáva, ako sa ten-ktorý trojuholník svojou skutočnou veľkosťou zúčastňuje na vytváraní sklonu $\{\gamma_N\}_i$ v „strede“ P_i q -uholníka.

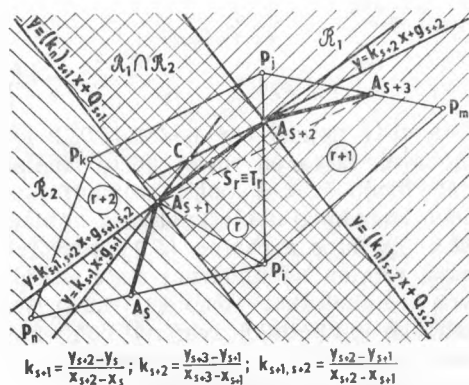
Základ výpočtu veličín ω , K_r z primárnych trojuholníkových sietí.

Pre výpočet veličiny K_r v ťažisku $T_r \equiv S_r$ r -tého trojuholníka $r[(i, j), (i, k), (j, k)]$ je potrebný tento trojuholník a dva trojuholníky s ním susediace v tých spoločných ramenách, cez ktoré prechádza vrstvenica skalára výšky z_{Sr} ťažiska S_r . Predpokladajme, že sú to ramená $[i, j]$, $[i, k]$, takže susednými trojuholníkmi sú trojuholníky $(r+1)[(i, j), (i, m), (j, m)]$, $(r+2)[(i, k), (i, n), (k, n)]$ (obr. 7). Potom pre skaláry výšok z_i , z_j , z_k vrcholových bodov P_i , P_j , P_k týchto ramien platí, že

$$\begin{aligned} z_i < z_{Sr} < z_j & \quad z_i > z_{Sr} > z_j \\ , \text{ resp.} & \\ z_i < z_{Sr} < z_k & \quad z_i > z_{Sr} > z_k. \end{aligned} \quad (23)$$

Keďže podľa dôkazu práce [11] vrstvenica z_{Sr} za podmienky (23) môže prechádzať vždy len dvoma ramenami trojuholníka, vrstvenica z_{Sr} v troch uvažovaných trojuholníkoch prechádza ich štyrmi ramenami v bodoch

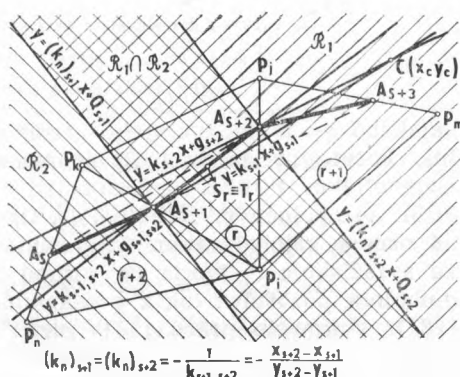
$$A_s(x, y, z_{Sr})_s; A_{s+1}(x, y, z_{Sr})_{s+1}; A_{s+2}(x, y, z_{Sr})_{s+2}; A_{s+3}(x, y, z_{Sr})_{s+3}. \quad (23')$$



a, $(x_c, y_c) \in \mathcal{R}_3 = \mathcal{R}_1 \cap \mathcal{R}_2$

$$\textcircled{r}[(i, j), (i, k), (j, k)] \quad \textcircled{r+1}[(i, j), (i, m), (j, m)]$$

$$\textcircled{r+2}[(i, k), (i, n), (k, n)]$$



b, $(x_c, y_c) \notin \mathcal{R}_3 = \mathcal{R}_1 \cap \mathcal{R}_2$

$\textcircled{r}, \textcircled{r+1}, \textcircled{r+2}$ – poradové čísla trojuholníkov v primárnej trojuholníkovej sieti

Obr. 7

Pre dotyčnice k vrstevnici v bodoch A_{s+1} , A_{s+2} na ramenách (i, j) , (i, k) predpíšme v zhode s prácami [21, 22, 13] podmienku, že ich smernice

$$k_{s+1} = \operatorname{tg} \alpha_{s+1} = \frac{y_{s+2} - y_s}{x_{s+2} - x_s} = \left(\frac{dy}{dx} \right)_{s+1}; \quad k_{s+2} = \operatorname{tg} \alpha_{s+2} = \frac{y_{s+3} - y_{s+1}}{x_{s+3} - x_{s+1}} = \left(\frac{dy}{dx} \right)_{s+2}, \quad (24)$$

takže dotyčnice k vrstevnici z_{Sr} v bodoch A_{s+1} , A_{s+2} sú určené rovnicami

$$\begin{aligned} y - k_{s+1} x &= q_{s+1}, \\ y - k_{s+2} x &= q_{s+2}, \end{aligned} \quad (25)$$

z ktorých vypočítame súradnice

$$x_C = \frac{D_x}{D} = \frac{q_{s+2} - q_{s+1}}{-k_{s+2} - k_{s+1}}; \quad y_C = \frac{D_y}{D} = \frac{k_{s+1} q_{s+2} - k_{s+2} q_{s+1}}{-k_{s+1} + k_{s+2}}, \quad (26)$$

kde D_x , D_y sú determinanty.

Výška $z = z_C$ bodu C je určená rovnicou

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_i & y_i & z_i & 1 \\ x_j & y_j & z_j & 1 \\ x_k & y_k & z_k & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (26')$$

Uhol ϕ_C , ktorý v bode $C(x_C, y_C)$ zvierajú dotyčnice (25), určený vzťahom

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{k_{s+2} - k_{s+1}}{1 + k_{s+2} \cdot k_{s+1}}; \quad \phi = \arctg \left(\frac{k_{s+2} - k_{s+1}}{1 + k_{s+2} \cdot k_{s+1}} \right) \quad (27)$$

je spolu s dĺžkami úsečiek

$$\overline{P_{s+1}C} = \sqrt{\Delta x_{s+1,C}^2 + \Delta y_{s+1,C}^2}; \quad \overline{P_{s+2}C} = \sqrt{\Delta x_{s+2,C}^2 + \Delta y_{s+2,C}^2}; \quad (28)$$

podkladom pre výpočet veličiny K_r v bode $T_r \equiv S_r$ v tvare vzťahu

$$(K_r)_{str} = \frac{\arctg \phi}{\sqrt{\Delta x_{s+1,C}^2 + \Delta y_{s+1,C}^2} + \sqrt{\Delta x_{s+2,C}^2 + \Delta y_{s+2,C}^2}}, \quad (29)$$

pričom menovateľ vo vzťahu (29) nahrádza pre zjednodušenie výpočtu oblúk

$$s = \int_{x_{s+1}}^{x_{s+2}} \sqrt{1 + (4a_0 x^3 + 3a_1 x^2 + 2a_2 x + a_3)} dx \quad (30)$$

vrstevnice medzi bodmi A_{s+1} , A_{s+2} (obr. 7). Hodnota $(K_r)_{str}$ je teda stredná hodnota krivosti vrstevnice medzi bodmi A_{s+1} , A_{s+2} , kým K_r by bola určená

vzťahom [18], v ktorom a_0 až a_4 práve tak ako vo vzťahu [30] sú určené riešením sústavy rovníc [33] práce [21] alebo sústavy [24,6] práce [22] na základe dosadených súradníc (x, y) bodov (23').

V počítanom bode $T_r \equiv S_r$ môže však $K_r > 0$, $K_r = 0$, $K_r < 0$. Aby mohol Sa-Po určiť, že ktorý z uvedených prípadov v bode $T_r \equiv S_r$ nastáva, je potrebné určiť z rovnice priamky prechádzajúcej bodmi A_{s+1} , A_{s+2} rovnice normál N_1 , N_2 v bodoch A_{s+1} , A_{s+2} v tvare

$$y = (k_n)_{s+1}x + Q_{s+1}; \quad y = (k_n)_{s+2}x + Q_{s+2}, \quad (31)$$

kde

$$(k_n)_{s+1} = (k_n)_{s+2} = -\frac{x_{s+2} - x_{s+1}}{y_{s+2} - y_{s+1}};$$

$$Q_{s+1} = -k_n \cdot x_{s+1} + y_{s+1}; \quad Q_{s+2} = k_n x_{s+2} + y_{s+2}.$$

Ak je v $T_r \equiv S_r$ $(K_r)_{str} > 0$ alebo $(K_r)_{str} < 0$, potom musí usporiadaná dvojica (x_C, y_C) bodu C spĺňať podmienku

$$(x_C, y_C) \in \mathcal{R}_3 = \mathcal{R}_1 \cap \mathcal{R}_2, \quad (32)$$

kde $\mathcal{R}_1$, $\mathcal{R}_2$, $\mathcal{R}_3$ sú binárne relácie, pričom

$$\mathcal{R}_1 = \{(x, y) \in \mathcal{E} \times \mathcal{E}; x > \frac{y - Q_{s+1}}{(k_n)_{s+1}}\}; \quad \mathcal{R}_2 = \{(x, y) \in \mathcal{E} \times \mathcal{E}; x < \frac{y - Q_{s+2}}{(k_n)_{s+2}}\}, \quad (33)$$

takže pre bod $C(x_C, y_C)$ v tom prípade platí, že

$$x_C > \frac{y_C - Q_{s+1}}{k_n} \wedge x_C < \frac{y_C - Q_{s+2}}{k_n} \quad (34)$$

a prípad $K_r = 0$ je vylúčený (obr. 7a).

Avšak to, či $K_r > 0$ alebo $K_r < 0$ jednoznačne určuje až $z_C - z_{Sr} \neq 0$, takže $z_C - z_{Sr} > 0 \vee z_C - z_{Sr} < 0$, pre ktoré platia implikácie

$$(z_C > z_{Sr}) \Rightarrow [K_r < 0]; \quad (z_C < z_{Sr}) \Rightarrow [K_r > 0]. \quad (35)$$

Pre $K_r = 0$ (obr. 7b) platí implikácia

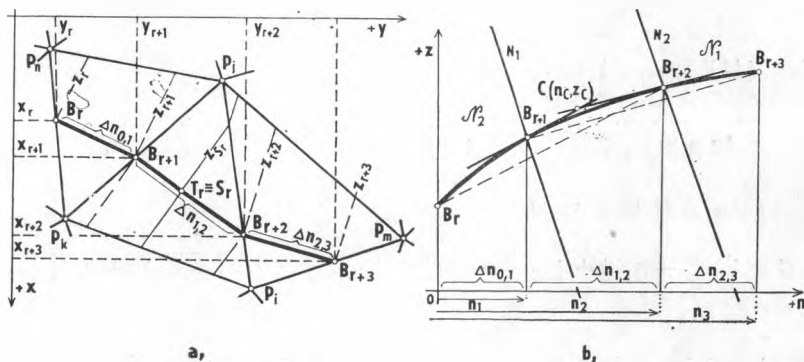
$$(K_r = 0) \Rightarrow [x_C, y_C \notin \mathcal{R}_3]. \quad (35')$$

Pre výpočet veličiny ω v ťažisku $T_r \equiv S_r$ r -tého trojuholníka $r[(i, j), (i, k), (j, k)]$, cez ktoré prechádza normála k vrstevniciam, je potrebný tento trojuholník a s ním susediace trojuholníky v tých ramenách, ktoré presekáva táto normála. Táto sa v spoločných ramenách susediacich trojuholníkov lomí a pokračuje kolmo na vrstevnice v týchto trojuholníkoch, pričom presekáva ich

ďalšie ramená (obr. 8a). Priesečníky normály s ramenami trojuholníkov označme podľa poradia ako body

$$B_r(x, y; z)_r; B_{r+1}(x, y; z)_{r+1}; B_{r+2}(x, y; z)_{r+2}; B_{r+3}(x, y; z)_{r+3} \quad (36)$$

a zaveďme pre ne miestnu súradnicovú sústavu $\langle O, n, z \rangle$, ktorej počiatok $O \equiv B_r$, n je vodorovná os na ktorej hodnoty — n predstavujú vzdialenosť zvoleného bodu na lomenej spádovej krivke od počiatku $O \equiv B_r$ a z je zvislá os s hod-



Obr. 8

notami nadmorských výšok (obr. 8b). Každý bod B je v tejto sústave určený usporiadanou dvojicou (n, z) ako obraz karteziánskeho súčinu $\mathcal{D} \times \mathcal{D}$, kde $\mathcal{D}$ je množina reálnych čísel. Je teda v princípe totožná so sústavou, v ktorej sa počítajú na spádových krivkách podľa stĺpcov vstupnej matice $\mathbf{A}$ veličiny γ_N , ω podľa vzťahov (16), (18) obr. 5.

Body [36] majú v tejto súradnicovej sústave súradnice

$$B_r(0, z_r); B_{r+1}(n_1; z_{r+1}); B_{r+2}(n_2; z_{r+2}); B_{r+3}(n_3; z_{r+3}), \quad (37)$$

kde

$$n_1 = \Delta_{0,1}; \quad n_2 = \Delta_{0,1} + \Delta_{1,2}; \quad n_3 = \Delta_{0,1} + \Delta_{1,2} + \Delta_{2,3}, \quad (38)$$

pričom

$$\begin{aligned} \Delta_{0,1} &= \sqrt{(x_{r+1} - x_r)^2 + (y_{r+1} - y_r)^2} = \sqrt{x_{r,r+1}^2 + \Delta y_{r,r+1}^2}, \\ \Delta_{1,2} &= \sqrt{(x_{r+2} - x_{r+1})^2 + (y_{r+2} - y_{r+1})^2} = \sqrt{\Delta x_{r+1,r+2}^2 + \Delta y_{r+1,r+2}^2}, \\ \Delta_{2,3} &= \sqrt{(x_{r+3} - x_{r+2})^2 + (y_{r+3} - y_{r+2})^2} = \sqrt{\Delta x_{r+2,r+3}^2 + \Delta y_{r+2,r+3}^2}. \end{aligned} \quad (39)$$

Uvažujme v bodoch B_{r+1} , B_{r+2} dotýčnice, ktorých smernice

$$k_{r+1} = \frac{z_{r+2} - z_r}{\Delta_{0,1} + \Delta_{1,2}} = \left(\frac{dz}{dn} \right)_{r+1}; \quad k_{r+2} = \frac{z_{r+3} - z_{r+1}}{\Delta_{1,2} + \Delta_{2,3}} = \left(\frac{dz}{dn} \right)_{r+2}, \quad (40)$$

takže tieto dotyčnice sú určené rovnicami

$$\begin{aligned} z &= k_{r+1} n + q_{r+1}, \quad \text{kde } q_{r+1} = -k_{r+1} n_1 + z_{r+1}, \\ z &= k_{r+2} n + q_{r+2}, \quad \text{kde } q_{r+2} = -k_{r+2} n_2 + z_{r+2}. \end{aligned} \quad (41)$$

Dotyčnice majú spoločný priesečník $C(n_C, z_C)$, ktorého súradnice

$$n_C = \frac{q_{r+2} - q_{r+1}}{-k_{r+2} + k_{r+1}}; \quad z_C = \frac{k_{r+1} q_{r+2} - k_{r+2} q_{r+1}}{-k_{r+2} + k_{r+1}}. \quad (42)$$

Dotyčnice (41) zvierajú uhol φ , kde

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{k_{r+2} - k_{r+1}}{1 + k_{r+2} k_{r+1}}; \quad \varphi = \arctg \left(\frac{k_{r+2} - k_{r+1}}{1 + k_{r+2} k_{r+1}} \right), \quad (43)$$

ktorý je spolu s dĺžkou úsečiek

$$\overline{B_{r+1}C} = \sqrt{(n_C - n_1)^2 + (z_C - z_{r+1})^2}; \quad \overline{B_{r+2}C} = \sqrt{(n_2 - n_C)^2 + (z_{r+2} - z_C)^2} \quad (44)$$

podkladom pre výpočet veličiny ω_{str} priradenej k bodu $T_r \equiv S_r$.

Vzťah má tvar

$$\omega_{str} = \frac{\arctg \varphi}{\sqrt{(n_C - n_1)^2 + (z_C - z_{r+1})^2} + \sqrt{(n_2 - n_C)^2 + (z_{r+2} - z_C)^2}}, \quad (45)$$

pričom menovateľ vo vzťahu (45) nahrádza pre zjednodušenie výpočtu oblúk $(\Delta S)_n$ spádovej krivky na rozvinutom profile, kde

$$(\Delta S)_n = \int_{n_1}^{n_2} \sqrt{1 - (4a_0 n^3 + 3a_1 n^2 + 2a_2 n + a_3)^2} dn \quad (46)$$

odvođeným z funkcie (15). Rozdiely v hodnotách ω_{str} vyplývajúce z tohto nahradenia sú pri reprezentatívnom rozložení bodov PDBP minimálne. Hodnota ω_{str} (45) je stredná hodnota krivosti spádovej krivky medzi bodmi B_{r+1} , B_{r+2} , kým ω by bola určená vzťahom (18).

O tom, či v bode $T_r \equiv S_r$ je $\omega \neq 0$, alebo $\omega = 0$, je možné rozhodnúť na základe normál k priamke

$$\begin{aligned} z &= k_{r+1, r+2} n + q_i; \quad k_{r+1, r+2} = \frac{z_{r+2} - z_{r+1}}{\Delta n_{1,2}} = \frac{\sqrt{D_x^2 + D_y^2}}{D_z} \\ &; \quad q = k_{r+1, r+2} \Delta n_{0,1} + z_{r+1} \end{aligned} \quad (47)$$

prechádzajúcej bodmi B_{r+1} , B_{r+2} , ktoré ju pretínajú v týchto bodoch, takže sú určené rovnicami

$$z = \{k_n\}_{r+1} n + Q_{N, r+1}; \quad z = \{k_n\}_{r+2} n + Q_{N, r+2}$$

$$\{k_n\}_{r+1} = \{k_n\}_{r+2} = k_n = -\frac{1}{k_{r+1, r+2}} = -\frac{\Delta n_{1, 2}}{z_{r+2} - z_{r+1}} = -\frac{D_z}{\sqrt{D_x^2 + D_y^2}}, \quad (48)$$

$$Q_{N, r+1} = -k_n n_{0, 1} + z_{r+1}; \quad Q_{N, r+2} = -k_n (\Delta n_{0, 1} + \Delta n_{1, 2}) + z_{r+2}$$

a súčasne na základe súradníc (42) bodu $C(n_C, z_C)$ zavedením binárnych relácií

$$\mathcal{N}_1 = \{(n, z) \in \mathcal{D} \times \mathcal{D}; n > \frac{z - Q_{N, r+1}}{k_n}\}; \quad \mathcal{N}_2 = \{(n, z) \in \mathcal{D} \times \mathcal{D}; n < \frac{z - Q_{N, r+2}}{k_n}\}. \quad (49)$$

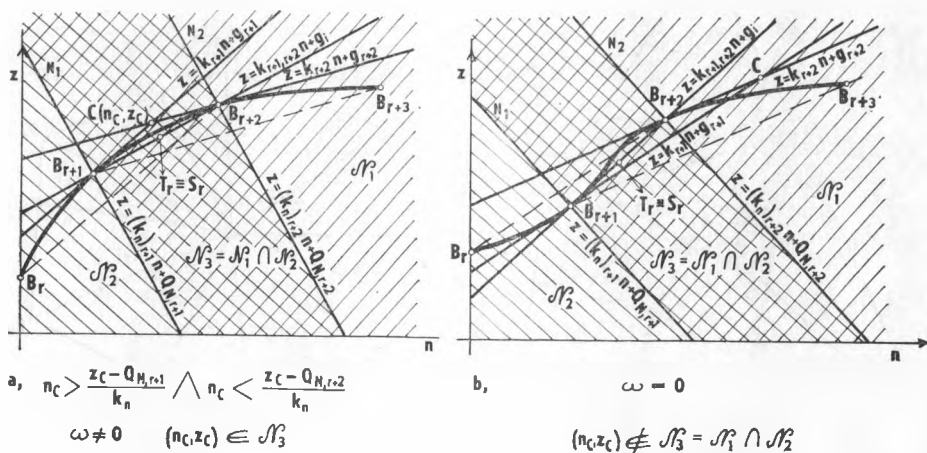
Pre $\omega \neq 0$, t. j. pre $\omega > 0$ a $\omega < 0$ musí usporiadaná dvojica (n_C, z_C) bodu C spĺňať podmienku, že

$$(n_C, z_C) \in \mathcal{N}_3 = \mathcal{N}_1 \cap \mathcal{N}_2, \quad (50)$$

takže

$$n_C > -\frac{z_C - Q_{N, r+1}}{k_n} \wedge n_C < -\frac{z_C - Q_{N, r+2}}{k_n}. \quad (51)$$

Pri splnenej podmienke (51) je $\omega > 0$, ak n_C dosadené do rovnice (47) dáva $z > z_C$ a $\omega < 0$, ak $z < z_C$ (obr. 9a). Ak nie je splnená podmienka (51), potom $\omega = 0$ (obr. 9b). Vzájomný priebeh vrstevnice a normály (spádovej krivky) v bode $T_r \equiv S_r$ v trojuholníku r $[[i, j], [i, k], [j, k]]$ a jeho susedných trojuholníkov je graficky vyjadrený na obr. 10.



Obr. 9

Pre stredy P_i q -uholníkov sa hodnoty K_r i ω vypočítajú buď z hodnôt (29), (45) vo vrcholových bodoch q -uholníkov podľa vzťahov

$$(K_r)_i = \frac{\Sigma \{ (K_r)_{Sr} \cdot P_r \cdot \sec (\gamma_N)_{Sr} \}_q}{\Sigma [P_r \cdot \sec (\gamma_N)_{Sr}]_q}; \quad (\omega_{str}) = \frac{\Sigma [\omega_{Sr} \cdot P_r \sec (\gamma_N)_{Sr}]_q}{\Sigma [P_r \cdot \sec (\gamma_N)_{Sr}]_q}, \quad (52)$$

alebo podľa vzťahov

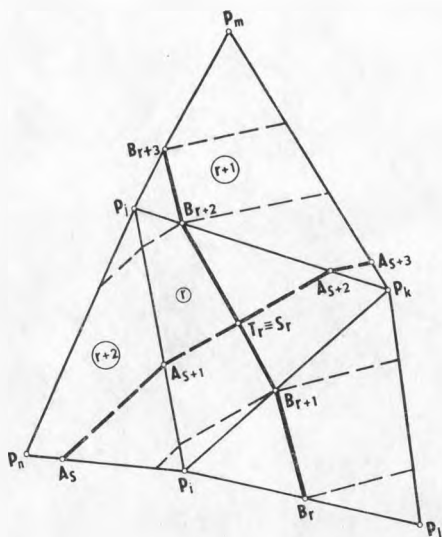
$$(K_r)_i = \frac{6a_0x + 2a_1}{\sqrt{[1 + (3a_0x^2 + 2a_1x + a_2)^2]^3}}; \quad \omega_i = \frac{6a_0n + 2a_1}{\sqrt{[1 + (3a_0n^2 + 2a_1n + a_2)^2]^3}} \quad (53)$$

odvodených z aproximujúcej funkcie (12) pre $n = 3$, t. j.

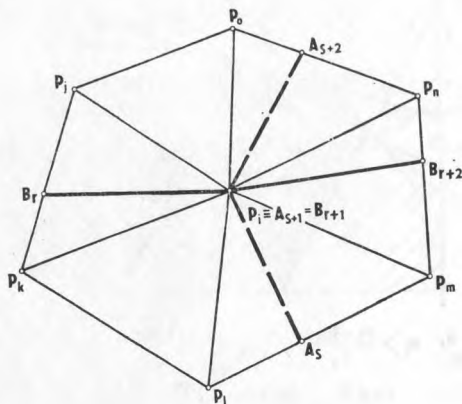
$$y = a_0x^3 + a_1x^2 + a_2x + a_3; \text{ resp. } z = a_0n^3 + a_1n^2 + a_2n + a_3. \quad (54)$$

Koeficienty a_0 až a_3 v (54) dostaneme ako neznáme veličiny riešením rovníc

$$\left. \begin{aligned} y_s &= a_0x_s^3 + a_1x_s^2 + a_2x_s + a_3 \\ y_{s+1} &= a_0x_{s+1}^3 + a_1x_{s+1}^2 + a_2x_{s+1} + a_3 \\ y_{s+2} &= a_0x_{s+2}^3 + a_1x_{s+2}^2 + a_2x_{s+2} + a_3 \\ \frac{y_{s+2} - y_s}{x_{s+2} - x_s} &= 3a_0x_{s+1}^2 + 2a_1x_{s+1} + a_2 \\ z_r &= a_0n_r^3 + a_1n_r^2 + a_2n_r + a_3 \\ z_{r+1} &= a_0n_{r+1}^3 + a_1n_{r+1}^2 + a_2n_{r+1} + a_3 \\ z_{r+2} &= a_0n_{r+2}^3 + a_1n_{r+2}^2 + a_2n_{r+2} + a_3 \\ \frac{z_{r+2} - z_r}{n_2} &= 3a_0n_{r+1}^2 + 2a_1n_{r+1} + a_2 \end{aligned} \right\} \quad (55)$$



Obr. 10



Obr. 11

zo známych súradníc x, y bodov B_s, B_{s+1}, B_{s+2} a bodov B_r, B_{r+1}, B_{r+2} na rame-
nách dvoch trojuholníkov so spoločným vrcholom P_i , ktorými prechádza vrstev-
nica z_i a jej normála (obr. 11).

Pripomeňme ešte, že pomocou odvodeného postupu sa vypočítavajú prvky množiny G_{RF} (2) i z pravidelných PDBP a ich primárnych pravidelných sietí (bod 3). Postup odvodenia pravidelných PDBP a ich primárnych trojuholníkov sietí, ako aj ich vzájomný súvis rozoberieme v samostatnej práci.

Ďalej pripomeňme, že tieto aproximujúce funkcie slúžia na výpočet jednotlivých prvkov množiny G_{RF} (2) jedine pomocou Sa-Po. Sú rozpracované ako súčasť jednotlivých programových blokov a spolu s ďalšími logickými matematickými pravidlami vytvárajú štruktúru KDMT. KDMT je teda modelujúci systém modelovaného systému S_{RF} vo zvolenej mierke a na príslušnej rozlišovacej úrovni. V aproximujúcich funkciách nie je zavedený časový parameter T , teda modelujúci systém je statický.

Definícia KDMT v našom poňatí

Komplexný digitálny model reliéfu (KDMT) je v pamäti počítača obsiahnutý ako reprezentatívny súbor bodov $P_n [(x, y, z)_n, Q (\gamma_N, A_N, K_r, \dots)_n]$ na reliéfe, vybraných podľa zvolenej sústavy pravidiel, polohové určených vo zvolenej súradnicovej sústave $\langle O, x, y, z \rangle$ s priradeným vektorom Q , ktorého zložky tvorí usporiadaná n -tica kvantitatívnych morfometrických ukazovateľov reliéfu, určená podľa sústavy matematických vzťahov spojených navzájom logickými funkciami tvoriacimi spolu štruktúru KDMT.

KDMT pozostáva teda jednak zo súboru bodov tvoriacich reprezentatívne PDBP a jednak zo súboru matematických funkčných predpisov logicky na seba nadväzujúcich a pospájaných navzájom logickými funkciami tvoriacimi množinu vzťahov. KDMT v našom poňatí predpokladá teda v zmysle prác [25, 28] aj variant, že mapový podklad v danej mierke a rozlišovacej úrovni existuje, ako aj variant, že takýto podklad neexistuje. Umožňuje teda automatizovaný postup prác od plánovacích cez urbanistické, ba až po projekčné práce (obr. 12).

Vstupné údaje takto poňatého KDMT pozostávajú z týchto variantov:

a) tachymetricky namerané bodové pole výšok; b) fotogrametricky namerané bodové pole výšok; c) kartometricky namerané bodové pole výšok v tvare vstupnej matice; d) digitalizované vrstvenice.

Vnútrotný komplex KDMT pozostáva z týchto blokov:

1. blok pre výpočet súradníc x, y, z diskrétného bodového poľa výšok (DBP),
2. blok pre vytvorenie usporiadanej množiny bodov PDBP,
3. blok pre vytvorenie trojuholníkovej siete PDBP,
4. blok pre vytvorenie pravidelného PDBP z nepravidelného PDBP a vytvorenie pravidelnej štvoruholníkovej siete PDBP,

4a) podblok pre vytvorenie x -ových rezov a profilov v smere x -ových rezov,

4b) podblok pre vytvorenie y -ových rezov a profilov v smere y -ových rezov,

4c) podblok pre vytvorenie ľubovoľných rezov a profilov,

5. blok pre odvodenie pravidelného primárneho PDBP tvoriaceho vrcholy 6-uholníkovej siete a vytvorenie 6-uholníkovej siete, ako aj z nej odvodenú pravidelnú trojuholníkovej siete,

6. blok pre výpočet súradníc bodov na ramenách ľubovoľnej primárnej siete podľa pravidelných intervalov Δ_z na základe interpolácie,

7. blok pre zoradenie bodov na ramenách primárnej siete podľa poradia vo zvolenom smere tak, ako tieto ležia za sebou na jednotlivých izočiariach (tento blok je spoločný aj pre zoradenie bodov na ramenách sekundárnych sietí jednotlivých izočiari sekundárnych polí),

8. blok pre podrobný výpočet priebehu izočiari z bodov na ramenách siete, tvoriacich jednotlivé izočiary; ako vstup pre grafický výstup z automatických koordinátoagrafov,

9. blok pre výpočet ťažísk trojuholníkov primárnych trojuholníkových sietí tvoriacich vrcholy jednotlivých q -uholníkov sekundárnych sietí; tento blok je spoločný pre výpočet z blokov 4 a 5,

10. blok pre vytvorenie sekundárnych trojuholníkových sietí,

11. blok pre výpočet jednotlivých parametrov reliéfu tvoriacich zložky vektora $\mathbf{Q}$,

11a) podblok pre výpočet sklonu reliéfu v smere spádnic a orientácie reliéfu A_N — voči svetovým stranám,

11b) podblok pre výpočet horizontálnej krivosti reliéfu K_r ,

11c) podblok pre výpočet normálovej krivosti reliéfu ω ,

11d) podblok pre výpočet a vyhraničenie jednotlivých foriem reliéfu $F(F_{XX}, F_{KX}, F_{KK}, F_{XK})$,

12. blok pre výpočet hodnôt jednotlivých parametrov (11a, 11b, 11c, 11d) v „ťažiskách“ q -uholníkov z hodnôt parametrov vo vrcholových bodoch každého q -uholníka tvoriaceho základnú osnovu sekundárnej siete.

V prípade požiadavky vykreslenia priebehu izočiari týchto sekundárnych parametrov reliéfu (grafický výstup jednotlivých druhov sekundárnych izočiariových máp) nasledujú po bloku 12 blok 6, 7 a 8.

Na tieto vnútorné bloky KDMT nadväzujú aplikačné bloky, tvoriace základnú aplikačnú sústavu blokov (výbavu).

Sú to bloky, do ktorých vstupujú na jednej strane ako základné vstupné údaje kvantitatívne morfometrické veličiny reliéfu a na druhej strane zadané používateľské vstupné parametre pre výpočet priestorového rozloženia a priestorovej diferenciacie používateľom sledovaného javu. Sem patrí na prvom mieste:

1V, sústava blokov pre výpočet úplnej potenciálnej dynamiky oslnenia reliéfu, kde popri parametroch reliéfu z bloku 11 je vstupnou veličinou časový parameter T , parameter deklinácie Slnka d_s a zemepisnej šírky φ .

Na tieto bloky potom nadväzujú bloky vlastných aplikačných programov. do ktorých vstupujú na jednej strane zložky vektora $\mathbf{Q}$ z bloku 11, na druhej strane parametre zadávané používateľom z hľadiska zvoleného cieľa.

Na záver uveďme niekoľko príkladov takýchto aplikačných programových blokov a číslujme ich podľa poradia:

2V, blok pre výpočet zatienených oblastí reliéfu pri šírení priamočiareho rádiového signálu podľa vzťahu [10']. Výpočet v tomto bloku je založený na sústave rovníc uhlovej dynamiky oslnenia reliéfu prác [13, 15, 19, 21, 23], zmenením počiatočných podmienok a niektorých špecifických úprav do tvaru vzťahu (10'). Preto možno v takmer plnej šírke použiť blok 1V.

3V, blok pre plnoautomatizovaný výpočet pozdĺžnych a priečnych profilov komunikácií so zadnou trasou.

4V, blok pre výpočet trasy ciest so zadnými parametrami vzhľadom na morfolometrické parametre reliéfu so súčasným výpočtom zmeny reliéfu v dôsledku zemných prác.

5V, súbor blokov valorizácie geografickej krajiny podľa jednotlivých aktivít človeka z hľadiska zadaných parametrov aktivít a parametrov reliéfu, napr.:

5V_a — blok pre valorizáciu krajiny z hľadiska rekreácie a zotavenia vzhľadom na parametre reliéfu,

5V_b — blok pre valorizáciu krajiny z hľadiska lokalizácie priemyslu.

Blok 5V_a i s ďalšími aplikačnými programovými blokmi sú rozpracúvané na CUA — Bratislava, Drieňová ul.

Blok 1, 2, 3, 6, 7 boli rozpracúvané na Dopravoprojekte v Bratislave, Komínarska ul. 27. Ďalšie bloky sa rozpracúvajú aj vzhľadom na parametre jednotlivých prvkov geografickej krajiny ako priestorového dynamického systému S_G.

Z Á V E R

Pre operatívne získavanie informácií o reliéfe automatizovaným spôsobom je potrebné realizovať KDMT. Realizácia KDMT pozostáva zo splnenia niekoľkých základných predpokladov, ktoré na seba nadväzujú. Sú to:

1. existencia teoreticky prepracovanej a exaktne formulovanej množiny morfolometrických parametrov reliéfu, ktorá charakterizuje reliéf v ľubovoľne zvolenej mierke 1:M a na príslušnej rozlišovacej úrovni v každom jeho bode P_n,

2. existencia podľa určitej sústavy pravidiel nasnímaného reprezentatívneho PDBP výšok v základnej východiskovej mierke, ktoré je uschované v pamäťovom médiu Sa-Po,

3. existencia rozpracovanej sústavy aproximujúcich funkcií k funkciám morfolometrických parametrov reliéfu vytvárajúcich jednotlivé výpočtové programové bloky, ako aj existencia rozpracovanej sústavy logických pravidiel umožňujúcich vytvoriť zo sústavy programových blokov ucelený základný systém,

4. existencia sústavy aplikačných programov so súčasne rozpracovanou BANKOU-DÁT o zložkách krajiny.

LITERATÚRA

1. ARMAND, A. D.: Ospoľzovanie teoriij informacij dľa modelirovanija prirodnych sistem. Doklady Inst. geografii Sibiri i dal'nogo Vostoku, 1972, 34. — 2. BENNER, E. — SCHULT, R.: Report on a Digital Terrain Model. Presented Paper for XII. Congress ISP, Ottawa 1972. — 3. DELIGNY, I. L.: Le calcul électronique des tracés. Annales de L'Institut techn. de bâtiment et publics [Paris], 233, Mai 1967. — 4. DEVDARIANI, A. S.: Evoljucionnyje rjady fizikogeografičeskich javlenij i konečnyje avtomaty. Izv. AN SSSR, seria geogr., 1969, 2. — 5. EBRICH, W.: Untersuchung über die Stützpunktnordnung und die erreichbare Genauigkeit bei der Interpolation von Höhen in „Digitalen Geländemodellen“, Diss. TH Aachen. — 6. GÁL, P. [a kol.] [Záverečná správa Úlohy štátneho plánu rozvoja vedy a techniky P 04—521—086/11.] SVŠT, Bratislava 1975. — 7. GRIST, M. W.: Digital Grund Models, Photogrametric Record [London] 1972. — 8. HAENDEL, B. — KLUKE, J. — LUKE, B.: Digitales Flächenmodell und automatische Höhenlinienkartierung-methodische Grundlagen und Anwendungsmöglich-

keiten, Vermessungswesen und Raumordnung (Dortmund), 2, 1975. — 9. HAVERLÍK, I. — KRCHO, J.: Matematické zobecnenie tvorby izočiarových tematických máp pomocou samočinných počítačov. Geodet. a kartogr. obzor, 17, 59, 6, [1971. — 10. HAVERLÍK, I. — KRCHO, J.: Teoretický náčrt koncepcie KISu z hľadiska všeobecnej teórie informačných systémov. Geodet. a kartogr. obzor, 18, 60, 8, 1972.

11. HAVERLÍK, I. — KRCHO, J.: Automatizácia tvorby vrstevnicových a izogradien-
tových máp z hľadiska primárnych a sekundárnych izočiarových polí. Geodet. a kar-
togr. obzor, 19, 61, 6, 1973. — 12. HAVERLÍK, I. — KRCHO, J.: Theoretical Problems
of Isoline Maps Construction by Means of Computers, Automation the New Trend in
Cartography. Final Report the ICA Commission III, Budapest 1973. — 13. HAVERLÍK, I.
— KRCHO, J.: Mathematical Generalisation of Forming Isoline Thematic Maps by
Computer Exemplified by Morphometric Analysis of Relief and Dynamic of Relief Iso-
lation. Acta UC, Geogr. phys., 1, Bratislava 1973. — 14. KOCH, R.: Digitales Gelände-
modell und Isolinenzeichnung für Zwecke der Ingenieurvermessung und der Topo-
graphie, Vermessungswesen und Raumordnung (Dortmund), 1, 1975. — 15. KRCHO, J.:
K problému zostrojenia máp gradientov spádu, máp izoklín a izalumchrón. Geogr.
Čas., 16, 1, 1964. — 16. KRCHO, J.: Oslnenie reliéfu v ľubovoľnom uhle a čase a jeho
znázornenie do máp pomocou izalumklín. Geogr. Čas., 17, 1, 1965. — 17. KRCHO, J.:
Dĺžka oslnenia reliéfu v hodinách a jeho znázornenie do mapy pomocou izalumchrón.
Geogr. Čas., 17, 3, 1965. — 18. KRCHO, J.: Numerické vyjadrenie bodov na reliéfe tvo-
riacich izalumklíny pomocou stabelovaných hodnôt sklonu a orientácie reliéfu. Geogr.
Čas., 18, 3, 1966. — 19. KRCHO, J.: Zovšeobecnenie rovnice izalumklín na topografic-
kej ploche a v jej skalárnom polí. Geogr. Čas., 19, 2, 1967. — 20. KRCHO, J.: Prírodná
časť sféry ako kybernetický systém a jeho vyjadrenie v mape. Geogr. Čas., 20, 2,
1968.

21. KRCHO, J.: Zostrojenie máp časovej a uhlovej dynamiky oslnenia reliéfu gra-
ficko-numerickým spôsobom a pomocou samočinných počítačov. Geogr. Čas., 22, 3,
1970. — 22. KRCHO, J.: Použitie samočinných počítačov pri zostrojení morfometrických
máp, uvažovaných na báze geometrického aspektu teórie polí. Geodet. a kartogr. ob-
zor, 17, 59, 2, 1971, 3, 1971. — 23. KRCHO, J.: Morphometric Analysis of Relief on the
Basis of Geometric Aspect of Field Theory. Acta UC, Geogr. physica, 1, Bratislava 1973.
— 24. KRCHO, J.: Automatizácia zostrojenia trojuholníkovej siete z diskrétného bodo-
vého poľa ako súčasť plnoautomatizovanej tvorby máp. Geodet. a kartogr. obzor, 21,
63, 12, 1975. — 25. KRCHO, J. a kol.: Digitálny model terénu na princípe automatizo-
vanej tvorby trojuholníkovej siete a kreslenie vrstevníc. [Záverečná správa I. štátnej
výskumnej úlohy P-04-521-293-11, PROGRAM C 230, DOPRAVOPROJEKT.] Brati-
slava 1976. — 26. KRCHO, J.: Štruktúra a priestorová diferenciácia fyzickogeografickej
sféry ako kybernetického systému. Geogr. Čas., 26, 2, 1974. — 27. KRCHO, J.: Štruktúra
i priestranstvenná diferenciácia fyziko-geografickej sfery ako kybernetickej
sistémy. Novýje idej v geografiji, 1. Izd. Progress, Moskva 1976. — 28. KRCHO, J.: Di-
gitálny model terénu z hľadiska morfometrickej analýzy. Geodet. a kartogr. obzor,
23, 65, 2, 1977. — 29. LINKWITZ, K.: Digitale Geländemodelle, Bildmes s. u. Luftbild-
wesen, 1, 1970. — 30. LUPAČ, J. — TONDL, L.: Geoinformační systém pro projektové
účely. PŮDIS, Praha 1975.

31. MARUYASU, T. — MURAI, S.: Topographic Information Processing System in
Civil Engineering, Inst. of Industr. Science, University Tokio, Japan 1972. — 32. MAL-
JAVSKIJ, B. K. — ŽARNOVSKIJ, A. A.: O cifrovom modelirovaniji reljefa mestnosti.
Geodef. i kartogr. (Moskva), 6, 1974. — 33. MATERNA, P. — NOVOSAD, Z.: Lokalizační
informační systém pro projektové účely. Problémová analýza koordinačních procedur II. [Záverečná správa RVT R 12-380-052.] PŮDIS, Praha 1977. — 34. LUPAČ, J.
— MATERNA, P.: Lokalizační informační systém pro projektové účely, část, 2, 41.
Zpracování a využití morfometrických souborů a popis subsystému. [Výskumná správa
RVT R 12-380-052.] PŮDIS, Praha 1978. — 35. MIAZDRA, J.: Význam krajinného re-
liéfu pre valorizáciu rekreačných priestorov z hľadiska automatizácie projektovania

s použitím výpočtové techniky. Geogr. Čas., 29, 3, 1977. — 36. MIAZDRA, J. a kol.: Metóda konštrukcie DTM a programy pre výpočet morfológických charakteristík územia. [Výskumná správa.] CUA, Bratislava 1977. — 37. NEUMAN, J.: Digitálny model terénu pro území Československa. [VÚGTK 600, 76.] Praha 1976. — 38. PECKA, V.: Lokalizační informační systém pro projektové účely, část 2.21.1. Návod pro vedení předpisu pro kresbu a naplnění úplné topologické složky. [Výskumná správa RVT R 12—380—052.] Praha 1978. — 39. STEWARDSON, P. B. — KRAUS, K. — GSELL, D. C.: Digital Automatic Contouring System. Int. Congress for Photogrammetry, Ottawa 1972. — 40. SCHEK, H. J.: Dynamische Optimierung zur allgemeinen Spline-Aproximation mit Ungleichungsbedingungen und Anwendung auf Optimierungsberechnungen beim Entwurf von Stassen. Computing, 10, 1972, Springer Verlag.

41. STEWARDSON, P. B. — KRAUS, K. — GSELL, D. C.: Digital Automatic Contouring System. Int. Congress for Photogrammetry, Ottawa 1972. — 42. SCHULT, R.: Ein System digitaler Geländemodelle. Allgemeine Vermessungsnachrichten, H. Wichmann Verlag [Karlsruhe], 8, 1974. — 43. ŠIRJAJEV, E. E.: Spôsob avtomatičeskovo sostavlenija kart plotnosti linejnych objektov. Geodezija i kartografija, 8, Moskva 1973. — 44. ŠILAR, F.: Shrnutí výsledků výzkumu tvorby digitálního modelu terénu pro účely projektování dopravních a inženýrských staveb. [Výskumná správa, 368.] VÚGTK, Praha 1970. — 45. — ŠILAR, F.: Výzkum tvorby digitálního modelu terénu kartometrickými metodami. [Výskumná správa, 369.] VÚGTK, Praha 1970. — 46. ŠILAR, F.: Interpolace výšek pomocí digitálního modelu. Geodet. a kartogr. obzor, 10, 1972. — 47. ŠÍMA, J.: Výzkum tvorby a využití digitálního terénu pro účely projektování dopravních staveb. [Výskumná správa, 327.] VÚGTK, Praha 1969. — 48. ŠÍMA, J.: Analýza některých systémů u digitálního modelování terénu. Geodet. a kartogr. obzor, 2, 1970. — 49. ŠTASTNÝ, V.: Programový systém pro tvorbu a využití digitálního modelu terénu. [Výskumná správa, 370.] VÚGTK, Praha 1970. — 50. TONDL, L.: Lokalizační informační systém pro projektové účely. Projektová analýza konstrukce isaritmických map II. [Závěrečná zpráva RVT R 12—380—052.] Praha 1977.

51. TONDL, L.: Lokalizační informační systém pro projektové účely, část 3—III. PŮDIS, Praha 1976. — 52. TORLEGARD, K.: Digital Terrain Models, Bildmess. u. Luftbildwesen, 1, 1972. — 53. UHLÍŘ, J.: Studie k vybraným otázkám tvorby digitálního modelu terénu pro území Československa. [Výskumná zpráva 600.] VÚGTK, Praha 1976. — 54. UHLÍŘ, J. a kol.: Digitální model terénu 1:10 000 pro území ČSSR. VÚGTK, Praha 1977. — 55. VÁLKA, O.: Číselný [digitální] model terénu a projektu. Geodet. a kartogr. obzor, 11, 1965. — 56. VIITA, E.: A Review of the Development of Digital Terrain Model techniques in Finland. Viatak Consulting Group, Helsinki 1968. — 57. NORDBECK, S. — RYSTEDT, B.: Computer Cartography, Lund 1972. — 58. KRCHO, J.: Teória kartografického zobrazenia reálneho teritoriálneho systému S_G a formulácia operátora zobrazenia. Zborník V. kartogr. konferencie, B. Bystrica 1978. — 59. KRCHO, J. — JEŇÍK, J. — BUREŠ, L.: The Geometrical Forms of Relief and their Description in Ecology (v tlači).

Йозеф К р х о

РЕЛЬЕФ КАК ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СУБСИСТЕМА S_{RF} ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ЛАНДШАФТА И ЕГО КОМПЛЕКСНАЯ ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ (КЦМР)

Предметом этой статьи является проблема моделирования рельефа ландшафта посредством комплексной цифровой модели (далее: КЦМР) с применением ЭВМ. Для КЦМР важно истолкование рельефа с точки зрения его функции и роли в ландшафте. В смысле статей [20, 26, 27] рельеф рассматривается как субсистема S_{RF} (1) географического ландшафта. Ландшафт как пространственный и дифференцированный комплекс в смысле работ

[20, 26, 27] понимается как пространственная динамическая система S_G , составной частью которой является одновременно также антропосфера (социально-экономическая сфера), понимаемая как подсистема S_{AG} и физико-географическая сфера (природная составная ландшафта), понимаемая как подсистема S_{FG} . Подсистемы S_{AG} , S_{FG} , S_{RF} находятся в интеракции. Рельеф (как форма) — это нематериальная величина, материальным является только ее носитель [20, 26, 27]. Поэтому рельеф в качестве формы характеризуется в каждой его пространственной точке P_n множеством квантитативных морфометрических величин G_{RF} (2). Элементом множества G_{RF} является: z — высота над уровнем моря, γ_n — угол наклона рельефа вдоль линии ската, A_n — ориентировка (экспозиция) рельефа относительно стран света, ω — кривизна рельефа по нормали, K_r — кривизна рельефа по горизонтали — определяемые формулами (3) — (8) и т. д. При помощи ω , K_r , например, определены формы рельефа $F(F_{xx}, F_{xy}, F_{yy}, F_{xz})$ действительные в т. н. фазовом пространстве $\langle 0, \omega, K_r \rangle$ каждой точки $P_n \equiv 0$ реального пространства с помощью ω , K_r , см. формулы (8), (8'). Более подробно см. статью И. Криво 1973 [23].

Подсистема S_{RF} изучается на определенном уровне различимости U и в избранном масштабе M , причем существует функциональная зависимость между U и M . Выбирая определенный масштаб 1:М (например 1:10 000), подсистему, S_{RF} с точки зрения инженерного диапазона времени (100—500 лет) можно считать в определенных ареалах статической. Ввиду того не принимаем во внимание взаимнообратную связь $S_{RF} \rightleftharpoons S_{FG}$, а только связь $S_{RF} \rightarrow S_{FG}$, т. е. только влияние рельефа на подсистему S_{FG} и ее пространственную дифференциацию. Однако, находясь даже в инженерном диапазоне времени мы должны в данном масштабе (например 1:10 000) принимать во внимание взаимосвязь $S_{AG} \rightleftharpoons S_{RF}$, проявляющуюся в образовании т. н. антропогенных форм рельефа. Этот факт имеет большое значение при создании реестров о рельефе в рамках геоинформационной системы, т. е. в БАНКЕ ДАННЫХ о ландшафте. Рельеф ландшафта в качестве подсистемы S_{RF} (1) моделируется при помощи его КЦМ. КЦМР, таким образом, является моделирующей системой моделируемой системы S_{RF} в избранном масштабе 1:М и на необходимом уровне различимости U . Дефиниция КЦМР в нашем понимании: КЦМР — это в памяти ЭВМ существующий репрезентативный комплект точек $P_n [(x, y, z)_n, Q(\gamma_n, A_n, \omega, K_r, \dots)]$ на рельефе, выбираемых согласно условленной системы правил, в плане определяемых координатами избранной координатной системы $\langle 0, x, y, z \rangle$ с вектором соотношения Q , составные которого образует упорядоченное n -множество количественных морфометрических величин рельефа, определяемое системой математических правил, взаимосвязанных логическими функциями, образующими совместно структуру КЦМР. Значит, КЦМР состоит из комплекта точек, образующих репрезентативное первичное дискретное поле отметок высот (в статье означаемое сокращением PDBP), а также состоит из набора математических функциональных инструкций, которые взаимосвязаны логическими функциями, образующими множество отношений в КЦМР.

Возможные данные на входе: а. — поле отметок высот, полученное тахиметрическим путем, б. — поле отметок высот, полученное фотограмметрическим путем, в. — поле отметок высот, полученное картометрическим путем и образующее матрицу $[[A]]$, г. — цифрованные горизонталы, д. — эксплуататорами данные параметры с точки зрения их цели.

Данные на выходе: вычисленный ход горизонталей, вычисленное пространственное размещение значений морфометрических величин $\gamma_n, A_n, \omega, K_r, F(F_{xx}, F_{xy}, F_{yy}, F_{xz})$, потенциальной и реальной динамики освещения рельефа, вычисленное пространственное размещение теней рельефа от радиотелевизионного сигнала, вычисление любых профилей, объемов земных работ, трассы дорог, вычисление проектируемого изменения рельефа вследствие земных работ, морфометрическая районизация рельефа, валоризация ландшафта по заданным параметрам рельефа — и т. д. Данные на выходе получаются в цифровой или аналоговой форме, получаемые с помощью NC-системы KONGSBERG или CONTRAVES.

Перевод: Л. Правдова

RELIEF AS THE SPATIAL SUBSYSTEM S_{RF} OF GEOGRAPHICAL LANDSCAPE AND ITS COMPLEX DIGITAL MODEL (CDTM)

The subject of this work is the problem of modelling landscape relief by means of complex digital model (further only CDTM, i. e. complex digital terrain model) on automatic computers. It is important, for the concept of CDTM, to conceive relief from the viewpoint of its position and role in the landscape. The relief is considered in the sense [20, 26, 27] as a subsystem S_{RF} (1) of geographical landscape. The landscape — a spatially differentiated geographical complex is conceived in the sense of the works [20, 26, 27] as a spatial dynamic system S_{AG} , a component of which is, at the same time, the anthroposphere (socioeconomic sphere) considered as a subsystem S_{AG} and the physicogeographical sphere (natural part of the landscape) considered as a subsystem S_{FG} . The subsystems S_{AG} , S_{FG} and S_{RF} are interacting. The relief as a form is a massless quantity, material is only the carrier of this form [20, 26, 27]. Therefore the relief is a form characterized in each arbitrary point P_n in the space of the set of quantitative morphometric quantities G_{RF} (2). The elements of the set G_{RF} are as follows: z — height above sea level, γ_N — angle of relief inclination in the direction of gradient curves, A_N — orientation (exposure) or relief to world sides, ω — normal relief curvity, K_r — horizontal relief curvity, determined by the relations (3) to (8) etc. On the basis of ω , K_r are, for instance, derived forms of relief (F_{XX} , F_{KK} , $F_{KK'}$, $F_{XX'}$), which are defined in the so called phasic space $\langle 0, \omega, K_r \rangle$ in each point $P_n \equiv 0$ of real space by means of quantities ω , K_r , the relations (8), (8'), Fig. 1. a detailed work by J. Krcho 1973 [23].

We can study the subsystem S_{RF} on a certain distinguishing level U and to a chosen scale M , a functional relation being between U and M . Beginning with a certain scale 1:M (e. g. 1:10 000), from the viewpoint of engineering time scale (100—150 years), the subsystem S_{RF} can be considered as static in certain areas. Then we do not consider the back bond $S_{RF} \rightleftharpoons S_{FG}$, but only the bond $S_{RF} \rightarrow S_{FG}$, i. e. only the influence of relief on the subsystem S_{FG} and its spatial differentiation. Also in engineering time scale, however, we must consider to the scale (for instance 1:10 000) the interaction $S_{AG} \rightleftharpoons S_{RF}$, which manifests itself by the rise of the so called anthropogenous forms of relief. This is of a great importance in conceiving indexes on relief in the geoinformation system, i. e. in DATABANK on landscape. The landscape relief as the subsystem S_{RF} (1) is modelled by means of its CDTM. CDTM is then the modelling system of the modelled system S_{RF} , in a chosen scale 1:M and on respective distinguishing level U . The definition of CDTM in our conceiving is following: CDTM is a representative set of relief points P_n [$\langle x, y, z \rangle$ ($n, Q/\gamma_N, A_N, \omega, K_r, \dots$)] $_n$ contented in the memory of computer elected according to a chosen system of rules, determined, as to their position, in a chosen coordinate system $\langle 0, x, y, z \rangle$ with a coordinate vector Q , the components of which are formed by an ordered n -numbered formation of quantitative morphometric quantities of relief, the formation being determined according to the system of mathematic relations united each with other by logical functions forming together the structure CDTM. CDTM consists then both of the set of points forming a representative primary discreet point field of heights (in the text of the work denoted by an abbreviation PDBP) and of the set of mathematic functional regulations lining up logically and united mutually by logical functions forming the set of relations in CDTM.

Possible input data:

- a) Point field of heights, tachymetrically measured,
- b) point field of heights, photogrammetrically measured,

- c) point field of heights, cartometrically measured, in the form of input matrix $\|A\|$,
- d) digitalized contour lines,
- e) parametres given by users from the viewpoint of their aim.

Output data: Calculated course of contour lines, calculated dislocation of the values of morphometric quantities γ_N , A_N , ω , K_r , F (F_{xx} , F_{Kx} , F_{Kk} , F_{Kx}), potential and real dynamics of relief insolation, calculated spatial course of relief shading against broadcasting and television signals, calculation of arbitrary profiles, cubic volumes, routes of roads, calculation of projected spatial changes of relief due to building earth-moving, morphometric relief regionalization, landscape valorization from the viewpoint of given relief parametres etc. Output data are both in a digital form, or in an analogue graphic form realized on NC system KONGSBERG or CONTRAVES.

From the Slovak translated by A. Krajčír

Do redakcie došlo: 29. 9. 1978.

By editorial office received on Sept. 29th, 1978.

Статья поступила в редакцию 29. 9. 1978 г.