

# vojenský topografický obzor



vydává MNO

1

1969

## OBSAH :

<b>Ing. CSc. Milan Burša:</b> K současnému stavu družicové geodézie . . . . .	1
Recenzent: plk. prof. dr. ing. Josef Vykutíl, pplk. ing. Jaroslav Prachař	
<b>Ing. František Hovorka:</b> Určení topocentrických rovníkových souřadnic družice pomocí samočinného počítače . . . . .	10
Recenzent: ing. CSc. Jan Fixel	
<b>Ing. CSc. Jan Fixel:</b> Určení Laplaceova azimutu z astronomických měření . . . . .	21
Recenzent: pplk. ing. Václav Horník	
<b>Doc. ing. CSc. Zdeněk Nevošád:</b> Fyzikální redukce délek měřených rádiovými dálkoměry z rychlosti šíření rádiových vln . . . . .	26
Recenzent: pplk. ing. CSc. Vladimír Martinák	
<b>Pplk. ing. CSc. Vladimír Martinák:</b> O vhodném použití gyroteodolitu v trilaterálním řetězci rozvinovaném pro geodetické zabezpečení . . . . .	33
Recenzent: doc. ing. CSc. Zdeněk Nevošád	
<b>Kpt. Jan Leiner:</b> Kalkulační stroj ELKA a jeho využití ve VTS . . . . .	39
Recenzent: pplk. ing. Věněk Pavlica	
<b>Ing. Karel Diviš:</b> Měření vertikálních gradientů tíže gravimetrem CANADIAN (Sharpe) . . . . .	41
Recenzent: ing. CSc. Jan Fixel	
<b>Ing. CSc. Karel Tomsa:</b> Analytická aerotriangulace a její provozní aplikace v ČSSR . . . . .	47
Recenzent: pplk. ing. Bohumil Hanák	
<b>Pplk. ing. Jiří Kánský:</b> Dosavadní výsledky v aplikaci analytické fotogrammetrie u VTOPŮ . . . . .	60
Recenzent: pplk. ing. Ján Puškár	
<b>Ing. Marta Šimonová:</b> Vytvářecí automaty pro zpracování negativů leteckých filmů k fotogrammetrickému využití . . . . .	69
Recenzent: ing. Jaroslav Kubeček	
<b>Pplk. ing. Miloslav Kilberger:</b> Modernizace vojenské výuky . . . . .	78
Recenzent: plk. prof. dr. ing. Bedřich Chrastil	
<b>Pplk. ing. Otokar Krásný:</b> Stručný popis metody CPM s ukázkami její aplikace na řešení praktického problému z oboru VTS . . . . .	89
Recenzent: pplk. ing. Jaromír Slanina	

---

VOJENSKÝ TOPOGRAFICKÝ OBZOR. Vydává MNO. Řídí redakční rada: ing. Vladimír Vahala (předseda), ing. Zdeněk Cupal, prof. dr. ing. Bedřich Chrastil, ing. Jiří Kánský, doc. dr. ing. Jan Klíma, ing. CSc. Radim Kudělásek, ing. Vladislav Oliva, ing. Otokar Skoupý, prof. dr. Bohuslav Šimák, prof. dr. ing. Josef Vykutíl (členové).

Redaktor: Ing. CSc. Vladimír Martinák.



# OBSAH:



VÝZNAMNÝ TROJICHOVÝ PRŮVOD, VEDENÁ MNOHÉ ROKY VEŠKÉHO RÁČE: ing. Vladimír Váňa (praporek),  
ing. Eduard Čupák, ing. dr. ing. Bohuslav Černý, ing. JMI Křivský, dr. dr. ing. Jan Klimek, ing. Václav  
Kučinský, ing. Václav Váňa, ing. Václav Štěpánek, prof. dr. Bohuslav Štáhl, prof. dr. ing. Josef  
Výborný (šestá).

Společně: ing. Ota Vladimír Maršálek

## Zemřel podplukovník ing. Jaroslav Severa, CSc

V den sváteční a významný, v odpoledních hodinách 28. října 1969, naprosto nečekaně a náhle zemřel ve svém bytě v Brně podplukovník ing. Jaroslav Severa, CSc, zástupce náčelníka katedry geodézie a kartografie na VAAZ. Tato nepředvídaná ztráta pro katedru a tragická pro rodinu zesnulého nás zavazuje ke krátké přehledce práce, kterou pplk. Severa odvedl ve prospěch vojenské topografické služby a vojenské vysoké školy.

Jaroslav Severa se narodil 1. listopadu 1920 v Praze. Tam také vychodil národní školu a maturoval na Vyšehradské reálce v roce 1938. Téhož roku v říjnu se zapisuje ke studiu zeměměřického inženýrství na ČVUT v Praze. Násilné uzavření českých vysokých škol nacisty 17. listopadu 1939 přerušuje toto studium ve 2. ročníku a postihuje mladého posluchače stejným osudem, jako celý národ. Z vysokoškolského studenta se stává dělník-figurant u autorizovaného civilního geometra v Praze a po půl roce u katastrálního měřického úřadu v Praze. Od října 1940 do března 1941 navštěvuje obchodní kurs při soukromé obchodní škole Eckertově v Praze 2. Od března 1941 do dubna 1943 pracuje jako úředník u firmy Rupa v Praze - Nuslích. Pak následuje — v rámci mobilizace pracovních sil — nasazení na dělnickou práci u firmy Al. Löschner v Modřanech, které končí s osvobozením Československa v roce 1945.

V létě 1945 se zapisuje Jaroslav Severa k pokračování ve svém přerušném studiu na ČVUT v Praze, které uzavírá II. státní zkouškou v červnu 1947. Po krátkých praxích u civilních firem nastupuje v říjnu 1947 službu u Zemské komise pro agrární operace v Jičíně, kde pracuje až do nástupu zkrácené základní vojenské služby do konce března 1948. V průběhu vojenské základní služby absolvoval ing. Jaroslav Severa školu na důstojníky v záloze při automobilním učilišti v Nitře.

Počátkem října 1948 vidíme ing. Jaroslava Severu již u národního pozemkového fondu při ministerstvu zemědělství v Praze, kde setrval až do své důstojnické aktivace v roce 1950.

15. července 1950 je ing. Jaroslav Severa přijat za důstojníka ČSLA v hodnosti kapitána a ve funkci topografa VZÚ v Praze. 1. prosince 1950 nastupuje do topografické školy VZÚ v Banské Bystrici a po jejím absolvování se stává topografem I. třídy 2. VZÚ v Dobrušce. V době od září 1952 do září 1955 je zástupcem náčelníka topografického oddělení VTOPÚ v Dobrušce.

K 1. září 1955 nastupuje mjr. ing. Jaroslav Severa funkci staršího učitele topografie na VAAZ v Brně. Od té doby sledujeme jeho práci již jen na této škole. V srpnu 1958 je ustanoven do funkce zástupce náčelníka katedry a současně náčelníka odborné skupiny na katedře. Od roku 1960 do roku 1964 je pověřen řízením katedry geodézie a kartografie a v červenci 1964 je v této funkci ustanoven.

V důsledku nové koncepce přípravy důstojníků ČSLA a organizačních a kádrových změn na VAAZ v roce 1967, vrací se pplk. ing. Jaroslav Severa k 1. 9. 1967 do funkce zástupce náčelníka katedry geodézie a kartografie, kterou zastával až do své smrti.

Na základě obhájení kandidátské disertační práce z oblasti autonomních orientačních zařízení udělila vědecká rada VAAZ pplk. ing. Severovi v červnu 1968 vědecký titul kandidáta technických věd.

Povahové a charakterové rysy pplk. Severy, člena KSČ od roku 1945 se nejlépe projeví v jeho stranické a veřejné práci, které po celá léta věnoval mnoho času, energie a osobní angažovanosti. Katedra geodézie a kartografie oceňuje dlouholeté úsilí, které zesnulý věnoval postupnému rozvoji studia v podmínkách četných organizačních změn na škole a v procesu krystalizace vojenského školství vcelku. Konstatujeme-li dnes, že toto studium má v celostátním srovnání vynikající úroveň, pak značný podíl na tom třeba spravedlivě přisoudit i pplk. ing. Jaroslavu Severovi, CSc.

Obraz života pplk. ing. Jaroslava Severy, CSc v myslích a paměti těch, kdož se s ním v minulosti stýkali, byl nejlépe dokumentován velkou účastí na posledním rozloučení se zesnulým ve středu dne 5. listopadu 1969 v brněnském krematoriu.

Plukovník

Prof. Dr. Ing. BEDŘICH CHRASIL



Ing. CSc. Milan Burša, VÚGTK Praha

### K současnému stavu družicové geodézie

#### 1. Úvod

Družicová geodézie se již stala geodetickou disciplínou, která významnou měrou umožňuje prakticky řešit základní problémy současné geodézie. Díky praktickým výsledkům dosaženým družicovou geodézií nastal značný pokrok zejména v řešení úloh celozemského charakteru, které klasická geodézie zatím řešit nemohla, majíc k dispozici poměrně sporadické astronomicko-geodetické a gravimetrické informace.

Ve stručnosti se zde zmíníme o některých výsledcích na poli družicové geodézie, přičemž se přidržíme členění na úlohy a problémy čistě geometrického charakteru, úlohy orbitální a úlohy charakteru čistě dynamického.

#### 2. Geometrická družicová geodézie

Zde máme na zřeteli úlohy charakteru čistě geometrického, jejichž řešení nevyžaduje znalost přesných prvků drah umělých družic Země (UDZ), tj. v nichž UDZ hrají pouze roli pomocných měřických cílů, zaměřovaných s pozemských stanic. Lze je rozdělit na dvě skupiny:

I. Úlohy spojené s určováním veličin, které částečně či úplně definují vzájemnou polohu geodetických družicových stanic.

II. Úlohy spojené s určováním prvků vzájemné polohy a orientace geodetických referenčních soustav.

##### Skupina I

Úlohy této skupiny jsou z celého souboru geodetických družicových úloh nejjednodušší, pokud jde o jejich teorii; v podstatě spočívají na všeobecně známých principech družicové (kosmické) triangulace. Mezi ně patří: určení směrů spojnic družicových stanic, vzájemné polohy stanic, jejich geodetických souřadnic či jiných polohových charakteristik.

Teorie řešení těchto úloh je již vyčerpávajícím způsobem rozpracována a není třeba se jí zde zabývat. Poznamenejme pouze, že v praktickém určování směru spojnic družicových stanic bylo již dosaženo přesnosti  $\pm 1''$ , podle vnitřní shody výsledků dokonce  $\pm 0,5''$ . Proto by družicové triangulace této vysoké přesnosti mohly tvořit základ rozsáhlých (kontinentálních) astronomicko-geodetických sítí nebo být s nimi společně zpracovány. Za určitých předpokladů by bylo lze určit nezávisle na klasických triangulacích geodetické souřadnice bodů na vzdálenosti řádově tisíce km či větší s přesností, která by dovolila formulovat kromě podmínek azimutálních i podmínky šířkové a délkové.

##### Skupina II

Jsou-li družicové stanice geodetickými body o známých geodetických souřadnicích  $B, L$ , normální výšce  $H_n$  a výšce kvazigeoidu  $\zeta_n$ , lze z náležitého souboru družicových pozorování získat i cenné informace o vlastní geodetické soustavě či o elementech orientace dvou či více soustav, v nichž jsou dány geodetické polohy stanic.

Lze například určit rozdíly souřadnic  $\Delta x_0^{I,II}$ ,  $\Delta y_0^{I,II}$ ,  $\Delta z_0^{I,II}$  středů referenčních elipsoidů i rozdíly úhlů Eulerova typu  $\varepsilon^{II}-\varepsilon^I$ ,  $\psi^{II}-\psi^I$ ,  $\omega^{II}-\omega^I$ , poskytující vzájemnou orientaci os referenčních soustav I, II, v nichž jsou dány geodetické polohy stanic. Kromě toho lze určit též přímo úhly  $\varepsilon$ ,  $\psi$ ,  $\omega$ , tj. orientaci geodetických os vzhledem k střední zemské ose a normále k rovině výchozího (greenwichského) astronomického poledníku.

Za optimální lze patrně považovat takovou variantu řešení, kdy se nejprve určí odděleně v soustavách I a II úhly  $\varepsilon^I$ ,  $\psi^I$ ,  $\omega^I$  a  $\varepsilon^{II}$ ,  $\psi^{II}$ ,  $\omega^{II}$  a teprve potom rozdíly  $\Delta x_0^{I,II}$ ,  $\Delta y_0^{I,II}$ ,  $\Delta z_0^{I,II}$ . Pak je zapotřebí mít k dispozici v každé z uvažovaných soustav I, II alespoň po dvou dvojicích geodetických družicových stanic, z nichž se simultánně (v každé dvojici) měří topocentrické směry v astronomické rovníkové soustavě. K určení veličin  $\Delta x_0^{I,II}$ ,  $\Delta y_0^{I,II}$ ,  $\Delta z_0^{I,II}$ , je kromě toho zapotřebí simultánního měření alespoň ze tří geodetických družicových stanic, z nichž jedna je umístěna v soustavě I (II) a dvě v soustavě II (I). (Měří-li se simultánně kromě směrů i topocentrické vzdálenosti, jak je tomu v případě několika geodetických družicových stanic Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO), pak teoreticky postačí mít k dispozici jedinou geodetickou družicovou stanicí v soustavě I a jedinou ve II).

Jako příklad uvedeme řešení této úlohy pro případ evropské (I) a severoamerické (II) geodetické referenční soustavy. Použijeme k tomu výsledky přesných směrových měření UDZ z geodetických stanic [3] a [10].

V soustavě I, jejímž základem je referenční elipsoid Hayfordův ( $a = 6\,378\,388$  m,  $\alpha = 1:297$ ) s evropskou orientací (výchozí bod Potsdam), máme k dispozici 4 stanice (č. 4, 6, 8, 15, viz obr. 1). V soustavě II, jejímž základem je elipsoid Clarkeův 1866 ( $a = 6\,378\,206$  m,  $\alpha = 1:294,98$ ) se severoamerickou orientací (výchozí bod Meade's Ranch), máme k dispozici 6 stanic (č. 1, 7, 9, 10, 641, 648); číslování odpovídá [3, 10], s vynecháním 3 předchozích cifer v případě stanic SAO (1 místo 9 001 atd.).

Optimální se jeví tato cesta řešení úlohy:

1. Určení orientačních prvků  $\varepsilon^I$ ,  $\psi^I$ ,  $\omega^I$  z měření na geodetických družicových stanicích v evropské soustavě I. (č. 4, 6, 8, 15).
2. Určení orientačních prvků  $\varepsilon^{II}$ ,  $\psi^{II}$ ,  $\omega^{II}$  z měření na geodetických družicových stanicích v severoamerické soustavě II (č. 1, 7, 9, 10, 641, 648).
3. Určení rozdílů  $\varepsilon^{II}-\varepsilon^I$ ,  $\psi^{II}-\psi^I$ ,  $\omega^{II}-\omega^I$ .
4. Určení prvků  $\Delta x_0^{I,II}$ ,  $\Delta y_0^{I,II}$ ,  $\Delta z_0^{I,II}$  ze simultánního měření na stanicích v soustavě I a II (č. 4 a 9; 4 a 10).

Výchozími údaji, z nichž lze získat prvky uvedené ad 1., 2., mohou být směrové charakteristiky spojnic uvedených geodetických družicových stanic, a to jejich hodnoty v geodetické soustavě referenční (I, II) a hodnoty v astronomické rovníkové soustavě, určené z měření směrů na UDZ. Těmito charakteristikami mohou např. být azimut a zenitová vzdálenost, takže příslušné rovnice oprav s neznámými prvky  $\varepsilon^\nu$ ,  $\psi^\nu$ ,  $\omega^\nu$  ( $\nu = I, II$ ) mohou být formulovány ve tvaru [8]

$$v_A = (\sin B_i - \cos B_i \cos A_{ik} \cotg Z_{ik}) \omega^\nu + (\cos B_i \cos L_i + \sin L_i \sin A_{ik} \cotg Z_{ik} + \sin B_i \cos L_i \cos A_{ik} \cotg Z_{ik}) \varepsilon^\nu + (\cos B_i \sin L_i - \cos L_i \sin A_{ik} \cotg Z_{ik} + \sin B_i \sin L_i \cos A_{ik} \cotg Z_{ik}) \psi^\nu + (A_{ik}^\nu - \bar{A}_{ik}), \quad (1)$$

$$v_Z = -\cos B_i \sin A_{ik} \omega^\nu - (\sin L_i \cos A_{ik} - \sin B_i \cos L_i \sin A_{ik}) \varepsilon^\nu + (\cos L_i \cos A_{ik} + \sin B_i \sin L_i \sin A_{ik}) \psi^\nu + (Z_{ik}^\nu - \bar{Z}_{ik}). \quad (2)$$

Zde značí

$B_i$ ,  $L_i$  — přibližné geodetické souřadnice  $i$ -té geodetické družicové stanice;



$A_{ik}^\nu, Z_{ki}^\nu$  – geodetický azimut a geodetickou zenitovou vzdálenost směru z  $i$ -té na  $k$ -tou družicovou stanicí v  $\nu$ -té geodetické referenční soustavě, vypočtené z přesných geodetických veličin  $B_i^\nu, L_i^\nu, (H_q)_i, (\zeta_q^\nu)_i, B_k^\nu, L_k^\nu, (H_q)_k, (\zeta_q^\nu)_k$ , např. ze vztahů [8]

$$\operatorname{tg} A_{ik}^\nu = \frac{(X_k^\nu - X_i^\nu) \sin L_i^\nu - (Y_k^\nu - Y_i^\nu) \cos L_i^\nu}{[(X_k^\nu - X_i^\nu) \cos L_i^\nu + (Y_k^\nu - Y_i^\nu) \sin L_i^\nu] \sin B_i^\nu - (Z_k^\nu - Z_i^\nu) \cos B_i^\nu}, \quad (3)$$

$$\cos Z_{ik}^\nu = \frac{1}{s_{ik}} \{ [(X_k^\nu - X_i^\nu) \cos L_i^\nu + (Y_k^\nu - Y_i^\nu) \sin L_i^\nu] \cos B_i^\nu + (Z_k^\nu - Z_i^\nu) \sin B_i^\nu \}, \quad (4)$$

$$s_{ik} = [(X_k^\nu - X_i^\nu)^2 + (Y_k^\nu - Y_i^\nu)^2 + (Z_k^\nu - Z_i^\nu)^2]^{1/2},$$

$$X^\nu = (N^\nu + H_q + \zeta_q^\nu) \cos B^\nu \cos L^\nu, \quad Y^\nu = (N^\nu + H_q + \zeta_q^\nu) \cos B^\nu \sin L^\nu,$$

$$Z^\nu = [N^\nu (1 - e^2)^\nu + H_q + \zeta_q^\nu] \sin B^\nu, \quad N^\nu = \left[ \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 B)^\nu} \right]^\nu.$$

Dále značí:

$A_{ik}, Z_{ik}$  – přibližné hodnoty veličin (3), (4);

$\bar{A}_{ik}, \bar{Z}_{ik}$  – hodnoty vypočtené ze simultánního měření směrů na UDZ, např. podle vzorců

$$\operatorname{tg} \bar{A}_{ik} = \frac{a_{ik} \sin L_i^\nu - b_{ik} \cos L_i^\nu}{(a_{ik} \cos L_i^\nu + b_{ik} \sin L_i^\nu) \sin B_i^\nu - c_{ik} \cos B_i^\nu}, \quad (5)$$

$$\cos \bar{Z}_{ik} = (a_{ik} \cos L_i^\nu + b_{ik} \sin L_i^\nu) \cos B_i^\nu + c_{ik} \sin B_i^\nu, \quad (6)$$

kde  $a_{ik}, b_{ik}, c_{ik}$  jsou směrové kosiny úsečky  $i$ - $k$ , vypočtené běžnými postupy družicové geodézie z příslušných souborů měřených topocentrických rovníkových souřadnic UDZ  $\delta_{in}^i, T_{in}^i, \delta_{kn}^i, T_{kn}^i$  ( $1, 2, \dots, n$  poloh UDZ).

Řešili jsme tuto úlohu ze souborů simultánních optických měření [3] a [10] a dostali jsme tyto výsledky [7, 8]:

$$\begin{aligned} \varepsilon^I &= 0,07 \pm 0,077, \quad \psi^I = -0,32 \pm 0,084, \quad \omega^I = 0,83 \pm 0,051, \\ \varepsilon^{II} &= 1,55 \pm 0,15, \quad \psi^{II} = 0,86 \pm 0,010, \quad \omega^{II} = -0,70 \pm 0,016. \end{aligned} \quad (7)$$

Veličiny, definující vzájemnou orientaci os evropské a severoamerické geodetické referenční soustavy jsou tedy rovny

$$\begin{aligned} \varepsilon^{II} - \varepsilon^I &= +1,5, \\ \psi^{II} - \psi^I &= +1,2, \\ \omega^{II} - \omega^I &= -1,5. \end{aligned} \quad (8)$$

Ze známých prvků (7), (8) lze nyní vypočíst souřadnicové rozdíly středů referenčních elipsoidů Clarkeova 1866 a Hayfordova:

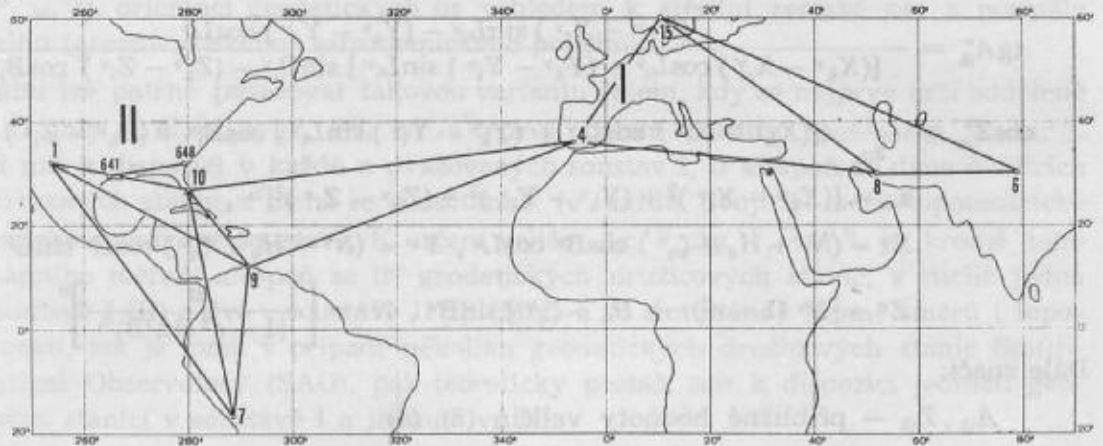
$$\begin{aligned} \Delta x_o^{I II} &= [N_j^I + (H_q)_j + (\zeta_q^I)_j] \cos B_j^I \cos L_j^I - \\ &\quad - [N_m^{II} + (H_q)_m + (\zeta_q^{II})_m] \cos B_m^{II} \cos L_m^{II} - \\ &\quad - s_{jm} (a_{jm} - \omega^{II} b_{jm} + \psi^{II} c_{jm}) - (\omega^{II} - \omega^I) Y_j + (\psi^{II} - \psi^I) Z_j, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \Delta y_o^{I II} &= [N_j^I + (H_q)_j + (\zeta_q^I)_j] \cos B_j^I \sin L_j^I - \\ &\quad - [N_m^{II} + (H_q)_m + (\zeta_q^{II})_m] \cos B_m^{II} \sin L_m^{II} - \\ &\quad - s_{jm} (b_{jm} + \omega^{II} a_{jm} - \varepsilon^{II} c_{jm}) + (\omega^{II} - \omega^I) X_j - (\varepsilon^{II} - \varepsilon^I) Z_j, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta z_o^{I II} &= [N_j^I (1 - e^2)^I + (H_q)_j + (\zeta_q^I)_j] \sin B_j^I - \\ &\quad - [N_m^{II} (1 - e^2)^{II} + (H_q)_m + (\zeta_q^{II})_m] \sin B_m^{II} - \\ &\quad - s_{jm} (c_{jm} - \psi^{II} a_{jm} - \varepsilon^{II} b_{jm}) - (\psi^{II} - \psi^I) X_j + (\varepsilon^{II} - \varepsilon^I) Y_j. \end{aligned}$$

Horní indexy opět označují soustavu, dolní označují stanici;  $j$ -tá stanice je určena v soustavě I,  $m$ -tá v soustavě II. Dále značí  $X_j, Y_j, Z_j$  přibližné referenční souřadnice  $j$ -té družicové stanice;  $a_{jm}, b_{jm}, c_{jm}$  směrové kosiny úsečky  $j$ - $m$ , určené ze simultánního optického měření směrů na UDZ. Vzdálenost  $s_{jm}$  nemůže být bezprostředně vypočtena, neboť stanice  $j, m$  jsou polohově

určeny zatím pouze v různých soustavách. Proto je zopotřebí mít k dispozici v jedné ze soustav dvojici geodetických stanic, tvořící geodetickou základnu. V našem případě, kdy lze klást  $j = 4$ ,  $m = 10$  (obr. 1), je to stanice č. 9 v soustavě II. Pak



Obr. 1

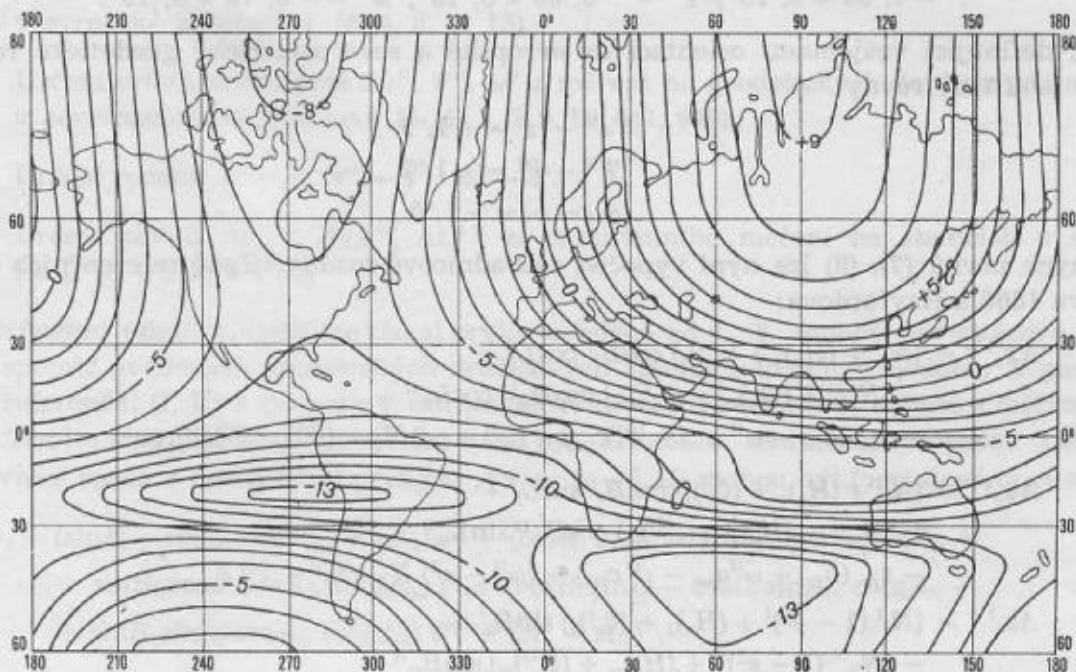
$$s_{jm} = s_{4-10} = s_{9-10} \frac{\sin \beta_{10-9-4}}{\sin (\beta_{10-9-4} + \beta_{4-10-9})} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \cos \beta_{4-10-9} &= a_{4-10} a_{9-10} + b_{4-10} b_{9-10} + c_{4-10} c_{9-10}, \\ \cos \beta_{10-9-4} &= -a_{4-9} a_{9-10} - b_{4-9} b_{9-10} - c_{4-9} c_{9-10}, \\ s_{9-10} &= [(X_{10}^{II} - X_9^{II})^2 + (Y_{10}^{II} - Y_9^{II})^2 + (Z_{10}^{II} - Z_9^{II})^2]^{1/2}, \\ X_{10}^{II} &= [N_{10}^{II} + (H_0)_{10} + (\zeta_0^{II})_{10}] \cos B_{10}^{II} \cos L_{10}^{II}, \text{ atd.} \end{aligned}$$

V daném případě jsme dostali tyto konkrétní hodnoty veličin (9):

$$\Delta x_0^{I II} = 23 \text{ m}, \quad \Delta y_0^{I II} = 234 \text{ m}, \quad \Delta z_0^{I II} = 213 \text{ m}. \quad (11)$$

Z nich a z hodnot (8) lze vypočítat rozdíly složek tížnicových odchylek  $\xi^I - \xi^{II}$ ,  $\eta^I - \eta^{II}$  a výšek kvazigeoidu  $\zeta_0^I - \zeta_0^{II}$ , běžnou aplikací diferenciálních vzorců prvního a druhého druhu, ovšem s respektováním nerovnoběžnosti příslušných referenčních os. Vyjádřili jsme je izoliniemi



Obr. 2

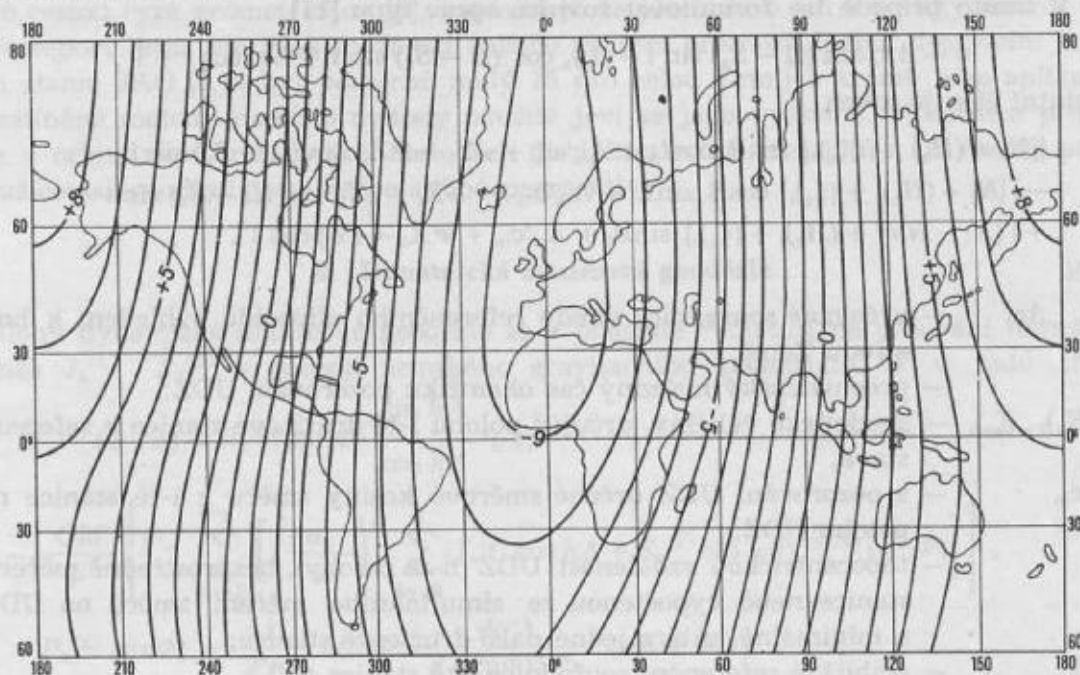
$\xi^I - \xi^{II} = \text{const.}$  (úhlové vteřiny)

$\xi^I - \xi^{II} = \text{const.}$ ,  $\eta^I - \eta^{II} = \text{const.}$ ,  $\zeta_0^I - \zeta_0^{II} = \text{const.}$  (obr. 2, 3, 4), umožňujícími rychlou transformaci geodetických souřadnic ze soustavy severoamerické (NAD) do evropské (EUR) a naopak.

Z uvedeného příkladu je patrné, že ze simultánního optického měření na UZ lze ryze geometrickou cestou, bez použití prvků drah UZ, získat velice cenné údaje, definující vzájem-



nou polohu a vzájemnou orientaci os nespojených geodetických referenčních soustav. Pak je snadné transformovat dílčí referenční soustavy do zvolené soustavy jednotné, což je dnes zapotřebí nejen pro řešení problémů vědeckých, nýbrž i úloh technického charakteru.

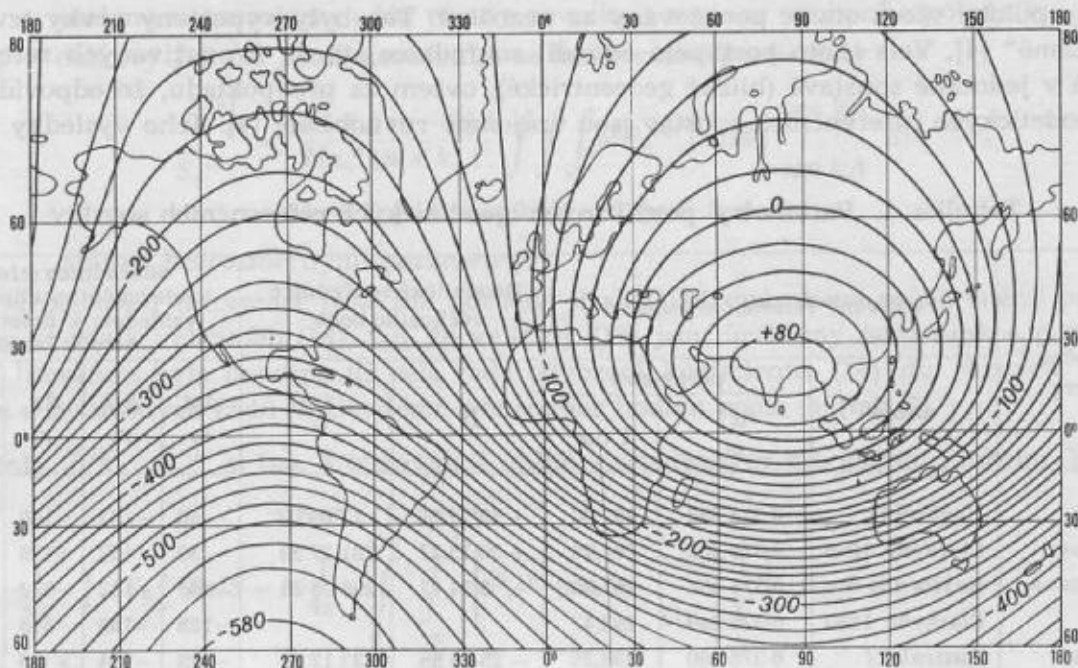


Obr. 3

$\eta^I - \eta^{II} = \text{const.}$  (úhlové vteřiny)

### 3. Orbitální (dynamicko-geometrická) družicová geodézie

Zde již musíme mít k dispozici přesné prvky drah pozorovaných UZ. To ovšem není vždy možné, zejména v případě nižších UZ, pohybujících se v hustších vrstvách atmosféry, a v případě družic balónového typu, jejichž dráhy jsou značně deformovány.



Obr. 4

$\zeta_q^I - \zeta_q^{II} = \text{const.}$  (metry)

Lze mít za to, že za současného stavu přesnosti dráhových prvků je účelné řešit orbitálními metodami v podstatě ty geodetické úlohy, které ryze geometrickou cestou řešitelné nejsou. Úlohy tohoto druhu lze redukovat na určení souřadnic středů geodetických referenčních elipsoidů vzhledem k hmotnému středu Země.

Jako neúčelnější se z možných způsobů řešení a přístupů k danému problému jeví takový, kde vystupují pouze roviny drah, nikoli vlastní dráhy [9]. Pak totiž není zapotřebí mít k dispozici všech 6 prvků dráhy, nýbrž postačí 2, totiž rektascenze výstupného uzlu  $\Omega$  a sklon dráhy  $i$ . V tomto případě lze formulovat rovnice oprav typu [11]

$$v = \Delta x_0 \sin(\Omega - S_n) \sin i - \Delta y_0 \cos(\Omega - S_n) \sin i + \Delta z_0 \cos i + l, \quad (12)$$

kde absolutní člen je roven

$$l = \{[N_i + (H_q)_i + (\zeta_q)_i] \cos B_i \cos L_i + \Delta_{in}' a_{in} + \omega Y_i - \Psi Z_i\} \sin(\Omega - S_n) \sin i - \\ - \{[N_i + (H_q)_i + (\zeta_q)_i] \cos B_i \sin L_i + \Delta_{in}' b_{in} - \omega X_i + \varepsilon Z_i\} \cos(\Omega - S_n) \sin i - \\ + \{[N_i - N_i e^2 + (H_q)_i + (\zeta_q)_i] \sin B_i + \Delta_{in}' c_{in} + \Psi X_i - \varepsilon Y_i\} \cos i.$$

Zde značí

- $\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta z_0$  — určované souřadnice středu referenčního elipsoidu vzhledem k hmotnému středu Země;
- $S_n$  — greenwichský hvězdný čas okamžiku pozorování UZ;
- $B_i, L_i, (H_q)_i, (\zeta_q)_i$  — geodetické veličiny, určující polohu  $i$ -té družicové stanice v referenční soustavě;
- $a_{in}, b_{in}, c_{in}$  — z pozorování UZ určené směrové kosiny směru z  $i$ -té stanice na  $n$ -tou polohu UZ;
- $\Delta_{in}'$  — topocentrickou vzdálenost UZ ( $n$ -té polohy), bezprostředně měřenou z  $i$ -té stanice nebo vypočtenou ze simultánního měření směrů na UZ z  $i$ -té a minimálně ještě z jedné další družicové stanice;
- $X_i, Y_i, Z_i$  — přibližné referenční souřadnice  $i$ -té stanice;
- $\varepsilon, \Psi, \omega$  — úhly Eulerova typu, definující směry os přijaté geodetické referenční soustavy, které je účelné předem určit geometricky, např. aplikací metody, vyložené v předchozí části.

K přesnému určení neznámých  $\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta z_0$ , je třeba mít k dispozici dostatečně velký soubor vhodně rozložených rovin drah UZ.

Avšak prakticky bylo použito jiného způsobu: použily se všechny prvky drah UZ a kromě toho byly polohy všech stanic považovány za neznámé. Tak byly vypočteny prvky tzv. „Standardní Země“ [4]. Veis tímto postupem odvodil souřadnice středů 9 používaných referenčních elipsoidů v jednotné soustavě (blízké geocentrické), ovšem za předpokladu, že odpovídající osy všech geodetických referenčních soustav jsou vzájemně rovnoběžné [4]. Jeho výsledky uvádíme v tab. 1.

Tabulka 1. Parametry používaných geodetických referenčních soustav

Název referenční soustavy	Používaný referenční elipsoid			Geodetické souřadnice výchozího bodu		Souřadnice středu referenčního elipsoidu vzhledem k hmotnému středu Země			
	název	parametry		B	L	$\Delta x_0$ m	$\Delta y_0$ m	$\Delta z_0$ m	střední chyba m
		a m	1 : $\alpha$						
Evropská	Hayfordův	6 378 388	297,00	+ 52°22'55"	13°04'02"	- 90	-133	-140	± 13
Severoamer.	Clarkeův 1866	6 378 206	294,98	+ 39 13 27	261 27 29	- 30	+152	+176	12
Jihoamerická	Hayfordův	6 378 388	297,00	+ 8 34 17	296 08 25	-288	+112	-392	13
Africká	Clarkeův 1880	6 378 249	293,47			-128	-146	-348	18
Australská	Australský národní	6 378 160	298,25	- 25 56 55	133 12 30	- 89	- 34	+ 86	16
Japonská	Besslův	6 377 397	299,15	+ 35 39 16	139 44 41	-143	+512	+683	15
Indická	Everestův	6 377 276	300,80	+ 24 07 11	77 39 18	+239	+699	+229	18
Argentinská	Hayfordův	6 378 388	297,00	- 35 58 17	297 49 48	-166	+126	+ 24	20
Havajská	Clarkeův 1866	6 378 206	294,98	+ 21 15 46	202 11 08	+ 67	-263	-202	18



Podle údajů v tab. 1 lze poměrně snadno transformovat libovolný geodetický bod, určený v libovolné z uvedených devíti referenčních soustav, do kterékoli z ostatních. Problém reálné přesnosti určení veličin  $\Delta x_0$ ,  $\Delta y_0$ ,  $\Delta z_0$  zůstává zde ještě nevyřešen, avšak dílčí výsledky, odvozené cestou ryze geometrickou [8], napovídají, že jde řádově jen o desítky metrů.

Bezesporu jsou zde však možnosti dalšího zvýšení přesnosti, neboť dosavadní počet družicových stanic SAO [3, 4] byl poměrně malý (15 pro celou Zemi) a kromě toho aplikace např. shora nastíněné metody namísto metody použité jeví se jako výhodná. V každém případě má geodézie v orbitálních družicových metodách disciplínu velice efektivní a lze říci, že před orbitální družicovou geodézií jsou velice slibné perspektivy.

#### 4. Dynamická družicová geodézie

Úlohy dynamické družicové geodézie se v podstatě redukuje na určování harmonických koeficientů  $J_n^{(k)}$ ,  $S_n^{(k)}$  v rozvoji zemského gravitačního potenciálu  $W$  v řadu sférických

funkcí  $Y_n^{(k)}(\Phi, \Lambda) = P_n^{(k)}(\sin\Phi) \frac{\sin k\Lambda}{\cos k\Lambda}$ , tj.

$$W = \frac{GM}{\rho} \left\{ 1 + \sum_{n=2}^{\infty} \left[ \left( \frac{a_0}{\rho} \right)^n \sum_{k=0}^n (J_n^{(k)} \cos k\Lambda + S_n^{(k)} \sin k\Lambda) P_n^{(k)}(\sin\Phi) \right] \right\}, \quad (13)$$

$$P_n^{(k)}(\sin\Phi) = \frac{1}{2^n n!} \cos^k \Phi \frac{d^{n+k}}{d(\sin\Phi)^{n+k}} (\sin^2\Phi - 1)^n.$$

Zde značí

$M$  – hmotu Země (dále  $dm$  – její element);

$G$  – gravitační konstantu;

$\rho$  – geocentrický průvodič;

$\Phi$  – úhel mezi  $\rho$  a rovinou rovníku;

$\Lambda$  – úhel mezi průměrem  $\rho$  do roviny rovníku a rovinou výchozího poledníku;

$a_0$  – délkový faktor, jehož zavedením se harmonické koeficienty

$$\begin{aligned} J_n^{(k)} &= \frac{(2 - \delta_k)(n - k)!}{Ma_0^n (n + k)!} \int \int \int \rho^n P_n^{(k)}(\sin\Phi) \frac{\cos k\Lambda}{\sin k\Lambda} dm \\ S_n^{(k)} &= \frac{(2 - \delta_k)(n - k)!}{Ma_0^n (n + k)!} \int \int \int \rho^n P_n^{(k)}(\sin\Phi) \frac{\sin k\Lambda}{\sin k\Lambda} dm \end{aligned} \quad (14)$$

( $\delta_k = 1$ , je-li  $k = 0$ ;  $\delta_k = 0$ , je-li  $k \neq 0$ )

stávají bezrozměrnými parametry.

Výchozí družicovou informaci jsou zde poruchy drah UDZ, způsobené právě oněmi příčinami, které dávají vznik veličinám (14), tzn. že veličiny (14) jsou určitelné jako funkce poruch.

V literatuře byla popsána již celá řada odvození koeficientů (14) do různých velikostí stupně  $n$  a příslušných řádů  $k$ . Uvedeme zde soubor hodnot podle [5] (tab. 2).

Koeficienty  $\bar{J}_n^{(k)}$ ,  $\bar{S}_n^{(k)}$  v tab. 2 odpovídají úplně normovaným sférickým funkcím  $\bar{Y}_n^{(k)}$  tak, že platí

$$\begin{aligned} \frac{1}{4\pi} \int (Y_n^{(k)})^2 dS &= \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \left[ \bar{P}_n^{(k)}(\sin\Phi) \frac{\cos k\Lambda}{\sin k\Lambda} \right]^2 \cos\Phi d\Phi d\Lambda = 1, \\ \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} [\bar{P}_n^{(k)}(\sin\Phi)]^2 \cos\Phi d\Phi &= 4 - 2\delta_k \end{aligned} \quad (15)$$

a tedy

$$\frac{\bar{J}_n^{(k)}}{\bar{S}_n^{(k)}} = \left[ \frac{1}{(2-\delta_k)(2n+1)} \frac{(n+k)!}{(n-k)!} \right]^{\frac{1}{2}} \frac{J_n^{(k)}}{S_n^{(k)}} \quad (16)$$

Tabulka 2. Harmonické koeficienty v rozvoji gravitačního potenciálu Země podle sférických funkcí [5]

$n$	$k$	$\bar{J}_n^{(k)} 10^6$	$J_n^{(k)} 10^6$	$\bar{S}_n^{(k)} 10^6$
2	0	-484,17	-1 082,64	
2	2	2,42		-1,36
3	0	0,97	2,57	
3	1	1,93		0,20
3	2	0,91		-0,72
3	3	0,56		1,36
4	0	0,54	1,62	
4	1	0,55		-0,48
4	2	0,34		0,62
4	3	0,90		-0,07
4	4	-0,26		0,23
5	0	0,04	0,13	
5	1	0,02		-0,09
5	2	0,55		-0,29
5	3	-0,44		0,02
5	4	-0,31		0,08
5	5	-0,05		-0,53
6	0	-0,18	0,65	
6	1	-0,08		0,10
6	2	0,03		-0,34
6	3	0,14		0,10
6	4	-0,10		-0,40
6	5	-0,15		-0,53
6	6	-0,04		-0,27

Problém reálné přesnosti harmonických koeficientů je ovšem nutno považovat za otevřený, zejména v případě vyšších stupňů  $n$ , patrně při  $n > 8$ . Značné obtíže působí jejich vzájemné korelace, zapříčiněné tím, že každá harmonická se vyskytuje ve všech příslušných rovnicích oprav, a že počet těchto rovnic při velkých  $n$  je při dosavadním poměrně malém počtu vhodných UDZ jen nepatrně větší, než je počet určených neznámých. Při  $k \neq 0$  (teserální a sektorové harmonické) jsou obtíže též v tom, že je zapotřebí znát předem geocentrické polohy pozorovacích stanic UDZ.

Dále každé řešení vyžaduje mít k dispozici dráhu UDZ, dobře rozložené, pokud jde o sklon jejich rovin, tj. soubory s různými hodnotami úhlu  $i$ , od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ . Prozatím tomu tak není, avšak lze je v budoucnu předpokládat.

Jako nejslibnější se ovšem pro řešení tohoto základního geodetického problému zatím jeví cesta „kombinovaná“, tj.: z poruch drah se určí pouze základní vlastnosti pole, detailnější pak z klasických tíhových anomálií na zemském povrchu.

Vzniká ovšem úloha z harmonických koeficientů  $J_n^{(k)}$ ,  $S_n^{(k)}$  vypočítat základní tvarové parametry zemského tělesa, především pólové zploštění, dále zploštění rovníkové a nesymetrie polokoulí. Existuje již celá řada odvození, zejména pólového zploštění. Je však třeba konstatovat, že řešení není jednoznačné, neboť závisí na dodatečné podmínce, kterou nutno formulovat předem. Zatím se odvození povětšinou opírala o klasickou teorii (Pizettiho-Somigliana) tzv. hladinového elipsoidu a normálního pole. Při uvažování harmonických s  $n > 2$  by však bylo možno



přirozeněji respektovat vlastnosti skutečného pole a odvozovat pólové zploštění zemského tělesa tak, aby odpovídalo elipsoidu, nejlépe se přimykajícímu ploše určené přijatými harmonickými. Pak je nutné formulovat dodatečnou podmínku, např. [1]

$$\iint_S (\rho - \rho_e)^2 dS = \min. , \quad (17)$$

nebo [12]

$$\iint_S \left( \frac{\partial \rho}{\partial \Phi} - \frac{\partial \rho_e}{\partial \Phi} \right)^2 dS = \min. ,$$

nebo dále

$$\iint_S (K - K_e)^2 dS = \min. , \quad \iint_S (\xi\xi + \eta\eta)^2 dS = \min. ,$$

atd. Veličiny s indexem „e“ se vztahují k elipsoidu, který nahrazuje plochu, tvarově určenou rozvojem (13); jí příslušející veličiny jsou bez indexů.  $K$  značí totální (Gaussovu) křivost,  $\xi$ ,  $\eta$  jsou složky úhlu mezi normálami k oběma uvažovaným plochám v rovině poledníku a prvního vertikálu.

Rozdíly ve výsledcích podle klasické teorie a při formulaci některé z uvedených podmínek vyžadují zevrubný výzkum. Prozatím lze patrně jen předpokládat, že hodnota pólového zploštění, odvozená z poruch drah UDZ, je v mezích  $298,2 < \frac{1}{\alpha} < 298,3$ , a že je tedy velice blízká zploštění elipsoidu Krasovského.

Kromě základních tvarových parametrů zemského tělesa lze při dostatečně velkých  $n$  určit i průběh „planetárního“ (tj. ve značné míře generalizovaného) geoidu. Mapky takového geoidu byly sestrojeny již různými autory, je však třeba konstatovat, že se od sebe často výrazně liší v závislosti na použitých družicových podkladech. V každém případě nutno detailní průběh geoidu řešit klasickými metodami astronomicko-geodetickými, gravimetrickými a zejména astronomicko-gravimetrickými.

## 5. Závěr

Z tohoto stručného nástinu některých výsledků dosažených teorií i praxí družicové geodézie, který si zdaleka nečiní nároků na úplnost, je znovu patrné, že družicová geodézie poskytl za pouhé první desetiletí své existence základní geodézii takové praktické výsledky, jichž klasickými metodami nebylo lze docílit za století. Přitom praktické možnosti družicové geodézie zdaleka ještě nejsou vyčerpány, při nejmenším je zde ještě značná rezerva v dosažitelných přesnostech. To se týká především řešení úloh orbitálních, kde je nutno znát přesné elementy drah UDZ.

### Literatura:

- [1] I. D. Žongolovič: Potencial zemnogo priřaženija. Bul. ITA, (1957), 505.
- [2] I. D. Žongolovič, T. B. Sabanina: Opredělenije naklona kvazi-geocentričeskoj sistěmy koordinat s pomoščju iskustvennych sputnikov Zemli. Nabřuděnjija ISZ, No. 5 (1956) Bucharest 1957.
- [3] L. Aardom, A. Girnius, G. Veis: Geometric Results. SAO, Spec. Rep. 200, Vol. 2, 1966.
- [4] G. Veis: Geodetic Interpretation. SAO, Spec. Rep. 200, Vol. 3, 1966.
- [5] W. M. Kaula: Tests and Combination of Satellite Determinations of the Gravity Field with Gravimetry. J. Geoph. Res., Vol. No 22, (1966), 5303.
- [6] M. Burša: K voprosu opredělenija napravlenij maloje osi referenc-elipsoida i ischodnogo geodezičeskogo meridiana po nabřuděnjijam ISZ. Studia geoph. et geod., 9 (1965), 14.
- [7] M. Burša: On the Possibility of Determining the Rotating Elements of Geodetic Reference Systems on the Basis of Satellite Observations. Studia geoph. et geod., 11 (1967), 390.
- [8] M. Burša: On the Mutual Position of Clarke's and Hayford's Ellipsoids of the NAD-27 and the EUR Reference Systems. Studia geoph. et geod., 12 (1968), 122.
- [9] C. Popović: Some Geodetic Uses of Non-Simultaneous Observations of Satellites. Studii cercetari de astronomie, 9 (1964), 201.
- [10] A. Mancini: Space Orientation and Geodetic Azimuths Long Lines from Observations of the ANNA Satellite. Bull. Géod., No 76 (1965), 97.
- [11] M. Burša: Teorija opredělenija položenija centra referenc-elipsoida po nabřuděnjijam ISZ. Studia geoph. et geod., 12 (1965), 225.
- [12] M. Burša: Earth's Flattening and Harmonic Coefficients of Geopotential. Studia geoph. et geod., 12 (1968), 237.

Došlo dne 18. 10. 1968.

## Určení topocentrických rovníkových souřadnic družice pomocí samočinného počítače

### 1. Úvod

Topocentrické rovníkové souřadnice družice jsou výchozími veličinami při využití fotografických pozorování umělých družic Země pro geodetické účely. Jejich určení z fotografických snímků je po měřické a výpočetní stránce náročný a velmi zdoluhavý proces. Lze proto při něm s výhodou využít komparátoru s automatickou registrací a samočinného počítače. Automatizovaný postup sestavený v r. 1967–68 se skládá z pěti hlavních částí:

1. z přípravy nafotografovaných snímků k číselnému zpracování,
2. z měření snímkových souřadnic,
3. z identifikace opěrných hvězd,
4. z transformace snímkových souřadnic družice na sférické (rovníkové),
5. z opravy sférických souřadnic družice o vnější vlivy a interpolace na simultánní okamžiky.

Pouze první část, tj. příprava nafotografovaných snímků k číselnému zpracování, není automatizována. Snímkové souřadnice jsou měřeny na monokomparátoru Ascorecord s automatickou registrací snímkových souřadnic na děrnou pásku. Části ad 3, 4, 5 probíhají zcela automaticky v samočinném počítači. Pro měření snímkových souřadnic lze použít i jiného komparátoru bez automatické registrace; naměřené souřadnice je však potom nutno naděrovat na děrnou pásku. Výpočet lze provádět na libovolném samočinném počítači, který má vnější paměť a jehož kapacita vnitřní paměti je minimálně 20 000 slov. V našem případě byl sestaven výpočetní program pro samočinný počítač Minsk 22. Program obsahuje varianty pro řešení některých částí tak, aby ho bylo možno použít pro matematické zpracování družicových snímků pořízených různými fotografickými aparaturami.

### 2. Příprava nafotografovaných snímků k číselnému zpracování a měření snímkových souřadnic

Družicové fotografické snímky mohou být pořízeny buď na skleněné negativní desky nebo na film. Fotografuje-li se na skleněné desky, je možno po vyvolání proměřovat v komparátoru přímo negativ. Fotografuje-li se na film, je třeba po třech až čtyřech týdnech (doba závisí na srážkových vlastnostech filmové podložky) po nafotografování, kdy se ustálí srážka filmové podložky, zhotovit kopii na diapozitivní desku, kterou je potom možno proměřovat v komparátoru. Není vhodné proměřovat přímo filmový negativ, poněvadž během měření může docházet k deformacím podložky (hlavně v důsledku teplotních změn), které by nepříznivě ovlivnily přesnost naměřených hodnot. Pro přípravu měření se osvědčilo zhotovit z negativu ještě několik asi 5násobných zvětšenin, na nichž se označí ty body hvězd a družice, které se využijí při početním zpracování, a jejichž snímkové souřadnice se tudíž budou měřit na komparátoru. Body se na zvětšeninách očíslovají pracovními čísly v pořadí, v jakém budou měřeny. Podle této předlohy proměřuje měřič celý snímek. Každé měření se provádí nejméně dvakrát – jednak pro kontrolu, jednak pro zpřesnění snímkových souřadnic a zmenšení osobních chyb měřiče při nastavování měřické značky na obraz družice nebo hvězdy. Ze stejných důvodů je vhodné celý snímek zpracovávat dvakrát zcela nezávisle a v každém z obou nezávislých výpočtů využívat pokud možno různých bodů opěrných hvězd. Jelikož účelem je získání co nejpřesnějších souřadnic družice, musí být snímkové souřadnice měřeny na komparátoru s maximální možnou přesností, tj. asi  $\pm 2 - 3 \mu\text{m}$ .

### 3. Identifikace opěrných hvězd

Pro výpočet rovníkových souřadnic družice na základě souřadnic opěrných hvězd je třeba nejprve identifikovat opěrné hvězdy. Identifikace hvězd se běžně provádí pomocí hvězdných atlasů. Nejpřehlednějším atlasem je Bečvářův "Atlas coeli", který ale obsahuje pouze jasnější hvězdy (do 7,5 hvězdné velikosti).



Podrobnější jsou atlasy: Bečvář — Atlas eclipticalis; Bečvář — Atlas borealis; Bečvář — Atlas australis a třídílný sovětský Atlas zvězdnogo něba. Tyto atlasy jsou již málo přehledné a identifikace hvězd je potom časově náročná a stává se zdrojem chyb, jimž lze těžko zabránit. Identifikaci hvězd pomocí hvězdného atlasu lze doporučit pouze v případě, že v části snímku, určené k číselnému zpracování, se vyskytuje málo opěrných hvězd (<20–30) a tyto hvězdy lze identifikovat pomocí Bečvářova atlasu „Atlas coeli“. V případě, že se na snímku naexponovalo velké množství hvězd, až několik stovek, je výhodnější hvězdy identifikovat početně, tj. vypočítat jejich přibližné rovníkové souřadnice, a ty porovnávat se souřadnicemi v katalogu. Pro tento účel byla sestavena samostatná část výpočetního programu pro samočinný počítač Minsk 22. Při numerické identifikaci se pomocí hvězdného atlasu zidentifikují pouze 3 jasnější základní hvězdy a v katalogu se vyhledají jejich rovníkové souřadnice vztažené k epoše 1950,0. V komparátoru se změří snímkové souřadnice, jak těchto 3 základních hvězd, tak i všech ostatních hvězd, které chceme identifikovat, a to s přesností do  $\pm 20 \mu m$ . Na základě snímkových a rovníkových souřadnic tří základních hvězd se v počítači vypočtou koeficienty afinní transformace pro převod snímkových souřadnic na souřadnice standardní. Pomocí jich se přetransformují snímkové souřadnice všech hvězd určených k identifikaci na standardní souřadnice a dále na souřadnice rovníkové, tj. rektascenzi a deklinaci. K nim se vyhledají ve hvězdném katalogu odpovídající přesné rovníkové souřadnice vztažené k epoše 1950,0, což je cílem identifikace. Pro odstranění hrubých chyb, které mohou vzniknout při měření snímkových souřadnic, jsou snímkové souřadnice měřeny  $2\times$  a v první části programu (před výpočtem transformačního vztahu) jsou naměřené souřadnice porovnány a testovány. Aby byl program použitelný i pro komory s velkým zkreslením objektivu, je na začátek výpočtu zařazen ještě podprogram opravující snímkové souřadnice o zkreslení objektivu, které je uvažováno jako rotačně symetrické a vyjádřitelné polynomem 3. stupně, jehož koeficienty jsou vstupními hodnotami. Při uvážení zkreslení objektivu je přesnost programem vypočtených rovníkových souřadnic identifikovaných hvězd lepší než  $\pm 1''$  v rektascenzi a  $\pm 10''$  v deklinaci, takže vyhledání odpovídající hvězdy v katalogu je snadné a jednoznačné.

Vzor vstupních hodnot a vzor tisku výsledných hodnot přináší tabulky 1 a 2.

#### 4. Transformace snímkových souřadnic družice na sférické (rovníkové)

Transformace souřadnic družice je zpracována jako samostatná část programového komplexu. Výsledkem výpočtu jsou topocentrické rovníkové souřadnice družice neopravené o vnější vlivy. Vstupními hodnotami jsou snímkové souřadnice hvězd a družice naměřené na komparátoru, střední rovníkové souřadnice hvězd, vztažené k epoše 1950,0, údaje o časech jednotlivých expozičních a další pomocné údaje (konstanta komory, koeficienty rozvoje zkreslení objektivu, přibližné souřadnice středu snímku apod.). Vzor vstupních hodnot přináší tabulka 3. Střední rovníkové souřadnice hvězd by bylo možno vzít z jakéhokoli hvězdného katalogu vztaženého k epoše 1950,0. Je však nutno používat pouze jeden katalog, poněvadž každý hvězdný katalog představuje samostatný referenční hvězdný systém. Kombinací několika katalogů by se do výpočtů zanášely chyby způsobené systematickými rozdíly mezi jednotlivými katalogy. Nejlepší a nejpresnější katalogem je v současné době „Star Catalog SAO“, který byl sestaven právě pro družicová pozorování a obsahuje 257 000 hvězd z celé nebeské sféry.

V počítači je nejprve porovnáno dvojí měření snímkových souřadnic a vyloučena ta měření, jejichž rozdíly přesahují dovolené kritérium kolem  $5 \mu m$ . Zprůměrované hodnoty dvakrát měřených snímkových souřadnic, redukované na střed snímku se uloží na magnetickou pásku. V další části výpočtu se rovníkové souřadnice opěrných hvězd vztažené k epoše 1950,0 převedou na zdánlivé souřadnice vztažené k okamžiku pozorování. Postup výpočtu zdánlivých souřadnic opěrných hvězd je popsán v [3], a proto nebude zde dále rozváděn. Při výpočtu zdánlivých souřadnic není uvažována denní aberace, refrakce, denní paralaxa, případně ani roční paralaxa. Zdánlivé souřadnice všech hvězd se též uloží na magnetickou pásku. Před dalším výpočtem je možno snímkové souřadnice opravit v počítači o vliv zkreslení objektivu komory. Zkreslení



je možno vyjádřit jako rotačně symetrické polynomem maximálně 8. stupně. Obvykle však postačí použít prvních 2 až 4 členů polynomu, poněvadž zbytkové zkreslení se dostatečně eliminuje použitými transformačními vztahy mezi snímkovými a sférickými souřadnicemi.

Na základě snímkových a zdánlivých (rovníkových) souřadnic několika bodů opěrných hvězd, rozložených blízko hlavního bodu snímku, se vypočtou koeficienty afinního transformačního vztahu pro převod snímkových souřadnic na standardní a pomocí nich se převedou snímkové souřadnice hlavního bodu na standardní a dále na sférické. Tento výpočet probíhá v několika iteracích, poněvadž se vychází z velmi přibližných sférických souřadnic hlavního bodu. Vypočtené přesné sférické souřadnice hlavního bodu se potom použijí při výpočtu transformačních vztahů vyššího řádu pro vlastní převod snímkových souřadnic bodů družice na sférické (rovníkové).

V dalším výpočtu se soustava snímkových souřadnic natočí tak, aby její osy byly přibližně rovnoběžné s osami soustavy standardních souřadnic. Jelikož jednotlivé body hvězd i družice jsou v případě azimutální montáže komory naexponovány v různých časových okamžicích, převádějí se rektascenze pomocí údajů času jednotlivých expozic na retrográdní hodinové úhly  $\tau_i$  :

$$\tau_i = \alpha - 1,002\,737\,91 \cdot (UT_i - UT_0) ,$$

kde  $(UT_i - UT_0)$  je časový interval od zvoleného počátečního okamžiku do okamžiku expozice ve světovém středním čase.

Ze sférických souřadnic bodů opěrných hvězd a sférických souřadnic hlavního bodu se potom vypočtou rovinné standardní souřadnice a na základě nadbytečného počtu opěrných hvězd se vyrovnáním podle MNČ určí koeficienty transformace mezi standardními a snímkovými souřadnicemi. Jako nejvýhodnější se ukázal transformační vztah typu:

$$\xi = A + Bx + Cy + Gx^2 + Hx(x^2 + y^2) + Kxy$$

$$\eta = D + Ex + Fy + Ly(x^2 + y^2) + My^2 + Nxy$$

$\xi, \zeta, \dots$  standardní souřadnice,

$x, y, \dots$  snímkové souřadnice,

$A, B, \dots M \dots$  transformační koeficienty.

Tento vztah dobře vystihuje srážku filmu, diferenciální refrakci a zbytkové, případně celé zkreslení objektivu komory. Po vyčíslení dvanácti transformačních koeficientů se vypočtou opravy a kritérium  $k \cdot \sqrt{\frac{[vv]}{n}}$  pro vyloučení hrubých chyb na základě oprav, které vybočují ze souboru vypočtených oprav. Koeficient „ $k$ “ je volitelný v rozmezí od 2,0 do 3,0. Vyloučí se vždy ten bod, jehož oprava překračuje vypočtené kritérium a je největší z celého souboru oprav. Vyrovnání s výpočtem dvanácti neznámých se provede znovu. To se opakuje tolikrát, až žádná oprava nepřekračuje naposled vypočtené kritérium. Potom se pomocí transformačních koeficientů přetransformují snímkové souřadnice družice na souřadnice standardní a ty se převedou na sférické souřadnice  $\tau, \delta$  (retrográdní hodinový úhel, deklinace) a připojením časového údaje na  $\alpha, \delta$  (rektascenze, deklinace). Střední chyby rovníkových souřadnic se vypočtou jako střední chyby funkce vyrovnaných koeficientů transformace. Výsledné hodnoty, jimiž jsou světový střední čas, rektascenze, deklinace a střední chyby v rektascenzi a deklinaci se tisknou širokou tiskárnou a děrují na děrnou pásku, která je zároveň jednou vstupní páskou pro závěrečnou část programu. (Vzor tisku uvádí tabulka 4). Pro posouzení vnější přesnosti transformační metody se mohou na závěr vypočítat rovníkové souřadnice  $\alpha, \delta$  několika bodů hvězd, které leží v bezprostřední blízkosti bodů družice a které nevstoupily do vyrovnání. Vypočtené souřadnice se porovnají se zdánlivými souřadnicemi hvězd vypočtenými na začátku výpočetního postupu. Z rozdílu mezi obojimi souřadnicemi je možno odhadnout vnější přesnost transformačního vztahu, pomocí něhož byly vyčísleny souřadnice družice, a tím i usuzovat na vnější přesnost souřadnic družice.

## 5. Oprava sférických souřadnic družice o vnější vlivy a interpolace na simultánní okamžiky

Jak bylo uvedeno v kapitole 2, je vhodné pro kontrolu správnosti vypočtených souřadnic družice a pro zvýšení jejich přesnosti zpracovávat každý snímek  $2 \times$  nezávisle, přičemž transformační koeficienty počítat pokud možno z jiných bodů opěrných hvězd. Získají se tak dvojce souřadnice družice registrované na dvou děrných páskách, které jsou vstupními páskami pro závěrečnou část programového komplexu, v níž se souřadnice družice opravují o vnější vlivy a vztahují k okamžikům simultánním pro všechny spolupracující stanice.

Na začátku výpočtu se porovnávají souřadnice z obou pásek a z dalšího zpracování se vylučují ty body družice, u nichž rozdíly souřadnic překračují dopustné kritérium. U zbylých bodů se tvoří vážené průměry, čímž se získá řada souřadnic družice, vztažených v chronologickém pořadí k jednotlivým neekvidistantním okamžikům.

Jelikož v řadě družicových úloh se předpokládá přísně simultánní pozorování na několika stanicích, je nutno souřadnice vztáhnout ke společným okamžikům. Pro jednoduchost byly za simultánní okamžiky vybrány celistvé sekundy, desetisekundy, případně minuty (normované okamžiky) času TUC (Temps Universel Coordonné), v němž jsou vysílány časové signály. V počítači jsou nejprve časové údaje všech bodů družice opraveny o případné zpoždění paratury, a jestliže jde o pasivní družice, též o aberační čas. Tím jsou k jednotlivým polohám družice přiřazeny skutečné časové údaje. Potom se vždy z několika sousedních poloh družice (minimálně čtyř) vyinterpolují souřadnice družice, odpovídající normovaným okamžikům času TUC. Interpolace spočívá vlastně v nahrazení průběhu souřadnic několika sousedních bodů vyrovnávací parabolou podle MNC, přičemž argumentem je čas. Souřadnice odpovídající normovanému okamžiku je pak vypočtena jako kvadratická funkce času. Hustotu normovaných okamžiků a interpolační interval je možno volit. V případě, že fotografickou aparaturou se na snímku zobrazí pouze jeden nebo několik málo izolovaných obrazů družice (např. když komora sleduje družici), interpolace odpadá. Souřadnice družice se v závěru programu opravují ještě o paralaktickou refrakci a denní aberaci. U družic o velkém rozměru (balónových, např. Echo) se připojuje ještě centrační oprava na střed balónu. Jelikož na jedné stanici mohou být družice pozorovány ještě dalšími aparaturami, např. laserovými nebo Dopplerovskými, připojuje se ještě centrační oprava na společný geodetický bod.

Pro využití souřadnic družice ke geodetickým účelům je třeba rovníkové souřadnice pevně spojené s nebeskou sférou, převést na souřadnice T (hodinový greenwichský úhel) a  $\delta$ , pevně spojené se Zemí. Za tím účelem se připojením opravy publikované v cirkuláři BIH (Bureau International de l'Heure) převádí čas TUC na nerovnoměrný čas TU1, vystihující rotaci Země kolem střední rotační osy. Čas TU1 se potom převádí na světový hvězdný čas a odečtením od rektascenze se získá greenwichský hodinový úhel T.

Výslednými hodnotami celého programového komplexu jsou pro každou polohu družice:

- TUC — normovaný okamžik udaný v čase TUC,
- RA — rektascenze,
- T — greenwichský hodinový úhel,
- DECL — deklinace,
- MRA — střední chyba v rektascenzi násobená kosinem deklinace,
- MD — střední chyba v deklinaci,
- M — celková střední chyba.

Výsledky jsou tištěny širokou tiskárnou nebo dálnopisem (vzor výsledného tisku přináší tabulka 6) a perforovány na děrnou pásku, která je vstupní páskou pro řešení geodetických družicových úloh, využívajících topocentrických rovníkových souřadnic družice.

## 6. Závěr

Pomocí programu sestaveného pro samočinný počítač Mink 22 bylo zpracováno několik snímků družic Echo 1 a Echo 2. Snímky byly pořízeny aparaturou pro fotografování jasných družic, vybavenou komorou Rb 75/30 o ohniskové vzdálenosti 750 mm, zorném poli  $22^\circ \times 22^\circ$ , rozměru snímku  $30 \times 30$  cm a vstupním otvorem 12 cm. Komora byla upevněna v azimutální

montáži. Pomocí rotační závěrky (pracující s přesností časového přerážení  $\pm 500 \mu s$ ) byla stopa družice na snímku zobrazena jako řada bodů (doba expozice každého bodu 11 ms) a pomocnou žaluziovou závěrkou byly stopy opěrných hvězd zobrazeny rovněž jako řady bodů (doba expozice každého bodu závisí na deklinaci osy záběru komory — pro oblasti kolem rovníku je rovna 1 s). Použit byl film Fomapan 30° DIN s polyesterovou podložkou fy Bexford. Teleobjektiv Telikon uvedené komory má výbornou rozlišovací schopnost, avšak velké zkreslení, které u okraje zorného pole činí až  $600 \mu m$ . Toto zkreslení je ale rotačně symetrické s odchylkami maximálně  $\pm 10 \mu m$ . Vzhledem k velkému zkreslení objektivu a k eventuálním srážkám filmové podložky byl každý snímek rozdělen na několik malých oblastí o průměru  $2^\circ \times 2^\circ$ , tj. asi  $3 \times 3$  cm. V těchto oblastech bylo pro výpočet transformačních vztahů použito 20 až 40 bodů opěrných hvězd. Střední jednotkové polohové chyby se pohybovaly v mezích  $0',8$  až  $2',0$ . Maximální opravy v jedné souřadnici činily  $11 \mu m$ , což odpovídá  $3',0$ . Střední polohové odchylky u kontrolních hvězd se pohybovaly v mezích  $0',5$  až  $1',8$ , přičemž maximální odchylky v jedné souřadnici nepřekročily  $3',0$ . Přesnost vypočtených souřadnic družice je tedy blízká  $1''$ . Přesnost  $1''$  je krajní dosažitelná vnější přesnost, poněvadž chyby způsobené vnějšími faktory (refrakční anomálie) jsou zhruba stejného řádu. Je proto možno uvedenou metodiku zpracování družicových snímků (především použitý typ transformace) považovat ve spojení s komorou Rb 75/30 za vhodnou pro přesné fotografické určování souřadnic směru ke družicím (použitím komory Rb 75/30 pouze k jasným družicím).

#### Literatura:

- [1] Bugoslavskaja: Fotografičeskaja astrometrija, Moskva 1947.
- [2] Buchar: Geodetická astronomie I, Praha 1963.
- [3] Hovorka: Výpočet zdánlivých souřadnic opěrných hvězd na samočinném počítači Minsk 22 pro fotografické určování souřadnic umělých družic Země, Vojenský topografický obzor 1968/2.
- [4] Kaula: Celestial geodesy, Advances in geophysics, vol. 9, New York 1962.
- [5] Mueller: Introduction to satellite geodesy, New York 1964.
- [6] Star catalog, Smithsonian Institution, Washington 1966.
- [7] Veis: Precise aspects of terrestrial and celestial reference frames, Proceedings of the 1st international symposium on the use of artificial satellites for geodesy, Amsterdam 1963.

Došlo dne 6. 2. 1969.

Tab. 1 Vstupní hodnoty pro identifikaci opěrných hvězd

Stanice	: ŠAŇKOVSKÝ GRŮŇ	Číslo	: 17 647
Družice	: ECHO 1	$\alpha_1^{h,m,s}$	: 12 57 53,009
Datum	: 19 04 1967	$\mu_{\alpha_1}^s$	: -0,001 6
UT <sub>h,m</sub>	: 20 00	$\delta_1^{\circ, ', ''}$	: 31 03 15,31
$F$ (mm)	: 750,0	$\mu_{\delta_1}''$	: -0,014
$K_1$	: -0,001 114	Číslo	: 17 769
$K_2$	: 0,000 023 99	$\alpha_2^{h,m,s}$	: 13 03 56,586
$K_3$	: 0,000 000 082	$\mu_{\alpha_2}^s$	: 0,001 8
$\alpha_0^{h,m,s}$	: 13 19 00,0	$\delta_2^{\circ, ', ''}$	: 22 53 01,82
$\delta_0^{\circ, ', ''}$	: 27 13 00	$\mu_{\delta_2}''$	: -0,055
MJD <sub>0</sub>	: 39 599,0	Číslo	: 18 850
		$\alpha_3^{\circ, ', ''}$	: 13 54 17,188
		$\mu_{\alpha_3}^s$	: 0,001 9
		$\delta_3^{\circ, ', ''}$	: 27 44 11,27
		$\mu_{\delta_3}''$	: -0,054



Výstup z počítače:

IDENTIFIKACE HVEZD

SANKOVSKY GRUN ECHO 1 RB 7530 123456

19 04 1967 20H 00M RA 0-13 19 00,0 DEKLO=27 13 00

750,00 -0,0011140 0,000023990 0,000000082

6701

CISLO	RA	MRA	DEKL	MD	
17647	12 57 53,009	-0,0016	31 3 15,31	-0,014	} základní hvězdy
17769	13 3 56,586	0,0018	22 53 1,82	-0,055	
18850	13 54 17,188	0,0019	27 44 11,27	-0,054	
	3010	13 9 31,4	28 8 6	-----	} dvojí dvojí měření nesouhlasí
		13 9 18,5	28 8 4	-----	
	3011	12 46 51,0	27 49 28	-----	} dvojí měření souhlasí
	3012	12 49 15,7	27 48 43	-----	
		12 49 13,4	27 49 1		
	3013	13 4 47,2	27 53 31		
	3014	13 5 30,0	27 49 23		
	3015	12 56 9,4	28 35 17		
	3016	12 57 8,6	28 20 4		
	3017	12 40 50,1	26 24 3		
		12 46 20,3	25 6 47		
	3018	12 47 21,4	26 42 13		
		12 40 50,1	26 24 3		
	3019	12 51 30,0	27 3 2		
		12 47 21,5	26 42 16		
	3020	12 46 20,0	25 6 46		
		13 0 44,8	24 5 42		
	3021	13 0 44,9	24 5 43		
	3022	13 4 32,9	25 5 49		
		13 5 37,7	25 5 51		
	3023	13 11 29,3	25 57 46		
	3024	13 3 56,6	22 32 48		
	3025	13 9 7,3	22 11 2		
	3026	13 9 43,9	24 31 26		
	3027	13 19 36,9	25 8 34		
		13 21 24,8	25 48 27		
	3028	13 21 24,7	25 48 28		
	3029	13 22 43,8	24 6 52		
	3030	13 38 20,3	28 19 2		
	3031	13 50 54,2	28 53 38		
	3032	13 34 38,3	24 52 7		
	3033	13 44 24,0	25 57 8		
	3034	14 8 7,3	25 19 41		
	3035	13 56 18,2	21 56 24		
	3036	13 30 26,4	24 36 17		
	13 23 40,810	26 3 35,50			----- souřadnice hlavního bodu

Tabulka 3a

Vstupní hodnoty pro výpočet neredukovaných topocentrických rovníkových souřadnic družice

Stanice	: TRHOVIŠTĚ	$K_0$	: 0,
Družice	: ECHO 1	$K_1$	: -0,011 138
Datum	: 19 04 1967	$K_2$	: 0,00 023 995
$UT_{\text{zač.}}$ h,m,s	: 19 48 00	$K_3$	: 0,000 000 082
$UT_{\text{stř.}}$ h,m,s	: 19 58	$K_4$	: 0,
MJD <sub>0</sub>	: 39 599,0	$K_5$	: 0,
$\tau_0$ h,m,s	: 13 00 00	$K_6$	: 0,
$\delta_0$ o,'''	: 25 00 00	$K_7$	: 0,
F	: 750,00	$K_8$	: 0,
		Krit.	: 3,0

Střední souřadnice opěrných hvězd 1950,0

Číslo hvězdy	$\alpha_{1950,0}$ h m s	$\mu_\alpha$	$\delta_{1950,0}$ ''	$\mu_\delta$	$\pi$
82 706	13 09 32,444	-0,060 5	28 07 52,02	0,879	0,123
82 659	13 04 46,815	0,002 3	27 53 33,31	-0,077	0,009
82 665	13 05 30,067	-0,003 2	27 49 24,29	-0,068	0,
82 708	13 09 43,930	-0,001 3	24 31 26,00	-0,034	0,
82 825	13 22 43,604	-0,000 6	24 06 51,90	-0,013	0,012
82 944	13 38 20,652	-0,005 1	28 19 03,45	0,010	0,
82 905	13 34 37,911	-0,002 0	24 52 03,79	-0,007	0,
82 993	13 44 23,997	-0,001 6	25 57 08,51	-0,065	0,018
82 875	13 30 26,004	0,003 5	24 36 20,11	-0,210	0,006

Tabulka 3b

## Vnější orientace

Číslo bodu	Číslo hvězdy	$UT-UT_{zač.}$
2 001	82 665	87,0
2 002	82 659	22,0
2 003	82 706	22,0
2 004	82 944	1132,0
2 005	82 708	87,0
2 006	82 825	658,0
2 007	82 875	884,0
2 008	82 905	936,0

## Opěrné hvězdy

## Družice

Číslo bodu	Číslo hvězdy	$UT-UT_{zač.}$	Číslo bodu	$UT-UT_{zač.}$
2 001	82 993	1165,0	4 001	566,0
2 002	82 905	1066,0	4 002	567,0
2 003	82 905	969,0	4 003	568,0
2 004	82 905	852,0	4 004	569,0
2 005	82 905	754,0	4 005	570,0
2 006	82 905	658,0	4 006	571,0
2 007	82 905	453,0	4 007	572,0
2 008	82 905	356,0	4 008	573,0
2 009	82 875	754,0	4 009	574,0
2 010	82 875	658,0	4 010	575,0
2 011	82 875	421,0	4 011	576,0
2 012	82 875	323,0	4 012	577,0
2 013	82 875	87,0	4 013	578,0
2 014	82 825	87,0	4 014	579,0
2 015	82 825	22,0	4 015	580,0
			4 016	581,0



Výstup z počítače:

VYPOČET NEREDUKOVANÝCH TOPOCENTRICKÝCH ROVNÍKOVÝCH  
SOURADNIC DRUŽICE

TRHOVIŠTE	ECHO 1	19 04 1967
UT Z = 19 48 0	UT S = 19 58	MJD = 39599,0
T = 13 0 0	DEKL = 25 0 0	F = 750,00
K0 = ,000000000	K1 = -,001113800	K2 = ,000023995
K3 = ,000000082	K4 = ,000000000	K5 = ,000000000
K6 = ,000000000	K7 = ,000000000	K8 = ,000000000

	ZDANLIVÉ SOURADNICE		HVEZD				
82706	13 9 32,444	-0,0605	28 7 52,02	0,879	0,123	— střední souřadnice	
	13 10 21,891		28 02 34,400			— zdánlivé souřadnice	
82659	13 4 46,815	0,0023	27 53 33,31	-0,077	0,009		
	13 05 37,614		27 47 57,320				
82665	13 5 30,067	-0,0032	27 49 24,29	-0,068	0,000		
	13 06 20,744		27 43 48,690				
82708	13 9 43,930	-0,0013	24 31 26,00	-0,034	0,000		
	13 10 34,850		24 25 52,140				
82825	13 22 43,604	-0,0006	24 6 51,90	-0,013	0,012		
	13 23 34,053		24 01 23,880				
82944	13 38 20,652	-0,0051	28 19 3,45	0,010	0,000		
	13 39 09,616		28 13 44,190				
82905	13 34 37,911	-0,0020	24 52 3,79	-0,007	0,000		
	13 35 27,723		24 46 41,910				
82993	13 44 23,997	-0,0016	25 57 8,51	-0,065	0,018		
	13 45 13,199		25 51 51,240				
82875	13 30 26,004	0,0035	24 36 20,11	-0,210	0,006		
	13 31 16,130		24 30 52,490				

	T	DEKL	MO	N	
6700	13 13 47,142	25 57 49,742	0,0074	8	— souřadnice hlavního bodu

Tabulka 4a

	KSI	ETA	
1	0,00045751	0,00040533	} transformáční koeficienty
X	0,99692133	-0,00079938	
Y	-0,00166758	-1,00096847	
XX	0,00951952	0,00746314	
YY	-0,01604500	-0,00087863	
XY	0,00534685	-0,00047176	
	V KSI	V ETA	} opravy v mm
2001	0,0015	0,0005	
2002	0,0019	-0,0025	
2003	0,0016	-0,0020	
2004	0,0001	-0,0001	
2005	-0,0052	0,0015	
2006	-0,0023	-0,0003	
2007	0,0033	-0,0017	
2008	-0,0032	-0,0022	
2009	-0,0025	0,0026	
2010	0,0004	0,0032	
2012	0,0042	-0,0005	
2013	-0,0008	0,0034	
2014	0,0009	-0,0019	
	M KSI	M ETA	M
	0,0035	0,0028	0,0045

— jednotkové  
střední chyby

## SOURADNICE DRUŽICE

CISLO	UT	RA	D	MRA	MD
4001	19 57 26,000	202 4 28,18	25 24 11,46	2,1	1,9
4002	19 57 27,000	202 15 2,80	25 18 27,71	1,7	1,4
4003	19 57 28,000	202 25 18,21	25 12 53,00	1,3	1,1
4004	19 57 29,000	202 35 47,56	25 7 6,41	1,0	0,8
4005	19 57 30,000	202 45 57,39	25 1 32,04	0,8	0,5
4006	19 57 31,000	202 56 18,69	24 55 49,14	0,6	0,4
4007	19 57 32,000	203 6 23,24	24 50 14,43	0,5	0,4
4008	19 57 33,000	203 16 41,48	24 44 30,16	0,5	0,4
4009	19 57 34,000	203 26 40,63	24 38 55,37	0,5	0,4
4010	19 57 35,000	203 36 53,22	24 33 12,90	0,5	0,4
4011	19 57 36,000	203 46 44,71	24 27 40,92	0,5	0,5
4012	19 57 37,000	203 56 52,06	24 21 58,06	0,6	0,6
4013	19 57 38,000	204 6 38,82	24 16 25,53	0,8	0,8
4014	19 57 39,000	204 16 40,90	24 10 43,70	1,1	1,2
4015	19 57 40,000	204 26 23,43	24 5 9,82	1,5	1,6
4016	19 57 41,000	204 36 18,73	23 59 28,54	2,1	2,1

Tab. 5 Vstupní hodnoty pro opravy sférických souřadnic družice o vnější vlivy a interpolace na simultánní okamžiky

Stanice	: TRHOVIŠTĚ	$J$ (krok)	: 1,0
Družice	: ECHO 1	$I$ (interv.)	: 6
Datum	: 19 04 1967	$t$ (tepl.)	: +10,5
$MJD_0$	: 39 599,0	$b$ (tlak)	: 708
$UT_{zač.}$ h,m	: 19 57	$\rho$ (polom. bal.)	: 0,020
$B^{\circ},''$	: 50 00 00	$A^{\circ},''$	: 186 06 30
$L^{\circ},''$	: 15 00 00	$z^{\circ},''$	: 88 30 12
		$e$ (exc.)	: 0,108
$N_1$ (krit. rekt.)	: 10''	$\Delta UT 1$	: 0,031 2
$N_2$ (krit. dekl.)	: 10''	$ABERACE$	: 1
$K_1$ } (zpoždění	: 0,014 7	$k_D$ (krit.)	: 2,0
$K_2$ } aparatury)	: 0,000 182	$k_T$ (krit.)	: 2,0
$K_3$ }	: -100,0	$INTERP$	: 1
$R_1$ } (topocentr.	: 1960		
$R_2$ } vzdál.)	: 10		
$R_3$ }	: 10		

Výstup z počítače:

TOPOCENTRICKÉ ROVNIKOVÉ SOURADNICE DRUŽICE

19 04 1967	ECHO 1	TRHOVIŠTĚ
$MJD$ : 39599,0		$B$ : 50 0 0
		$L$ : 15 0 0

UT	RA	TGR	D	MRA	MD	M
19 57 27,0000	202 14 41,5	55 39 20,1	25 18 29,8	2,2	1,4	2,6
19 57 28,0000	202 25 5,0	55 49 28,6	25 12 50,0	1,5	0,9	1,8
19 57 29,0000	202 35 26,6	55 59 35,1	25 7 9,8	1,7	1,0	1,9
19 57 30,0000	202 45 43,6	56 9 37,0	25 1 30,6	1,5	0,9	1,8
19 57 31,0000	202 55 59,6	56 19 38,1	24 55 50,5	1,3	0,8	1,6
19 57 32,0000	203 6 11,2	56 29 34,6	24 50 11,8	1,1	0,7	1,3
19 57 33,0000	203 16 20,9	56 39 29,3	24 44 32,8	1,1	0,7	1,3
19 57 34,0000	203 26 27,6	56 49 20,9	24 38 54,3	1,1	0,7	1,3
19 57 35,0000	203 36 31,2	56 59 9,5	24 33 16,5	1,1	0,7	1,3
19 57 36,0000	203 46 33,0	57 8 56,2	24 27 38,2	1,2	0,7	1,4
19 57 37,0000	203 56 31,0	57 18 39,2	24 22 0,8	1,5	0,9	1,8
19 57 38,0000	204 6 27,6	57 28 20,8	24 16 22,9	1,7	1,1	2,0
19 57 39,0000	204 16 20,1	57 37 58,2	24 10 46,1	1,1	0,7	1,3
19 57 40,0000	204 26 11,5	57 47 34,6	24 5 8,3	3,2	2,0	3,7

Tabulka 6



## Určení Laplaceova azimutu z astronomických měření

Při vyrovnání astronomicko-geodetických sítí se opět objevily nesrovnalosti mezi vnitřní přesností azimutů a mezi výsledky získanými v azimutálních podmínkách po vyrovnání astronomicko-geodetické sítě [2]. Stále častěji se objevuje otázka, zda dosahovaná přesnost astronomických prací, hlavně astronomických azimutů, je v souladu s požadavky vyšší geodézie, která využívá astronomických azimutů pro nezávislou kontrolu geodetických měření v základních geodetických sítích.

Na severní polokouli se pro určení astronomického azimutu většinou používá metody zaměřování na Polárku. Takto určený azimut může být zatížen různými systematickými vlivy. Přístrojové chyby se mohou hlavně projevit při měření vodorovného úhlu, který svírají vertikální roviny procházející zenitem pozorovacího místa, hvězdou a pozemním cílem.

Pro převod astronomického azimutu na Laplaceův azimut se používá známá Laplaceova rovnice

$$\alpha = a - (\lambda - L) \sin \varphi + (\eta \cos a - \xi \sin a) \cot g z \quad (1),$$

která předpokládá, že geodetické a astronomické práce vycházejí od stejného základního poledníku. Rovnice (1) vyjadřuje přechod od tížnice, ke které byl astronomický azimut určen, k normále výpočetní plochy triangulace. Druhý člen rovnice (1) představuje vliv rozdílu astronomického a geodetického meridiánu na azimut. Třetí člen vyjadřuje vliv tížnicové odchylky na měřený směr. Z rovnice (1) je zřejmé, že astronomický azimut a astronomická délka musí být svou přesností rovnocenné geodetickým veličinám. Astronomická šířka může být známa v Laplaceově rovnici s menší přesností. Můžeme si dovolit zaměnit astronomickou zeměpisnou šířku za geodetickou zeměpisnou šířku.

V astronomicko-geodetických sítích se požaduje, aby přesnost Laplaceových azimutů byla ve všech místech sítě stejná, neboť slouží k porovnání přesnosti v měření vodorovných úhlů. Ve větších zeměpisných šířkách můžeme tento požadavek splnit pouze za předpokladu, zvětší-li se objem astronomických prací. V současné literatuře [7, 11, 12] se poukazuje na možnost přímého určení geodetického azimutu z astronomických měření bez přesné znalosti astronomické šířky a délky.

Z několika možných způsobů přímého určení geodetického azimutu z astronomických měření uvedeme dvě metody. První metoda - určení azimutu z průchodu hvězd vertikálem signálu - se řadí mezi přímé metody určení azimutu a druhá metoda - určení azimutu z průchodu hvězd meridiánem - patří do skupiny úloh nepřímého určení azimutu.

Rozdíl mezi astronomickým a geodetickým azimutem je zřejmý z obr. 1. Zanedbáme-li malé veličiny druhého a vyšších řádů složek tížnicové odchylky a rozdíl mezi geodetickým a astronomickým horizontem, pak úhel  $H_P Z_g P$  představuje rozdíl mezi geodetickým a astronomickým meridiánem. Z obrázku můžeme lehce odvodit Laplaceovu rovnici (1), uvážíme-li, že

$$\begin{aligned} (\lambda - L) \sin \varphi &= \eta \operatorname{tg} \varphi \\ \xi_M &= \eta \cos \alpha - \xi \sin \alpha \end{aligned}$$

Marinbach (7) upozornil na možnost přímého určení geodetického azimutu směru z astronomických měření. Současně navrhuje oddělit určení geodetického azimutu od určení astronomických souřadnic pozorovacího stanoviště. Okamžik průchodu hvězdy neurčujeme v tomto případě v čase astronomického poledníku stanoviště, ale v čase geodetického poledníku.

Známe-li souřadnice hvězdy a geodetické souřadnice stanoviště, můžeme vypočítat hodinový úhel vzhledem ke geodetickému meridiánu stanoviště

$$t^g = \alpha - s^g$$

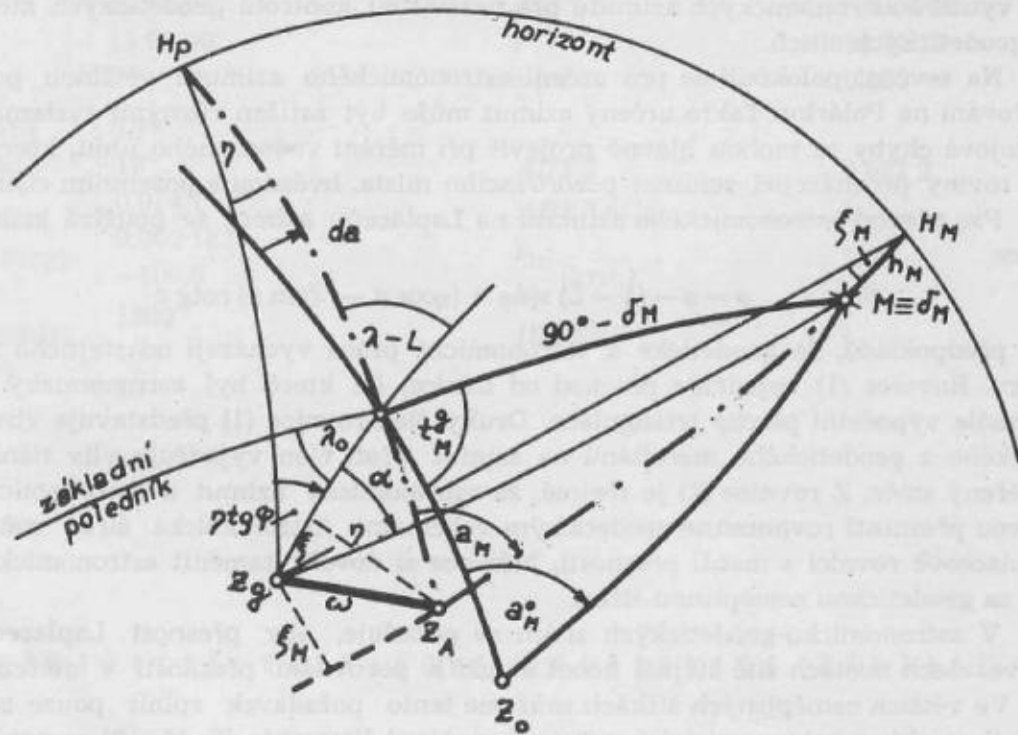
kde  $s^g$  - místní hvězdný čas vztažený ke geodetickému meridiánu.

Geodetický azimut pozemního směru je roven geodetickému azimutu hvězdy, který je měřen k astronomickému zenitu a převeden výrazem  $\xi_M \cot g z$  na geodetický zenit.

Za předpokladu, že pozorujeme hvězdu ve vertikální rovině proložené signálem, můžeme získat geodetický azimut směru ku příkladu z rovnice [7], kterou získáme řešením sférického trojúhelníka  $Z_k P H_M$  (obr. 1):

$$\cotg a_{Bl} = \sin B \cotg t^* - \tg \delta \cos B \operatorname{cosec} t^* \quad (2).$$

Geodetické zeměpisné souřadnice stanoviště postačí dokonce znát s takovou přesností, abychom mohli připravit pracovní efemeridy. Abychom získali hledaný azimut na bod  $M$ , musíme opravit přibližně známý azimut  $a_0$  o hodnotu  $da$ , kterou získáme z vyrovnání měřického souboru.



obr. 1

Použijeme-li pro určení geodetického azimutu metody průchodu hvězd vertikálem signálu, můžeme napsat rovnice oprav ve tvaru [5]

$$v_i = \pm b_i c + f_i \xi + g_i \eta + da + l_i$$

kde  $b_i = \operatorname{cosec} z \mp \operatorname{cosec} z_c$  průchod v azimutu  $a_0$   
 průchod v azimutu  $a_0 + 180^\circ$ ,

$$f_i = -\sin a_0 (\cotg z - \cotg z_c),$$

$$g_i = \cos a_0 (\cotg z + \cotg z_c),$$

$$l_i = (a_0 - a_i).$$

Jestliže určovaný azimut leží v blízkosti místního poledníku nebo I. vertikálu, není pochopitelně možné určit příslušnou složku astronomické tížnicové odchylky. V těchto případech je vhodné uplatnit vliv složky na geodetický azimut směru korekcí v absolutním členu rovnic oprav. Hodnotu příslušné složky tížnicové odchylky buď vyinterpolujeme, nebo odhadneme, nebo můžeme použít hodnotu gravimetrické tížnicové odchylky.

Vliv příslušné složky tížnicové odchylky na určovaný azimut můžeme také vyloučit opravou výsledného azimutu:

$$da_\xi = \xi \sin a (\cotg z - \cotg z_c)$$

$$da_\eta = -\eta \cos a (\cotg z - \cotg z_c).$$

V rovnici (3) jsou 4 neznámé:  $c$  - kolimační chyba,  $\xi, \eta$  - složky tížnicové odchylky,  $da$  - oprava přibližné hodnoty geodetického azimutu. Pro určení neznámých pomocí vyrovnání

zprostředkujících měření musíme zaměřit alespoň 4 průchody hvězd vertikální rovinou proloženou signálem. Pro určení azimutu je vhodné pozorovat hvězdy na obou stranách zenitu. Na základě chybových rozborů můžeme doporučit pozorovat hvězdy ve větších zenitových vzdálenostech [2].

Za předpokladu, že známe některou ze složek tížnicové odchylky, použijeme rovnic oprav ve tvaru

$$\text{nebo } \begin{aligned} v_i &= \pm b_i c + f_i \xi + da + l_i, \\ v_i &= \pm b_i c + g_i \eta + da + l_i. \end{aligned}$$

Jiný způsob získání geodetického azimutu z astronomických měření vypracoval Starostin [10]. Astronomický azimut lze vyjádřit jako funkci geodetického azimutu  $a_{BL}$ . Ponecháme-li v rozvoji pouze členy prvního řádu, pak

$$a = a_{BL} + \frac{\partial a}{\partial \lambda} (\lambda - L) + \frac{\partial a}{\partial \varphi} (\varphi - B).$$

Parciální derivace jsou

$$\frac{\partial a}{\partial \varphi} = -\sin a \cotg z, \quad \frac{\partial a}{\partial \lambda} = \sin \varphi + \cos \varphi \cos a \cotg z.$$

Uvážíme-li, že

$$\varphi - B = \xi \quad \text{a} \quad \lambda - L = \eta \sec \varphi,$$

dostaneme

$$a = a_{BL} + \eta \tg \varphi + (\eta \cos a - \xi \sin a) \cotg z \quad (4).$$

Dosadíme-li rovnici (4) do Laplaceovy rovnice (1), získáme vztah pro přímé určení geodetického azimutu z astronomických měření

$$\alpha = a_{BL} + (\eta \cos a - \xi \sin a) \cotg z \quad (5);$$

kde

$$a_{BL} = \arctg \frac{-\sin t g}{\cos B \tg \delta - \sin B \cos t g} + Q, \quad t g = s g - \alpha.$$

Geodetický azimut je tedy roven azimutu cíle  $a_{BL}$ , který je získán výpočtem z astronomických měření pomocí geodetických zeměpisných souřadnic ( $B, L$ ). Druhý člen pravé strany rovnice (5) představuje vliv tížnicové odchylky na měřený směr.

Metodu můžeme použít pro přímé nebo nepřímé určení azimutu. V prvním případě budeme pozorovat průchod hvězd ve vertikální rovině signálu a malý úhel  $Q$  mezi vertikálními rovinami proloženými optickou osou přístroje a určeným směrem budeme měřit okulárovým mikrometrem. V druhém případě určíme průchod hvězd meridiánem nebo v jeho blízkosti a vodorovný úhel  $Q$  svírající vertikální roviny proložené optickou osou astronomického univerzálu a určeným směrem budeme měřit astronomickým univerzálem. Většinou volíme druhou variantu a to hlavně z důvodů praktických (rychlé sestavení pozorovacího programu). Za předpokladu, že budeme pozorovat průchod hvězd pouze meridiánem, přejde rovnice (5) ve tvar

$$\alpha = a_{BL} + \eta \cos a \cotg z \quad (6).$$

Pro pozorování v meridiánu můžeme získat azimut  $a_{BL}$  ze vztahu

$$a_{BL} = \frac{s g - \alpha}{\sin z \sec \delta} = \frac{t}{\sin z \sec \delta}.$$

V tomto případě můžeme napsat rovnici oprav ve tvaru

$$\begin{aligned} da - \eta \cos a \cotg z_i + l_i &= v_i, \\ \text{kde } da &= \alpha - a_0, \quad l_i = a_0 - a_{BL}^x - Q \end{aligned}$$

$a_0$  — přibližná hodnota geodetického azimutu určeného směru,

$a_{BL}^x$  — azimut hvězdy  $a_{BL}$  opravený o vliv sklonu dalekohledu.



Z pozorování v meridiáně nemůžeme určit meridiánovou složku tížnicové odchylky. Veličinu  $\xi \sin a \cot g z$  zahrneme proto do prostého členu. Hodnotu  $\xi$  odhadneme. Nepřesnost  $\pm 2''$  v meridiánové složce tížnicové odchylky způsobí chybu v prostém členu rovnice oprav maximálně  $\pm 0,3''$ .

Při pozorování astronomickým univerzálem Wild T4 nemůžeme pozorovat průchod hvězdy v obou polohách dalekohledu, takže by se mohl nepříznivě projevit vliv kolimační chyby. Je proto vhodné zvolit v rovnici oprav další neznámou - kolimační chybu  $c$ .

Rovnice oprav bude mít tvar

$$v_i = da \pm c \operatorname{cosec} z_i - \eta \cos a \cot g z_i + l_i .$$

Metodu lze použít i pro hvězdy pozorované v blízkosti meridiánu za předpokladu, že uvážíme nerovnoměrný pohyb hvězd v azimutu. Na základě chybových rozborů [2] můžeme konstatovat:

- 1) přesnost azimutu se zvyšuje v závislosti na odmocnině z počtu pozorovaných hvězd,
- 2) chceme-li určit geodetický azimut s maximální vahou, musíme pozorovat hvězdy ve velkých zenitových vzdálenostech.

Tyto požadavky jsou zároveň vhodné pro oslabení vlivu systematických přístrojových chyb, neboť vliv nepravidelnosti čepů horizontální osy je úměrný  $\cot g z$  a vliv boční fluktuaace dalekohledu je úměrný  $\operatorname{cosec} z$

3) Střední chyba složky tížnicové odchylky v I. vertikále se s větším počtem pozorovaných hvězd nezlepší. Pro určení složky tížnicové odchylky by lépe vyhovovaly hvězdy pozorované v malých zenitových vzdálenostech.

### Praktické výsledky

Oba způsoby přímého určení geodetického azimutu z astronomických měření byly vyzkoušeny na VA AZ ve dvou diplomových pracích [4, 6]. Souhrně jsou metody zpracovány a ověřeny v [2].

Pro větší názornost použitelnosti metody přímého určení geodetického azimutu z astronomických měření uvedeme výsledky získané z průchodu hvězd vertikálem signálu [2]. Na daném bodě jsou známy astronomické tížnicové odchylky

$$\xi = -2'',1 \text{ a } \eta = 6'',7$$

a astronomické zeměpisné souřadnice se střední chybou  $m_\varphi = \pm 0,15''$ ,  $m_\lambda = \pm 0,02''$ , a geodetické zeměpisné souřadnice se střední chybou  $m_B = \pm 0,0004''$  a  $m_L = \pm 0,0003''$ .

Zkušební měření bylo uskutečněno ve třech observačních nocích astronomickým univerzálem Wild T4. V jedné pozorovací noci bylo pozorováno 16 průchodů hvězd zvolenou vertikální rovinou. Výsledný astronomický azimut byl určen z 43 průchodů 36 hvězd. Hvězdy byly pozorovány v rozsahu  $63^\circ - 83^\circ$  zenitové vzdálenosti v obou větvích vertikální roviny proložené signálem.

Výsledný astronomický azimut dosáhl hodnoty

$$\alpha = 58^\circ 40' 31'',27 \pm 0'',16 .$$

Převědeme-li astronomický azimut na geodetický azimut podle rovnice (1) získáme

$$\alpha = 58^\circ 40' 23'',99 \pm 0'',28 . \quad (7)$$

Metoda průchodu hvězd vertikálem signálu umožňuje určit geodetický azimut směru (za předpokladu, že známe geodetické zeměpisné souřadnice  $B, L$ ) přímo z astronomických měření. Geodetický azimut byl určen ze stejného observačního materiálu jako astronomický azimut a dosáhl hodnoty

$$\alpha = 58^\circ 40' 23'',92 \pm 0'',39 . \quad (8)$$

Současné byly určeny složky tížnicové odchylky a kolimační chyba použitého přístroje. Astronomické tížnicové odchylky dosáhly hodnot

$$\xi = -2,5'' , \eta = 6,5'' .$$

I když získané hodnoty složek tížnicové odchylky vcelku jsou shodné s hodnotami získanými z astronomických a geodetických souřadnic, tak střední chyby v určení složek tížnicové odchylky jasně ukázaly, že pozorované hvězdy nevyhovovaly pro určení hodnot složek tížnicové odchylky.

Srovnáme-li geodetický azimut získaný z převodu astronomického azimutu z průchodu hvězd vertikálem signálu pomocí Laplaceovy rovnice (7) s geodetickým azimutem určeným přímo z průchodu hvězd vertikálem signálu (8), je zřejmé, že přímé určení geodetického azimutu svou přesností plně vyhovuje. V případě, že jsou kladeny požadavky určit pouze geodetický azimut směru, je metoda určení geodetického azimutu z astronomických měření vhodná také z hlediska ekonomického. Objem astronomických prací se sníží téměř o , neboť nemusíme určovat astronomické zeměpisné souřadnice.

#### Literatura:

- [1] Buchar E.: Měření azimutů na území Československa v letech 1924—1938. Praha 1941.
- [2] Cimbálník M.: Výzkum zpřesnění československé státní trigonometrické sítě 1. řádu. Výzkumná zpráva VÚGTK Praha.
- [3] Fixel J.: Příspěvek k určení přesnosti azimutu. Disertační práce, Brno 1967.
- [4] Jílek Z.: Přímé určení geodetického azimutu z astronomických měření. Diplomová práce VA AZ.
- [5] Kostadinov S.: Bestimmung von Azimut durch Beobachtung von Sternen, die in der Vertikale des Gegenstandes auf der Erdoberfläche liegen. Moskva 1965.
- [6] Košek V.: Přímé určení azimutu z astronomických měření. Diplomová práce VA AZ.
- [7] Marinbach: Vazmožnost astronomičeskovo opredělenija geodezičeskovo azimuta bez znanija astronomičeskich koordinát punkta. Doklady akademii nauk SSSR 1949, Tom 64, č. 6.
- [8] Niethammer Th.: Die genauen Methoden der astronomisch-geodätischen Ortbestimmung. Basel 1947
- [9] Polák B.: Určení azimutu ze současného průchodu dvou hvězd vertikálem. Praha VZÚ 1950.
- [10] Starostin A. M.: Opredělenije geodezičeskovo azimuta iz nabljuděnij zvezd v meridiáně. Trudy CNIIGAIK, Vyp. 124. 1950.
- [11] Starostin A. M.: Neposredstvennoje opredělenije geodezičeskovo azimuta. Geodezija i kartografija 1962/8.
- [12] Uralov C. C.: Opredělenije azimuta z nabljuděnij par zvezd v meridianě s pomošču universalnovo instrumenta. Informacionno-techničeskij sbornik VTS/1954.

Došlo dne 18. 11. 1968

## Fyzikální redukce délek měřených rádiovými dálkoměry z rychlosti šíření rádiových vln

Délky vypočtené z hodnot naměřených rádiovými a světelnými dálkoměry s využitím konstantní rychlosti šíření elektromagnetických vln je třeba opravit o různé fyzikální a matematické redukce. Jednou z nejdůležitějších fyzikálních redukcí je oprava z rychlosti šíření elektromagnetických vln v daném prostředí. Oprava se v praxi počítá různými způsoby. K usnadnění výpočtu slouží řada pomocných tabulek a nomogramů. V článku jsou stručně uvedeny základní způsoby určení opravy ze změny rychlosti šíření elektromagnetických vln pro rádiové dálkoměry typu teluometru, které pracují s ultrakrátkými vlnami. Podrobně je popsáno určení délkové korekce měřených délek bez použití počítačového stroje. Tento způsob umožňuje výpočet uvedené fyzikální redukce přímo v terénu.

### 1. Úvod

Šikmé vzdálenosti, měřené rádiovými dálkoměry MRA 1, MRA 2, GET B1, RDG, VRD atd. se počítají podle známého vztahu [5]

$$d = \tau \frac{v}{2} \quad (1)$$

kde  $\tau$  je měřený časový interval a  $v$  střední rychlost šíření rádiových vln podél měřené délky.

Střední rychlost šíření vyjadřuje vzorec

$$v = \frac{c}{N} \quad (2)$$

kde  $c$  je rychlost šíření elektromagnetických vln ve vakuu ( $c = 299\,792,5$  km/s) a  $N$  index lomu ultrakrátkých vln.

Index lomu je funkcí střední teploty vzduchu  $t$  středního tlaku  $b$  a středního napětí vodních par  $e$

$$N = f(t, b, e) \quad (3)$$

V současné době se k výpočtu indexu lomu  $N$  používá vzorec doporučeného Mezinárodní geodetickou a geofyzikální unií na zasedání v r. 1963 v Berkeley.

$$(N - 1) \cdot 10^6 = \frac{103,49}{T} (b - e) + \frac{86,26}{T} \left( 1 + \frac{5748}{T} \right) e \quad (4)$$

V rovnici značí  $T$  absolutní teplotu vzduchu,  $e$  napětí vodních par v torrech a  $b$  střední tlak vzduchu v torrech.

Napětí vodních par  $e$  se vypočte z fyzikálního vzorce [2]

$$e = e' - A \cdot b (t - t') (1 + B \cdot t') \quad (5)$$

v němž značí  $t'$  teplotu naměřenou na vlhkém teploměru psychrometru,  $e'$  napětí nasycených vodních par při teplotě  $t'$  a  $A, B$  jsou empiricky určené konstanty. V současné době se nejčastěji používají konstanty [2]

$$\begin{aligned} A_V &= 0,000\,661, \\ A_L &= 0,000\,569, \\ B &= 0,001\,146. \end{aligned} \quad (6)$$

Konstanta  $A_V$  je určena pro vlhký teploměr, jehož nádobka se rtuť je obklopena vodou, a konstanta  $A_L$  pro vlhký teploměr s ledem.



K výpočtu napětí nasycených vodních par  $e'$  je možno použít např. empirického vztahu, který odvodil Magnus-Tetens [2],

$$\log e' = \frac{\alpha \cdot t'}{t' + \beta} + \gamma, \quad (7)$$

kde  $\alpha_V = 7,5$ ,  $\beta_V = 237,3$  pro vlhký teploměr s vodou nebo  $\alpha_L = 9,5$ ,  $\beta_L = 265,5$  pro vlhký teploměr s ledem. Konstanta  $\gamma = 0,6609$  platí pro obě skupenství vody u vlhkého teploměru.

K snadnějšímu výpočtu napětí nasycených vodních par  $e'$  slouží obvykle tabulky.

## 2. Základní postupy výpočtu opravy ze změny rychlosti šíření ultrakrátkých vln

K výpočtu fyzikální redukce měřených délek z vlivu meteorologických podmínek se v současné době používá několika postupů. Základní způsoby určení redukované délky je možno rozdělit do tří hlavních skupin:

- a) pomocí indexu lomu  $N$ ,
- b) pomocí rychlosti  $v$  šíření rádiových vln v daném prostředí,
- c) pomocí délkové korekce  $\Delta d$ .

a) Výpočet redukce ze změny rychlosti šíření rádiových vln pomocí indexu lomu  $N$  probíhá podle vztahu

$$d = \tau \frac{c}{2N}. \quad (8)$$

Index lomu vzduchu  $N$  se počítá pomocí různých tabulek a nomogramů. Často se k určení indexu lomu (4) používá zjednodušených vzorců, které vyhovují přesnosti měření délek různými typy rádiových dálkoměrů. Tak např. pomocné tabulky pro rádiové dálkoměry MRA 1, MRA 2, GET B1 atd. jsou vypočteny podle zjednodušeného vzorce [1], [4]

$$(N-1) \cdot 10^6 = \frac{103,46}{T} \left( b + \frac{4744}{T} e \right), \quad (9)$$

upraveného na tvar

$$(N-1) \cdot 10^6 = b \cdot 10^{-3} \cdot (2) + e \cdot (3), \quad (10)$$

kde

$$\begin{aligned} e &= e' - b \cdot 10^{-3} (t - t') \cdot (1), \\ (1) &= A \cdot 10^3 (1 + B \cdot t'), \\ (2) &= \frac{103\,460}{273 + t}, \\ (3) &= \frac{103,46}{273 + t} \frac{4\,744}{273 + t}. \end{aligned} \quad (11)$$

Tabulky, v nichž jsou sestaveny pomocné hodnoty symbolů (1), (2), (3), jsou uvedeny např. v publikacích [1], [4], [5].

Z nomogramů k určení indexu lomu jsou nejznámější průsečíkové nomogramy Höpckeho (např. [2], [4], [5]). Index lomu  $N$  je dán vztahem

$$(N-1) \cdot 10^6 = (N_0 - 1 + \Delta N) \cdot 10^6. \quad (12)$$

Hodnota  $(N_0 - 1) \cdot 10^6$  se vyhledá v nomogramu sestaveném podle rovnice

$$(N_0 - 1) \cdot 10^6 = \frac{78\,135}{T} + \left( \frac{495\,800}{T^2} - \frac{17,23}{T} \right) \left( e' - \frac{t-t'}{2} \right). \quad (13)$$

Korekční člen se vypočte z výrazu

$$\Delta N \cdot 10^6 = [\alpha - \beta (t-t')] (b - 755), \quad (14)$$

kde jsou střední hodnoty parametrů, platící vždy pro určitý rozsah teplot.

Některé další typy nomogramů pro určení indexu lomu  $N$  a úpravy výpočtu jsou uvedeny např. v publikacích [1], [2], [5]. Tyto nomogramy se vyznačují většinou menší přesností a slouží převážně ke kontrolním účelům.

b) Do druhé skupiny výpočtů fyzikální redukce řadíme způsoby, vycházející z určení rychlosti šíření rádiových vln. Opravená délka se počítá přímo podle vzorce (1).

Pomocné tabulky k určení rychlosti  $\frac{v}{2}$  sestavil např. Pisarenko [5], Schulz [5], Jiras [3].

Pisarenko uveřejnil tabulku hodnot  $\frac{v}{2}$  v časopise Geodezija i kartografija 1964, č. 7.

Rychlost se vypočte ze vztahu

$$\frac{v}{2} = \frac{c}{2N} = v_0 + \Delta v. \quad (15)$$

Základní rychlost  $v_0$  je tabulkována v m/s pro konstantní tlak  $b = 760$  torrů a různé teploty  $t, t'$ . Korekční člen  $\Delta v$  se určí z výrazu

$$\Delta v = k_v \cdot \Delta b, \quad (16)$$

kde  $\Delta b = 760$  torrů  $- b$  a přibližná hodnota koeficientu  $k_v$  se vyhledá v pomocné tabulce.

Podobným způsobem sestavil tabulky k určení rychlosti  $\frac{v}{2}$  Schulz. Odvození matematických vztahů je uveřejněno v časopise Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 1965, č. 4. Tabulky základní rychlosti  $v_0$  jsou sestaveny pro základní tlak  $b_0 = 750$  torrů.

Na principu Pisarenkových tabulek byly vypočteny pod vedením Jirase tabulky pro výpočet rychlosti  $\frac{v}{2}$  [3] pro teploty  $-30^\circ \text{C} \leq t, t' \leq +30^\circ \text{C}$  s krokem  $0,2^\circ \text{C}$ . Místo doplňkové tabulky koeficientů  $k_v$  k výpočtu tlakové korekce  $\Delta v$  je připojena pomocná plošná tabulka oprav k teplotě  $t$  a tlaku  $b$ . Rychlost  $\frac{v}{2}$  je možno určit na 7 platných cifer.

c) Autorem přímého výpočtu délkové korekce  $\Delta d$  je Milewski (Przeglad Geodezyjny 1965, č. 6). Oprava  $\Delta d$  je vyjádřena vztahem

$$\Delta d_{(\text{mm})} = -k \cdot d'_{(\text{km})}, \quad (17)$$

kde  $d'$  označuje vzdálenost vypočtenou z měřeného časového intervalu  $\tau$  a rychlosti šíření elektromagnetických vln  $c$

$$d' = \tau \frac{c}{2}. \quad (18)$$

Porovnáním rovnice (17) s rovnicí (8) zjistíme, že koeficient  $k$  je dán rovnicí

$$k = \frac{N-1}{N} \cdot 10^6. \quad (19)$$

Podobným způsobem, jakým je rozložena rychlost  $\frac{v}{2}$  v tabulkách Pisarenkových (15), rozděluje Milewski koeficient  $k$  na dvě části

$$k = k_1 + k_2 (b - 750 \text{ torrů}). \quad (20)$$

Koeficient  $k_1$  je tabulkován pro základní tlak vzduchu  $b_0 = 750$  torrů, různé teploty  $t$  a rozdíly teplot  $\Delta t = t - t'$ . Druhý koeficient  $k_2$ , sloužící k výpočtu opravného členu z tlaku vzduchu je sestaven v tabulce opět k argumentům  $t$  a  $\Delta t$ .

Výpočet délkové korekce  $\Delta d$  je možno zjednodušit zavedením standardního indexu lomu  $N_0 = 1,000\,320$ , který odpovídá poloviční hodnotě rychlosti šíření elektromagnetických vln

$\frac{v_0}{2} = 149\,848\,299 \text{ m/s}$ . Pak výsledná délka  $d$  je dána vztahem

$$d = d_0 + \Delta d, \quad (21)$$

kde 
$$d_0 = \tau \frac{c}{2N_0}, \quad (22)$$

a 
$$\Delta d_{(\text{mm})} = -k' \cdot d_0 (\text{km}). \quad (23)$$

Koeficient  $k'$  vyjadřuje rovnice

$$k' = \frac{N - N_0}{N \cdot N_0} 10^6, \quad (24)$$

kde  $N$  je skutečná hodnota indexu lomu.

Zavedením standardního indexu lomu  $N_0$  dosahuje prakticky koeficient  $k'$  hodnot, které jsou o jeden řád nižší než koeficient  $k$  (19) u odvození Milewského. Tím se nejen zmenší rozsah výpočtu korekce, ale umožní se také přesné určení délkové korekce grafickým způsobem pomocí nomogramů.

Koeficient  $k'$  (24) se vypočte stejně jako koeficient  $k$  (20) podle rovnice

$$k' = k'_1 + k'_2 (b - 750 \text{ torr}). \quad (25)$$

Pomocné koeficienty  $k'_1, k'_2$  jsou sestaveny v plošných tabulkách k argumentům  $t$  a  $\Delta t = t - t'$  [6]. Tabulky jsou vypočteny pro konstanty  $A_V, A_L, B$ , uvedené v rovnicích (6).

### 3. Určení délkové korekce bez použití počítačového stroje

Přímý výpočet délkové korekce  $\Delta d$  bez použití počítačového stroje vychází z rovnic (17), (18) a (19). Šikmá vzdálenost  $d$ , odpovídající střední rychlosti šíření ultrakrátkých vln podél dráhy měření, je dána vzorcem

$$d = \frac{d'}{N}, \quad (26)$$

kde  $d'$  je délka vypočtená z měřeného časového intervalu  $\tau$  a rychlosti šíření elektromagnetických vln ve vakuu  $c$  (18). Vzorec upravíme na tvar (18), (21), (22)

$$d = \tau \frac{c}{2N_0} - \left( \frac{N-1}{N} - \frac{N_0-1}{N_0} \right) d'. \quad (27)$$

Pro standardní index lomu  $N_0 = 1,000\,320$  je člen  $\frac{N_0-1}{N_0} = 319,8976$ . Rovnice (27) je shodná s rovnicí (21). První člen na pravé straně vyjadřuje šikmou délku  $d_0$  pro index lomu  $N_0$  a druhý člen délkovou korekci  $\Delta d$ . Při praktickém výpočtu korekce nahrazujeme vzdálenost  $d'$  délkou  $d_0$  a index lomu  $N$  ve jmenovateli výrazu  $\frac{N-1}{N}$  standardním indexem lomu  $N_0$ . Chyby, které tímto způsobem vznikají, jsou velmi malé, řádově menší než střední chyby používaných rádiových dálkoměrů. I při značně extrémních hodnotách indexu lomu  $N$ , kdy např. rozdíl  $|N - N_0|$  dosahuje 0,0001, nepřesáhne chyba délky dlouhé 50 km hodnotu  $\pm 2$  mm.

Délku  $d_0$  ( $\equiv \tau \frac{c}{2N_0} = \tau \frac{v_0}{2}$ ) vypočteme pomocí tabulky pro trojčíferné argumenty  $\tau_1$ . Střednímu indexu lomu  $N_0 = 1,000\,320$  odpovídá rychlost  $\frac{v_0}{2} = 149\,848\,299$  m/s.

Postup je zřejmý z příkladů. Měřený časový interval  $\tau$  rozdělíme obvykle na dvě až tři skupiny po třech číslicích a ke každé skupině vyhledáme v tabulkách příslušnou délku. Sečtením dvou až tří vyhledaných délek dostáváme vzdálenost  $d_0$ .

#### Příklady

a)  $\tau = 0,0000\,370\,285$  s:

$\tau_1$ (0,0000 370):	5 544,387 m
$\tau_2$ (0,0000 000 285):	4,271 m
	<u><u><math>d_0 = 5\,548,658</math> m</u></u>

b)  $\tau = 0,0002\,451\,580$  s:

$\tau_0$ (0,0002):	29 969,660 m
$\tau_1$ (0,0000 451):	6 758,158 m
$\tau_2$ (0,0000 000 580):	8,691 m
	<u><u><math>d_0 = 36\,736,509</math> m</u></u>



$$\text{Délkovou korekci} \quad \Delta d_{(\text{cm})} = -k \cdot d_{(\text{km})} \quad (28)$$

určíme pomocí dvou spojnicových nomogramů. První nomogram slouží k vyhledání koeficientu  $k$ , který je dán součtem

$$k = k + k_0 \quad (29)$$

První člen  $k_0$  je funkcí teploty  $t$  a tlaku  $b$

$$k_0 = \frac{103,49}{273,16 + t} \frac{b}{N_0} - 319,8976 \quad (30)$$

Druhý člen  $k_0$  vyjadřuje vztah

$$k_0 = \frac{e}{N_0} - \frac{17,23}{273,16 + t} + \frac{495\,822}{(273,16 + t)^2} \quad (31)$$

Na nomogramu je uvedena také další stupnice  $k_0$ , která platí pro index lomu  $N_0 = 1$  (27). Druhá stupnice je posunuta o  $+319,8976$  (30) vzhledem k stupnici původní. Této stupnice je možno využít pro určení délkové korekce, počítáme-li šikmou délkou  $d'$  jen pomocí rychlosti šíření elektromagnetických vln ve vakuu  $c$  (18).

Výslednou délkovou korekci  $\Delta d$  určíme pomocí druhého nomogramu, který je sestrojen podle rovnice (28). Způsob výpočtu délkové korekce je zřejmý z příkladů.

(Pozn. red.: Tabulka k výpočtu délek  $d_0$  a oba nomogramy jsou uvedeny v příloze k tomuto výtisku.)

Příklady:

a)  $t = 7,4^\circ \text{C}$ ,  $t' = 5,6^\circ \text{C}$ ,  $b = 710,5$  torrů;    b)  $t = 22,8^\circ \text{C}$ ,  $t' = 18,6^\circ \text{C}$ ,  $b = 742,4$  torrů;

$$\Delta t = 1,8^\circ \text{C}, \quad k_b = -57,9,$$

$$k_c = +37,2;$$

$$k = -20,7$$

$$d_0 = 5\,548,658 \text{ m},$$

$$\Delta d = +0,115 \text{ m};$$

$$d = 5\,548,773 \text{ m}$$

$$\Delta t = 4,2^\circ \text{C}, \quad k_b = -60,4,$$

$$k_c = +78,2;$$

$$k = +17,8$$

$$d_0 = 36\,736,509 \text{ m},$$

$$\Delta d_1 = -0,534 \text{ m (pro 30 km),}$$

$$\Delta d_2 = -0,120 \text{ m (pro 6,737 km);}$$

$$d = 36\,735,855 \text{ m}$$

Jak dokazují příklady, je výpočet redukované délky snadný a rychlý a nevyžaduje počítačového stroje. Uvedené úpravy je výhodné použít v polních podmínkách, nebo jako nezávislé kontroly správného výpočtu délky, redukované jiným způsobem.

Přesnost výpočtu šikmých délek  $d$ . Chyby ve výpočtu šikmých délek  $d$  podle předložených tabulek a nomogramů jsou tvořeny chybami ze zaokrouhlování tabulkovaných hodnot, z přibližného tvaru použitého výpočetního vzorce a grafickou nepřesností nomogramů.

Ke stanovení přesnosti výpočtu redukované délky vyjdeme ze vztahu (27)

$$d = d_0 - k \cdot d' \quad (32)$$

kde

$$k = \frac{N-1}{N} - 319,8976 \quad (33)$$

Diferencováním rovnice (32) dostáváme podle zákona hromadění skutečných chyb

$$\delta d = \delta d_0 - d_0 \delta k - k \delta d' + \delta d_k \quad (34)$$

kde  $\delta d$  je chyba redukované délky  $d$ ,  $\delta d_0$  chyba v určení délky  $d_0$ ,  $\delta k$  chyba v určení koeficientu  $k$ ,  $\delta d'$  chyba způsobená nahrazením délek  $d'$  délkou  $d_0$  ve vzorci (27) a  $\delta d_k$  chyba v určení délkové korekce  $\Delta d$  na druhém spojnicovém nomogramu.

Celková střední chyba  $m_d$  redukované délky je vyjádřena vztahem (34)

$$m_d^2 = m_{d_0}^2 + m_k^2 d_0^2 + m_{d'}^2 k^2 + m_{d_k}^2 \quad (35)$$

kde střední chyby  $m_{d_0}$ ,  $m_k$ ,  $m_{d'}$ ,  $m_{d_k}$  odpovídají skutečným chybám  $\delta d_0$ ,  $\delta k$ ,  $\delta d'$ ,  $\delta d_k$ .

Velikost maximální chyby  $\delta d_{\max}$  a střední chyby  $m_d$  můžeme přibližně určit odhadem velikostí jednotlivých dílčích chyb ve vzorcích (34) a (35).

Maximální chyba  $\delta d_0$  délky  $d_0$ , určené pomocí tabulek, dosahuje  $\pm 2$  mm. Odpovídající střední chyba  $m_{d_0} \approx \pm 0,7$  mm.

Chybu  $\delta k$  v určení koeficientu  $k$  vypočteme z rovnice (29)

$$\delta k = \delta k_N + \delta k_b + \delta k_e \quad (36)$$

kde

$$\delta k_N = - \frac{N-1}{N^2} \delta N \quad (37)$$

a  $\delta k_b$ ,  $\delta k_e$  jsou chyby v určení pomocných koeficientů  $k_b$ ,  $k_e$  na prvním spojnicovém nomogramu (29). Chyba  $\delta N$  je způsobena nahrazením indexu lomu  $N$  standardním indexem lomu  $N_0$  ve jmenovateli rovnice (33)  $\left(\frac{N-1}{N} \approx \frac{N-1}{N_0}\right)$ . Důvodem této přibližné úpravy je zjednodušení konstrukce nomogramu pro určení koeficientu  $k$ . Prakticky chyba  $\delta N$  nepřesahuje hodnotu asi  $\pm 0,0001$ , takže chybu  $\delta k_N$  můžeme vyjádřit vztahem  $|\delta k_N| \leq 4 \cdot 10^{-8}$ . Skutečné chyby v určení pomocných koeficientů  $k_b$ ,  $k_e$  nepřesahují hodnoty  $|\delta k_b| \leq 1,5 \cdot 10^{-7}$ ,  $|\delta k_e| \leq 4 \cdot 10^{-7}$ .

Maximální chybu  $\delta k$  charakterizuje přibližně hodnota  $\pm 6 \cdot 10^{-7}$ .

Střední chyba  $m_k$  je podle rovnice (36) dána rovnicí

$$m_k^2 = m_{k_N}^2 + m_{k_b}^2 + m_{k_e}^2 \quad (38)$$

Protože střední chyby na pravé straně rovnice dosahují přibližně hodnot  $m_{k_N} \approx \pm 3 \cdot 10^{-8}$ ,  $m_{k_b} \approx \pm 1 \cdot 10^{-7}$ ,  $m_{k_e} \approx \pm 3 \cdot 10^{-7}$ , je střední chyba  $m_k \approx \pm \sqrt{10} \cdot 10^{-7}$ .

Skutečná chyba  $\delta d'$  má stejně jako chyba  $\delta k_N$  systematický charakter. Její velikost odvodíme z rovnice (27)

$$\delta d' = d' - d_0 = d_0 (N_0 - 1) \quad (39)$$

Pro standardní index lomu  $N_0$  je  $\delta d' = + 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot d_0$ .

Zbývající skutečná chyba  $\delta d_k$  v rovnici (34) charakterizuje přesnost určení délkové korekce  $\Delta d$  z druhého spojnicového nomogramu. Velikost chyby  $\delta d_k$  nepřesáhne  $\pm 2$  mm. Odpovídající střední chyba  $m_{d_k}^2$  je přibližně  $\pm 1,5$  mm.

Ze stručného rozboru chyb můžeme stanovit celkovou maximální a střední chybu vypočtené redukované vzdálenosti  $d$ . Z teoretických vztahů (34), (35) a odhadnutých dílčích chyb je celková skutečná chyba  $\delta d$  a celková střední chyba  $m_d$  vyjádřena přibližnými výrazy

$$\begin{aligned} |\delta d| &\leq 4 \text{ mm} + 6 \cdot 10^{-7} d \quad , \\ m_d &\approx \sqrt{2,7 \text{ mm}^2 + d^2 \cdot 10^{-13}} \quad . \end{aligned} \quad (40)$$

Příklady o velikosti obou druhů chyb, charakterizujících přesnost šikmých vzdáleností  $d$ , které jsou redukovány pomocí přímého určení délkové korekce bez použití počítačového stroje, poskytuje tabulka pro různé vzdálenosti  $d$ .

Tabulka maximálních chyb  $\delta d_{\max}$  a středních chyb  $m_d$ .

$d_{(\text{km})}$	1	2	3	5	10	15	20	30	40	50
$\delta d_{\max}$ (mm)	5	5	6	7	10	13	16	22	28	34
$m_d$ (mm)	1,7	1,8	1,9	2,3	3,6	5	7	10	13	16

Z tabulky je zřejmé, že přesnost určení šikmých délek  $d$ , redukovanych pomocí tabulky pro výpočet délek  $d_0$  a nomogramů pro výpočet délkových korekcí  $\Delta d$ , je vyšší než přesnost rádiových dálkoměrů typu teluometru.

#### 4. Závěr

V odborné literatuře byla publikována řada různých úprav výpočtu fyzikální redukce z rychlosti šíření ultrakrátkých vln pro rádiové dálkoměry typu teluometru. Pokud se týká výběru vhodného postupu výpočtu, je v posledních letech zřetelná tendence neurčovat nejdříve index lomu vzduchu  $N$  a z něho redukovat délku, ale přímo počítat buď střední rychlost šíření rádiových vln  $\frac{v}{2}$  nebo délkovou korekci  $\Delta d$ . Při výběru vhodného výpočetního postupu hraje důležitou úlohu především jednoduchost, rychlost výpočtu a přesnost fyzikální redukce.

Vhodné tabulky a nomogramy k určení redukované délky jsou dodávány výrobcem společně se soupravami rádiových dálkoměrů. V praxi je dosud dávana přednost různým pomocným tabulkám, protože většina nomogramů neumožňuje určení uvedené fyzikální redukce s potřebnou přesností. Nomogramy slouží obvykle ke kontrole správného výpočtu. Odvozená úprava výpočtu redukované délky bez použití počítačového stroje umožňuje však (zavedením standardního indexu lomu  $N_0 = 1,000\ 320$ ) dosažení potřebné vysoké přesnosti fyzikální redukce. K výpočtu slouží pomocné tabulky pro určení délky  $d_0$  a dva nomogramy pro určení délkové korekce  $\Delta d$ .

#### Literatura:

- [1] DeLong B.: Technologie zaměřování vřícovacích bodů THM rádiovými dálkoměry. Praha 1966.
- [2] Jordan, Eggert, Kneissl: Handbuch der Vermessungskunde, VI. díl. Stuttgart 1966.
- [3] Tabulky pro výpočet vzdáleností měřené rádiovým dálkoměrem. 1966.
- [4] Martinák V.: Instrukce pro obsluhu rádiového dálkoměru GET B1. Praha 1964.
- [5] Nevosád Z.: Rádiové a světelné dálkoměry. Brno 1968.
- [6] Nevosád Z.: Tabulky a nomogramy k redukci délek měřených rádiovými dálkoměry. Brno 1968.

Došlo dne 4. 2. 1969

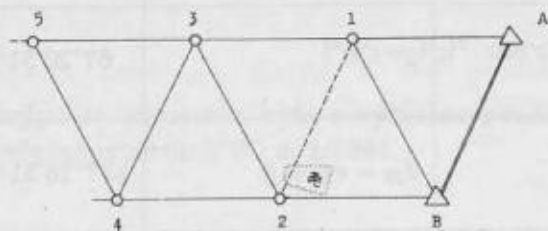


## O vhodném použití gyroteodolitu v trilaterálním řetězci rozvinovaném pro geodetické zabezpečení.

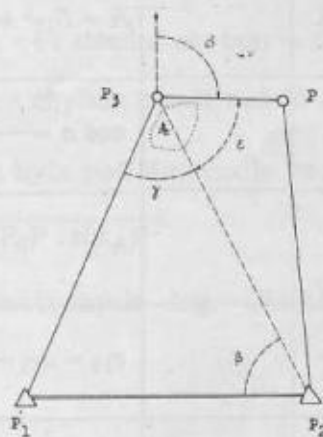
### 1. ÚVOD

Pro účely geodetického zabezpečení se zaměřují často trilaterální řetězce o dlouhých stranách. Předností této metody při použití rádiových dálkoměrů je možnost měření za libovolných meteorologických podmínek, v mlze, dešti apod. Nedostatkem metody je ta okolnost, že projekt řetězce klade poměrně značné nároky na konfiguraci terénu. Upřesnění projektu v terénu při průzkumu většinou není možné pro nedostatek času. Tak se v praxi stává, že na předpokládaných vrcholech lze sice navázat vzájemné telefonní spojení pomocí rádiových dálkoměrů, ale intenzita signálu je příliš slabá a nedostačuje k tomu, aby vzdálenost mohla být bezpečně zaměřena. Značné zeslabení signálu bývá způsobeno tím, že visura místy probíhá těsně nad zemí nebo ve visuře jsou menší překážky, které při projektování řetězce na mapě nebylo možno zjistit.

Náš článek je věnován řešení případu, který nastal v minulém roce a v různých obměnách se vyskytuje častěji. Pro zaměření řetězce (obr. 1), o vrcholech  $A, B, 1-5$ , bylo měřické oddělení rozděleno na 2 části: první část měla podle projektu zaměřit strany  $A1, B1, B2, 12, 13$  (výchozí vrcholy  $A, B$  byly trigonometrickými body). Druhá část vycházela z vrcholů 2, 3 a měla zaměřit další strany řetězce. Vrcholy 2 a 3 byly součástí řetězce a jejich souřadnice měly být určeny teprve v průběhu měření. Zaměření stran řetězce probíhalo podle projektu, s výjimkou strany 12. V blízkosti vrcholu 2 se totiž nacházel les, který znemožnil přímé zaměření vzdálenosti 12. Projekt sítě nedovoloval dodatečně změnit polohu vrcholu 2, poněvadž ostatní visury procházející bodem 2 byly již zaměřeny a stanice rádiových dálkoměrů se přesunovaly na další vrcholy.



Obr. 1



Obr. 2

### 2. Protínání vpřed ze dvou délek.

Uvedený praktický příklad jsme zobecnili na úlohu protínání vpřed ze dvou délek (obr. 2), z nichž však jednu délku ( $P_2P_3$ ) nelze přímo zaměřit. V řešení navrhuje nepřímé určení hledané vzdálenosti z pomocného trojúhelníka  $P_2PP_3$ , v němž se zaměří kratší strana  $P_3P$  jako „nepřipojený“ rajón (souřadnice výchozího bodu  $P_3$  nejsou známy). Směrník rajónu se určí gyroteodolitem, délka paralaktickou latí nebo rádiovým dálkoměrem. Delší strana  $P_2P$  se zaměří rádiovým dálkoměrem. Vzhledem k tomu, že předpokládáme trilaterální trojúhelník  $P_1P_2P_3$  o dlouhých stranách (15–40 km) nelze v podmínkách běžné viditelnosti zaměřit žádný úhel ani v pomocném trojúhelníku  $P_2PP_3$ .

Tabulka 1

Výchozí aproximace.

- $\sigma = 122^{\circ}00'00''$  (určeno gyroteodolitem)
- $\varepsilon^{(o)} = 38^{\circ}$  (určeno z rozdílu směrníků  $\sigma P_3P_2 = 160^{\circ}$  odměřeného z mapy a směrníku  $\sigma$ )
- $P_3P = 1000,00$  m
- $PP_2 = 24\,000,00$  m
- $P_2P_3^{(o)} = 1000,00 \cdot \cos 38^{\circ} + \sqrt{24\,000,00^2 - (1000,00 \cdot \sin 38^{\circ})^2} = 24\,780,11$  m

Protínání z délek

		Bod č.	X	Y	
		1			
		2			
		$\Delta = 2 - 1$	$\Delta x =$	$\Delta y =$	
$\operatorname{tg} \sigma_{12} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$		$S_{13}$	23 000,00	$S_{23}$	24 780,11
$\sigma_{12}$	$90^{\circ}00'00''$	$B = 2 S_{12} S_{13}$		$D = 2 S_{32} S_{23}$	594 722 640
$\sigma_{21} = \sigma_{12} + 2R$		$A = S_{12}^2 + S_{13}^2 - S_{23}^2$		$C = S_{12}^2 + S_{23}^2 - S_{13}^2$	229 053 852
$\sin \sigma_{12}$		$\cos \alpha = \frac{A}{B}$		$\cos \beta = \frac{C}{D}$	0,385 144
$\cos \sigma_{12}$		$\alpha$		$\beta$	$67^{\circ}20'51''$
$S_{12} = \frac{\Delta x}{\cos \sigma_{12}}$		$\sigma_{13} = \sigma_{12} - \alpha$		$\sigma_{23} = \sigma_{21} + \beta$	$247^{\circ}20'51''$
$S_{12} = \frac{\Delta y}{\sin \sigma_{12}}$	12 000,00	$\sin \sigma_{13}$		$\sin \sigma_{23}$	
$2 S_{12}$	24 000,00	$\cos \sigma_{13}$		$\cos \sigma_{23}$	
$X_3$		$X_3 = X_1 + S_{13} \cdot \cos \sigma_{13}$		$X_3 = X_2 + S_{23} \cdot \cos \sigma_{23}$	
$Y_3$		$Y_3 = Y_1 + S_{13} \cdot \sin \sigma_{13}$		$Y_3 = Y_2 + S_{23} \cdot \sin \sigma_{23}$	

Postup při výpočtu protínání z délek spočívá v tom, že je nutno nejdříve určit stranu  $P_2P_3$ . K tomu účelu se iteračním procesem určuje úhel  $\varepsilon$ , nutný k redukci délkově zaměřených stran  $P_3P$  a  $P_2P$  na přímou spojnicí  $P_2P_3$ .

Pro výchozí aproximaci se provede redukce na přímou spojnicí pomocí přibližného úhlu  $\varepsilon^{(0)}$ , který lze určit předem s chybou menší než  $10^\circ$ , jak bude vysvětleno v odstavci 3. S takto určenou stranou  $P_2P_3^{(0)}$  (výchozí aproximace) se provede částečný výpočet protínání vpřed z délek  $P_1P_3$  a  $P_2P_3^{(0)}$ . „Částečný“ výpočet spočívá v tom, že se provedou jen operace nutné pro stanovení úhlu  $\beta$  v dané aproximaci (viz tabulka 1, která obsahuje standardní zápisník pro výpočet protínání z délek). Z rozdílů směrniců se vypočítá první aproximace úhlu  $\varepsilon$  podle vztahu

$$\varepsilon^{(1)} = \sigma_{32}^{(0)} - \sigma$$

kde  $\sigma_{32}^{(0)} = \sigma_{23}^{(0)} \pm 180^\circ$  určeno výpočtem v tab. 1)

$\sigma$  = směrniců rajónu  $P_3P$  určený gyroteodolitem.

Po několika málo aproximacích lze najít úhel  $\varepsilon$  z dostatečnou přesností pro redukci stran pomocného trojúhelníka na přímou spojnicí. Pro naše účely není nutno ve výpočtu pokračovat dále, jakmile úhel  $\beta$  se neliší od předcházející aproximace o více než  $1''$ .

Praktický příklad pro výpočet strany  $P_2P_3$  je uveden v tab. 1 (ve standardním zápisníku „Protínání z délek“ je uvedena výchozí aproximace) a v tab. 2 jsou uvedeny druhá a další aproximace.

Pro řešení bylo zadáno:

$P_1, P_2$  . . . výchozí body v souřadnicích  $X, Y$ ;

$P_1P_3, P_2P$  vzdálenosti, zaměřené rádiovým dálkoměrem

$P_3P$  . . . . . délka rajónu, zaměřená rádiovým dálkoměrem

$\sigma$  . . . . . směrniců rajónu, zaměřený gyroteodolitem s střední chybou  $\pm 20''$

$\varepsilon$  . . . . . vrcholový úhel určený graficky na mapě s chybou menší než  $10^\circ$ .

Redukce stran pomocného trojúhelníka na přímou spojnicí byla počítána podle vzorce

$$P_2P_3 = P_3P \cdot \cos \varepsilon + \sqrt{(P_2P)^2 - (P_3P \cdot \sin \varepsilon)^2} \quad (1)$$

Pro výpočet odmocnin bylo s výhodou použito tabulek sestavených ing. Cimbálníkem CSc a uveřejněných ve VTO č. 1/1964.

Tabulka 2

1, aproximace

$$\varepsilon^{(1)} = 157^\circ 20' 51'' - 122^\circ 00' 00'' =$$

$$P_2P_3^{(1)} = 1000,00 \cdot \cos 35^\circ 20' 51'' + 24\,000,00 - (1000,00 \cdot \sin 35^\circ 20' 51'' = 24\,808,68 \text{ m}$$

$S_{23}$	24 808,68
$D = 2 S_{12} \cdot S_{23}$	595 408 320
$C = S_{12}^2 + S_{23}^2 - S_{13}^2$	230 470 603
$\cos \beta = \frac{C}{D}$	0,387 080
$\beta$	$67^\circ 13' 37''$



## 2. aproximace

$$\varepsilon^{(2)} = 157^\circ 13' 37'' - 122^\circ 00' 00'' = 35^\circ 13' 37''$$

$$P_2P_3^{(2)} = 1000,00 \cdot \cos 35^\circ 13' 37'' + 24\,000,00^2 - (1000,00 \cdot \sin 35^\circ 13' 37'' = 24\,809,89$$

$S_{23}$	24 809,89
$D = 2 S_{12} \cdot S_{23}$	595 437 360
$C = S_{12}^2 + S_{23}^2 - S_{13}^2$	230 530 642
$\cos \beta = \frac{C}{D}$	0,387 162
$\beta$	67°13'19"

## 3. aproximace

$$\varepsilon^{(3)} = 157^\circ 13' 19'' - 122^\circ 00' 00'' = 35^\circ 13' 19''$$

$$P_2P_3^{(3)} = 1000,00 \cdot \cos 35^\circ 13' 19'' + 24\,000,00^2 - (1000,00 \cdot \sin 35^\circ 13' 19'' = 24\,809,99$$

$S_{23}$	24 809,99
$D = 2 S_{12} \cdot S_{23}$	595 439 760
$C = S_{12}^2 + S_{23}^2 - S_{13}^2$	230 530 642
$\cos \beta = \frac{C}{D}$	0,387 169
$\beta$	67°13'17"

## 4. aproximace (počítána jen pro kontrolu)

$$\varepsilon^{(4)} = 157^\circ 13' 17'' - 122^\circ 00' 00'' = 35^\circ 13' 17''$$

$$P_2P_3 = 24\,809,99 \text{ (výsledná hodnota)}$$

## 3. Konvergence iteračního procesu.

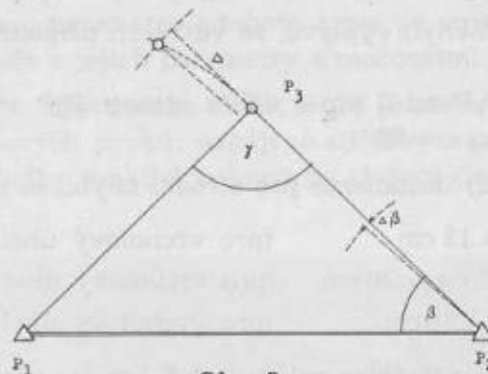
Iterační proces, při němž se určuje úhel  $\beta$  (a tím také úhel  $\varepsilon$ ), bude konvergovat, budou-li splněny některé podmínky. Aniz bychom zjišťovali limitní hodnoty, při nichž řešení ještě konverguje, uvedeme pro praktickou potřebu podmínky, jimž má vyhovovat trilaterální trojúhelník  $P_1P_2P_3$  i pomocný trojúhelník  $P_2P_3$ . Podle zkoušek bude iterační proces dobře konvergovat za podmínek, jestliže:

- úhel protínání  $\gamma$  ( $\sphericalangle P_1P_3P_2$ ) je větší než  $25^\circ$ ;
- úhel  $\varepsilon$  v pomocném trojúhelníku je menší než  $90^\circ$ ;
- délka „nepřipojeného“ rajónu  $P_3P$  je menší než  $1/10$  nepřímou určované vzdálenosti  $P_2P_3$ ;
- jestliže vzdálenosti  $P_1P_3$  a  $P_2P_3$  jsou přibližně stejně dlouhé. Délka delší z nich nepřevyšuje dvojnásobnou délku kratší strany.

Rychlá konvergence řešení je dána tím, že úhel  $\beta$  za těchto podmínek se přiblíží značně již v první aproximaci své konečné hodnotě. Pro názornost ukážeme příklad, kdy úhel protínání  $\gamma$  se blíží  $90^\circ$ . V tomto případě (obr. 3) chyba  $\Delta$  ve straně  $P_2P_3$  minimálně ovlivní výpočet úhlu  $\beta$ , jehož chyba  $\Delta \beta$  bude zanedbatelná.

Počet aproximací bude malý (1–2), jestliže úhel protínání  $\gamma$  se blíží  $90^\circ$  a jestliže délka rajónu bude relativně krátká vůči straně  $P_2P_3$ .

Počet aproximací lze snížit tím, že výchozí hodnotu úhlu  $\varepsilon$  zvolíme poměrně přesně. V odst. 2 jsme uvedli, že výchozí aproximaci úhlu  $\varepsilon$  předpokládáme určit s chybou menší než  $10^\circ$ . Tato hodnota se opírá o přesnost ( $\pm 10^\circ$ ), s jakou lze nasměrovat anténu rádiového dálkoměru na odrazovou stanici i při slabém příjmu.



Obr. 3

Úhel  $\varepsilon$  potom určíme z rozdílu směru daného orientovanou anténou rádiového dálkoměru a směru „nepřipojeného“ rajónu.

Ve většině případů lze však výchozí aproximaci úhlu  $\varepsilon$  zvolit s chybou okolo  $\pm 1^\circ$  až  $\pm 2^\circ$  tím, že přibližný směrnik strany  $P_3P_2$  určíme z mapy (z projektu řetězce). Směrnik rajónu  $P_3P$  určíme dnešními gyroteodolity minimálně s přesností  $\pm 20'$ . Úhel  $\varepsilon$  určíme z rozdílu obou směrniků.

#### 4. Střední chyba hledané strany.

Při redukci stran pomocného trojúhelníka  $P_3P$  a  $P_2P$  na přímou spojnici dochází k hromadění chyb. Je třeba vyšetřit střední chybu určované přímé spojnice. Jako kritérium v uvažovaném trilaterálním řetězci jsme stanovili, že relativní střední chyba  $m$  strany  $P_2P_3$  nemá být větší než  $1 : 100\,000$ .

Vliv chyb úhlu  $\varepsilon$  a měřených délek  $P_3P$  a  $P_2P$  na výslednou délku  $P_2P_3$  odvodíme z totálního diferenciálu vztahu (1). Před diferencováním jsme v tomto vzorci pro zjednodušení dalších výpočtů upravili výraz  $\sqrt{(P_2P)^2 - (P_3P \cdot \sin \varepsilon)^2}$  tak, že byl rozveden v řadu, z níž jsme ponechali jen první dva členy  $(P_2P) \left[ 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{(P_3P \cdot \sin \varepsilon)^2}{(P_2P)^2} + \dots \right]$ . Přechem ke středním chybám jsme dostali vztah

$$m^2 = (m')^2 \left[ \cos \varepsilon - \frac{P_3P}{P_2P} \sin^2 \varepsilon \right]^2 + (m'')^2 \left[ 1 + \frac{(P_3P)^2}{2(P_2P)^2} \sin^2 \varepsilon \right] + m\varepsilon^2 \left[ P_3P \cdot \sin \varepsilon + \frac{(P_3P)^2}{2P_2P} \cdot \sin 2\varepsilon \right]^2, \quad (2)$$

kde  $m$  . . . . . střední chyba určované vzdálenosti  $P_2P_3$ ,  
 $m'$  . . . . . střední chyba měřené vzdálenosti  $P_2P$ ,  
 $m''$  . . . . . střední chyba měřené vzdálenosti  $P_3P$ ,  
 $m\varepsilon$  . . . . . střední chyba vrcholového úhlu  $\varepsilon$ .

Abychom si udělali představu o dopustné velikosti chyb v určovaných délkách, provedeme několik výpočtů pro průměrnou délku strany  $P_2P_3$  asi 20 km.

a) pro délku rajónu  $P_3P$  1 km a délku strany  $P_2P$  asi 20 km platí tyto střední chyby:

$m' = \pm 11$  cm; vzdálenost  $P_2P$  měří se rádiovým dálkoměrem GET-B1 se střední chybou

$m' = \pm (5 \text{ cm} + 3.10^{-6}D)$ .

$m'' = \pm 5$  cm; délka rajónu byla měřena rádiovým dálkoměrem GET-B1.

$m\varepsilon = \pm 20''$ ; směrnik rajónu byl určen gyroteodolitem Gi-B1.

Po dosazení těchto hodnot do vztahu (2) dostaneme pro střední chybu  $m$  tyto výsledky:

$$m = \sqrt{5^2 + 11^2} \text{ cm} = \pm 12 \text{ cm} \quad (\text{pro vrcholový úhel } \varepsilon = 0^\circ);$$

$$m = \sqrt{2^2 + 11^2 + 7^2} \text{ cm} = \pm 13 \text{ cm} \quad (\text{pro vrcholový úhel } \varepsilon = 45^\circ);$$

$$m = \sqrt{11^2 + 10^2} \text{ cm} = \pm 15 \text{ cm} \quad (\text{pro vrcholový úhel } \varepsilon = 90^\circ).$$

Z uvedených středních chyb vyplývá, že ve všech případech jsou její hodnoty nižší než je dostupná mez  $\pm 20$  cm.

b) pro délku rajónu  $P_3P$  asi 2 km a délku strany  $P_2P$  asi 20 km platí střední chyby  $m'' = \pm 6$  cm,  $m' = \pm 11$  cm,  $m_\varepsilon = \pm 20'$ .

Losazením do vzorce (2) dostaneme pro střední chybu  $m$  tyto hodnoty:

$$m = \sqrt{6^2 + 11^2} \text{ cm} = \pm 13 \text{ cm} \quad (\text{pro vrcholový úhel } \varepsilon = 0^\circ);$$

$$m = \sqrt{3^2 + 11^2 + 17^2} \text{ cm} = \pm 20 \text{ cm} \quad (\text{pro vrcholový úhel } \varepsilon = 60^\circ);$$

$$m = \sqrt{11^2 + 20^2} \text{ cm} = \pm 23 \text{ cm} \quad (\text{pro vrcholový úhel } \varepsilon = 90^\circ).$$

Z výsledků vyplývá, že při délce rajónu asi 2 km lze danou metodu vzhledem k přesnosti použít jen tehdy, jestliže vrcholový úhel  $\varepsilon$  je menší než  $60^\circ$ .

c) Vzhledem k materiálnímu zabezpečení nebude obvykle možné zaměřit délku rajónu  $P_3P$  pomocí rádiového dálkoměru, poněvadž druhá stanice nebude k dispozici. Vzdálenost  $P_3P$  bude nutno zaměřit paralaktickou latí. Předpokládáme, že z technického hlediska by délka rajónu neměla přesáhnout 500–600 m. Provedeme znovu rozbor přesnosti pro stranu  $P_2P_3$  o průměrné délce 20 km s dopustnou chybou  $m = \pm 20$  cm. Strana  $P_2P$  (asi 20 km) je zaměřena rádiovým dálkoměrem GET-B1 se střední chybou  $m = \pm 11$  cm, rajón  $P_3P$  o délce 600 m paralaktickou latí a gyroteodolitem Gi-B1. Po dosazení středních chyb  $m$ ,  $m'$ ,  $m_\varepsilon$  do vzorce (2) můžeme určit dopustnou střední chybu  $m''$ , s níž je třeba zaměřit délku rajónu  $P_3P$  (600 m).

Vypočítané střední chyby  $m''$  jsou uvedeny v tabulce pro některé hodnoty vrcholového úhlu  $\varepsilon$ :

$\varepsilon$	$0^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$
$m''$	$\pm 17$	$\pm 19$	$\pm 24$	$\pm 33$	$\pm 560$ cm

Pro posouzení, zda délku 600 m lze změřit s uvedenou střední chybou, vyjdeme z předpokladu, že střední chyba při měření paralaktickou latí se rovná  $\pm 5$  cm (pro úsek 100 m),  $\pm 11$  cm (pro úsek 150 m) a  $\pm 20$  cm (pro úsek 200 m).

Volbou vhodné délky úseku lze délku rajónu 600 m ve všech případech bezpečně zaměřit s dopustnou střední chybou.

Např. pro  $\varepsilon = 45^\circ$  můžeme změřit délku ve 4 úsecích po 150 m se střední chybou  $m'' = \pm 11 \cdot \sqrt{4} \text{ cm} = \pm 22 \text{ cm}$ .

Při rozboru přesnosti není uvažováno se systematickými chybami, zejména při měření vzdálenosti rádiovým dálkoměrem. Systematické chyby mohou totiž podstatně ovlivnit přesnost trilaterálního řetězce i v tom případě, že všechny vzdálenosti byly měřeny přímo. Řešení tohoto problému není předmětem našeho článku.

## 5. Závěr

V článku byl navržen jeden způsob pro určení a výpočet excentricky měřených vzdáleností, které se vyskytují při zaměření trilaterálního řetězce pro účely geodetického zabezpečení. Vycházíme přitom z názoru, že je účelné i za cenu rozšíření výpočetních prací usnadnit měřické práce; zvláště, když reálnost projektu nemohla být v terénu předem ověřena. Přesun prací na počítařnu jeví se v tomto případě účelným, zejména při použití malých počítačů, vhodných pro výpočty iterací.

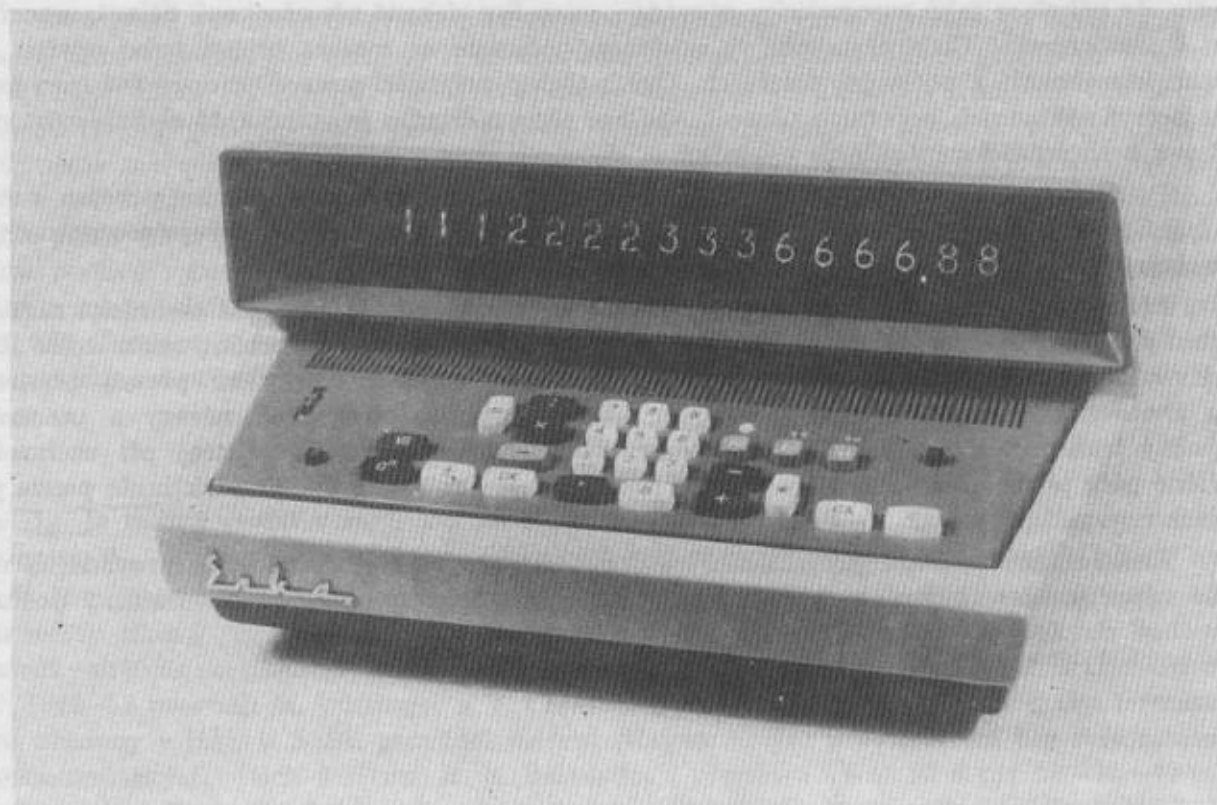
Došlo dne 1. 9. 1969



### Elektronický počítací stroj ELKA a jeho využití ve VTS.

Od roku 1968 používá Vojenský topografický ústav elektronické kalkulační stroje ELKA 6521. Vzhledem k tomu, že jde o první stroje tohoto typu ve vojenské topografické službě, seznámíme v tomto článku čtenáře s jejich parametry a možnostmi použití.

ELKA 6521 (výrobek fy Elektronika Sofia, BLR) je elektronický počítací stroj sestavený zcela z polovodičových a feritových prvků; napájí se střídavým proudem o napětí  $220\text{ V} \pm 10\%$  při kmitočtu 50 Hz. Dává výsledky prakticky ihned po vložení činitelů.



Obr. 1 ELKA 6521

Technické parametry: rozměry	400 × 550 × 250 mm
váha	19 kg
kapacita vstupu	16 míst
kapacita výsledníku	16 míst (násobení 32 míst)
typ výsledníku	display z číslicových elektronek
cena	24 100 Kčs

Číslicová klávesnice kalkulátoru je standardního šestnáctitlačítkového typu s doplňkovým tlačítkem pro desetinnou čárku a umožňuje zavedení celých a lomených čísel desítkové soustavy.

Operační tlačítka (celkem 10) jsou seskupena v souvislosti s tím, jaká zařízení řídí a jaké funkce splňují. Oba typy tlačítek jsou jedinými pohyblivými částmi přístroje, který pracuje zcela bezhlučně.

Přístroj kromě čtyř základních početních úkonů a umocňování umožňuje též automatický výpočet druhé odmocniny celých a lomených čísel s přesností na 13 číslic.

Dále nám umožňuje:

- automatické určování desetinného řádu,
- výpočty s předem určeným stupněm přesnosti,
- násobení s dvojnásobnou přesností,
- dělení se zachováním zbytků.

Elektronický kalkulátor ELKA 6521 má čtyři šestnáctimístná počítadla, obsah kteréhokoli je možno pozorovat na stínítku - podle volby operátora. Normálně pozorujeme vstupní počítadlo, do něhož se také automaticky převádějí výsledky získané při násobení, dělení, umocňování a odmocňování. Čísla nastavená ve vstupním počítadle se mohou přičíst nebo odečíst od obsahu kteréhokoli z počítadel ostatních. Dvě z těchto počítadel jsou však operační (pro provádění čtyř základních početních úkonů), zatímco třetí počítadlo je volné a dá se ho použít pro úschovu a shromažďování dílčích výsledků.

Použitý typ stínítka je velkou výhodou proti mechanickým kalkulačním strojům, neboť při čtení číslic 2 cm vysokých je námaha operátora menší a podstatně se snižuje procento chyb způsobených špatným čtením.

Přístroje jsou bezporuchové, do dnešního dne se objevila jedna malá technická závada, všichni pracovníci jsou s nimi velmi spokojeni. Jeden z přístrojů byl v průběhu celého roku 1968 používán v polních podmínkách pro práce v základní triangulační síti. Pro převoz přístroje byla zhotovena speciální přepravní skříňka, která uchránila stroj před nárazy a umožnila bezpečný transport. Na základě této provozní zkoušky usuzujeme, že přístroj při zachování patřičné péče je schopen použití i v polních podmínkách. Efektivně využít však bude pouze při pracích nejvyšší přesnosti.

Elektronický počítací stroj ELKA lze doporučit pro všechna pracoviště provádějící náročné výpočty, které svým charakterem nebo rozsahem nejsou vhodné pro samočinný počítač.

Došlo dne 5. 9. 1968

## Měření vertikálních gradientů tíže gravimetrem CANADIAN (Sharpe)

## 1. Úvodní poznámky

Řešení řady úloh geodézie a geofyziky vyžaduje znalost veličin, charakterizujících tvar reálné Země a skutečné zemské tíhové pole. Významnými charakteristikami vnějšího zemského tíhového pole jsou vyšší derivace tíhového potenciálu, jejichž široké využití odkrývá nové možnosti také v gravimetrickém průzkumu. Z nich největší význam má druhá derivace tíhového potenciálu  $W_{zz} = \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = \frac{\partial g}{\partial z}$ , zvaná vertikální gradient tíže.

Důležitost vertikálních gradientů tíže v geodézii a geofyzice je známa již delší dobu. Nej důležitějšími teoretickými základy a zpracováním měřených vertikálních gradientů tíže se zabývají např. práce [1], [2], [3]. Různými způsoby určování vertikálního gradientu tíže se zabývá práce [4]. V poslední době jsou vyvíjeny v některých zemích, zejména v USA, přístroje k přímému měření hodnot  $W_{zz}$ . Tyto přístroje – vertikální gradientometry – mají být umístěny v letadlech nebo družicích a výsledky mají sloužit k určení tvaru geoidu. Nevýhodou těchto přístrojů je příliš vysoká citlivost, což vyžaduje při měření v blízkosti zemského povrchu velmi pečlivé vyloučení vlivu blízkých topografických hmot. S rozvojem přesných setinných gravimetrů se ukazuje nejspolehlivějším nepřímým způsobem určování vertikálních gradientů tíže. Tento způsob spočívá ve změření tíhového rozdílu dvou blízkých bodů, ležících na téže tížnici. Hodnota průměrného vertikálního gradientu  $\overline{W}_{zz}$  se pak vypočte z jednoduchého vztahu

$$\overline{W}_{zz} = \frac{\Delta g}{\Delta z} \quad (1),$$

kde  $\Delta g$  je tíhový rozdíl v  $\text{mgl}$ ,  $\Delta z$  odlehlost zmíněných bodů ve směru tížnice v metrech. Hodnoty  $W_{zz}$  uvádíme zpravidla v jednotkách  $\text{mgl m}^{-1}$  nebo častěji v eötvösech ( $1 E = 1 \text{ mgl } 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ ). Nepřímým určováním vertikálních gradientů tíže se zabývala řada autorů, kteří většinou měřili tíhový rozdíl na měřických věžích, na věžích kostelů nebo ve vysokých budovách. Výsledky měření vertikálních gradientů, které při měření v gravimetrické síti I. a II. řádu v letech 1948–52 provedli M. Wittinger a V. Chudoba Nörsgaardovým gravimetrem bez termostatu, jsou uvedeny v [11]. V SSSR prováděl měření Nörsgaardovým gravimetrem bez termostatu na trigonometrických věžích v Gruzii B. K. Balavadze s přesností  $\pm 5$  až  $53 E$  při  $\Delta z = 15 - 43 \text{ m}$ . (5). V Německé spolkové republice určoval vertikální gradienty H. Bodemüller v letech 1958–1964 [2, 3]. Při měření použil North American Gravimeter AG - 1. Měřil na měřických věžích a dosáhl přesnosti  $\pm 6 E$  pro průměrnou hodnotu  $\Delta z = 6 - 8$  metrů [2], [3]. Z novějších měření si uveďme měření, které prováděl v Německé spolkové republice K. Hilbert. Použil upraveného gravimetru Askania Gs 11 a přenosného 4 m vysokého dřevěného stativu. Dosáhl přesnosti v určení  $\overline{W}_{zz} \pm 12 E$  [6].

V tomto článku se zmíníme o způsobu určení hodnot  $\overline{W}_{zz}$  pomocí gravimetru Canadian a přenosného 2 m vysokého stativu, který jsme použili při zkušebních měřeních.

## 2. Popis měřické aparatury

Při měření tíhových rozdílů bylo použito gravimetru CG - 2 č. 174 G („Canadian“), vyrobeného firmou E. J. Sharpe (obr. 1). Při observaci byl gravimetr stavěn na speciální stativ (obr. 2), který byl zhotoven podle předloženého návrhu v dílně VÚGTK.

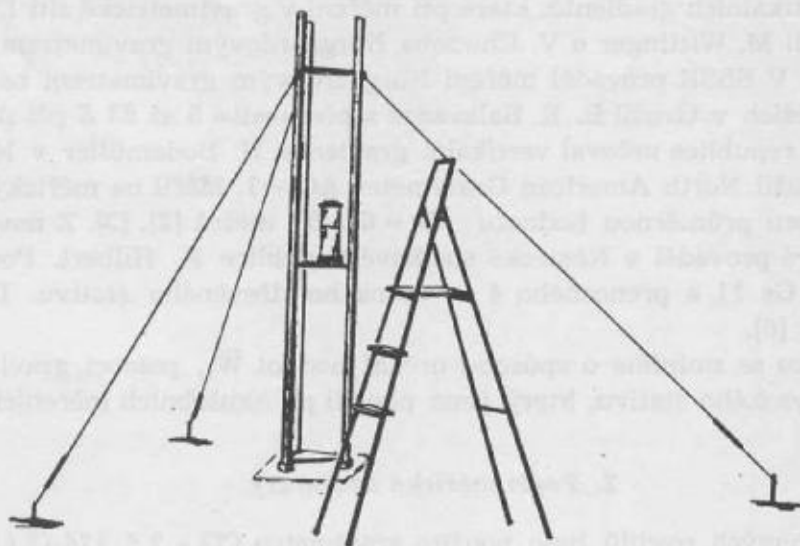
Gravimetr CG - 2 (obr. 1) je astasovaný křemenný gravimetr bez termostatu. Podrobný popis a způsob seřízení přístroje je uveden v [9]. Geodetický typ je opatřen 2 počítadly – počítadlem přímého rozsahu ( $= 100 \text{ mgl}$ ), které umožňuje odečtení přístroje s přesností  $0,005 \text{ mgl}$ , a počítadlem hrubého rozsahu, které umožňuje plynulou změnu rozsahu přístroje (dá se také použít při měření velkých tíhových změn v rozsahu  $5000 \text{ mgl}$ ).



Příslušenství: speciální s t a t i v, vyrobený z duralových trubek o vnějším průměru 5 cm a síle 0,5 cm, dlouhých asi 2,40 m. Konce trubek jsou výsuvné (20 cm po 2 cm) a jsou ukončeny kulovým čepem a patkami, jejichž konstrukce umožňuje měnit plynule délku trubky až o 2 cm. Dalšími součástmi jsou 3 duralové lité desky, na které se stává gravimetr. Prostřední deska je opa-



Obr. 1.



Obr. 2.

třena krabicovou libelou. Otáčením patek lze urovnat stativ podle libely do svislé polohy, ve které se pak upevní 3 napínacími lanky, upevněnými ke kolíkům. Vzdálenost jednotlivých desek (jejich horních okrajů) je  $1000 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ . Celá konstrukce stativu je spojena šrouby s křídlovými maticemi a v případě potřeby (pěší transport na větší vzdálenost) se dá snadno rozebrat. K observaci ve výšce 2 m byly používány sklápěcí schůdky (obr. 2).

### 3. Metodika měření malých tíhových rozdílů

Při zkušebních měřeních bylo měřeno ve 2 skupinách, přičemž každá skupina byla měřena v pořadí ABCBABCBA, kde  $A$  je označeno měření na dolní,  $B$  na prostřední a  $C$  na horní desce. Druhá skupina byla započata se čtením mikrometru o 5 číslovaných dílků větším nebo menším, než bylo první odečtení v první skupině. Tímto postupem se z větší části vyloučila periodická chyba mikrometru (viz níže). Změna odečtení byla docílena pootočením šroubu hrubého rozsahu. Při každém postavení gravimetru byla provedena 3 odečtení (do výpočtu byl pak brán průměr).

Chyba v určení vertikálního tíhového gradientu  $\overline{W}_{zz}$  je přímo úměrná chybě v měřeném tíhovém rozdílu. Proto je třeba při tíhovém měření vyloučit nepříznivý vliv celé řady faktorů. Uvedeme si nejdůležitější:

a) *Slapové změny a změny teploty* měřicího systému gravimetru během observace byly zahrnuty do chodu gravimetru. Křivka chodu byla pro každou skupinu zkonstruována na základě opakovaných měření na deskách  $A, B, C$ . Přitom bylo přihlédnuto k tomu, aby křivka chodu druhé skupiny plynule navazovala na křivku první skupiny. Chod gravimetru se většinou pohyboval v mezích 0,02–0,04 mgl za 20 minut, tj. během zaměření 1 skupiny. V ojedinělých případech byl chod větší (až 0,10 mgl za 20 min.).

b) *Vliv sklonu gravimetru* lze podstatně zmenšit pečlivou rektifikací libel a každodenní kontrolou minima citlivosti přístroje na náklon [9]. Při citlivosti 15 dílků počítadla na 1 číslovaný dílek okulárové stupnice se projeví vychýlení bubliny o 0,1 dílku hodnotou 0,008 mgl. Při měření bylo před každým odečtením kontrolováno přesné urovnání libel.

c) *Mrtvý chod* mikrometrického šroubu byl odstraněn nastavováním indexu proti nulové rysce vždy z 1 strany (tj. poslední bohyb mikrometrického šroubu byl vždy stejný).

d) *Periodická chyba* mikrometrického šroubu byla z větší části odstraněna měřením tíhového rozdílu ve 2 skupinách. Označme  $S_A, S_B$  správná čtení počítadla mikrometrického šroubu na deskách  $A, B$  při měření v 1. skupině.  $S_A', S_B'$  nechť jsou čtení mikrometru, zatížená chybami  $\varepsilon_A', \varepsilon_B'$ . Označíme-li  $S_{0,A'}, S_{0,B}'$  čtení mikrometru, končící na celou desítku a  $x_A', x_B'$  odpovídající čtení v intervalu  $\langle 0; 10 \rangle$ , pak za předpokladu, že periodická chyba o amplitudě  $R$  má periodu 1 otočky mikrometrického šroubu (10 dílků =  $2\pi$ ), lze psát

$$\begin{aligned} S_A &= S_A' - \varepsilon_A' = S_{0,A'} + x_A' - R \sin \left( \frac{\pi x_A'}{5} + \varphi \right) \\ S_B &= S_B' - \varepsilon_B' = S_{0,B}' + x_B' - R \sin \left( \frac{\pi x_B'}{5} + \varphi \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Tíhový rozdíl, vyjádřený v dílcích počítadla, bude zatížen chybou

$$\varepsilon_A' - \varepsilon_B' = R \left[ \sin \left( \frac{\pi x_A'}{5} + \varphi \right) - \sin \left( \frac{\pi x_B'}{5} + \varphi \right) \right]$$

Ve druhé skupině začneme na desce  $A$  měřit se čtením mikrometru, změněným o 5 dílků (půl otočky =  $\pi$ ).

$$\begin{aligned} S_A + 5 &= S_A' + 5 - \varepsilon_A'' = S_{0,A'} + 5 + x_A' - R \sin \left( \frac{\pi x_A'}{5} + \varphi + \pi \right) \\ S_B + 5 &= S_B' + 5 - \varepsilon_B'' = S_{0,B}' + 5 + x_B' - R \sin \left( \frac{\pi x_B'}{5} + \varphi + \pi \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Tíhový rozdíl ve 2. skupině bude zatížen chybou

$$\varepsilon_A'' - \varepsilon_B'' = -R \left[ \sin \left( \frac{\pi x_A'}{5} + \varphi \right) - \sin \left( \frac{\pi x_B'}{5} + \varphi \right) \right]$$

Protože v tomto případě platí

$$\varepsilon_B' = -\varepsilon_B'', \quad \varepsilon_A' = -\varepsilon_A'',$$

jest

$$\varepsilon_A' - \varepsilon_B' + \varepsilon_A'' - \varepsilon_B'' = 0,$$

takže průměrný tíhový rozdíl z obou skupin je zbaven periodické chyby mikrometrického šroubu. Protože se nám zpravidla nepodaří provést změnu počátečního čtení druhé skupiny přesně o 5 dílků, zůstane ve výsledku určitá zbytková chyba. Amplituda periodické chyby je asi 0,02 mg/l.

e) *Konstanta gravimetru* byla určena z měření na šířkové základně [10] s přesností 0,02 mg/l na 100 mg/l. Její hodnota je  $k = 0,10638$  mg/l/dílek. Při měření ve výšce 2 m se projeví chyba v určení konstanty chybou  $\pm 1$  E, což je vzhledem k měřickým chybám hodnota zanedbatelná. *Nelinearita stupnice gravimetru* je při měření malých tíhových rozdílů zanedbatelná [10].

Vlivy dalších faktorů – změny atmosférického tlaku, zemského magnetismu, větru apod. – nebyly uvažovány.

Zaměření 1 skupiny trvalo průměrně asi 20 minut, takže i s postavením stativu trvalo zaměření 1 bodu výše popsáním způsobem asi 1 hodinu.

#### 4. Přesnost měřených vertikálních gradientů tíže

Při odvození chyby vertikálního gradientu vyjdeme ze vztahu

$$\bar{W}_{zz} = \frac{k\Delta S}{\Delta z}, \quad (4)$$

kde je rozdíl odečtení počítadla mikrometrického šroubu vyjádřený v dílcích.

Diferencováním rovnice (4) obdržíme

$$m^2(\bar{W}_{zz}) = \left(\frac{\partial \bar{W}_{zz}}{\partial k}\right)^2 m^2(k) + \left(\frac{\partial \bar{W}_{zz}}{\partial \Delta S}\right)^2 m^2(\Delta S) + \left(\frac{\partial \bar{W}_{zz}}{\partial \Delta z}\right)^2 m^2(\Delta z)$$

a dále

$$m^2(\bar{W}_{zz}) = \left(\frac{\Delta S}{\Delta z}\right)^2 m^2(k) + \left(\frac{k}{\Delta z}\right)^2 m^2(\Delta S) + \left(-\frac{k\Delta S}{\Delta z^2}\right)^2 m^2(\Delta z) \quad (5)$$

Dosadíme-li do rovnice (5) hodnoty  $\Delta S = 6$  dílků,  $\Delta z = 2$  metry,  $k = 0,1$  mg/l/dílek a dále hodnoty středních chyb  $m(\Delta S) = \pm 0,026$  dílků (pro průměr z obou skupin a při výšce popsané metodice měření a za předpokladu, že střední chyba jednoho odečtení je  $\pm 0,07$  dílku,  $m(\Delta z) = \pm 0,0005$  m,  $m(k) = \pm 3 \cdot 10^{-5}$  mg/l/dílek), pak vliv jednotlivých chyb je dán hodnotami

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial \bar{W}_{zz}}{\partial k}\right) m(k) &= \pm 0,9 \text{ E} \\ \left(\frac{\partial \bar{W}_{zz}}{\partial \Delta S}\right) m(\Delta S) &= \pm 13 \text{ E} \\ \left(\frac{\partial \bar{W}_{zz}}{\partial \Delta z}\right) m(\Delta z) &= \pm 0,8 \text{ E} \end{aligned} \quad (6)$$

Uvedené výsledky platí pouze za předpokladu, že chod gravimetru byl vyloučen s velmi vysokou přesností. Je zřejmé, že chyby z cejchování gravimetru  $m(k)$  a ve vzdálenosti desek  $m(\Delta z)$  jsou z praktického hlediska zanedbatelné.



## 5. Praktické výsledky

V květnu 1968 byla celá aparatura přezkoušena při měření vertikálních gradientů na několika bodech v okolí Laplaceova bodu Pecný. Na 4 bodech bylo provedeno opakované měření, na jehož základě byly vypočteny střední chyby jednou měřeného vertikálního gradientu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 1. Naměřené hodnoty  $\overline{W}_{zz}$  se vztahují k bodu ležícímu asi 1,20 m nad terénem.

Tabulka 1

Číslo a název bodu	Měřená hodnota $\overline{W}_{zz}$ (E)	Průměr (E)	Oprava v [vv]	[vv]	$m_0$ (E)
1 Pecný, u budovy	3410 3382 3380	3393	+ 17 - 11 - 7 289 121 49	459	+ 15
2 Pecný, u věže	3772 3744 3750 3729 3736 3738	3745	+ 27 - 1 + 5 - 16 - 9 - 7 729 1 25 256 81 49	1141	+ 15
3 Pecný, u hřiště	3233 3267 3251 3225 3239	3243	- 10 + 24 + 8 - 18 - 4 100 576 64 324 16	1080	+ 16
4 Skalka	3324 3351 3340	3338	- 14 + 13 + 2 196 169 4	369	+ 14
5 Struhařov	3150	3150	- - -	-	-

V září a říjnu 1968 bylo provedeno opět měření na bodech 1, 2, 3, 4, 5. Při jarním měření se ukázalo, že rozdíly hodnot  $\overline{W}_{zz}$  vypočtených mezi deskami A, B a B, C mají nahodilý charakter při opakovaných měřeních na témže bodě. Proto bylo při podzimních měřeních vertikálních gradientů použito metodiky ACACACA ve dvou skupinách. Výsledky podzimního měření jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2

Číslo a název bodu	$\overline{W}_{zz}$ (E)	(E)	$m_0$ (E)	
1 Pecný, u budovy	3378	3359	3368	+ 14
2 Pecný, u věže	3785	3753	3769	23
3 Pecný, u hřiště	3273	3285	3279	9
4 Skalka	3326	3291	3308	25
5 Struhařov	3099	3088	3094	8

V tabulce 3 je provedeno porovnání výsledků jarního a podzimního měření. Jsou v ní uvedeny průměrné hodnoty a počet měření, ze kterých byly vypočteny. V předposledním sloupci jsou rozdíly mezi jarním a podzimním měřením. V posledním sloupci jsou průměrné hodnoty  $\overline{W}_{zz}$  ze všech měření.

Tabulka 3

	$\overline{W}_{zz}$ jaro (E)	Počet měř. n	$\overline{W}_{zz}$ podzim (E)	Počet měř. n	Rozdíl j - p (E)	Průměr (E)
1 Pecný, u budovy	3393	3	3368	2	+ 25	3383
2 Pecný, u věže	3745	6	3769	2	- 24	3751
3 Pecný, u hřiště	3243	5	3279	2	- 36	3253
4 Skalka	3338	3	3308	2	+ 30	3326
5 Struhařov	3150	1	3094	2	+ 56	3112

Z tabulek 1, 2, 3 je zřejmé, že velikost středních chyb jednou měřeného vertikálního gradientu  $m_0$  dosahuje v některých případech větších hodnot, než jsou hodnoty vypočtené ze vztahů (6). Lze to přičíst na vrub nedokonalému vyloučení chodu přístroje a nepříznivému působením vnějších vlivů, např. vlivu větru, při měření tíhových rozdílů.

## 6. Závěr

Z výsledků zkušebních měření a z úvah o přesnosti lze usoudit, že při dodržování popsané metodiky lze vertikální gradienty tíže  $\overline{W}_{zz}$  určit pomocí gravimetru CG - 2 a speciálního výše popsaného stativu s přesností 20 - 30 E.

Z ekonomického hlediska se ukázalo výhodnější užití metodiky měření jedné skupiny v pořadí ACACACA. Měřením ve dvou skupinách lze podstatně snížit nebezpečný vliv periodické chyby počítadla jemného rozsahu. Uvedený způsob určování hodnot  $\overline{W}_{zz}$  lze použít i v terénu nepřístupném pro vozidla.

### Literatura:

- [1] Jung K.: *Schwerkraftverfahren in der angewandten Geophysik*, Leipzig 1961.
- [2] Bodemüller H.: *Measurement and geodetic evaluation of vertical gradients of gravity*. Bulletin géodésique, 1963, No 69.
- [3] Bodemüller H.: *Beitrag zur Messung und Auswertung vertikaler Schweregradienten*. Zeitschrift für Vermessungswesen, 1960, S. 101 - 112.
- [4] Trommer R.: *Der gravimetrische Vertikalgradient*. Freiburger Forschungshefte, 1964, C, No 175.
- [5] Balavadze B. K.: *K metodike opredelenija vertikalnogo gradienta sily tjažesti*. Izvěstija AN SSSR, ser. geofys., 1955, No 1, Izdatelstvo AN SSSR, Moskva.
- [6] Hilbert K.: *Messungen von Vertikalgradienten der Schwerkraft mit Askania - Gravimeter und geodätische Auswertung der Ergebnisse*. Bayerische Akademie der Wissenschaften, München 1967.
- [7] Reicheneder K.: *Über den Einfluss der Höhe des Messsystems im Gravimeter*. Gerl. Beitr. z. Geophysik, 75, 1966, No 3, S. 179 - 183.
- [8] Kuo J. T., Ottaviani M., Singh S. K.: *Areal vertical variations of gravity in New York City*. Transactions AGU, 1966, 47, No 1, 46.
- [9] CG - 2 „Canadian“ Gravity Meter. *Instruction Manual*.
- [10] Diviš K., Olejník S.: *Určení rozměrového koeficientu kanadského gravimetru CG - 2*. Geodetický a kartografický obzor, 13 (55), č. 3, 1967.
- [11] Wittinger M.: *Tíhová měření v ČSR v letech 1945—52*, SNTL, Praha 1954.

Došlo dne 15. 7. 1968.

## Etapové řešení analytické aerotriangulace

### I. ÚVOD

Hlavní význam číselných fotogrammetrických metod tkví v možnosti snadného proměňování snímků na jednoduchých přístrojích, maximálního využití fotografického obrazu, možnosti jednoduchého zavádění různých oprav a operativního využívání číselných výsledků. Digitální řešení nemůže však dosud ve všech případech nahradit analogové vyhodnocování, má-li být výsledkem grafický operát. Pracuje se sice usilovně, zvláště v USA, Itálii a Kanadě, na číslicovém, resp. značkovém vyjádření obsahu celého snímku a jeho topografickém vyhodnocování, avšak výsledky nejsou takové, aby vyhovovaly technickým a ekonomickým požadavkům kladeným výrobcem i uživateli map, a cesta tato je dosud mnohými odbornými kruhy vážně kritizována [1, 4, 6, 7]. Jde-li však o bodové vyhodnocování, např. při údržbě map, určování pevných bodů pro podrobné fotogrammetrické a geodetické zaměřování, při astronomických pracích, pro různé účely střelecké aj., má tento způsob mnoho předností před analogovými metodami.

Digitální řešení fotogrammetrických úloh není u nás novinkou z poslední doby. V roce 1928 použil VZÚ v Praze číselnou fotogrammetrickou triangulaci při určování pevných bodů k meteorologickým účelům na Milešovce kruhovým uzávěrem řady pozemních snímků. V letech 1928 až asi 1934 byla u tehdejší dělostřelecké měřické rotě (DMR) řešena řada střeleckých úloh číselným vyhodnocováním snímků pořízených z letounu a z balónu. Tehdy nebyly ještě k dispozici rychlé počítačové stroje a pracovalo se s jednoduchými pomůckami, logaritmickým pravítkem, tabulkami, nomogramy a stolním počítačovým strojem. Výhody číselného řešení byly shledávány právě v tomto jednoduchém vybavení, vhodném pro polní službu a dále pak v univerzálnosti metod, neomezovaných specializovanými vyhodnocovacími přístroji, které mimoto nelze transportovat. Práce a požadavky v tomto oboru fotogrammetrie vyvolaly zájem o teoretické řešení některých dílčích úkolů z celkového komplexu digitálního vyhodnocování, např. prostorového protínání zpětného, výpočet sklonu snímku, různých projektivních metod apod. [9, 10].

Po druhé světové válce projevilo velký zájem o fotogrammetrické metody ministerstvo zemědělství pro mapování a inventarizaci státních lesů. V některých územích chyběly lesní mapy vůbec nebo příliš zastaraly v důsledku válečných událostí. Lesní mapování se vyznačuje prací v nepřehledném a těžko přístupném terénu s nedostatkem pevných bodů a obtížnou interpretací fotografických snímků. Byla vypracována tzv. bodová restituice, kterou se vyhodnotilo v letech 1947 až 1956 asi 300 000 ha území, postrádající jakékoliv porostní mapy. S ohledem na vybudování jednotného mapového díla všech lesů pracovalo se v letech 1950 až 1956 na vývoji analytické a aerotriangulace za účelem laciného zhuštění bodového pole pro podrobné fotogrammetrické vyhodnocování a geodetické zaměřování. Podle připravené teorie byla v roce 1958 vyzkoušena její správnost v resortu ÚSGK zakázkově na děrovačích v Kancelářských strojích a v roce 1959 Matematickým ústavem Vys. školy technické v Brně sestaven příslušný program na počítač Ural 1. V roce 1961 ukončen pak resortem ÚSGK program na počítač ELLIOTT a r. 1966 program na počítač Odra. [5, 13, 14]. V roce 1966 byla vypracována teorie výpočtu aerotriangulace v bloku jako pokračování výpočtu jednotlivých pořadů, která byla prakticky vyzkoušena a převzata do provozu Ústavem pro lesní hospodářství v Brandýse n. L., který spolupracoval i na vývoji technologie. Program na výpočet bloku na počítači ELLIOTT, jakožto závěrečné partie komplexu aerotriangulace, byl vypracován v resortu ÚSGK.

Za geodetický podklad analytické aerotriangulace slouží nyní výlučně trigonometrické body, které se signalizují před náletem. Tím se plně využívají náklady na vybudování státní trigonometrické sítě, odpadají pozemní měřické práce a je zaručena naprostá spolehlivost vstupních dat, kterou často postrádají nově zaměřované pevné body. Vyhodnocování detailu je usnadněno tím, že je k dispozici dostatek pevných bodů pro orientaci modelů, kontrolu vedení měřické



značky a kresbu správných spojů mezi modely a mapovými listy. I ve velkých blocích, zaujímajících např. celou oblast Jizerských hor se dosahuje přesnosti přijatelné pro měřítko 1 : 5000 (tab.1).

Analytická aerotriangulace může být řešena sledováním několika cest a ty ještě s různými variantami [8]. Lze ji též rozdělit do skupin podle

aplikace vzájemné orientace snímkových dvojic, jako je při analogovém řešení od Grubera,

aplikace prostorového protínání zpětného obdobně jako při analogovém vyhodnocování podle Hugershoffa a na

komplexní řešení bloku, případně i bez znalosti vnitřní orientace, které však dosud naráží na značné potíže a nelze pokládat jeho dnešní stav za přiměřeně vyvinutý.

Podrobný teoretický rozbor a praktické zkoušky ukázaly, že první cesta skýtá důležité výhody tím, že se nejvíce blíží lícování zarámováním, umožňuje důsledné využití metody nejmenších čtverců a dílčí a konečné kontroly. Vzorce odvozené pro jeden dílčí model aerotriangulačního pořadu platí přímo i pro analytické vyhodnocování jedné dvojice [12].

## II. Nástin řešení analytické aerotriangulace

### 1. Fotogrammetrický snímek a snímkové souřadnice

Vyhovuje-li snímek po stránce fotografické pro vyhodnocování detailu, je zcela vhodný i pro triangulaci. Na geometrické vlastnosti jsou kladeny požadavky vyšší, protože se jednotlivé modely nelicují samostatně na geodetický podklad, nýbrž mezi sebou spojují, při čemž se mezi sebou hromadí systematické chyby.

Distorze objektivu se nemusí projevovat vždy jako chyba systematická. Doporučuje se však korigovat snímkové souřadnice podle tabulky nebo analytické funkce v samostatném počítači. Oprava distorze odpadá, jsou-li snímkové souřadnice měřeny přes Wlidovy korekční desky nebo když snímky byly pořízeny nezkreslujícím objektivem.

Velmi závažným zdrojem chyb i systematických je deformace filmu. Protože je výrazně rozdílná ve směru filmového pásu a kolmo na něj, byl zaveden pojem srážky diferenční, mající afinní charakter a nepravidelnému zbytku se říká deformace nahodilá. V analogových vyhodnocovacích strojích nelze deformace filmu eliminovat. Početně se běžně opravuje srážka diferenční podle rámových značek buď afinně nebo kolineárně, případně i s ohledem na průhyby okrajů snímků. [12]. Korekce diferenční i nahodilé srážky je proveditelná u snímků s ofotografovanou mřížkou, podobně jako u map se čtvercovou sítí. Komory s mřížkou se vyrábějí v Anglii. Jejich konstrukce je však složitější než ostatních komor, vybrušování rovnoběžných ploch desky je pracné a mimoto dochází k obrušování pohybujícím se filmem. Měření snímkových souřadnic a výpočet se komplikuje, protože pro každý zaměřovaný bod nutno ještě udat souřadnice rohů čtverečku, ve kterém bod je, a manipulovat s nimi ve výpočtu.

Dnešní filmové podložky jsou hmoty, které podléhají změnám hlavně vlivem vlhkosti. Různé podložky prohlašované za zcela stabilní vykazují dosti značné systematické i nahodilé deformace. Halonen a Savolainen [4] zjistili u polyesterové podložky po afinní transformaci střední diference  $\pm 0,0055$  mm. Holsen udává pro tentýž film po transformaci 2. řádu na 8 bodů střední diferenci  $\pm 0,0027$  mm, což je důsledek přizpůsobení hustšímu podkladu. Ve VTOPÚ byla v různém prostředí zkoušena silná polyesterová podložka snímku CIBA-Chrom. Při změně teploty od  $+20^{\circ}$  do  $-5^{\circ}$  C změnil se rozměr snímku  $23 \times 23$  cm o  $0,2\%$  a při stálé teplotě a změně relativní vlhkosti vzduchu z  $50\%$  na  $100\%$  o  $0,6\%$ . Při návratu teploty a vlhkosti do původního stavu nabyly rozměry téměř původní velikosti - vznikla diference jen  $0,02\%$ .

Po zpracování v lázních je film velmi deformován, po určitém čase (asi po 1 měsíci) nabývá přibližně svých původních rozměrů a později se zvětšuje hlavně jeho diferenční srážka.

Když byly měřené snímkové souřadnice kolineárně transformovány na rámové značky, dosahovalo se jen ojediněle částečného zlepšení výsledků aerotriangulace a ve většině případů

Tabulka 1. Výsledky analytické aerotriangulace v provozu

Fotogrammetrické komory Zeiss a Wild 18 × 18 cm, f 210 mm						
Měřítka snímků 1:	9 000	13 000	13 000	15 000	14 000	15 000
Počet snímků v řadě	4—9	10—17	10			
Počet snímků v bloku				17	63	40
Podélný překryt %	60	60	60	60	60	60
Příčný překryt řad %	25	25		nepravidelný 30 % — 60 %		
Signalizace	bílé čtverce	bez signalizace (terénní body)			bílé kříže	
Jakost signalizace	velmi dobrá				část špatná identifikace	
Převýšení terénu m	200	400	300	780	700	600
Zalesnění %	30	80	60	100	100	95
Plocha území km <sup>2</sup>	49	208	23	26	88	47
Měření snímkových souřadnic	Stereokomparátor 1818		Stereo- metrograf	Stekometr	Stereokomparátor 1818	
Způsob výpočtu	řady			bloky		
Max. dif. ve vzdálenostech obrazů protilehlých rámových značek mm	0,02	0,12	0,08	0,04	0,14	0,14
Střední chyby ze srovnání s geodet. body	$m_x \pm$	10	50	50	28	64
	$m_y \pm$	10	60	80	24	54
	$m_v \pm$	20	110	70	35	64
Střední chyby v překrytu řad cm	$m_x \pm$	7			14	30
	$m_y \pm$	7			27	30
	$m_v \pm$	12			32	50
Doba potřebná k přípravě snímků; pro 1 technika hodin (1 model s 18 body)	2		3	4	5	3,5
Doba potřebná k proměření 1 dvojice snímků 1 technik hodin	2		4	3,3	2,5	1,5
Doba potřebná k výpočtu na ELLIOTT B minut			2,5	3	7	7

se střední chyby ve výsledcích nezmenšily, jen se změnilo jejich rozložení. Pokud nebudou používány nesrážlivé podložky, nezbyvá než pečlivě sledovat průběh stabilizace filmu a teprve ve vhodném čase zhotovovat diapozitivy.

Nepříznivou vlastností fotografických snímků na filmu i na skleněných deskách jsou deformace obrazů předmětů s vysokým kontrastem. V důsledku přezáření se zvětšují obrazy světlých ploch, a to nepravidelně. Odhadovaný střed obrazu nějaké přesvětlené plošky nemusí být proto správně umístěn. Jev tento vyvolává i chybu v lineární paralaxě. Statisticky byla zjištěna střední diference v paralaxě v důsledku tohoto okrajového efektu = 0,01 mm; největší nalezená diference byla 0,04 mm. Nepříznivé důsledky tohoto úkazu se projevují u bílých signálů na tmavém podkladu, a je proto vhodné snižovat jejich kontrast vzhledem k jejich okolí. U terénních bodů s jemným kontrastem se tento úkaz neobjevuje a výsledky aerotriangulace, při které byly takové body voleny ke spojování modelů, jsou lepší než při kontrastní signalizaci [12, 14].

Deformace způsobené tímto okrajovým efektem mají nahodilý charakter na rozdíl od smazu v důsledku pohybu a chvění letadla, který se projevuje systematicky.

Refrakce způsobuje tak malé diference, že u svislých snímků o  $f = 21$  cm formátu  $18 \times 18$  cm je zanedbatelná.

Zakřivení povrchu zemského a jeho vztah k rovinnému zobrazení a nadmořským výškám je záležitostí kartografickou, a je proto fotogrammetrický model vyjádřený pravouhlými kartesiánskými souřadnicemi převáděn do zobrazovací soustavy až v poslední části celého aerotriangulačního procesu.

Proměřování snímků se děje převážně na stereokomparátorech, protože pozorování prostorového obrazu terénu umožňuje jemné zaměřování, dosahuje se vysoké přesnosti použitím ortoskopie a pseudoskopie, sdružené body na sousedících snímcích se snadno identifikují a zaměřují se jen jednou, čímž se příznivě ovlivňuje homogenita počítaného modelu. Pro účely analytické fotogrammetrie se vyrábějí stereokomparátory dosahující přesnosti asi 0,002 mm a jsou vybaveny automatickou registrací měřených souřadnic.

Z předcházejícího rozboru měřické kvality snímků plyne, že polohu bodu na snímku lze prakticky určit se střední chybou blízkou  $\pm 0,01$  mm - přesnost negativu na filmu  $\pm 5,5 \mu\text{m}$ , důsledek reprodukce na diapozitiv  $\pm 6 \mu\text{m}$ , nastavení měřické značky  $\pm 3 \mu\text{m}$  dává střední chybu  $\pm 8,7 \mu\text{m}$ . Jsou proto zmíněné stereokomparátory zcela vyhovující pro proměřování snímků na filmu i na skleněných deskách. Snímky na filmu lze však zcela dobře proměřovat i jednoduššími stereokomparátory typu Zeiss 1818 s odečítací možností 0,01 mm, které jsou přiměřené měřickým požadavkům a jsou hospodárné, i když nemají automatický záznam (viz tab. 1).

Příprava pro měření spočívá v sestavení pořadů ze vhodných snímků, označení bodů geodetického podkladu na pozitivech i diapozitivech, vyhledání a označení bodů pro spojování dílčích modelů a styk pořadů a pořízení topografií těchto bodů. Příprava je nejpracnější úkolem celé aerotriangulace. Vyhledává se nejméně po dvou bodech v obou spojovacích pásech na okraji každého modelu. Za účelem zvýšení přesnosti vzájemné orientace a spojování modelů se doporučuje volit po šesti spojovacích bodech a ještě 6 dalších rozptýleně uprostřed.

Vstupní hodnoty, tj. orientační znaky, údaje pro výpočet korekcí a snímkové souřadnice zaměřených bodů se u stereokomparátorů s automatickou registrací ihned děrují.

## 2. Výpočet aerotriangulačního pořadu

### a) Vzájemná orientace snímkové dvojice (obr. 1)

Účelem je uvést paprskový trs daný snímkem a vnitřní orientací do relativní polohy vzhledem k jinému trsu, jaká byla v okamžiku osvětlení. Trs, jehož poloha je již dána, případně kterou jsme mu přiřkli, vložíme do pevného pravouhlého trojhranu a přiřazovaný trs do trojhranu pohyblivého. Pohyblivý trojhran přemístíme tak, aby se všechny sdružené paprsky obou trojhranů protínaly. To nastane, když determinant sestavený z určovacích prvků každého páru sdružených paprsků se rovná nule.



Parametrické rovnice paprsku pevného trsu v pevné (základní) souřadnicové soustavě jsou

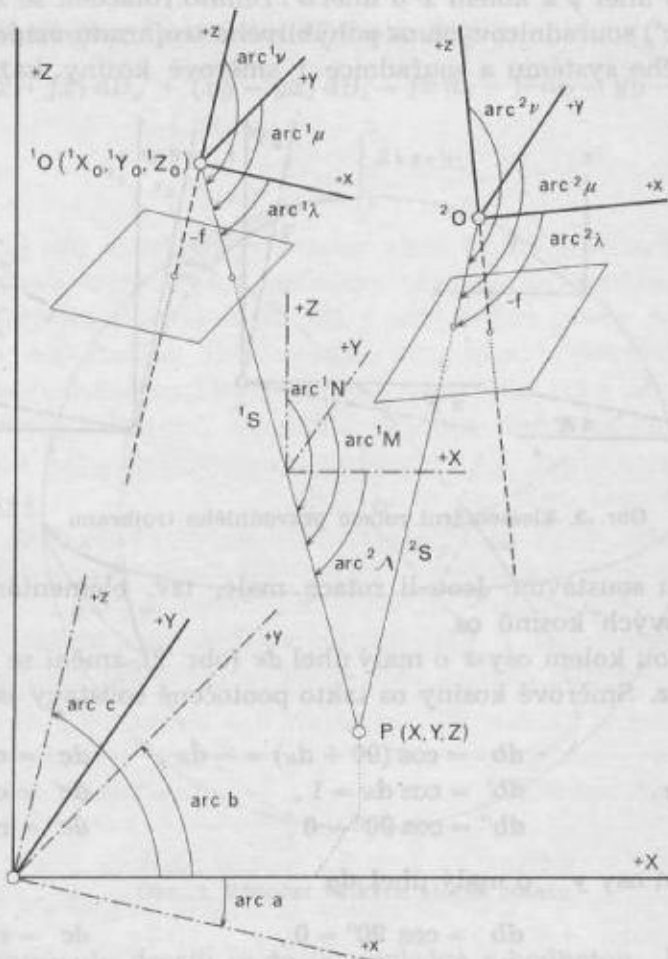
$$\bar{X} = \bar{S} \bar{A}, \quad \bar{Y} = \bar{S} \bar{M}, \quad \bar{Z} = \bar{S} \bar{N}.$$

Parametrické rovnice paprsku pohyblivého trsu v pevné (základní) souřadnicové soustavě jsou

$$X = B_x + S \Lambda, \quad Y = B_y + S M, \quad Z = B_z + S N.$$

Parametrické rovnice paprsku pohyblivého trsu v pohyblivé souřadnicové soustavě jsou

$$x = s\lambda, \quad y = s\mu, \quad z = zv = -fv.$$



Obr. 1. Souřadnicové soustavy a poloha dvou přibližně svislých fotografických snímků

Podmínka pro průsečík sdružených paprsků zní

$$\mathbf{D} = \begin{vmatrix} B_x & B_y & B_z \\ \Lambda & M & N \\ \bar{\Lambda} & \bar{M} & \bar{N} \end{vmatrix} = 0 = \begin{vmatrix} 1 & B_y' & B_z' \\ \Lambda & M & N \\ \bar{\Lambda} & \bar{M} & \bar{N} \end{vmatrix} \quad (1)$$

kde ještě značí  $B_y' = B_y/B_x$ ,  $B_z' = B_z/B_x$  při  $B_x$  je různé od nuly. Nerovná-li se determinant  $\mathbf{D}$  nule a je-li jeho hodnota malá, můžeme předpokládat, že

$$\mathbf{D} + d\mathbf{D} = 0. \quad (2)$$

Když počáteční hodnoty  $B_y = 0$  a  $B_z = 0$  při  $B_x$  různé od nuly, je  $iB_y'$  a  $B_z'$  rovno nule a determinant  $\mathbf{D}$  nabude tvaru

$$\mathbf{D} = \begin{vmatrix} M & N \\ \bar{M} & \bar{N} \end{vmatrix}$$

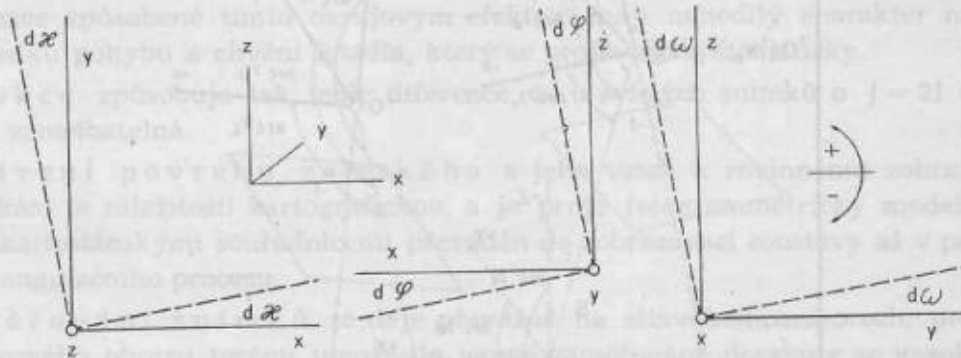
Jsou-li pak ještě v počáteční poloze osy pohyblivé soustavy rovnoběžné s osami soustavy pevné, takže směrové kosiny souřadnicových os jsou rovny postupně 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, můžeme směrové kosiny paprsku v pevné soustavě nahradit směrovými kosiny soustavy pohyblivé a pak

$$\mathbf{D} = \begin{vmatrix} \mu & \nu \\ \bar{\mu} & \bar{\nu} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} y/s & -f/s \\ \bar{y}/\bar{s} & -f/\bar{s} \end{vmatrix} = \frac{f(\bar{y} - y)}{\bar{s}s}$$

Odchylka pro rovnice oprav je  $L = \bar{s}s\mathbf{D} = f(\bar{y} - y)$  (3)

a je způsobena tím, že se neprotínají sdružené paprsky. Musí se tedy pohybovaná soustava (trojhran) i se všemi paprsky jako jedno tuhé těleso posunout ve směru  $y$  a  $z$  a pootočit kolem osy  $z$  o úhel  $x$ , kolem osy  $y$  o úhel  $\varphi$  a kolem  $x$  o úhel  $\omega$ . Těmito rotacemi se změni směrové kosiny

$(a, b, c, a', b', c', a'', b'', c'')$  souřadnicových os pohyblivého trojhranu vzhledem k osám pevného (základního) souřadnicového systému a souřadnice i směrové kosiny každého paprsku pevně



Obr. 2. Elementární rotace pravoúhlého trojhranu

spojeného s pohybovanou soustavou. Jsou-li rotace malé, tzv. elementární, mají jednoduchý vztah ke změnám směrových kosinů os.

Otočíme-li soustavou kolem osy  $z$  o malý úhel  $d\alpha$  (obr. 2), změni se směry os  $x$  a  $y$  a beze změny zůstane směr osy  $z$ . Směrové kosiny os takto pootočené soustavy jsou

$$\begin{aligned} da &= \cos d\alpha = 1, & db &= \cos(90^\circ + d\alpha) = -d\alpha, & dc &= \cos 90^\circ = 0 \\ da' &= \cos(90^\circ - d\alpha) = d\alpha, & db' &= \cos d\alpha = 1, & dc' &= \cos 90^\circ = 0 \\ da'' &= \cos 90^\circ = 0, & db'' &= \cos 90^\circ = 0, & dc'' &= \cos 0^\circ = 1. \end{aligned}$$

Podobně po otočení kolem osy  $y$  o malý úhel  $d\varphi$

$$\begin{aligned} da &= \cos d\varphi = 1, & db &= \cos 90^\circ = 0, & dc &= \cos(90^\circ - d\varphi) = d\varphi \\ da' &= \cos 90^\circ = 0, & db' &= \cos 0^\circ = 1, & dc' &= \cos 90^\circ = 0 \\ da'' &= \cos(90^\circ + d\varphi) = -d\varphi, & db'' &= \cos 90^\circ = 0, & dc'' &= \cos d\varphi = 1. \end{aligned}$$

A po otočení kolem osy  $x$  o malý úhel  $d\omega$ ,

$$\begin{aligned} da &= \cos 0^\circ = 1, & db &= \cos 90^\circ = 0, & dc &= \cos 90^\circ = 0, \\ da' &= \cos 90^\circ = 0, & db' &= \cos d\omega = 1, & dc' &= \cos(90^\circ + d\omega) = -d\omega \\ da'' &= \cos 90^\circ = 0, & db'' &= \cos(90^\circ - d\omega) = d\omega, & dc'' &= \cos d\omega = 1. \end{aligned}$$

Pro přehled z toho vybereme veličiny proměnných

$$\begin{aligned} d\alpha &= da' = -db \\ d\varphi &= dc = -da'' \\ d\omega &= db'' = -dc'. \end{aligned} \quad (4)$$

Pro vyčíslení rovnic (2) nutno ještě diferencovat determinant (1) podle pohybových složek volného trsu  $B_y'$ ,  $B_z'$ ,  $M$  a  $N$

$$d\mathbf{D} = - \begin{vmatrix} \Lambda & N \\ \bar{\Lambda} & \bar{N} \end{vmatrix} dB_y' + \begin{vmatrix} \Lambda & M \\ \bar{\Lambda} & \bar{M} \end{vmatrix} dB_z' + \bar{N} dM - \bar{M} dN. \quad (5)$$

Při otáčení se mění směrové kosiny všech paprsků pohyblivého trsu, a proto musíme jejich polohu transformovat pomocí právě odvozených elementárních rotací

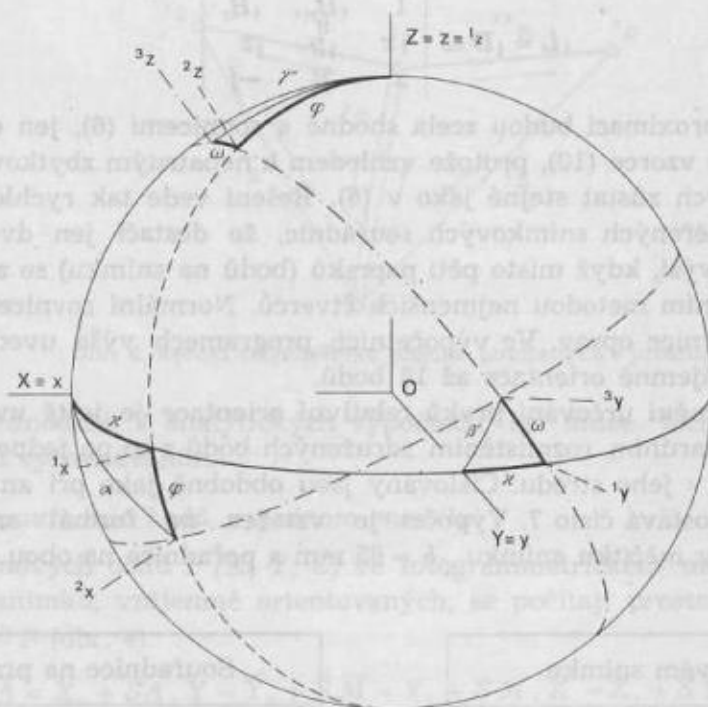
$$dL = dX S = d \frac{ax + by + cz}{s} = \frac{-y dx - f d\varphi}{s}$$

$$dM = dY S = d \frac{a'x + b'y + c'z}{s} = \frac{x dx + f d\omega}{s}$$

$$dN = dZ S = d \frac{a''x + b''y + c''z}{s} = \frac{-x d\varphi + y d\omega}{s}$$

Po dosazení do (5) a vynásobení součinem  $s\bar{s}$  dostaneme

$$s\bar{s} dD = (fx + f\bar{x}) dB_{y'} + (x\bar{y} - y\bar{x}) dB_{z'} - fx dx - f^2 d\omega - \bar{y}y - d\omega + xy d\varphi .$$



Obr. 3. Výpočet velkých složek rotace

Nyní se zde sloučí členy u  $d\omega$  dosadí se do (2) společně s hodnotou  $L$  podle (3), čímž vyjde rovnice pro výpočet hledaných oprav

$$-x dx + \frac{x\bar{y}}{f} d\varphi - \left(f + \frac{y\bar{y}}{f}\right) d\omega + (x - \bar{x}) dB_{y'} + \frac{x\bar{y} - \bar{x}y}{f} dB_{z'} = y - \bar{y} = q \quad (6)$$

Řešením soustavy pěti takovýchto rovnic sestavených pro 5 sdružených paprsků dostaneme 5 prvků, přiřazujících pravý snímek k levému. Můžeme jimi transformovat polohu každého paprsku v přiřazovaném trsu pravého snímku tak, aby se každý protínal se sdruženým paprskem trsu snímku levého. Platí to však jen pro malé posuny a sklony asi do  $1^\circ 30'$ , kdy ještě přijatelně platí podmínky ortogonalit vyjádřené jednotkovým determinanem sestaveným ze směrových kosinů os pravouhlého trojhranu

$$\begin{vmatrix} a & b & c \\ a' & b' & c' \\ a'' & b'' & c'' \end{vmatrix} = 1 \quad (7)$$

Při větších sklonech nutno výpočet opakovat. K tomu účelu se nejdříve vypočítají pomocí elementárních rotací, získaných ze soustavy (6) směrové kosiny vyhovující přibližně přesně podmínce (7) podle obr. 3 a následujících vzorců.



$$\begin{aligned}
 a &= \cos\kappa \cos\varphi, & a' &= \kappa \cos\varphi, & a'' &= -\varphi, \\
 b &= \varphi\omega \cos\kappa - \kappa \cos\omega, & b' &= \cos\kappa \cos\omega + \kappa\varphi\omega, & b'' &= \omega \cos\varphi, \\
 c &= \varphi \cos\kappa \cos\omega + \kappa\omega, & c' &= \kappa\varphi \cos\omega - \omega \cos\kappa, & c'' &= \cos\varphi \cos\omega.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Prostřednictvím těchto směrových kosinů os pohybovaného trojhranu se transformují všechny jeho paprsky, jejichž směrové kosiny pak budou

$$\begin{aligned}
 {}_1A = {}_1x's &= \frac{ax + by - cf}{\sqrt{x^2 + y^2 + f^2}}, & {}_1M = {}_1y's &= \frac{a'x + b'y - c'f}{\sqrt{s^2}} \\
 {}_1N = {}_1z's &= \frac{a''x + b''y - c''f}{\sqrt{s^2}}
 \end{aligned} \tag{9}$$

Poté se vypočítá nová hodnota determinantu (1), kterou označíme  ${}_1D$  a vynásobíme ji součinem podobně jako v předcházejících úpravách, čímž obdržíme odchylku

$${}_1L = {}_1D s \bar{s} \begin{vmatrix} 1 & {}_1B_y & {}_1B_z \\ {}_1x & {}_1y & {}_1z \\ \bar{x} & \bar{y} & -f \end{vmatrix} \tag{10}$$

Rovnice pro 2. aproximaci budou zcela shodné s rovnicemi (6), jen odchylky  $L$  se nahradí odchylkami  ${}_1L$  ze vzorce (10), protože vzhledem k nepatrným zbytkovým rotacím mohou koeficienty při neznámých zůstat stejné jako v (6). Řešení vede tak rychle k výsledkům odpovídajícím přesnosti měřených snímkových souřadnic, že dostačí jen dvě iterace. Přesnost vzájemné orientace se zvýší, když místo pěti paprsků (bodů na snímku) se zavede paprsků více a úloha se řeší vyrovnáním metodou nejmenších čtverců. Normální rovnice se sestavují přímo ze (6), které platí za rovnice oprav. Ve výpočetních programech výše uvedených tří počítačů může být pro řešení vzájemné orientace až 18 bodů.

Za účelem znázornění určování prvků relativní orientace je ještě uveden zjednodušený číselný příklad se standardním rozmístěním sdružených bodů a to po jednom ve všech čtyřech rozích modelu a jedním v jeho středu. Číslovány jsou obdobně jako při analogovém vyhodnocování a středový bod dostává číslo 7. Výpočet je vztažen na formát snímku  $18 \times 18$  cm,  $f = 210$  mm, základnu v měřítku snímku  $b = 65$  mm a pořadnice na obou snímcích  $\bar{y} = y = |65|$  mm.

Souřadnice na levém snímku		
bod	$\bar{x}$ mm	$\bar{y}$ mm
3	0	+ 65
4	+ 65	+ 65
5	0	- 65
6	+ 65	- 65
7	+ 32,5	0

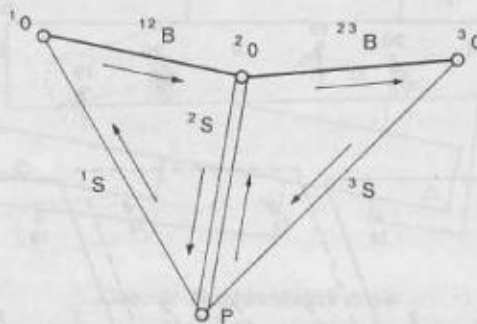
Souřadnice na pravém snímku		
bod	$x$ mm	$y$ mm
3	- 65	+ 65
4	0	+ 65
5	- 65	- 65
6	0	- 65
7	- 32,5	0

Vyčíslená rovnice (6)						
Bod	$-x d\kappa$	$+\frac{x\bar{y}}{d\varphi} d\varphi$	$-\left(f + \frac{y\bar{y}}{f}\right) d\omega$	$+(x-\bar{x}) dB'_y$	$+\frac{x\bar{y}-\bar{x}y}{f} dB'_z$	$= q$
3	+ 65	- 20	- 230	- 65	- 20	$= q_3$
4	.	.	- 230	- 65	- 20	$= q_4$
5	+ 65	+ 20	- 230	- 65	+ 20	$= q_5$
6	.	.	- 230	- 65	+ 20	$= q_6$
7	+ 32,5	.	- 230	- 65	.	$= q_7$

Řešení:

$$\begin{aligned}
 d\alpha &= 0,0077 [(q_3 + q_5) - (q_4 + q_6)] \\
 d\varphi &= 0,25 [(q_4 + q_5) - (q_3 + q_6)] \\
 d\omega &= 0,05 [q_7 - 0,0125 (q_3 + q_4 + q_5 + q_6)] \\
 dB_y &= 0,045 [(q_3 + q_5 - 4q_7) + 0,037 (q_4 + q_6)] \\
 bB_z' &= 0,025 (q_6 - q_5)
 \end{aligned}$$

Těmito vzorci lze počítat eliminaci zbytkových paralax při vzájemné orientaci na analogových strojích. Elementární rotace  $d\alpha$ ,  $d\varphi$ ,  $d\omega$  nutno však převádět na složky otáčení kolem os toho kterého stroje a translace vynásobit nastavenou délkou základny. Vzorce platí pro rovinu a příčné paralaxy  $q$  se měří přibližně pro snímkové souřadnice zde uvedené. Může se jich však užít všeobecně, jsou-li zbytkové paralaxy již malé. Zaokrouhlíme-li ještě ve vzorcích násobkové koeficienty a upravíme-li paralaxu  $q$  na bodě 7 na nulu odstraněním paralaxy na bodech 1 a 2,



Obr. 4. Řešení trojúhelníků obecně položených v prostoru

výpočet se dále zjednoduší. V analytických výpočtech se může těchto vzorců použít jako 1. aproximace před vyrovnáváním.

b) Výpočet souřadnic bodů v jednom modelu

Souřadnice nových bodů  $P (X, Y, Z)$  ve fotogrammetrickém modelu vzniklém ze dvou překrývajících se snímků, vzájemně orientovaných, se počítají prostorovým protínáním vpřed z trojúhelníka  $10 20 P$  (obr. 4).

$$X = \bar{X}_0 + \bar{S}\bar{A} = X_0 + SA, Y = \bar{Y}_0 + \bar{S}\bar{M} = Y_0 + SM, Z = \bar{Z}_0 + \bar{S}\bar{N} = Z_0 + SN \quad (11)$$

Ve vzorcích značí:

$\bar{X}_0, \bar{Y}_0, \bar{Z}_0$  souřadnice středu promítání levého snímku,

$X_0, Y_0, Z_0$  souřadnice středu promítání pravého snímku,

$\bar{A}, \bar{M}, \bar{N}$  směrové kosiny paprsků levého trsu, do kterého je vložena pevná souřadnicová soustava, a které se proto počítají z původních snímkových souřadnic a obrazové vzdálenosti,

$A, M, N$  směrové kosiny pravého trsu počítané podle vzorců (9) s tím, že se za součinitele  $a, b, \dots c$  zavedou součty z iterací,

$\bar{S}, S$  délky stran počítané podle vzorců

$$\bar{S} = \frac{\begin{vmatrix} (X_0 - \bar{X}_0) & A \\ (Z_0 - \bar{Z}_0) & N \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \bar{A} & A \\ \bar{N} & N \end{vmatrix}}, \quad S = \frac{\begin{vmatrix} \bar{A} & (\bar{X}_0 - X_0) \\ \bar{N} & (\bar{Z}_0 - Z_0) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \bar{A} & A \\ \bar{N} & N \end{vmatrix}} \quad (12)$$

c) Spojování jednotlivých modelů

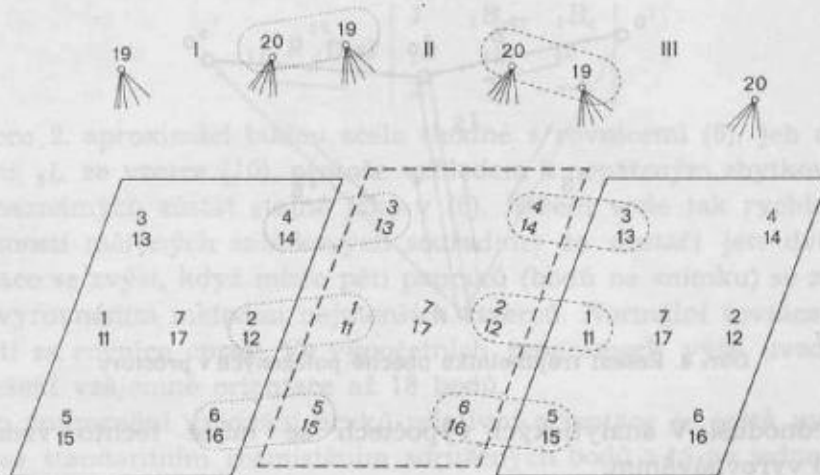
Středy promítání dvou sousedních snímků a skupina bodů z nich odvozených tvoří jeden dílčí model. Dva sousední modely mají společný jeden střed promítání a spojovací body terénní (obr. 4, 5). Pravou skupinu bodů nutno posunout ve směrech  $X, Y, Z$ , pootočit kolem tří

souřadnicových os a mimoto přizpůsobit měřítko pravého modelu předcházejícímu levému, tedy je třeba celkem 7 transformačních koeficientů; rotace musí přitom vyhovovat ještě podmínce ortogonality. Počítá se opět v linearizované formě, podobně jako u vzájemné orientace, a to na dva body terénní dané všemi třemi souřadnicemi a souřadnicí  $X$  středu promítání. Rovnice oprav pro výpočet klíče jsou:

$$\begin{aligned} dX_0 + X_1 d\varepsilon - Y_1 dK + Z_1 d\Phi &= X_1 - \bar{X}_1 \\ dY_0 + Y_1 d\varepsilon - X_1 dK - Z_1 d\Omega &= Y_1 - \bar{Y}_1 \\ dZ_0 + Z_1 d\varepsilon - X_1 d\Phi + Y_1 d\Omega &= Z_1 - \bar{Z}_1 \end{aligned} \quad (13)$$

atd.

Ve výpočetním programu se pracuje maximálně se 6 terénními body.



Obr. 5. Spojování modelů

Ve vzorcích značí

- $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$  souřadnice spojovacích bodů v levém modelu, případně v části již spojeného modelu, redukované na libovolný bod  $(\bar{X}_0, \bar{Y}_0, \bar{Z}_0)$ ,
- $X, Y, Z$  souřadnice spojovacích bodů v pravém (připojovaném) modelu redukované na sdružený bod  $(X_0, Y_0, Z_0)$ ,
- 1 měřítkový koeficient levého modelu,
- $dX_0, dY_0, dZ_0$  posuny celé připojované soustavy pravého modelu,
- $d\varepsilon$  změna měřítka pravého modelu vzhledem k levému,
- $dK, d\Phi, d\Omega$  elementární rotace pravého modelu vzhledem k levému.

Neznámé se eliminují z normálních rovnic sestavených běžným způsobem z rovnic oprav. Ze složek rotace  $dK, d\Phi, d\Omega$  se vypočítají směrové kosiny podle vzorců (8) a pak se všechny body transformují do soustavy modelu předcházejícího.

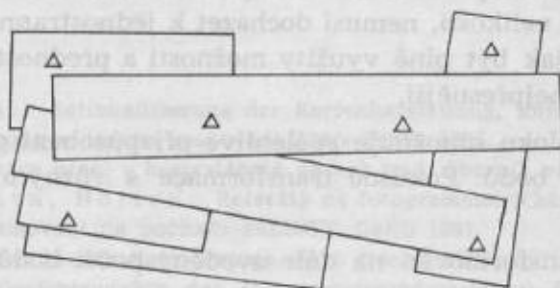
$$\begin{aligned} \bar{X} &= X_0 + dX_0 + (aX + bY + cZ) (1 + d\varepsilon) \\ \bar{Y} &= Y_0 + dY_0 + (a'X + b'Y + c'Z) (1 + d\varepsilon) \\ \bar{Z} &= Z_0 + dZ_0 + (a''X + b''Y + c''Z) (1 + d\varepsilon) \end{aligned} \quad (14)$$

S těmito souřadnicemi se celý výpočet opakuje za účelem dosažení požadované výpočetní přesnosti. Zpravidla dostačí 2 iterace podobně jako u vzájemné orientace. Stejným způsobem se připojuje každý další dílčí model na spojený předcházející. Celý pořad je pak vyjádřen v souřadnicové soustavě a měřítku prvního dílčího modelu a je obecně položen v prostoru.



#### d) Transformace spojeného fotogrammetrického modelu na geodetický podklad

K této operaci je třeba nejméně dvou bodů daných všemi třemi souřadnicemi a výškou bodu třetího. Výšky se předem přepočítávají na souřadnice  $Z$  pravouhlé soustavy vzhledem k rovině  $XY$  dotýkající se referenční koule v některém daném geodetickém bodě. Na tento bod se pak redukuje souřadnice geodetického podkladu a všechny body ve spojeném fotogrammetrickém modelu. Poté se podle rovnic oprav (13) sestaví normální rovnice a vypočítají translace, rotace a měřítkový koeficient, z nich pak směrové kosiny os převáděné souřadnicové soustavy podle (8) a celý fotogrammetrický model se transformuje pak podle (14) na geodetický podklad. Celý výpočet se opakuje, jsou-li větší translace a rotace. Po skončené transformaci se převedou souřadnice  $Z$  na nadmořské výšky.



Obr. 6. Nepravidelný blok

### 3. Výpočet aerotriangulačního bloku

Princip aerotriangulace spočívá na rekonstrukci polohy řady vzájemně se překrývajících snímků. Jestliže se překrývají i napříč ke směru letu, lze také v tomto směru využít jejich vzájemnou vazbu a sestavit blok s mnoha nadbytečnými podmínkami, čímž se ztuzí celá takováto soustava, umožní snížit počet bodů geodetického podkladu na nutné minimum a dosáhnout tak podstatného zlevnění zhušťování bodového pole. Praktické použití aerotriangulace v bloku je však vázáno určitými požadavky.

Plošný nebo prostorový útvar lze transformovat jen tehdy, když styčné body, ze kterých se má počítat klíč, neleží na jedné přímce. Při malém příčném překrytu snímkových řad, např. 25 %, nejsou již tyto body příliš vzdáleny od přímky, čímž uniká zajištění proti volnému otáčení útvaru kolem této přímky. Různé metody, kterými se mají nahradit nedostačující podmínky jednoznačnosti transformace, vyžadují zvyšování počtu pevných bodů, čímž zcela mizí přednosti aerotriangulace. Někdy jsou dokonce propagovány metody, spočívající na teoreticky a prakticky neproověřených domněnkách, které pak dávají nespolehlivé a prakticky nekontrolovatelné výsledky.

Přiměřeně tuhý blok může vzniknout při příčném překrytu asi 60 % a lze jej řešit současně v celém rozsahu. Při středně rozsáhlém bloku jde počet neznámých však již do tisíců, takže vznikají obtíže nejen při sestavování a kontrole vstupních hodnot a průběhu řešení, ale i velké náklady na počítač. Mimoto se v horách obtížně zajišťuje předepsaný překryt řad snímků.

Po zevrubném průzkumu různých metod, požadavků praxe a stavu počítačů u nás byl vyvinut a do lesního provozu zaveden postup, který není vázán na zvláštní podmínky, jako je přísné dodržování překrytu, zvláštní rozmístění zvýšeného počtu pevných bodů apod. Podélný překryt snímků je cca 60 %, překryt řad je přibližně 50 % a může být dodržen jen u několika snímků a jinak se může dosti libovolně měnit. Mezi snímky i řadami mohou vznikat i mezery a naopak se mohou řady i různě křížovat (obr. 6) [11, 14].

Výpočet takového bloku vychází z jednoho pořadu, pokud možno již připojeného na geodetický podklad. Jestliže žádný pořad bloku nemá dostatek bodů na geodetickou transformaci, zvolí se za základní libovolný pořad, který zůstane bez geodetické transformace, případně transformovaný jen na body odsunutě z nějaké topografické mapy. Na body v překrytovém pásu tohoto pořadu připojí se podle vzorců (13) (14), pořad sousední a na ten zase další atd. Styčné body

pro připojování sousedících pořadů musí být v překrytovém pásu rozmístěny tak, aby byl zajištěn výpočet spolehlivých transformačních klíčů. Tak vznikne množina bodů v souřadnicovém systému počátečního pořadu, která je pak, rovněž podle vzorců (13) (14), transformována do geodetického podkladu.

Rozvinutí bloku je závislé na podmínce, aby alespoň jeden bod připojovaného pořadu ležel co nejdále od okraje pořadu předcházejícího a dva body na jeho okraji nebo naopak. Prakticky se vyskytuje celá řada takto rozmístěných bodů, čímž je dán předpoklad pro exaktní vyrovnání, zaručující co nejpřesnější spojení pořadů.

Popsané pořady i blok jsou tuhé geometrické soustavy odpovídající svému fyzikálnímu vzniku. Rozbor dosažených výsledků ukazuje, že hlavním zdrojem snižování přesnosti analytické aerotriangulace jsou měřičky závadné snímky. Protože borcení modelů není ve všech pořadech stejné co do směru i velikosti, nemusí docházet k jednostrannému hromadění deformací při spojování řad. Mají-li však být plně využity možnosti a přednosti naznačené metody, musí být snímkový materiál co nejpřesnější.

Geometrická tuhost bloku umožňuje spolehlivé přizpůsobení geodetickému podkladu při minimálním počtu styčných bodů. Pokusné transformace s různým počtem bodů daly tyto výsledky:

Blok o 63 dvojicích byl transformován na dále uvedený počet bodů a výsledek porovnán s 15 danými body:

- 12 bodů dalo střední chyby  $m_x \pm 0,7$  m,  $m_y \pm 0,5$  m,  $m_z \pm 0,8$  m,
- 9 bodů dalo střední chyby  $m_x \pm 0,8$  m,  $m_y \pm 0,6$  m,  $m_z \pm 0,7$  m,
- 7 bodů dalo střední chyby  $m_x \pm 0,6$  m,  $m_y \pm 0,5$  m,  $m_z \pm 0,6$  m,
- 3 body daly střední chyby  $m_x \pm 0,1$  m,  $m_y \pm 0,5$  m,  $m_z \pm 0,8$  m.

Když bylo několik pořadů tohoto bloku s dostatečným počtem pevných bodů samostatně na ně transformováno, dosáhlo se přibližně stejné přesnosti. Větší přesnost nelze očekávat, protože některé snímky měly až 0,14 mm difference mezi obrazy protilehlých rámových značek. Z toho, jakož i z dalšího statistického šetření, které bylo provedeno, lze usoudit, že spojováním řad prostřednictvím většího než dostačujícího počtu styčných bodů se chyby nepříznivě nezvětšují a že pro geodetickou transformaci není nutné zavádět větší počet bodů pro výpočet klíče než 6 až 7 u pořadu i u bloku. Je-li k dispozici bodů více, je výhodnější pořad či blok zmenšit.

Při sestavování bloku je třeba eliminovat všechny snímkové a měřičké chyby a používat hodnotného geodetického podkladu. Pevné body nutno jednoznačně signalizovat, upravit okolní terén a výhled vzhůru. Při nepatrném počtu volně rozptýlených bodů, které se zpravidla ani nezaměřují, protože jde o body trigonometrické, jsou náklady i na solidní signalizaci nepatrné. Body špatně signalizované, které nelze na snímku spolehlivě identifikovat, nebo body nepřesně zaměřené, mohou znehodnotit i dobře rozvinutý blok. Při nutném zhušťování základního bodového pole je levnější zaměřit spolehlivě bod jeden, než několik o různých vahách.

Naznačená aerotriangulační metoda je založena na jasných geometrických vztazích, které umožňují exaktní aplikaci vyrovnávání metodou nejmenších čtverců a to důsledně během celého výpočtu, dílčí a konečné kontroly posuzovatelné operátérem a určení středních chyb ve vzájemné orientaci, spojování modelů i řad a v geodetické transformaci, neovlivněných umělými průhyby modelů, zastiňující skutečný stav. Podélný překryt asi 60 % a příčný mezi řadami asi 50 % se letecky snadno dodržuje i v horách a nezabírá více snímků než při 80 %, který při větším příčném překrytu není nutný.

V tabulce 1 jsou sestaveny charakteristické technické a ekonomické výsledky. Nejdůležitější jsou jistě údaje o přesnosti. Ty se od sebe do jisté míry liší. Je to jednak v důsledku různých měřítek snímků a jejich kvality, hlavně pokud se týče matematicky nedefinovatelné srážky filmu. Bloky uvedené v tabulce jsou v úplně zalesněném vysokohorském území, kde se velmi těžko vyhledávají spojovací a styčné body, často musí být nevhodně umísťovány, musí se užívat i vrcholů stromů, které jsou k tomuto účelu nejméně způsobilé. Jde tedy o nejobtížnější případy, které se při mapování vyskytují.

Střední chyby na styku jednotlivých řad bloku a mezi dílčími modely řad jsou malé, a není proto v překrytových páslech rušena kontinuita kresby. Usnadňuje se tím vyhodnocování detailu zvláště při rytí.

#### 4. Stupeň automatizace výpočtu

Celý výpočet analytické aerotriangulace jednotlivých řad i bloku je plně automatizován. Samočinně se opravují měřené snímkové souřadnice, provádějí různé logické operace a výsledkem je děrná páska a čitelný text obsahující orientační údaje, výsledek iterací, zbytkové chyby v příčných paralaxách po výpočtu vzájemné orientace, zbytkové chyby ve spojování dílčích modelů, v klíči transformace na geodetické body a seznam souřadnic a výšek všech určených bodů.

#### Literatura:

1. Brucklacher W. A.: Rationalisierung der Kartenherstellung, Kartographische Nachrichten 1967.
2. Hautke Č.: Nové metody v lesním mapování Aktiv ÚSGK 1965.
3. Hautke Č.: Racionalizace prací v hospodářské úpravě lesů, Sborník vědeckého les. ústavu, 1969.
4. Halonen, Savolainen, Holsen: Referáty na fotogrammetrickém kongresu 1968.
5. Charamza F.: Programování na počítači ELLIOTT, GaKO 1961.
6. Folkers J.: Automation in der Kartographie, Kart. Nachr. 1967.
7. Schwidofsky K.: Gesichtspunkte der Instrumentenindustrie zur Automation in der Photogrammetrie, Bildmessung u. Luftbildwesen, 1966.
8. Szangolies K.: Allgemeine Betrachtungen über die analytische Photogrammetrie, Zeiss Compendium IV.
9. Weibrecht O.: Über die Möglichkeit zur Erfüllung der Perspektivbedingungen an Entzerrungsgeräten, Jena 1960.
10. Tomsa K.: Prostorové protínání zpětné, Techn. obzor 1930.
11. Tomsa K.: Geodet. bursa v Brně 1966.
12. Tomsa K.: Výzkumné zprávy a Sborník VÚGTK.
13. Tomsa K.: Praktická geometrie lesnická, 1966.
14. Tomsa K.: Die analytische Aerotriangulation mit photogrammetrischen Geräten aus Jena, Jenaer Rundschau 1968.



## Dosavadní výsledky v aplikaci analytické fotogrammetrie u VTOPÚ

Analytická fotogrammetrie je zatím u VTOPÚ uplatněna a rozvíjena jen v jediném směru - v analytické aerotriangulaci při použití blokové metody jejího vyrovnání. Používá se pro zhušťování bodového podkladu potřebného k mapování v měřítku 1 : 10 000. Stala se hlavní a v roce 1969 vlastně už jen jedinou používanou metodou určování vřícovacích bodů při fotogrammetrickém mapování. Rozsah, v němž je analytická aerotriangulace používána, představuje přibližně 2 % celkové kapacity VTOPÚ, asi 9 % prací fotogrammetrických, méně než 1 % prací výpočetních. V roce 1968 bylo pro výpočty analytické aerotriangulace použito přibližně 13 % strojového času počítače MINSK-22 (v roce 1969 se předpokládá asi 6 %).

Analytická aerotriangulace není tedy pro VTOPÚ důležitá svým rozsahem. Je však významná kvalitativně poměrně vysokým stupněm mechanizace jednotlivých operací, převážně automatizovaným výpočtem, vzrůstem produktivity práce a příkladností pro mechanizaci a automatizaci dalších měřických, zejména fotogrammetrických metod a postupů.

-V současné době se připravuje aplikace blokové metody analytické triangulace pro velkoměřítková mapování (1 : 2 000 a 1 : 1 000). Aspoň stručnou zmínku zaslouží též příprava určení topocentrických souřadnic hvězd a umělých družic Země a jejich další využití pro úkoly kosmické geodézie.

To jsou však úkoly, které ze stadia výzkumného přecházejí do provozních podmínek. Závěry o jejich aplikaci a výsledcích jsou ještě předčasné.

Omezím se tedy na výsledky aplikace analytické aerotriangulace.

Přístrojová aerotriangulace byla ve VTOPÚ používána v běžném fotogrammetrickém provozu od roku 1957 plných 10 let. Od počátku roku 1968 je pro fotogrammetrické zhuštění bodového podkladu používána bloková metoda analytické aerotriangulace, jejímž autorem je doc. CSc. ing. Vladimír Krátký. Formulace úlohy i teoretický základ metody jsou jistě dobře známy. Doc. Krátký aplikoval řešení této úlohy s přihlédnutím ke konkrétním podmínkám VTOPÚ v návrhu technologie analytické aerotriangulace, jejíž schéma je uvedeno v tabulce I.

Konkrétní podmínky, omezující řešení, vyplynuly především z možností fotogrammetrické a výpočetní techniky a z požadavků na přesnost výsledků. Ekonomické podmínky nebyly konkrétně formulovány.

Z použité fotogrammetrické techniky má určující význam **letecká fotogrammetrická komora**. K pořízení snímků pro analytickou aerotriangulaci bylo použito komor

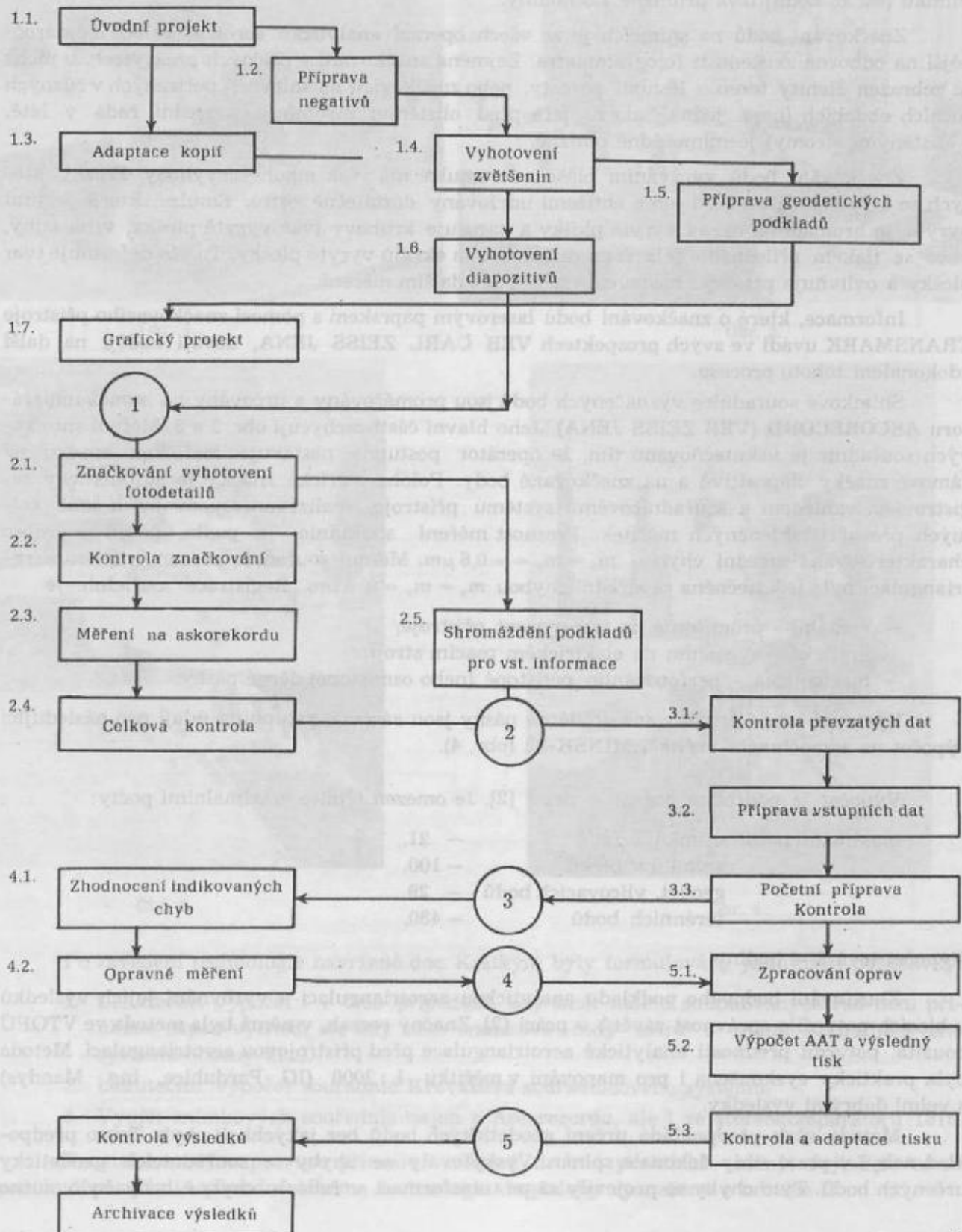
RC - 5, Wild,	formát 18 × 18 cm, f = 114,72 mm,
MRB 1818, Zeiss,	formát 18 × 18 cm, f = 115,21 mm,
MRB 1818, Zeiss,	formát 18 × 18 cm, f = 210,82 mm.

U těchto komor jsou přesně známy souřadnice rámových značek i konstanty komor s přesností na ± 0,006 mm. Rovněž jsou známy kvality objektivů, zejména jejich zkreslení.

Snímky byly pořízeny za běžných podmínek pro snímkování, byl použit film FOMA nebo ORWO, expozice 1/200, resp. 1/300 s, rychlost letu při snímkování cca 250 až 300 km/h z výšky cca 3600 m, resp. 5200 m. Filmy byly vyvolány běžným způsobem ve vyvolávacím automatu sovětské výroby. Vlastním měřickým podkladem jsou skleněné diapozitivy, zhotovené na elektronické kopírce RANK CINTEL. Bylo použito diapozitivního materiálu Gewaert PLAN GLASS, 3 DIN, normální nebo kontrastní gradace.

Aby bylo možno změřit snímkové souřadnice bodů jednoznačně a s dostatečnou přesností, je bezpodmínečně nutno body na snímcích před měřením označit. Body jsou značkovány **značkovacím přístrojem WILD PUG 3** (obr. 1). Značkou je kruhová ploška vyfrézovaná v emulzní vrstvě diapozitivu. Střední chyba v poloze značky je ± 20 μm. Značka je vyfrézována do emulze v místě, na něž je stereoskopicky nastavena měřická značka přístroje. Stereoskopický efekt

TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA ANALYTICKÉ AEROTRIANGULACE



s osminásobným zvětšením je vytvářen v relativně malém zorném poli o poloměru 20 mm. Vzájemnou orientaci snímků k vytvoření stereoskopického efektu je nutno uskutečňovat zvlášť pro každý značkový bod.

Přesné a pečlivé vyznačení bodů je zvlášť důležitou etapou fotogrammetrických prací. Kvalita dalších měřických a výpočetních prací na ní podstatně závisí. Zvláště v prostorech, které se na snímcích zobrazují s malým kontrastem (např. zalesněné prostory), je signalizování bodů v terénu a značkování bodů na snímcích zcela nutné. Značkování na jednom leteckém snímku (asi 15 bodů) trvá přibližně 1,5 hodiny.

Značkování bodů na snímcích je ze všech operací analytické aerotriangulace nejnáročnější na odborné zkušenosti fotogrammetra. Zejména značkování v příčných překrytech, v nichž je zobrazen členitý terén s lesními porosty, nebo značkování na snímcích pořízených v různých ročních obdobích (např. jedna řada na jaře před olistěním stromů a sousední řada v létě, s olistěnými stromy) je mimořádně obtížné.

Značkování bodů vyrýváním plošek do emulze má však mnohé nevýhody. Frézky, kterých se k rytí používá, jsou jen s obtížemi udržovány dostatečně ostré. Emulze, která je jimi vyryta, se hromadí na okraji vyryté plošky a narušuje kruhový tvar vyryté plošky, vrhá stíny, nebo se tlakem příložného skla rozprostírá kolem okrajů vyryté plošky. To vše deformuje tvar plošky a ovlivňuje přesnost nastavení mřížky při dalším měření.

Informace, které o značkování bodů laserovým paprskem s pomocí značkovacího přístroje TRANSMARK uvádí ve svých prospektech VEB CARL ZEISS JENA, dávají naději na další zdokonalení tohoto procesu.

Snímkové souřadnice vyznačených bodů jsou proměřovány a určovány na **monokomparátoru ASCORECORD** (VEB ZEISS JENA). Jeho hlavní části zachycují obr. 2 a 3. Měření snímkových souřadnic je uskutečňováno tím, že operátor postupně nastavuje měřickou značku na rámové značky diapozitivů a na značkové body. Poloha měřické značky je automaticky registrována vzhledem k souřadnicovému systému přístroje, realizovanému dvojicí k sobě kolmých přesných skleněných měřitek. Přesnost měření souřadnic je podle údajů výrobce charakterizována střední chybou  $m_x = m_y = \pm 0,6 \mu m$ . Měření souřadnic pro analytickou aerotriangulaci byla uskutečněna se střední chybou  $m_x = m_y = \pm 5 \mu m$ . Registrace souřadnic je

- vizuální - promítnutá na transparent přístroje,
- grafická - vypsáním na elektrickém psacím stroji,
- mechanická - perforováním pětistopé (nebo osmistopé) děrné pásky.

Výstupní údaje perforované do děrné pásky jsou zároveň vstupními údaji pro následující výpočet na **samočinném počítači MINSK-22** (obr. 4).

Výpočet je podrobně popsán v práci [2]. Je omezen těmito maximálními počty:

maximální počet snímků v řadě	– 21,
snímků v bloku	– 100,
geodet. vřícovacích bodů	– 29,
terénních bodů	– 430.

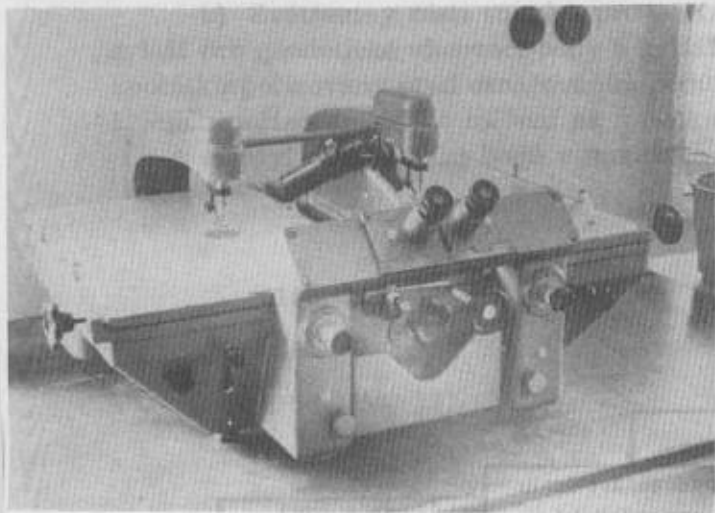
Výpočet trvá 3–4 hodiny.

Zhušťování bodového podkladu analytickou aerotriangulací a vyrovnání jejích výsledků v blocích potvrdilo správnost závěrů v práci [2]. Značný rozsah, v němž byla metoda ve VTOPÚ použita, potvrdil přednosti analytické aerotriangulace před přístrojovou aerotriangulací. Metoda byla prakticky vyzkoušena i pro mapování v měřítku 1 : 2000 (IG Pardubice, ing. Mandys) s velmi dobrými výsledky.

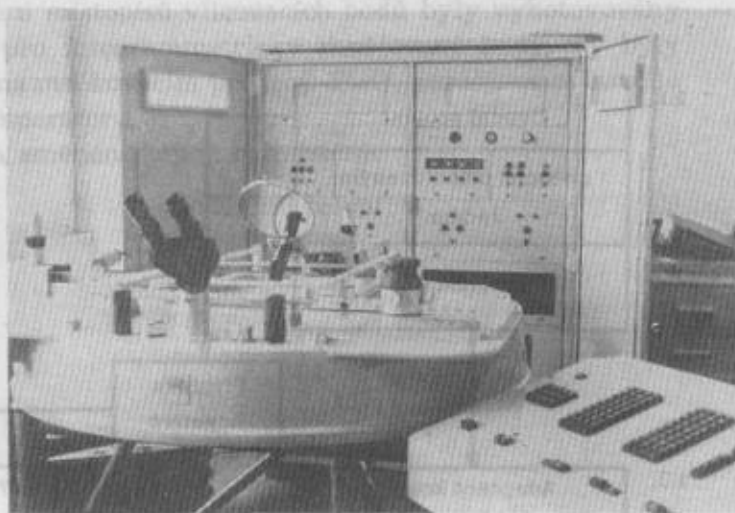
Metoda však předpokládá určení geodetických bodů bez jakýchkoli chyb. Tento předpoklad nebyl v praxi vždy dokonale splněn. Vyskytovaly se chyby v souřadnicích geodeticky určených bodů. Tyto chyby se projeví až po transformaci v řadách, chybné body bylo nutno



z dalšího výpočtu vylučovat, část výpočtu opakovat, čímž přesnost a efektivnost klesala. Příčiny chyb byly různé, nejčastěji chybná identifikace vřícovacího bodu na snímku, chybná orientace rajónu nebo základny, chybná registrace vstupních údajů na děrné pásce způsobená technickými závadami děrovače nebo chybami, jichž se dopustila obsluha Ascorecordu.



Obr. 1.



Obr. 2.



Obr. 3.



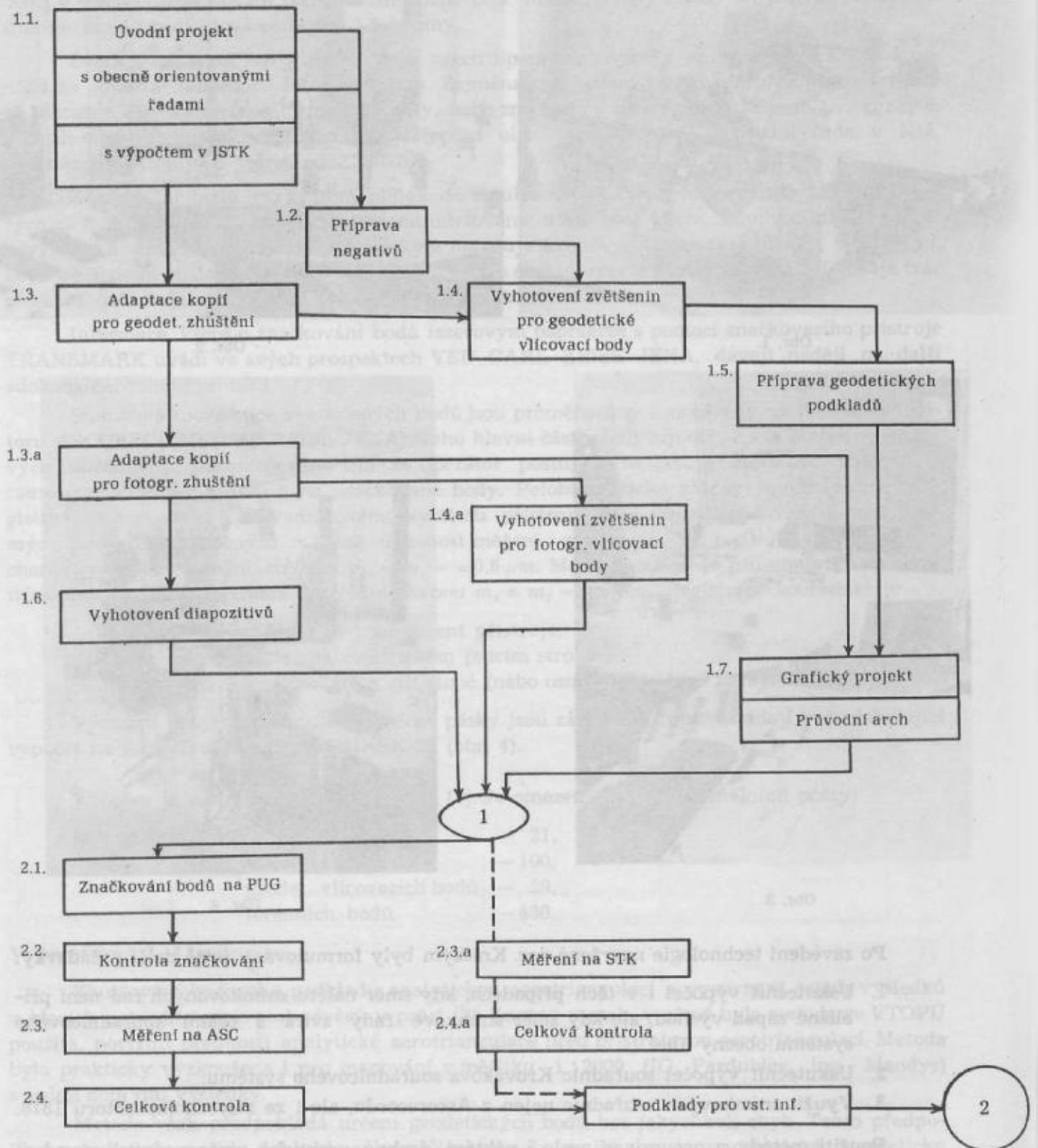
Obr. 4.

Po zavedení technologie navržené doc. Krátkým byly formulovány ještě další požadavky:

1. Uskutečnit výpočet i v těch případech, kdy směr náletu snímkaných řad není přibližně západ-východ, ale kdy směr snímkové řady svírá s osami souřadnicového systému obecný úhel.
2. Uskutečnit výpočet souřadnic Křovákova souřadnicového systému.
3. Využít snímkových souřadnic nejen z Ascorecordu, ale i ze stereokomparátoru 1818.

Použití metody v provozu přineslo i některé drobné praktické změny. Jejich zavedení poněkud pozměnilo původní schéma technologie do podoby vyznačené v tabulce II.

TECHNOLOGICKÉ SCHEMA AAT



Došlo zejména k těmto změnám:

a) Adaptace kopií byly rozděleny do dvou částí:

- pro geodetické zabezpečení zhuštění,
- pro fotogrammetrické zhuštění.

b) Zvětšeniny částí snímků pro pořízení místopisů vřícovacích bodů byly vyhotovovány zvlášť pro geodetické vřícovací body a zvlášť pro fotogrammetricky zhušťované body. Ty byly zpočátku pořizovány před označováním bodů na značkovacím přístroji PUG, později se přikročilo k jejich pořizování až po měření na monokomparátoru.

c) Byl snížen počet bodů v modelech a změněno jejich rozmístění:

Původní návrh:	Současné řešení:
o o o	o o
156 <sub>2</sub> 156 <sub>4</sub> 157 <sub>2</sub>	156 <sub>2</sub> 157 <sub>2</sub>
	156 <sub>7</sub>
	o
156 <sub>0</sub> 156 <sub>1</sub> 157 <sub>0</sub>	156 <sub>1</sub> 157 <sub>1</sub>
o o o	o 156 <sub>8</sub> o
	o
156 <sub>3</sub> 156 <sub>5</sub> 157 <sub>3</sub>	156 <sub>3</sub> 157 <sub>3</sub>
o o o	o o
optimálně 9–10 bodů v modelu	8 bodů v modelu

Zmenšil se počet značkových bodů v diapozitivu a v příčných překrytech. Značkování v příčných překrytech bylo velmi obtížné a v některých případech neproveditelné.

d) Grafický projekt zhuštění byl prováděn ve dvou částech:

- da) schematický zakres bloku s jednotlivými řadami a modely v řadách a s umístěním a očíslováním geodetických vřícovacích bodů,
- db) pro každou řadu samostatně se zakres modelů a s vložením a očíslováním jak geodetických vřícovacích bodů, tak i fotogrammetricky zhušťovaných bodů.

Tento způsob lépe vyhovoval jak pro další fotogrammetrické zpracování, tak i při vlastním výpočtu na samočinném počítači.

e) Pro každý blok je zakládán „průvodní arch“, neboť průvodní zápisník a průvodní záznam svými rubrikami nevyhovují.

f) Byly doplněny programy pro výpočet analytické aerotriangulace z obecně orientovaných bloků a řad.

g) Byly doplněny programy pro výpočet analytické aerotriangulace se souřadnicemi bodů v Křovákově souřadnicovém systému.

Z tabulky III a IV je zřejmé, že analytická aerotriangulace nám dává výsledky uspokojivé co do přesnosti. Další zvýšení přesnosti závisí zejména na kvalitě snímků, vřícovacích bodů, značkování bodů a na měření snímkových souřadnic. Není závislé na výpočtu a na metodě jako celku.

Podobně je tomu i s ekonomickými výsledky. Ekonomická výhodnost uplatnění analytické aerotriangulace není zatím ve VTOPÚ prokazatelná. Je však možno porovnat některé údaje o přístrojové aerotriangulaci v roce 1967 a analytické aerotriangulaci v roce 1968. Toto porovnání obsahuje tabulka V. Je z ní patrný celkový pokles spotřeby pracovního času na 1 km<sup>2</sup> (o více než 20 %), zejména pokles podílu fotogrammetrického měření a výpočtu (asi o třetinu), naopak vzrůst podílu přípravných kontrolních prací (téměř dvojnásobek). Přírůstek hodinové produkce činí asi 7 %. Mzdové i materiálové náklady jsou nepochybně vyšší.

Celé toto porovnání je třeba brát s rezervou, přestože jde o údaje objektivní a prověřené při KER 1968. Je nutno vzít v úvahu, že rok 1968 byl prvním rokem provozního použití analytické aerotriangulace a že je třeba vidět v něm i část zkušebního provozu. V roce 1969 lze po odstranění některých nedostatků a po zvýšení zručnosti pracovníků očekávat lepší výsledky.



I při výraznějších zlepšeních lze však předpokládat, že analytická aerotriangulace bude v porovnání s přístrojovou aerotriangulací přinášet časové úspory v dosavadních druzích prací VTOPŮ jen o procenta nebo desítky procent, přičemž ekonomická výhodnost nebude přesvědčivě prokazatelná.

Tabulka III

VNITŘNÍ PŘESNOST

Při výpočtu jsou sledovány všechny relativní i absolutní chyby a nakonec je vypočtena jednotková chyba vyrovnání v jednotlivých souřadnicích.

Jako příklad je uvedeno 10 namátkově vybraných bloků:

Číslo bloku	$m_{ox}$ (v m)	$m_{oy}$ (v m)	$m_{oz}$ (v m)
715	0,35	0,48	0,85
805/2	0,44	0,47	0,56
807	0,48	0,56	0,52
814/2	0,46	0,40	0,79
818/1	1,21	1,41	1,27
821/1	1,73	1,17	1,18
823	1,86	1,06	1,34
828	0,54	0,47	0,51
829	0,50	0,41	0,79
831	0,58	0,53	0,92

VNĚJŠÍ PŘESNOST

U nadbytečných geodetických bodů byly vypočteny z geodetických a fotogrammetrických souřadnic chyby a vypočtena střední chyba v jednotlivých souřadnicích.

Číslo bloku	Počet bodů	$m_x$ (v m)	$m_y$ (v m)	$m_z$ (v m)
802	16	$\pm 1,60$	$\pm 1,50$	$\pm 0,95$
902/1	10	$\pm 1,27$	$\pm 2,01$	$\pm 0,77$
902/2	15	$\pm 1,46$	$\pm 1,31$	$\pm 1,17$

Tabulka IV

Počet výpočtů na 1 blok AAT	—	1	2	3	4	5	více	—	Poznámka
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Uskutečněné výpočty	počet	55	33	16	9	4	3	120	100 % = 120 výpočtů
	%	46	27	13	8	3	3	100	100 % = 120 výpočtů
	%	100	60	30	16	7	5	—	100 % = 55 bloků
Ukončené výpočty	počet	22	17	7	5	1	3	55	100 % = 55 bloků
	%	40	31	13	9	2	5	100	100 % = 55 bloků
	počet	22	39	46	51	52	55	55	postupný součet
	%	40	71	84	93	95	100	—	postupný součet

Údaje uvedené ve sloupcích 4 až 8 jsou počty výpočtů opakovaných, jejich podíl na celkovém počtu výpočtů, event. jejich postupné součty.

Příklad: Tři výpočty, tj. první a další dva opakované opravné výpočty byly uskutečněny v 16 případech, tj. u 13 % všech výpočtů a u 30 % bloků.

Z těchto 16 případů bylo 7 úspěšně ukončeno, tj. 13 % z celkového počtu bloků.

Po prvním výpočtu a po dvou opakovaných opravných výpočtech bylo úspěšně vyrovnáno 46 bloků, což je 84 % z celkového počtu.

Tabulka V

	AT 1967					AAT 1968					
	Mj	SH	$\frac{SH}{1 \text{ vb}}$	$\frac{SH}{1 \text{ km}^2}$	Podíl na celk. rozsahu	Mj	SH	$\frac{SH}{1 \text{ vb}}$	$\frac{SH}{1 \text{ km}^2}$	Podíl na celk. rozsahu	Index 1967 %
1 Celkem	km <sup>2</sup> 1 356	9 987	—	7,35	100	km <sup>2</sup> 2 261	13 066	—	5,78	100	79
2 Z toho	vb					vb					
- měř. vb v terénu	608	3 133	5,15	2,31	32	635	3 240	5,10	1,43	25	62
3 - AT, kancel. práce	—	6 854	—	5,04	68	—	9 826	—	4,35	75	86
4 Z AT a kancel. prací											
- příprava, revize a dokonč. AT	—	1 850	—	1,36	18	—	5 039	—	2,23	39	164
5 - fotogr. měření	—	4 187	—	3,08	42	—	4 046	—	1,79	31	57
6 - výpočty	—	817	—	0,60	8	—	741	—	0,33	5	55
	Mj	SH	$\frac{Mj}{SH}$	$\frac{SH}{1 \text{ km}^2}$	—	SH	$\frac{SH}{SH}$	$\frac{SH}{1 \text{ km}^2}$	—	1 %	
7 fotogrammetrické práce	km <sup>2</sup> 1 356	6 037	0,224	—	—	km <sup>2</sup> 2 261	9 392	0,241	—	—	107,8
8	sn 1 238	6 037	0,205	—	—	sn 2 067	9 392	0,220	—	—	107,3
9 Eventuální měření a výpočty k určení vlíčovacích bodů	km <sup>2</sup> 1 356	geodeti 7 220	0,194	5,32	—	km <sup>2</sup> 2 261	geodeti 11 720	0,196	5,18	—	—
10 bez použití metod fotogr. zhuštění	vb 1 400	skupiny 28 880	0,048	21,28	—	vb 2 300	skupiny 46 880	0,049	20,72	—	—
11 P geodeti %	—	—	—	138,2	—	—	—	—	113,3	—	—
skupiny %	—	—	—	34,5	—	—	—	—	28,4	—	—

Poznámka:  $P = \frac{AT}{\text{geodet.}}$  resp.  $\frac{AAT}{\text{geodet.}}$  je poměr spotřeby SH na 1 km<sup>2</sup> uvedené v řádcích 1 a 9, resp. 10.

Zcela přesvědčivé a jednoznačné je však porovnání spotřeby času mezi fotogrammetrickými metodami zhuštění bodového pole, jež je uvedeno rovněž v tabulce V. Eventuální zaměření vlíčovacích bodů geodetickými metodami a výpočty souřadnic vlíčovacích bodů by si vyžádaly přibližně trojnásobek až čtyřnásobek času vynaloženého při použití fotogrammetrických metod zhuštění.

Pozitivní přínos aplikace analytické aerotriangulace u VTOPŮ je třeba vidět zejména v jejích důsledcích na zvýšení kvalifikace pracovníků, v důkazu realizovatelnosti analytické aerotriangulace v provozních, nikoli jen v experimentálních podmínkách, v ujasnění dalších směrů, jimž je třeba věnovat pozornost při uplatnění analytické fotogrammetrie v praxi.

Jako nejučinnější a nejnaléhavější se jeví:

- zlepšit kvalitu leteckých snímků i snímkových řad objektivizací fotografického procesu a dokonalým splněním geometrických podmínek snímání;
- zdokonalit způsob přesného značkování bodů na snímcích;
- maximálně snížit poruchovost periferních zařízení komparátorů, zvýšit jejich spolehlivost, omezit možnosti subjektivních vlivů pracovníků při měření na komparátorech a omezit potřebu kontrol;

- d) zdokonalit metodiku měření na komparátorech s cílem zvýšit spolehlivost a přesnost měření v daných provozních podmínkách.

Rozsah a naléhavost našich úkolů ve velkoměřítkovém mapování nás nutí urychleně tyto úkoly vyřešit.

Literatura:

- [1] Doc. ing. Vladimír Krátký CSc., Příspěvek k řešení analytické aerotriangulace v bloku, Brno 1964.  
 [2] Doc. ing. Vladimír Krátký CSc., Blokova metoda analytické aerotriangulace na samočinném počítači Minsk 22, Dobruška 1968.

Došlo dne 22. 7. 1969

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



## Vyvolávací automaty pro zpracování negativů leteckých filmů k fotogrammetrickému využití

### Úvod

Kvalita výroby jak leteckých snímků, tak odvozených snímkových podkladů musí v současné době vyhovovat stále stoupajícím nárokům odběratelů a zpracovatelů. Proto se i požadavky kladené na moderní fotolaboratorní zpracování leteckých snímků dosti liší od dříve obvyklých zásad. Současná snaha o co nejobektivnější a zcela reprodukovatelnou kvalitu výrobků s sebou nese snahu o vyloučení subjektivních vlivů při ručním zpracování a tedy úsilí o mechanizaci procesů, přecházející v plnou automatizaci.

Používání automatů jak v procesu negativním, tak pozitivním není záležitostí posledních let. Zejména v kinematografii je snaha o mechnizaci fotolaboratorního zpracování filmu již od roku 1886, kdy byl podán první britský patent na stroj, který má všechny znaky dnešních vyvolávacích automatů. První plynulý vyvolávací stroj byl postaven ve Francii v roce 1907 firmou Gaumont. Světová válka 1914-1918 ochromila další filmový rozvoj v Evropě. Do čela průkopníků filmové techniky se dostávají Američané a do dnešního dne nebyli nikým v tomto oboru předstiženi. V roce 1914 se výrazně zvyšuje kvalita vyvolávacího procesu zavedením turbulence (intenzivního míchání lázni). Zavádění stále náročnějších filmů širokoúhlých a barevných s vynikající ostrostí do kin je dnes samozřejmostí. Pořízení takových filmů má vysoké požadavky na laboratorní zpracování, a proto je v současné době zaměřeno úsilí všech fotolaboratoří v kinematografii k tomuto cíli. Není třeba podotýkat, že vyvolávací soustavy, které musí vyhovovat vysokým nárokům, musí být po stránce konstrukční a materiálové dokonalé (odvíjecí a navíjecí zařízení, doprava filmů, míchání, temperace, filtrace lázni atd.), stejně tak zachování chemické a fotografické stability roztoků (příprava, cirkulace a regenerace vývojek a pomocných lázni, dokonalost ustálení a vyprání výrobků) je zde úplnou samozřejmostí.

### 2. Vyvolávací soustavy užívané v kinematografii

Vyvolávací soustava v současném pojetí musí zajišťovat v mezích stanovených tolerancí

- a) stálé fyzikální podmínky, tj. teplotu, stálý objem, rychlost pohybu a čistotu vývojek i ostatních lázní,
- b) stálé podmínky chemické, tj. neproměnné fotografické vlastnosti, udržované pomocí neproměnného složení lázni (tj. zavedení účinné regenerace).

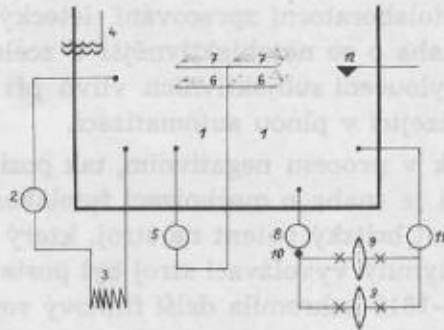
Jakékoli vybočení musí být okamžitým technologickým zásahem uvedeno na minimum. Má-li vyvolávací soustava vyhovět těmto předpokladům, musí obsahovat:

1. kyvety, v nichž se film vyvolává,
2. zařízení pro posun filmu - plynulý pohyb stálou rychlostí bez možnosti poškození podložky ani emulze a bez působení nepřípustných tahů,
3. účinné míchání lázni v kyvetách,
4. zařízení pro udržování stálé teploty vývojký,
5. zařízení pro udržování sláhlého objemu všech pracovních roztoků,
6. čisticí zařízení pro pracovní roztoky.

Schéma jedné kyvety (nádoby) ideální vyvolávací soustavy je na obrázku 1.

Vývojka z kádě 1 se odebírá odstředivým čerpadlem 2, prochází tepelným výměníkem 3, odtud se vrací do 1. V kádi je umístěn kontaktní teploměr 4, který udává impulzy relé, jež

zapíná ovládací mechanismus, převádějící chladicí nebo ohřívací medium do výměníku. Odstrředivé čerpadlo 5 odebírá vývojku z kádě 1 a rozdělovací soustava 6 ji přivádí k tryskám 7, které pod tlakem vrhají vývojku na povrch emulzní vrstvy nebo těsně pod hladinu. Je tak zaručeno rozrušování hraniční vrstvy na povrchu vyvolávané emulze. Další odstředivé čerpadlo 8 protlačuje roztok jedním z paralelních filtrů 9. Tlakoměr 10 nebo průtokoměr 11 umožňují sledovat odpor filtrů; při jeho vzrůstu je kapalina vedena paralelní druhou větví a první se čistí. Stálého objemu se dosahuje hladinovým regulátorem (objemový kompenzátor) 12. Film vynáší vývojku ze soustavy, objemový kompenzátor upravuje její úroveň tím, že přivádí do



Obr. 1. Schéma cirkulačních obvodů vyvolávací soustavy

soustavy stejné množství, jaké bylo vyneseno. Jiný způsob pracuje na principu dozátorů, dodávajících určité množství vývojky (regenerace vhodného složení) na jednotku zpracovávaného výrobku. Hladinové regulátory reagují i na nahodilé změny a ztráty kapaliny, např. zatékáním v soustavě, a mohou se proto porušit chemické podmínky procesu.

Uvedená soustava může být zjednodušena a některé funkce prováděny současně (např. regulace teploty + turbulence, filtrace + turbulence atd.).

Reprodukovatelnost procesů, probíhajících ve vyvolávací soustavě musí být zajištěna:

1. kontrolou senzimetrickou - skládající se z pravidelného vyvolávání standardních senzimetrických klínů ve vyvolávací soustavě (vyvolávacím automatu) a jejich denzimetrického vyhodnocování a vyvozování závěrů z těchto výsledků přímo ve výrobě. Změna gama jednotlivých klínů signalizuje totiž změněné podmínky procesu (teplotu, dobu vyvolávání a koncentraci důležitých substancí zpracovatelských lázní);
2. kontrolou chemickou - umožňující konkrétní úpravy aktivity lázní pomocí rychlosti přítoku a změn koncentrace regeneračních roztoků. Chemická kontrola se skládá z kontroly pH, nárůstu koncentrace bromidů, poklesu koncentrace vyvolávacích substancí, siřičitanů, alkálií atd.

Moderní vyvolávací proces si v současné době již nelze bez těchto nezbytných kontrol představit. Zejména velké filmové laboratoře musí mít pro zajištění reprodukovatelné výroby dobře pracující laboratoře chemické a senzimetrické kontroly.

### 3. Současný stav fotolaboratorního zpracování negativu let. snímku, u VTS.

Dosavadní stav výroby leteckého negativu fotoletecké skupiny (dále FLS) se ve světle moderních poznatků z fotochemie a filmové techniky jeví velmi neuspokojivý. Je zřejmé, že dobré odborné fotografické znalosti a dlouhodobé praktické zkušenosti pracovníků fotolaboratoří FLS a VTOPŮ, spojené se subjektivní snahou o co nejlepší výsledky, už v současné době nestačí k tomu, aby hromadná výroba leteckých negativů i odvozených snímkových podkladů byla standardní a v každém časovém úseku reprodukovatelná. Zde musí nastoupit do pracovního procesu dokonalé přístrojové vybavení a objektivní kontrolní metody.

Dosavadní přístrojové vybavení laboratoří, zejména FLS, je velmi nedokonalé a v současné době již zastaralé; chemická ani senzitometrická kontrola procesu se dosud neprovádí.

Na pracovišti FLS se používá k vyvolávání kratších kusů filmů (do 30 m) ruční převijecí vyvolávací (typ RPP nebo AMPP-4 sov. výroby). Jedním z hlavních nedostatků tohoto přístroje je nerovnoměrné vyvolání obrazu po délce filmu. Rozdíl optických hustot a koeficientu kontrastu  $\gamma$  může být až 20  $\%$ . Zejména výrazně se nerovnoměrnost vyvolávání projevuje na koncích filmu, kde při převijení v důsledku stažení svitku filmu je vývojka vytlačována z emulze. O reprodukovatelnosti vyvolávání u tohoto přístroje nemůže být řeči. Od roku 1960 se u FLS používá jediný vyvolávací automat typu P 80-1 sov. výroby, původně určený k vyvolávání perforovaného leteckého filmu šíře 190-320 mm, přestavěný na neperforovaný film šíře 190-240 mm. Vyvolávací stroj nemá zabudovanu ani temperaci lázni, ani filtraci, míchání je nedokonalé, s regenerací roztoků průběžným nebo periodickým způsobem se vůbec nepočítalo. Během vyvolávání je vývojka na původní objem ručně dolévána roztokem stejného složení (kompenzace únosu kapaliny filmem a vypařením). Nejsou zde proto dodržovány ani teplotní ani koncentrační podmínky vyvolávání. To znamená, že je porušována i technologie zpracování černobílých leteckých snímků pro fotogrammetrické účely. (Složení používaných vývojek je uvedeno v tabulce 1). Pro začátek a konec 60 m pásu filmu, pro filmy vyvolané po nasazení vývojky nebo na konci jejího pracovního cyklu (obvykle 10-20 dnů) platí proto vždy jiné podmínky (hlavně koncentrace nahromaděných bromidů a úbytek vyvolávacích substancí a siřičitanu). Objem vývojky ve stroji P 80-1 je 120 l, vyvolává se běžně 500-700 m šíře 200 mm, při pouhém dolévání cca 50 l vývojky původního složení — po dobu práce vývojky 10-20 dnů. Ochrana vývojky před oxidací vzdušným kyslíkem pomocí plovoucích vik není z konstrukčních důvodů u tohoto stroje možná.

Ve VTS je zpracován negativní materiál:

- a) Foma A-17 — citlivost 17 DIN (150-280 Gost) podle ČSN 66 6402, gama 1,6-2,2 při 6 min., vývojka ČSN.

Podložka z triacetátu celulózy, šedomodré zbarvení, 0,125-0,140 mm,  $D_p = 0,22$ , obsah  $Ag/m^2 = 4,3-4,6 g/m^2$ .

Vývojky doporučené ke zpracování L 2, B 2,

- b) Aviphot Pan-30, citlivost 19 DIN.  
Vývojky: G 206, gama = 1,35 při 12 min.  
G 251, gama = 1,45 při 5 min.
- c) Aviphot Pan-33, citlivost 22 DIN.  
Vývojky: G 206, gama = 1,40 při 12 min.  
G 251, gama = 1,55 při 5 min.
- d) Aviphot Pan-36, citlivost 25 DIN.  
Vývojky: G 209, gama = 1,20 při 4 min.  
G 251, gama = 1,15 při 5 min.

Všechn materiál b) až d) od firmy Agfa Gevaert je na bezbarvé podložce z triacetátu celulózy o síle 0,125 mm. Obsah  $Ag/m^2$  výrobce neudává.

U FLS se pro zpracování materiálu Foma A-17 užívají hlavně vývojky B 2 a MH. Pro všechny materiál Geavert je na tomto pracovišti zavedeno zpracovávání ve vývojce G 203, i když v literatuře není uvedeno  $\gamma$  pro letecké filmy. Z vývojek doporučených výrobcem byla zkoušena G 206; pro tvorbu vysokého závoje se však nepoužívá. Vývojky G 251 a G 209 nebyly dosud pracovníkům fotolaboratoří FLS známy, protože neměli k dispozici firemní prospekty Gevaert tyto vývojky doporučující. Nyní jsou již pracovníci informováni a doporučované vývojky budou vyzkoušeny a používány.

Receptura citovaných vývojek je uvedena v tabulce 1.



Tabulka 1

Chemikálie	G 251	G 206	G 209	G 203	B 2	L 2	MH
metol	1,5	2,0	4,0	0,5	8,2	—	4,0
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> bzw.	25,—	110,—	65,—	50,—	125,—	75,2	30,—
hydrochinon	6,—	4,—	10,—	5,—	—	9,5	1,0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> bzw.	40,—	—	45,—	25,—	4,—	48,—	50,—
borax	—	2,—	—	—	10,—	—	—
kys. citronová	—	—	—	2,—	2,—	—	—
KBr	1,—	—	5,—	2,—	2,5	4,—	5,—
Volací doba při 20°C	5 min.	12 min.	4 min.	8 min.	16 min.	8 min.	5 min./19°C

#### 4. Vyvolávací automaty pro zpracování leteckého filmu.

Požadavek dokonalého fotolaboratorního zpracování při zachování maxima interpretačních hodnot a vysoké obrysové ostrosti detailů snímků je v plném souladu s nároky kladenými na moderní vyvolávací proces. Pouze přesným dodržováním vyvolávacích dob, teplotních tolerancí, udržováním vysoké čistoty a turbulence roztoků, dále zachováním neproměnných fotografických vlastností vývojek i pomocných lázní, dosahovaných neměnností jejich chemického složení (důslednou regenerací pracovních roztoků) může být výroba fotogrammetrického negativu přiblížena dokonalému zpracování, obvyklému v kinematografii.

Aby byly dodrženy výše uvedené požadavky objektivního fotolaboratorního zpracování, tj. reprodukovatelnost teplotních, časových, hydromechanických a koncentračních podmínek, bylo třeba sáhnout ke zkušenostem čs. kinematografie a nechat pro VTS vyrobit vyvolávací automat pro zpracování negativů leteckého filmu a Filmového průmyslu Praha-Barrandov (dále FP).

Je pochopitelné, že aplikovat bez rozmyslu zkušenosti kinematografie na výrobu fotogrammetrického negativu není možné. Kinematografie má své zcela specifické problémy, které s fotogrammetrií souvisí jen velmi málo. Společným jmenovatelem obou oborů je ale reprodukovatelné a dokonalé fotolaboratorní zpracování, zejména negativního materiálu. Vzhledem k šířce filmů používaných v letecké praxi (190–240 mm) a dále vzhledem k požadavkům na velkou rozměrovou stálost a dlouhodobou archivovatelnost těchto filmů budou vyvolávací stroje poněkud konstrukčně odlišné od kinematografických a po stránce dosahovaných vyvolávacích rychlostí mnohem pomalejší.

První pokus vybavit VTS — zejména FLS objektivním vyvolávacím automatem byl uskutečněn v roce 1966. PF - Filmový průmysl Praha - Barrandov vyrobil prototyp vyvolávacího stroje (typově odvozený od VS-190 Veronika), doplněný sušícími články a regenerační stanicí s určením pro zpracování fotogrammetrického negativu. Po provedení ověřovacích zkoušek bylo zjištěno, že stroj má řadu závad (špatná nastavitelnost vyvolávacích dob, zdlouhavá temperace lázní, nevykonná čerpadla, nedokonalé praní, krabacení okrajů filmu, nerovnoměrné sušení filmů, nemožnost dovolání filmu při přerušení proudu atd.). Prototyp vyvolávacího stroje byl proto FP vrácen.

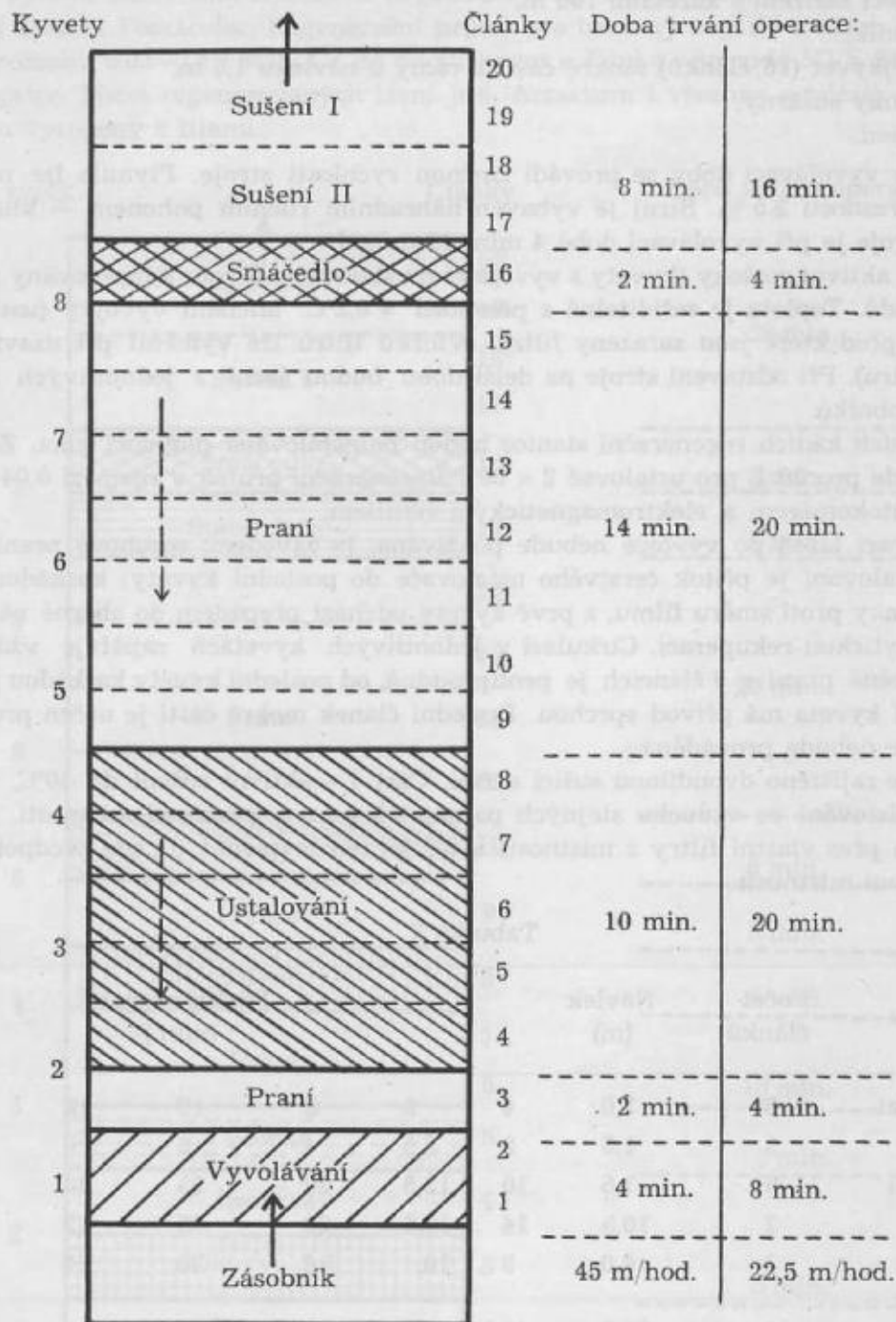
Po řadě připomínek ze strany VTOPÚ a FLS došlo u FP ke specifikaci dodávky vyvolávacího stroje s označením: malý vyvolávací stroj - MVS 240. Stroj má být dodán již koncem roku 1969 a měl by pro VTS znamenat podstatný přínos k zlepšení podmínek výroby a kvality negativu leteckého filmu.

Vyvolávací automat má sice označení „malý“, většinou svých parametrů se však přibližuje tzv. velkým vyvolávacím automatům používaných v kinematografii (přesné časové a teplotní tolerance, důsledná regenerace atd.).

Vzhledem k tomu, že v zemích RVHP není výrobce podobných vyvolávacích automatů, bude mít FP pravděpodobně odbyt těchto automatů i zde.

Stroj se skládá ze 4 částí:

1. vlastní vyvolávací automat (3640 × 750 × 1250 mm),
2. ovládací pult (600 × 500 × 1360 mm),
3. dávkovací stanice k MVS (2500 × 760 × 2500 mm),
4. mixér (Ø540, v = 930 mm).



Obr. 2. MVS 240 - černobílý negativ leteckého filmu.

FP poskytl pouze informativní výkresy, jejichž uvedení v rámci tohoto článku není vhodné. Funkční schéma automatu s rozčleněním jednotlivých kyvet a článků je uvedeno na obrázcích 2 a 3.

## Specifikace MVS 240 pro černobílý negativ leteckého filmu

Vyvolávací stroj je určen pro práci na denním světle pro vyvolávání filmů šíře 190, 200 a 240 mm. Transport filmu je bezzubý, pomocí spodního náhonu, s řetězy z PVC. Transportní klady jsou opatřeny čely, středy kladek jsou vylehčeny, krajní kroužky čel pro transport jsou široké 15 mm. Stroj pracuje pomocí zaváděcího pásu, který se s filmem spojuje lepicí páskou. Stroj je možno upravit na potřebnou šíři filmu posunutím čel na transportních kladkách.

Sestavení stroje:

- A) odvíjecí zařízení s kazetami 100 m,
- B) zásobník,
- C) 8 dvojkyvet (16 článků) mokré části s rámy o návleku 1,5 m,
- D) 4 články sušárny,
- E) navíjení.

Regulace vyvolávací doby se provádí změnou rychlosti stroje. Plynule lze měnit od 4' do 16' (20) s přesností 2,5 0/0. Stroj je vybaven náhradním ručním pohonem — klikou. Maximální výkon stroje je při vyvolávací době 4 min. 45 m/hod.

Všechny aktivní roztoky (kyvety s vývojkou a ustalovačem) jsou temperovány pomocí výměňkových hadů. Teplota je seřiditelná s přesností  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ . Míchání vývojky (ustalovače) se děje čerpadly, před které jsou zařazeny filtry. (Vložku filtru lze vyměnit při uzavření vtoku a odtoku do filtru). Při odstavení stroje na delší dobu budou lázně z jednotlivých kyvet přečerpány do zásobníků.

V zásobních kádích regenerační stanice budou nainstalována plovoucí víka. Zásobní kád' na vývojku bude pro 80 l, pro ustalovač 2 x 80l. Regenerační průtok v rozmezí 0,04-0,4 l/min., bude řešen průtokoměrem a elektromagnetickým ventilem.

Přerušovací lázeň po vývojce nebude používána, je zavedeno sprchové praní v jednom článku. Při ustalování je přítok čerstvého ustalovače do poslední kyvety; kaskádou ustalovač postupuje 5 články proti směru filmu, z první kyvety odchází přepadem do sběrné nádoby a odtud na elektrolytickou rekuperaci. Cirkulaci v jednotlivých kyvetách zajišťuje vždy čerpadlo s filtrem. Konečné praní v 7 člancích je protiproudné, od poslední kyvety kaskádou proti směru filmu. Poslední kyveta má přívod sprchou. Poslední článek mokré části je určen pro smáčedlo, jeho regenerace nebude prováděna.

Sušení je zajištěno dvoudílnou sušicí skříní. Část I - aktivní sušení do 40°C, část II do-soušení - kondicionování ve vzduchu stejných parametrů jako v pracovní místnosti. Stroj bude nasávat vzduch přes vlastní filtry z místnosti a též jej tam vypuštět. Je zde předpoklad klimatizované pracovní místnosti.

Tabulka 2

Operace	Počet článků	Návlek (m)			Trvání operace (min.)			
		3,0	4	5	8	10	12	16
Vyvolání	2	3,0	4	5	8	10	12	16
Praní	1	1,5	2	2,5	4	5	6	8
Ustálení	5	7,5	10	12,5	20	25	30	40
Praní	7	10,5	14	17,5	28	35	42	56
Sušení	4	6,0	8	10,	16	20	24	32
Celkem	20	30,0	40	50	80	100	120	160
Výkon m/hod			45	36	22,5	18	15	11,25

Při vyvolávacích dobách delších než 10 minut lze zkrátit doby ustálení a praní vynecháním návleků některých člancích příslušné části vyvolávacího automatu.



Vlastní zpracování černobílého negativu je schematicky znázorněno na obr. 2.

Vyvolávací doba: 4–16 min. pro vývojky uvedené v tabulce 1.

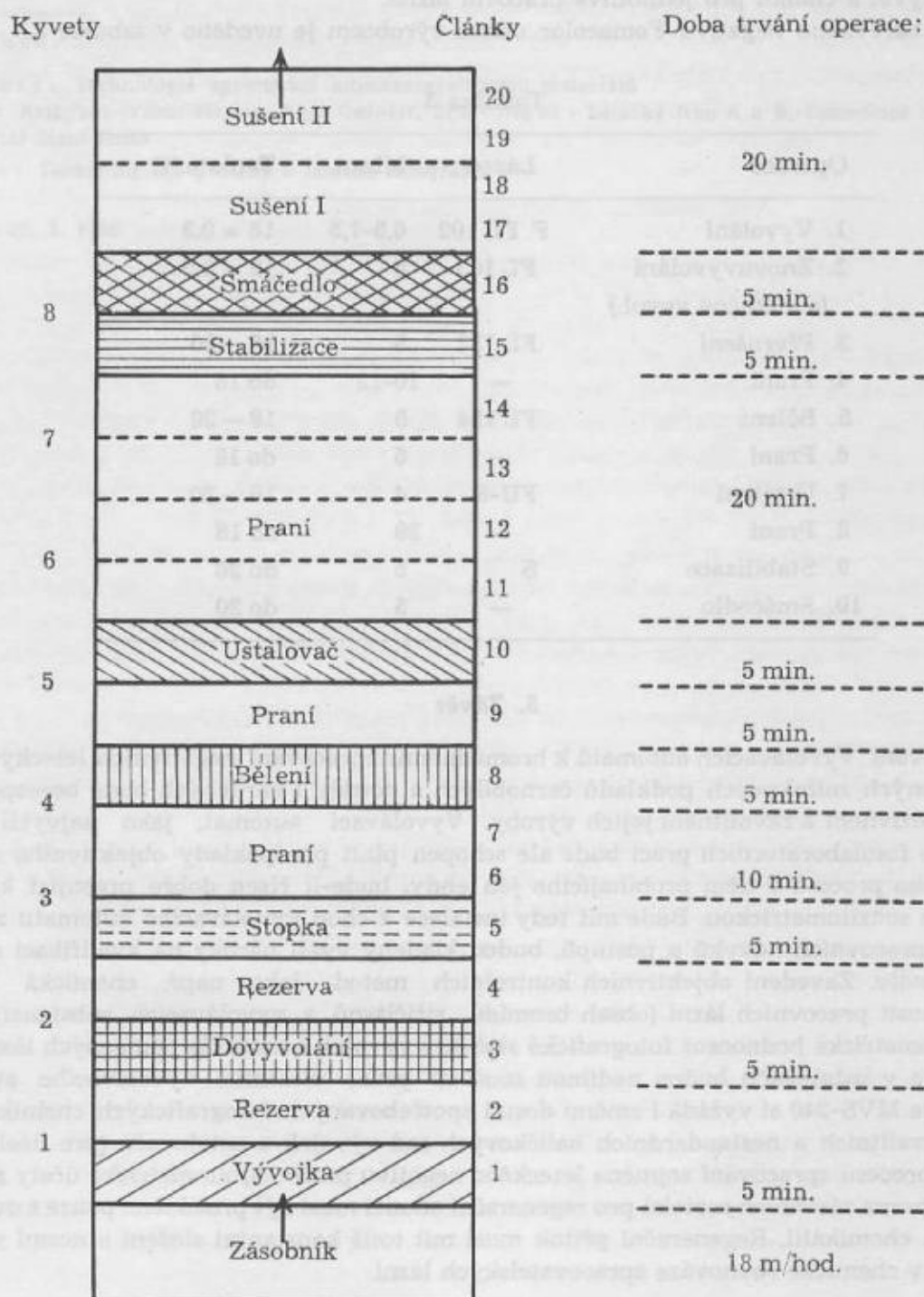
Výkon stroje: 45–11 m/hod. Počet kyvet v mokré části - osm.

Teplota lázni:  $20 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ . Počet kyvet vývojky - jedna (2 články).

Pro nejkratší ustalovací dobu 10 min. bude pro používané vývojky rozčlenění pracovních článků ve vyvolávacím automatu, uvedené v tabulce 2.

Specifikace MVS 240 pro barevný negativ leteckého filmu.

Pro výrobu barevného leteckého negativu byl vyvolávací automat MVS 240 specifikován na barevný systém Fomacolor. Regenerační průtok pro barevný negativ u všech regenerovaných lázní je v rozsahu 0,03–0,3 l/min. Co do počtu kyvet a článků odpovídá MVS 240 pro černobílý letecký negativ. Počet regenerovaných lázní je 6. Armatura i všechny součástky rámu v bělicí lázni budou vyrobeny z titanu.



Obr. 3. MVS 240 - barevný negativ leteckého filmu.

Vlastní zpracování barevného negativu je schematicky znázorněno na obr. 3.

Vyvolávací doba - 5 min.

Výkon stroje -18 m/hod.

Teplota vývojky a dalších roztoků -  $20 \pm 0,2^\circ\text{C}$ .

Celkový počet kyvet v mokré části - 8 (16 článků).

Počet kyvet vývojky - 1 článek ( $1/2$  kyvety).

Návlek ve vývojce - 1,5 m.

Zpracování jiných typů barevného a spektrozonálního materiálu pro fotogrammetrické využití bude na tomto typu vyvolávacího automatu možné. Články č. 2 a 4 jsou ponechány jako rezervní pro případné prodloužení barevného vyvolávání. Barevný systém Fomacolor je poměrně složitý, při zpracování materiálu Orwocolor a Agfacolor bude vynechána přerušovací lázeň. Při zpracování spektrozonálního materiálu, např. sovětského SN-2M, bude třeba jiné rozčlenění kyvet a článků pro jednotlivé pracovní lázně.

Zpracování barevného negativu Fomacolor udané výrobcem je uvedeno v tabulce 3.

Tabulka 3

Operace	Lázeň	Minut	Teplota °C
1. Vyvolání	F FL 102	6,5-7,5	$18 \pm 0,3$
2. Znovuvyvolání (dodatečné vyvol.)	FL 103	5	$18 \pm 0,5$
3. Přerušení	FL 132	5	16 - 20
4. Praní	—	10-12	do 18
5. Bělení	FL 154	5	16 - 20
6. Praní	—	5	do 18
7. Ustálení	FU-8	4	16 - 20
8. Praní	—	20	do 18
9. Stabilizace	S	5	do 20
10. Smáčedlo	—	5	do 20

## 5. Závěr

Používání vyvolávacích automatů k hromadnému zpracování negativních leteckých snímků a odvozených snímkových podkladů černobílých a později i barevných bude bezesporu znamenat zintenzívnění a zkvalitnění jejich výroby. Vyvolávací automat, jako nejvyšší stupeň mechanizace fotolaboratorních prací bude ale schopen plnit předpoklady objektivního a reprodukovatelného procesu v něm probíhajícího jen tehdy, bude-li řízen dobře pracující kontrolou chemickou a senzimetrickou. Bude mít tedy instalace a chod vyvolávacího automatu za následek změnu pracovních návyků a postupů, budou kladeny vyšší nároky na kvalifikaci obsluhujícího personálu. Zavedení objektivních kontrolních metod, jako např. chemická kontrola opotřebovanosti pracovních lázní (obsah bromidů, siřičitanů a vyvolávacích substancí), stejně tak i senzimetrické hodnocení fotografické stability vývojek a kontrola pomocných lázní (např. obsah stříbra v ustalovači) budou nedílnou součástí práce vlastního vyvolávacího automatu. Provoz stroje MVS-240 si vyžádá i změnu dosud spotřebovaných fotografických chemikálií. Používání nekvalitních a nestandardních balíčkových sad vývojek a ustalovačů (pro účely MNO) musí být z procesu zpracování zejména leteckého negativu pro fotogrammetrické účely zcela vyloučeno. Příprava zásobních roztoků pro regenerační stanici musí být prováděna pouze z ověřených a kvalitních chemikálií. Regenerační přítok musí mít totiž konstantní složení a nesmí způsobovat výkyvy v chemické rovnováze zpracovatelských lázní.

Dalším vhodným doplňkem vyvolávacího automatu by měl být i elektrolyzér k získávání stříbra z ustalovačů. Dosud VTOPÚ prodává jeden litr ustalovače za 20 hal. Sběrným surovinám bez ohledu na obsah stříbra. (Obsah až 10 g/l. Cena elektrolytického stříbra je v současné době cca 1700 Kčs/1 kg (údaj Filmových laboratoří Barrandov). Po zavedení elektrolytické rekuperace stříbra z ustalovačů VTOPÚi FLS bylo by možno hradit ze získaných prostředků velkou část nákladů na nákup všech chemikálií. Ustalovač, zbavený stříbra je po dovážení chybějících substancí schopen znovu práce.

Je možno namítat, že množství práce vynaložené na výrobu leteckých snímků bude po zavedení nových vyvolávacích automatů MVS 240 příliš velké. Jediným argumentem proti je to, že chceme-li konečně dosáhnout objektivních a reprodukovatelných výsledků a vysoké vyrovnané jakosti leteckých snímků a tím i odvozených snímkových podkladů, nelze se ubírat jinou cestou.

#### Literatura:

Blumberg: Technologie zpracování kinematografických materiálů

Prospekty: Aviophot -Filme-Platten, Agfa Gevaert, TPD - 048-63 - Letecký film A a B, Fomacolor negativ 17 Dín  
Receptář lázní Foma

Novikov: Technologické procesy v letecké fotografii

Došlo dne 26. 3. 1989



## Poznatky z procesu řešení modernizace výuky na vojenských školách

### 1. Úvod

Problém zvýšení efektivnosti vyučovacího procesu je dnes velmi aktuální. Je řešen prakticky ve všech technicky vyspělých zemích. V ČSSR se jím zaměstnává řada pracovišť včetně armádních. Dosud získané poznatky byly v ČSLA ověřovány na tzv. experimentu Krakonoš (modernizovaná poddůstojnická škola). Přes nedostatky, které tento experiment měl, ukázal možnosti účinnějšího využívání technických prostředků ve výuce. Spolu s řešením otázek individualizace a diferenciací vyučovacího procesu se budou vytvářet postupně předpoklady pro modifikované formy přenosu informace mezi učitelem a žákem. Článek podává jen základní poznatky o problému modernizace výuky a o některých aplikacích pro výuku topografické přípravy v poddůstojnické škole. Vzhledem k širší tématu, k pestrosti hledisek v tomto směru a k malé zkušenosti v praktickém provádění programové výuky má článek spíše informativní charakter. Měl by podnítit zájem zlepšit ve vojenské topografické službě alespoň nejnižší stupně výuky topografické přípravy dosažitelnými prostředky.

### 2. Podstata problému modernizace výuky

Vědeckotechnická revoluce zasáhla téměř všechny oblasti společenského života. Nejen technické, ale i duševní pochody byly a jsou technizovány. Technický pokrok ovlivňuje intenzivní růst společenského produktu, je hlavním zdrojem zvyšování produktivity práce a účinnosti výrobních fondů. Obsahuje dvě činnosti, inovace a jejich uplatňování v praxi. Inovace mají v podstatě charakter informací. Množství inovací závisí přímo na rozsahu a rychlosti informačních procesů, které probíhají ve společnosti. K informačním procesům řadíme i výchovu ve školách a vědecký výzkum. Zdokonalování školy a vědy vytváří předpoklady pro to, aby se ve společnosti objevovaly stále nové inovace, a připravuje zároveň potřebné množství pracovníků pro jejich realizaci.

Narůstající množství informací vyžaduje, aby se vyučování stalo efektivnějším. Je třeba modernizovat tradiční způsob vyučování, vypracovat nové metody učení založené na využití moderní techniky. Na druhé straně, jak uvádí publikace (1), „Až do nedávné doby zůstávala škola téměř nedotčena technickým pokrokem, v době raketové techniky a samočinných počítačů žila pomalým, málo efektivním hromadným verbálním vyučováním, jehož původ sahá do manufaktury. Jestliže ještě nedávno narážela individualizace vyučovacího procesu na nepřekonatelné potíže, neboť nebylo v silách učitele zvládnout různici se postup mnoha žáků, pak se lze domnívat, že efektivní individualizaci umožní užití techniky ve vzdělávacím procesu: programovaná výuka, s použitím jazykových laboratoří, televize s uzavřeným okruhem, specializované učebny s moderní technickou dokumentací, s dílnou a informačním depozitářem, dále didaktický film a diafilm, diapozitivy, magnetofonové a zvláště videomagnetofonové nahrávky, sluchátkové a optofonické aparatury, automatické testéry atd.“

To jsou ve stručnosti obecné problémy, které jsou řešeny celosvětově, úměrně se stupněm a tempem technického rozvoje v jednotlivých zemích. Je pochopitelné, že se tento vývoj dotkl i Československa. V současné době má řešení podobu rozsáhlého experimentu, který však již přinesl na některých pracovištích konkrétní výsledky v podobě rozpracování teorie učení, metodiky programování učební látky i vlastního programování, programované učebnice, vyučovací stroje a modernizované učebny (Pedagogický ústav v Praze, Výzkumný pedagogický ústav v Bratislavě, Vysoká škola ekonomická v Praze, elektrotechnická fakulta ČVUT v Praze a SVŠT v Bratislavě a jiné).

Proces probíhá na různé úrovni i ve vojenském školství. Nejvíce je prohlubováno používání rozmanitých pomůcek, maket, modelů a trenažérů pro zvýšení názornosti výuky a k získání potřebných návyků. Byly však zpracovány programované učebnice, programované testy a bylo

zkonstruováno několik typů vyučovacích strojů. První výsledky s programovaným učením byly získány na VAAZ K-121 v Brně, v Automobilním učilišti v Nitře, ve Spojovacím učilišti v Novém Městě nad Váhem, v Technickém spojovacím učilišti v Liptovském Mikuláši, v Technickém učilišti v Popradu a ve Vyšším vojenském učilišti Otakara Jaroše (nyní součást VAAZ) ve Vyškově. Uceleně byly získané poznatky, jak vojenské, tak z civilního sektoru, ověřovány ve škole pro výcvik poddůstojníků motostřeleckého svazku na tzv. experimentu Krakonoš. Současné jsou na VAAZ řešeny teoretické otázky řízení vyučovacího procesu (2).

### 3. Programované učení

Výchozím úkolem učebního procesu je optimální předání učitelovy informace žákovi. To vede především ke zvýšení názornosti výuky. Využívá se k tomu různých audiovizuálních prostředků, které působí na pozornost žáka, zvyšují jeho zájem o přednášenou látku a dávají mu konkrétnější představu o jednotlivých informacích. Existuje celá škála pomůcek, jako jsou filmy, filmové šoty a smyčky, diapozitivy, grafy a schémata, magnetické záznamy, magnetické tabule, modely elektrické nebo elektronické a další, které se začleňují do učebního procesu spolu s promítacími přístroji, diaprojektory, psacími projektory, epidiascopy a průmyslovou televizí. Vytvoření podmínek pro efektivní předání informace vyžaduje především její kvalitní prezentaci a efektivní příjem na straně subjektu. Materiální zabezpečení přináší obvykle okamžité výsledky. Ovládnutí celého učebního procesu a splnění dlouhodobějších cílů vyžaduje, aby byl proces řízen. Programování je jednou z hlavních složek teorie řízení. Programované učení je tedy aplikací části teorie řízení v oblasti pedagogiky a psychologie, velmi složité a dosud neprobádané, která zahrnuje systém lidské osobnosti.

#### 3. 1 Psychologické principy programování

V programovaném učení se hlavním nositelem učebního procesu stávají programované materiály a vyučovací stroje. Programy jsou však tvořeny učitelem – programátorem, který může svými zásahy v učebním procesu docílit maximálního využití programu u žáků. Žáci jsou při tom vedeni nenásilně podle vlastního tempa.

Názory na tvorbu programů se různí; přesto se ustálily na několika hlavních psychologických principech, které se uplatňují v programovaném učení, jak uvádí E. B. Fry (3):

- a) Učivo je rozděleno na malé jednotky zvané dávky.
- b) Alespoň část dávky vyžaduje od žáka určitou odpověď. Žák musí odpovědět na otázku nebo vyplnit mezeru.
- c) Žáku se poskytuje bezprostřední zpětnovazební zpevnění. Sděluje se mu správnost jeho odpovědi.
- d) Jednotky jsou uspořádány do pečlivého sledu. Poněvadž učivo je rozděleno na malé kousky, musí autor pečlivě promýšlet členění výukových kroků. Výsledkem je mnohem lepší sled učiva.
- e) Programy směřují ke specifikovaným cílům.
- f) Revize programu je založena na odpovědích žáka. Poněvadž chování žáka lze zaznamenat u každé dávky, lze se také snadno dozvědět, jak rozumí žák každé části lekce.
- g) Žák obvykle může svobodně volit vlastní tempo učení.

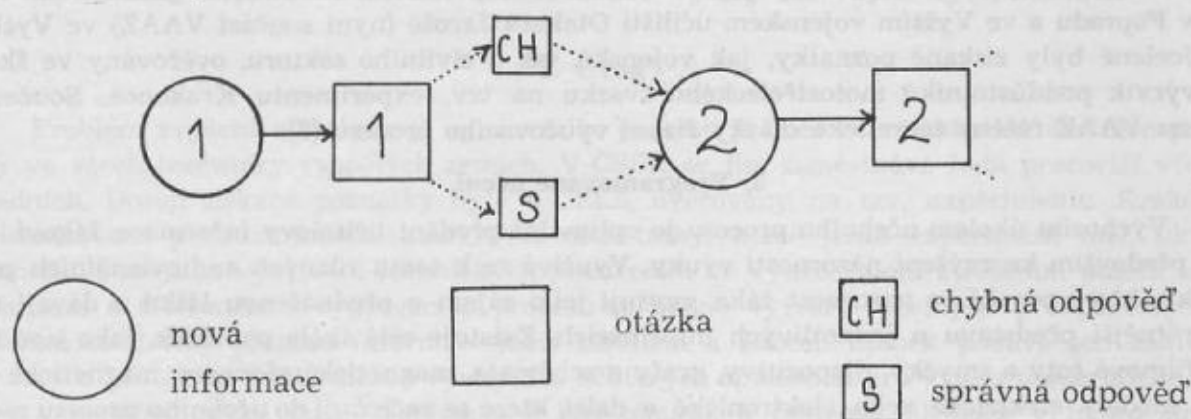
#### 3. 2 Typy programů

Podle způsobu uspořádání sledu jednotlivých kroků dělíme programy na dva hlavní typy:

- lineární,
- větvené.

Lineární programování předepisuje všem žákům pevný a závazný sled kroků v jedné linii. Učivo se probírá po malých kvantech informací (obvykle v 1 kroku 1 informace). Po zvládnutí určitého pojmu se přidá další, až se žák seznámí s celou učební látkou. Tento způsob je vhodný pro učení základů a principů problémů a pro vytváření slovní zásoby a nových pojmů. Krátké kroky, stále opakované, působí na žáka jednotvárně. Přímočaré vedení k cíli nedává zvláštní volnost individualitě žáka, takže se po čase může stát program pro žáka nezájímavým.

Větvené programování vede žáka ve větších a obtížnějších krocích po hlavní větvi. V případě nejasnosti nebo chyby mu na vedlejší větvi poskytuje kroky jednodušší, alternativní řešení a vysvětlení, až je žák schopen se vrátit na hlavní větev. Tento systém dovoluje



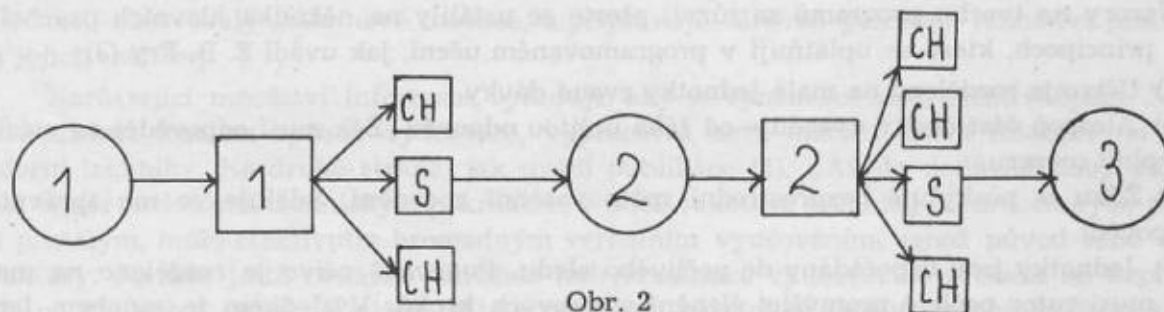
Obr. 1

žáku volit cestu postupu podle jeho znalostí a nadání, nenechává ho bez vysvětlení příčiny chyby. Větvené programy jsou výhodné tam, kde je třeba poskytnout přehled ve složitější problematice a rovněž při srovnání a manipulaci s novými pojmy.

Kromě tohoto dělení můžeme rozčlenit programy podle způsobu odpovědi žáka. Podle tohoto dělítky jsou dva hlavní typy programů:

- s konstruovanou odpovědí,
- s volenou odpovědí.

Program s konstruovanou odpovědí vyžaduje, aby žák vytvořil odpověď na položenou otázku podle předchozí informace. Program s volbou odpovědi předkládá žáku několik alternativních odpovědí, z nichž jedna je správná.



Obr. 2

Lineární program s konstruovanou odpovědí bývá označován jako Skinnerův systém, je konstruován po malých krocích tak, aby počet žákových chyb byl velmi malý. Počítá se zákonitostmi vybavování a předpokládá, že odpovědi žáka budou převážně správné. Správná odpověď je zároveň odměnou pro žáka. Postup je schematicky znázorněn na obrázku 1.

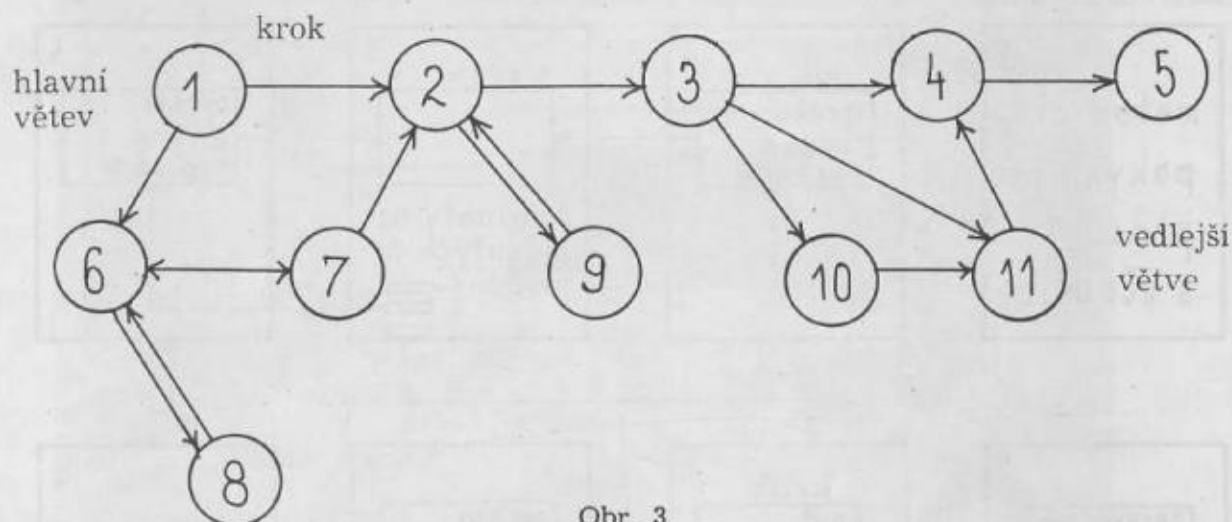
Starší způsob lineárního programování s volbou odpovědi podle amerického psychologa S. L. Presseyho je schematicky znázorněn na obrázku 2.

Žáci postupují v jedné linii programu. Po výběru správné odpovědi na položenou otázku mohou postoupit k další dávce učiva. Nevýhoda tohoto systému spočívá v tom, že žáci mohou odpověď uhodnout. Proto se používá spíše pro testování a zkoušení než pro vlastní výuku.

Lineární typy programů mají své omezené možnosti. Proti Skinnerovu systému, který vede žáka ke správným odpovědím, vystoupil psycholog N. S. Crowder (zabýval se profesionálním výcvikem dospělých). Informace v jeho programu jsou již celé odstavce s úplným vysvětlením jednoho problému. Otázky, které jsou voleny, jsou velké, až obrovské. Nepředpokládají správnou odpověď. Starají se o to, zda žák umí. Program se větví a stále se vrací k hlavní linii, jak ukazuje schéma na obrázku 3.



Větvené programy mohou vytvářet rozmanitou podobu větví. Jejich konstrukce je podstatně náročnější než u programů lineárních, protože se musí určovat předem pravděpodobné nesprávné odpovědi. Jiným typem větveného programu je tak zvaný program návodový, který obsahuje v textu instrukce a návody k pokusům, ke studiu knih nebo k použití různých pomůcek. Nejsložitější systém programování vypracoval kybernetik G. Pasc. Podle něho má vyučování vedle stránky informativní i stránku regulativní. Program je adaptivní, není to linie nebo předpis či algoritmus. Postup žáka závisí i na rychlosti, s jakou reaguje na podněty. Tento dosud nejdokonalejší systém vyžaduje obrovské množství vstupních informací do programu,



Obr. 3

které může realizovat jen samočinný počítač. Podrobnější informace o programování výuky a o teoriích, které mu předcházely, nalezneme v publikaci (4).

### 3. 3 Metody programování

Program nelze konstruovat tak, že se dosavadní typ učebnice rozkouskuje do malých dávek, které se nějakým způsobem proloží otázkami. Obsah a forma látky v učebnicích takového postupu brání. Každý program vyžaduje:

- vymežit cíl výuky,
- vybrat jednotky učiva,
- uspořádat jednotky do programu,
- revidovat a optimalizovat program.

Těmto etapám odpovídají i jednotlivé metody programování. Prvým dvěma etapám jsou věnovány metody tvořící analytickou fázi programování a jejich výsledkem je vytvoření logické struktury učiva. Uspořádání jednotek do programu je syntetickou fází programu, při níž vzniká vyučovací algoritmus. Pro konstrukci programů existuje celá řada metod, adekvátních různým typům programování. Značně se rozšířila metoda typových algoritmů, tzv. systém Ruleg. Forma zápisu algoritmu je rovněž rozmanitá: slovní, bloková, operátorová nebo maticová. Revizemi se tento program přezkoušuje a vyhodnocuje podle žakových výkonů, měřených různými testy. Tak se postupně odstraňují z programu obsahové a metodické nedostatky a určuje se optimální postup jeho realizace.

### 3. 4 Prezentace programu

Zpracovaný program musí být předložen žákovi v nějaké formě. Obecně rozeznáváme:

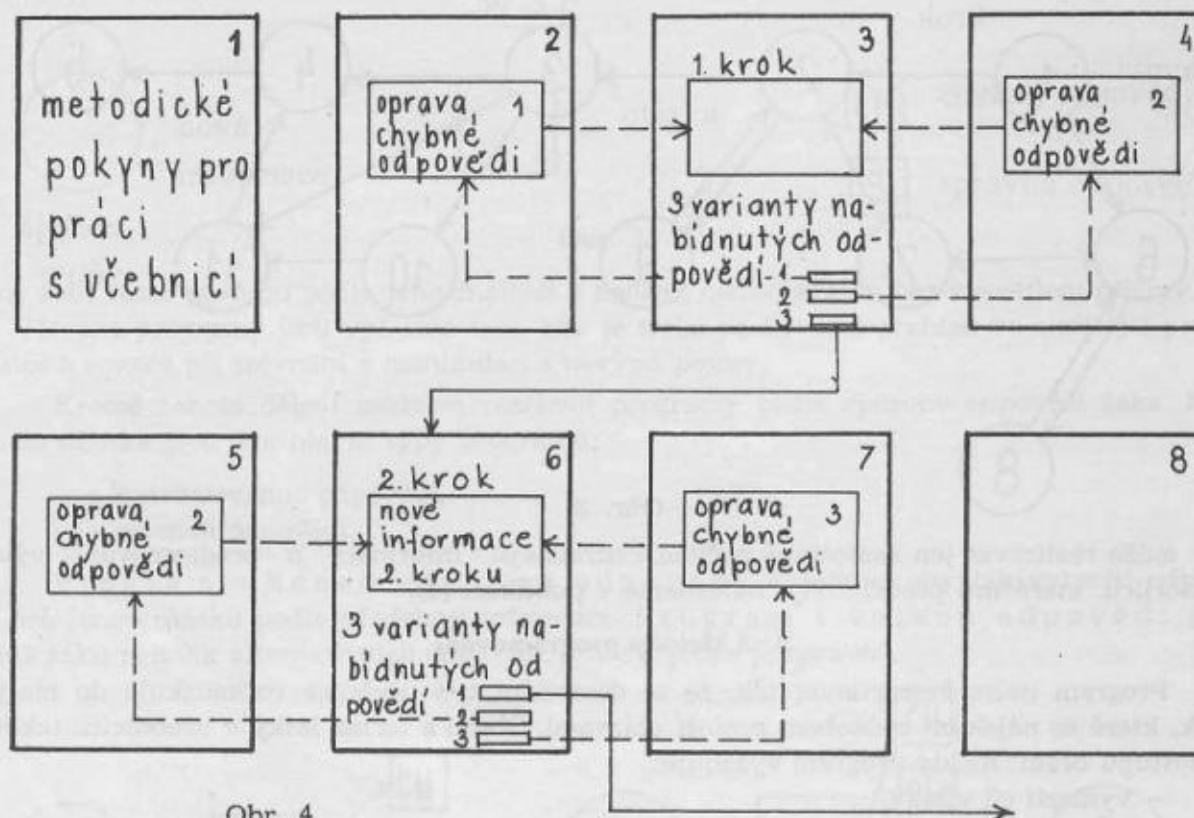
- formu programované učebnice,
- použití vyučovacího stroje.

V současné době se užívají oba způsoby nebo vhodná kombinace obou. Programovaná výuka bez aplikace vyučovacích strojů vyžaduje takové učebnice, které splňují všechny metodické požadavky na přenos informace i na kontroly jejího pochopení. Žák postupuje v malých krocích. Při řešení otázek je správná odpověď zakryta šablonou nebo je natištěna na jiné straně

knihy. Hojného použití našla tzv. „zmatená učebnice“ konstruovaná podle programu N. Crowdera. Její schéma je znázorněno na obrázku 4.

V experimentu Krakonoš bylo programované učení použito v rozsahu, odpovídajícím zkušenostem a znalostem zpracovatelů jednotlivých druhů odborného výcviku. Například pro některé vyučovací hodiny automobilního výcviku a nauky o zbraních byly zpracovány programované učebnice. V ostatních přednáškách bylo hojně použito programování s volenou odpovědí pro testy a přezkušování žáků, částečně se objevily též zmatené učebnice. Některé prvky byly uplatněny i při rozpracování topografického výcviku.

stránka učebnice



Obr. 4

### 3. 5 Vyučovací stroje

Vyučovací stroje byly používány dříve než materiály programovaného učení, mají však s nimi mnoho společného. Jsou různých typů, počínaje jednoduchými mechanickými pomůckami (mechanické učebnice), přes automatická zařízení až po složité elektronické stroje a samočinné počítače. Výroba vyučovacích strojů se ve světě rychle rozběhla, a jak uvádí (5), v USA se dnes programově učí asi 1 milion studujících. V SSSR bylo rozpracováno přes sto typů vyučovacích strojů, u nás bylo zatím v praxi ověřeno as třicet typů. V rámci armády byl v tomto směru vykonán nemalý kus práce. Vyučovací stroje jsou charakterizovány různými parametry. Pro stručné objasnění použijeme způsob jejich dělení podle funkce, kterou mají ve vyučovacím procesu. Radíme je do jednotlivých skupin označených jako:

- **informátory** – poskytující žáku informaci v různé podobě, optické, akustické nebo oběma způsoby; zpětná vazba je možná jen výběrem určité informace, žák se neprověřuje,
- **examinátory** – používané pro přezkoušení žáků; otázka se prezentuje různou formou a žák nebo i učitel je informován strojem o správnosti odpovědi,
- **stroje se zpětnou vazbou** – sdělující žáku různou formou vstupní informace a pokyny pro postup; podle jeho odpovědi na zkušební otázky se volí další cesta vloženého programu. Do této skupiny patří též vyučovací stroje – repetitory pro opakování učební látky a adaptivní vyučovací stroje. Zvláštní skupinu tvoří:

– trenažéry, které se v armádě využívají při výcviku řidičů automobilů, tanků, a při výcviku pilotů,

– jazykové laboratoře pro výuku jazyků.

Do experimentu Krakonoš byly začleněny pro přezkoušení jednodušší stroje Examen a Zuza (konstrukce spojovacího učiliště), vyučovací stroje sloužící jako examinátory a repetitory Repex (konstrukce SVŠT v Bratislavě) a K-121 (konstrukce VAAZ v Brně). Na obrázku 5 je umístění vyučovacích strojů Repex v modernizované učebně. Stroje K-121 jsou na obrázku 6.



Obr. 5



Obr. 6

Repex slouží k jednoduchému opakování a procvičování látky. Program je psán na papír formátu A4, který se zasunuje pod desku z organického skla na čelní straně přístroje. Před za-



hájením práce nastaví žák na dvou čtyřpolohových přepínačích dvoumístné kódové číslo, čímž je určena programová vazba. Pak řeší postupně jednotlivé otázky stisknutím tlačítka s číslem pro předpokládanou správnou odpověď. Při správné odpovědi se rozsvítí bílá žárovka, při nesprávné červená a na počítadle se zaznamená chyba.

Přístroj K-121 může být použit jako lektor, examinátor a repetitor. Pracuje se sadami 25 úloh, sestavených podle zásad lineárního členění vyučovací látky. Může pracovat systémem volené i konstruované odpovědi. Látka se prezentuje různou formou (diaprojektor, fotografie, texty kresby). Odpovědi se do stroje vkládají zakódovány pomocí tlačítek řešení. Stroj informuje řešitele okamžitě o správnosti každého dílčího kroku řešení cestou zpětné vazby. Počítadlo chyb zaznamená buď jednou chybu pro danou otázku, nebo každý chybný pokus. Dokud žák nevyřeší danou úlohu správně, nemůže postoupit na další úlohu. K přístroji je možné připojit přídatné zařízení pro dálkové ovládání stroje a poloautomatický diaprojektor.

#### 4. Vybudování modernizované školy

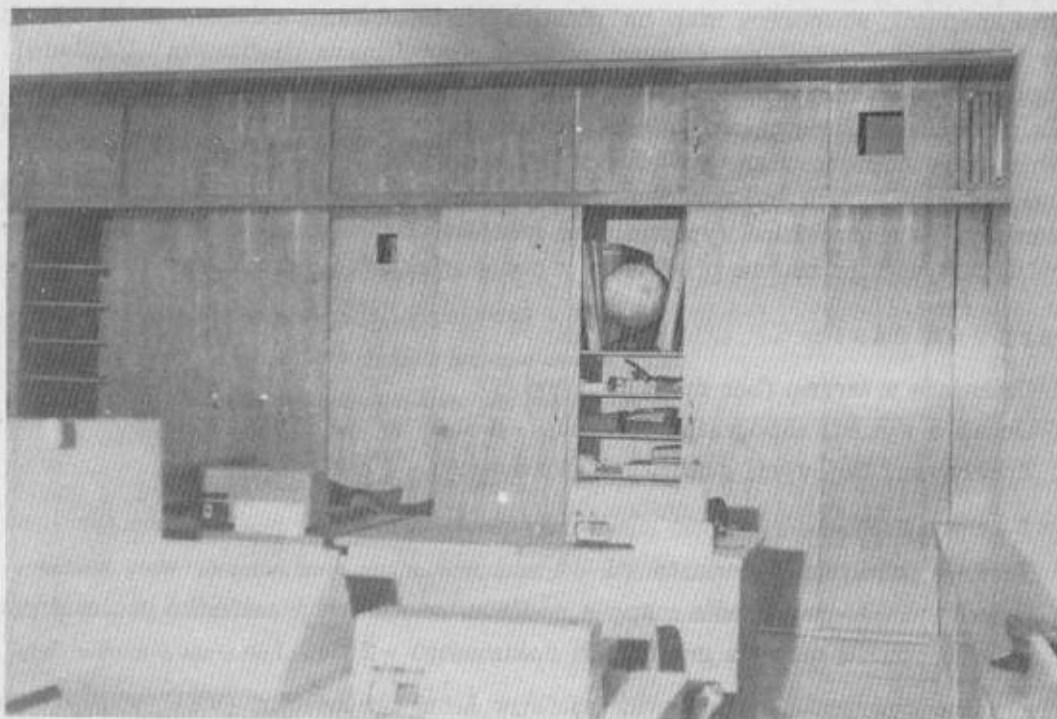
Řada pracovišť civilních i vojenských škol, vojenských učilišť a výzkumných pedagogických ústavů má u nás vybudovány experimentální učebny, kde se ověřují teoretické poznatky ve zvyšování efektivnosti výuky. Materiály programovaného učení byly po ověření zařazeny do pravidelné výuky podobně jako několik typů trenažérů, některé vyučovací stroje a jazykové laboratoře.

Souborně měly být všechny dostupné technické prostředky a materiály ověřeny v podmínkách armády při experimentu Krakonoš. To vedlo k vybudování modernizované školy, která se řadí k vyspělým školám ve světě. Je však na škodu, že určením této školy je pouze zabezpečení výuky poddůstojníků, která nevyžaduje takový stupeň technizace. Při řešení školy byly stanoveny hlavní cíle:

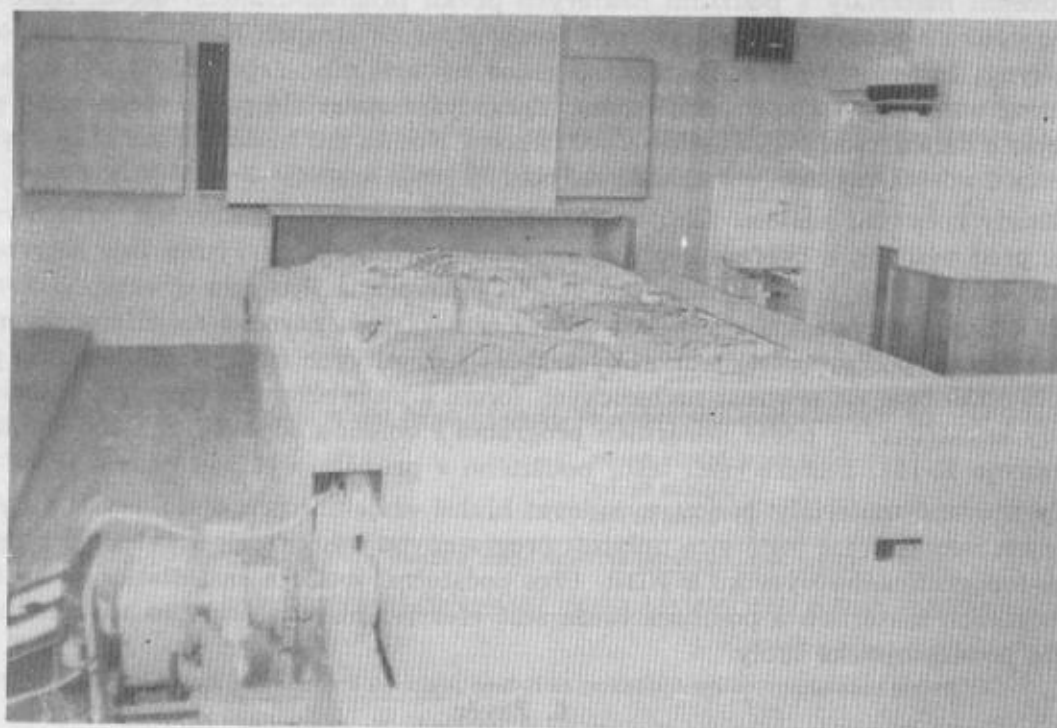
- zajistit vhodné prostředí pro výuku, hygienu vyučovacího procesu a aktivní odpočinek,
- vybavit školu moderní audiovizuální technikou a názornými pomůckami,
- využít programovanou výuku a vyučovací stroje.

Škola má celkem 12 učeben, několik kabinetů, televizní středisko a fotolaboratoř s rozmnožovnou pro přípravu podkladů pro výuku. Technické vybavení každé učebny je ovladatelné z jednoho místa. Ve stolku učitele jsou zabudovány dva magnetofony a řídicí panel s tlačítky pro spouštění promítacích pláten a zatemnění místnosti, pro ovládání promítacího přístroje na 16 mm film a dvou diaprojektorů s automatickým zakládáním diapozitivů 5 × 5 cm. Dále jsou zde tlačítka pro zapojení dvou televizorů a dvou reprodukcí skříní. Reprodukce jsou propojeny s magnetofony, s promítacím přístrojem nebo se používají k centrálnímu přenosu z televizního střediska. Televizory jsou napojeny na televizní středisko, mohou však samostatně přejímat program ze státní sítě. Tlačítka je možné ovládat plošné stropní osvětlení formou postupné světelné vlny, aby nedocházelo k unavení zraku při změnách intenzity osvětlení učebny. Kromě toho je možné doplnit vybavení učebny epidiaskopem nebo psacím projektorem. Pro písemný záznam lze použít tabuli, která je zároveň magnetická, a tzv. flanelograf. Učitel tak má široký výběr prostředků pro racionalizování výuky. Z televizního střediska může být výuka přenášena slovem i obrazem. Zpětnou vazbu z učebny do střediska zprostředkuje mikrofon a snímací televizní kamera, které jsou umístěny v každé učebně. Výpočet technických prostředků je třeba ještě doplnit o vyučovací stroje, které jsou různých typů. Přehled o uspořádání audiovizuálních prostředků v učebnách podávají obrázky 5 a 6. Na nich je patrné stupňovité uspořádání učeben, plošné stropní osvětlení, stropní mikrofon (obr. 6) a vyučovací stroje adjustované pro vyučování. Pro výuku v takové učebně jsou potřebné názorné pomůcky, modely, makety, obrazy, diapozitivy, filmy, texty a programované materiály, které se ukládají buď v kabinetech nebo ve skříních v zadní části učebny. Ukázka je na obrázku 7. Ve skříních je vidět čtvercové otvory pro objektivy promítacího přístroje a snímací televizní kamery a část pomůcek pro topografický výcvik.

Odlišně jsou vybaveny některé speciální učebny. Tak v učebně střeleckého výcviku je věž a maketa boku korby OT-64, vybavená jako trenažér pro výcvik v zaměřování a střelbě. Pohybující se cíle jsou promítány na speciální projekční plochu, umožňující vizuální kontrolu zásahu. V technických učebnách jsou modely částí OT-64 a plně fungující OT-64, zvláště upra-



Obr. 7.



Obr. 8.

vený pro názorovou výuku s přístupem ke všem hlavním agregátům. V učebně velitelského a týlového výcviku jsou umístěny jazykové boxy. Hlavní částí učebny taktického výcviku je pohyblivý plastický stůl (obr. 8). Plastický terén má rozměr 2 × 12 m. Zhotovil ho VKÚ v Banské Bystrici jako unikátní výrobek, do té doby u nás dosud nekonstruovaný.

## 5. Modernizace topografického výcviku

Struktura a náplň topografického výcviku vycházela z profilu poddůstojníka v topografickém výcviku a z technických možností, které poskytovala modernizovaná učebna. Technické prostředky učebny byly doplněny dalšími pomůckami, mapami, laminovanými fóliemi z PVC, plastickými mapami, souborem map na plastických hmotách, modely a maketami (především terénních tvarů), názornými nástěnnými obrazy, dvoudílným diafilmem „Základní smluvené značky topografických map“, instrukčními filmy k jednotlivým tématům (natočenými ve spolupráci s Čs. armádním filmem), asi 250 diapozitivy a technickými prostředky (kompasy, stereoskopy, úhlooměry, odpichovátka, voskové tužky atd.).

Topografický výcvik byl rozdělen do dvou částí, přípravné a vlastního kursu, každá část s třemi tématy. Tato struktura vyplynula ze zásahu řídicího orgánu MNO-SOBP. Není zrovna nejvhodnější a vyžaduje změnu především z pedagogických hledisek. Pro ilustraci je uvedena:

### A. Přípravná část:

1. Orientace v terénu (bez mapy) - 2 hod.
2. Obsah a využití topografických map - 6 hod.
3. Zpracování bojových grafických dokumentů - 4 hod.

### B. Vlastní kurs:

1. Terén a jeho taktické vlastnosti - 2 hod.
2. Orientace v terénu (podle mapy a podle autonomních prostředků pro orientaci) - 4 hod.
3. Bojové použití mapy a grafických dokumentů - 2 hod.

Pro jednotlivá témata zpracoval kolektiv šesti pracovníků (VZÚ v Praze, VK ČVUT v Praze, VTOPÚ v Dobrušce, VAAZ K-213 v Brně, VÚ 6270 v Opavě a VÚ 4553 v Havlíčkově Brodu) učební materiály s použitím některých prvků programovaného učení. Byly sestaveny texty pro výuku a programované testy pro přezkoušení na strojích K-121. Prvé obsahují metodické pokyny, časový rozvrh zaměstnání, přehled materiálního zabezpečení výuky a přípravy žáků a programovaný text pro zaměstnání. Zpracování materiálů podle všech zásad programování nebylo v daném čase proveditelné a pro některá témata ani možné, a tak mají texty podobu spíše scénářů učební hodiny (viz ukázkou na obr. 9).

Zásady zpevnění znalostí žáků byly uplatněny při tvorbě zkušebních testů. Využití testů je různé: před výukou, k ověření kvality samostatné přípravy, ve výuce, pro potvrzení srozumitelnosti výkladu, na konec výuky, pro krátké zopakování. Program výuky počítá v uzlových tématech s živým slovem učitele, neboť taková témata jsou náročná na diferencovaný přístup učitele k výkladu podle úrovně jednotlivých tříd i jednotlivých žáků. Navíc je nutno pamatovat také tímto způsobem na pestrost metodických forem a na osvěžení zájmu a pile žáků. Zkušební testy byly konstruovány podle lineárních programů s volenou odpovědí a s kódováním pro vyučovací stroje K-121. Ukázka části testu použitého v průběhu výkladu učitele je na obr. č. 10.

Zpracované materiály budou vyžadovat hlubší vzájemné propojení, revizi a optimalizaci. V některých tématech lze ještě více uplatnit programovou výuku, jak dosvědčují programované učebnice topografického výcviku z NDR. Přes počáteční obtíže a nedostatky se takto vzniklý soubor učebních materiálů a pomůcek může stát efektivním přínosem pro topografický výcvik na úrovni poddůstojnické školy.

## 6. Závěr

Materiály programovaného učení pomáhají zvýšit efektivnost vyučovacího procesu. Zpracování programu je však časově velmi náročné, některou výuku nelze vůbec zprogramovat, nebo jen částečně. Proto bude program výhodný tam, kde už sama učební látka pro to vytváří předpoklady a učební proces se mnohokrát opakuje. Tyto situace se vyskytují i při vyučování a přípravě ve vojenské topografické službě. Modernizace učebního procesu je sledována nejen v armádách NATO, ale i Varšavského paktu, zejména v armádě NDR a SSSR.



Dílčí otázka	Krok	Text - pedagogický obrat	Čas		Pokyn pro řídícího
			Trv.	Průb.	
Úvod k zaměstnání		<p>V minulém zaměstnání z topografické <del>prápravy</del> jste se seznámili s nejdůležitějším prvkem vojenské topografie, to jest s terénem. Učili jste se terén studovat a hodnotit. Při tom jste opakovali některé činnosti s mapou. Dnešní zaměstnání je věnováno dalšímu tématu vojenské topografie a to orientaci v terénu s důrazem na orientaci podle mapy.</p> <p>Zapišete si do sešitu program dnešního zaměstnání :</p> <p>Téma 2</p> <p>Zaměstnání 1 Orientace podle mapy</p> <p>Učební otázky : 1. Orientace v terénu</p> <p>2. Orientace podle mapy</p> <p>a/ usměrnění mapy</p> <p>b/ určení vlastního stanoviště</p> <p>c/ porovnání terénu s mapou a naopak</p> <p>3. Praktické využití orientace podle mapy</p>	3'	3'	<p>Připravit do psacího projektoru program zaměstnání</p> <p>Zapnout Pp učitel píše na fólii</p>
Orientace v terénu	Zadání úkolu	<p>1. učební otázka /Orientace v terénu /</p> <p>Věnujme pozornost první učební otázce. Měli jste za úkol připravit se na zaměstnání podle učebního textu pro samostatnou přípravu. Základní pojmy a poznatky z orientace v terénu si zopakujeme. Budete samostatně pracovat s programovanými texty pro opakování .</p> <p>Připravte si vyučovací stroje K-121 na řešení úlohy č. 1, dále topografickou mapu M-33-65-C /příslušnou část soulepu map/, tužku, pravítko a programovaný text.</p>			<p>Vypnout Pp</p> <p>Příprava pomůcek a VS-K 121</p>

Obr. 9

13. Při orientaci podle mapy se často vyskytne potřeba určit z mapy souřadnice nějakého objektu. Máte mapu M-33-65-C, najdete na silnici III. třídy v úseku Dobrovíz - Jeneč kótu 356,3 a určete její souřadnice X Y s přesností na desítky metrů:

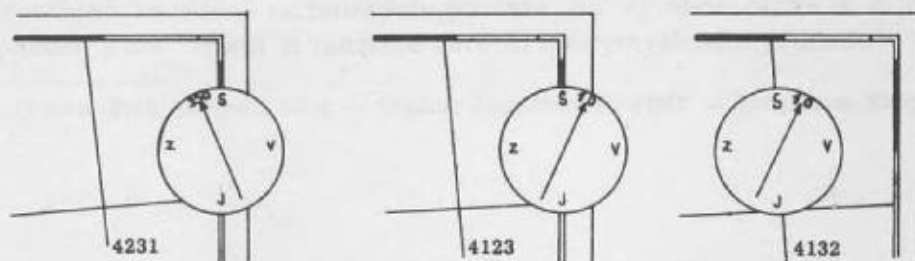
53.170 m	44.400 m	321
3 444.400 m	5 553.170 m	231
5 553.830 m	3 444.600 m	123
5 553.170 m	3 444.400 m	312

14. Na mapě M-33-65-C najdete silnici Jeneč - Unhošť. Ve směru na Unhošť silnice :

- mírně stoupá a pak klesá	213
- mírně stoupá	231
- mírně klesá	321

15. Pro orientaci v terénu podle mapy musíme mapu nejdříve usměrnit, pak určíme vlastní stanoviště a potom můžeme přenášet /vyhledávat/ objekty a terenní tvary z mapy do terénu a obráceně.

Mapu usměrnujeme podle směrů v terénu, není-li to možné /je málo orientačních terenních čar nebo bodů/, pak podle busoly. Na obrázcích je schematicky zakresleno usměrnění mapy podle busoly /deklinace +10°; poledníková konvergence - 5° /, který zákres je správný ?



Obr. 10

Experiment Krakonoš ukázal možnosti modernizace výuky z tuzemských zdrojů a částečně i využití programované výuky. Pro úroveň poddůstojnické školy je taková technizace naddimenzována a při výstavbě dalších škol, s kterou se začíná v tomto roce, bude třeba postupovat uvážlivěji. Přes všechny nedostatky vytvořil experiment podmínky pro ověření řady dílčích problémů a je příkladem pro následování. Některé prvky mohou účelně využít pro vlastní podmínky i ústavy a útvary vojenské topografické služby.

O poměru mezi učitelem a modernizací učebního procesu říká E. B. Fry: „Vyučovací stroje a programované vyučování nejsou monstra určená k tomu, aby zotročila myšlení a udělala z žáků a učitelů roboty. Ve skutečnosti v nich řada pedagogů vidí osvobozující prostředky, které umožňují individuální diferenciaci daleko více než dnešní strnulé vyučování ve velkých třídách s předepsanými učebnicemi, filmy a televizí. Pomocí těchto metod lze učitele osvobodit od mnoha administrativních úkolů při opravování úloh a opakování spousty podrobností podle učební osnovy, která musí být dodržena. Vyučovací stroje a metody programovaného vyučování nejsou univerzálním všelékem. Jsou však natolik významné, že si zaslouží, aby o nich vážně uvažoval každý pedagog.“

#### Literatura:

- [1] Radovan Richta a kolektiv: Civilizace na rozcestí, Praha 1967.
- [2] Kolektiv autorů: O vojenském vyučování a výcviku, Praha 1967.
- [3] Fry E. B.: Vyučovací stroje a programované vyučování, Praha 1966 (originál USA, 1963).
- [4] Soubor překladů: Programované učení jako světový problém, Praha 1966.
- [5] Tůma J., Křečan Z.: Vyučovací stroje, Praha 1967
- [6] Kilberger M.: Zpráva o racionalizaci výuky v poddůstojnické škole, 1967.

Došlo 19. 2. 1969

## „Stručný popis metody CPM s ukázkou její aplikace na řešení praktického problému z oboru VTS“.

### 1. Vznik a rozšíření metod CPA

„Metody síťového plánování“, nazývané též metodami CPA, CPM a PERT\*) nebo souhrnně „metodami analýzy pomocí kritické cesty“ jsou samostatnou částí vědního oboru „operačního výzkumu“. Z původně vyvinuté metody CPM bylo odvozeno v krátké době mnoho dalších modifikací, označených různými názvy a zkratkami, jako např.: TOPS, HEPP, LOB... Rychlý vývoj metody CPM (později i metody PERT) a vznik mnoha variant svědčí o jejím rozšíření a širokém uplatnění. Metody CPA mají, právě tak jako většina metod operačního výzkumu, obecné použití. Tato jejich vlastnost a skutečnost, že umožňují snadný vývoj dalších modifikací, způsobila, že v současné době jsou v zahraničí jedněmi z nejvíce rozšířených metod operačního výzkumu pro plánování i operativního řízení v nejrůznějších oborech lidské činnosti.

V podstatě se všechny modifikace metod CPA dělí do dvou částí:

1. metody CPM,
2. metody PERT.

Zařazení jednotlivých modifikací je určováno podle toho, který z těchto dvou základních druhů metod CPA je základem vyvinuté modifikace.

Metoda CPM vznikla v roce 1956 u firmy „Du Pont de Neumeurs and Comp. (USA)“. Pracovníci této firmy ve spolupráci s firmou „Sperry Rand Corporation“ (R. Walther, E. Kelley) vyřešili touto metodou co nejrychlejší provedení nutných generálních údržeb centrálního chemického zařízení. Ekonomický přínos spočíval ve zkrácení doby údržby na minimum, protože vyřazení centrálního zařízení z provozu způsobovalo veliké ekonomické ztráty. Je pozoruhodné, že metoda CPM je jednou z mála metod operačního výzkumu, které nebyly vyvinuty v ozbrojených silách, i když je jejím cílem především zkrácení termínu plnění úkolů.

Metoda PERT vznikla o 2 roky později (1958) při řešení projektu vývoje a výroby raket „Polaris“. V tomto projektu se vyskytovaly převážně činnosti, u nichž nebylo možno předem přesně stanovit dobu jejich trvání — bylo možno ji pouze odhadnout (výzkumné práce apod.). Šlo tedy o aplikaci metody CPM s tím, že do výpočtu vstupovaly veličiny stochastické na rozdíl od modelu deterministického u metody CPM. Princip obou metod je v podstatě stejný. Pro jeho pochopení stačí poznat princip metody CPM, která je, vzhledem k tomu, že pracuje s deterministickými veličinami, jednodušší. Po prostudování modifikací metody CPM (základních) je možno prostudovat metodu PERT a její základní modifikace. Při dalším sledování popisu metody CPM si stačí uvědomovat, že v metodách na bázi metody PERT lze určit pouze pravděpodobné dosažení určitého cíle v určité době.

### 2. Princip metody CPM

Poznámka: Princip metody i jejích matematických základů je popsán pouze v nejnútnejší míře pro pochopení problematiky.

Metoda CPM vychází ze skutečnosti, že většina výrobních procesů uskutečňovaných lidmi (ale i jinými) se skládá z mnoha dílčích činností. Tyto činnosti se nějakým způsobem vzájemně podmiňují, logicky nebo i jinak na sebe navazují. Předpokládá se, že složitost procesů s rostoucí specializací neustále roste. Jde v prvotní úvaze o zásadu: Čím dříve vyrobím, tím dříve a výhodněji mohu výrobek prodat a použít. (Modifikace CPM již hledají optimální cesty k uskutečnění určitého cíle vzhledem k stanovenému ukazateli.) V našich podmínkách socialistické výroby nelze problém chápat pouze z tohoto hlediska. U nás půjde spíše o prospěšnost rychlého zavádění technických novinek do výrobní praxe a o ekonomický přínos z toho plynoucí. Toto tvrzení si můžeme osvětlit na vymyšleném příkladu:

\*) CPA — Critical Path Analysis, CPM — Critical Path Method, PERT — Programm Evaluation Reserch Task.



Topografická mapa zestárne za 8 let. Po této době je její použití pro praxi velmi omezené. Trvá-li obnova mapy např. 3 roky, může nám mapa sloužit pouze 5 let a v době svého obnovení již zachycuje situaci starou 3 roky. Zkrácením doby obnovy mapy na 2 roky se nám prodlouží použitelnost mapy o 1 rok a současně dosáhneme vyhotovení kvalitnějších (čerstvějších) mapových podkladů. Začneme-li s obnovou třeba v r. 1960 a budeme-li provádět celkem např. 3 obnovy, zabezpečíme v prvním případě jednotky mapami od roku 1963 do roku 1978. V druhém případě při téže, ale rychlejší práci zabezpečíme jednotky mapami od roku 1962 až do roku 1980, tedy o 3 roky déle a přitom v některých letech jsou jednotky zabezpečeny kvalitnějšími (čerstvějšími) mapovými podklady. Máme-li prostředky na častější obnovy, můžeme se rozhodnout pro provedení častějších obnov s cílem, aby byly jednotky zabezpečeny mapami ještě čerstvějšími. Úspora je prokazatelná.

Ve své podstatě je metoda CPM velmi jednoduchá. Prakticky je pouze pomůckou (nástrojem) člověka při plánování a řízení složitých procesů. Člověk je schopen jednodušší procesy logicky zvládnout sám a nalézt vhodná organizační řešení. Metoda CPM mu umožňuje složité procesy rozdělit na řadu dílčích celků, tyto dílčí celky rozdělit na jednotlivé činnosti, nalézt vhodná řešení těchto dílčích celků a posléze vyřešit celý proces. Metoda CPM umožňuje vyřešit bez velké námahy více variant řešení určitého procesu; unifikuje plánování a řízení prací. Metoda současně přenáší méně kvalifikované výpočetní práce na SAPO; umožňuje řešení po jednotlivých etapách s tím, že není nutno se neustále vracet a pamatovat si již vyřešené závislosti. Donucuje vedoucí všech stupňů k odbornému promyšlení celé problematiky, poskytuje nadřízeným vedoucím potřebné informace pro jejich úroveň řízení a celkově pomáhá vyřešit optimální organizaci práce pro uskutečnění procesu. Při realizaci procesu umožňuje odstraňovat nedostatky, lépe je předvídat a zjišťovat případně jejich příčiny. Metodou CPM získáme objektivní podklady pro analýzu projektu a pro argumentaci.

Jako příklad k pochopení nám může posloužit opět proces obnovy topografických map. Jde o proces opakující se, složený z určitého počtu dílčích činností, které na sebe navazují a různým způsobem se podmiňují. Míru detailu pro rozdělení procesu na jednotlivé činnosti je nutné předem vhodně určit. K provedení procesu máme k dispozici určité, do jisté míry omezené zdroje. Je zřejmé, že např. nemůžeme kreslit kartografickou předlohu obnovené mapy, aniž předem neprovedeme všechny činnosti, na kterých je závislá. Toto tvrzení zvlášť vynikne v procesu, kdy budeme současně provádět obnovu více topografických map. V tomto případě můžeme současně s kresbou kartografické předlohy provádět jiné předběžné práce na dalším listu mapy. Lze namítnout, že tato tvrzení jsou úplně samozřejmá. Vtip je ale v tom, že každý vedoucí pracovník musí předem určit dobu trvání s potřebnými kapacitami a že tyto údaje jsou později kontrolovatelné. Je-li takto určen celý proces, lze metodou CPM vyřešit optimální variantu organizačního řešení na matematickém modelu CPM; v průběhu realizace kontrolovat plnění a správnost odhadu vedoucího - přenést tedy odpovědnost na příslušné vedoucí a kontrolovat je.

Graficko-matematický model CPM lze vytvořit s takovou přesností, s jakou byly určeny vstupní údaje. Při vlastním zpracování modelu se jednak ověří odhadnuté doby, získáme přehled o potřebě kapacit v určitých časových údobích a prověří se vzájemné závislosti. Výsledkem výpočtu modelu je získání těch posloupností činností (tzv. kritických), které určují celkovou dobu trvání procesu, a současně se zjistí činnosti s rezervami - nekritické, které neovlivňují celkovou dobu trvání procesu. V další analýze, kterou nám model umožňuje, se zaměříme na zkrácení činností kritických s případným využitím rezerv z činností nekritických. Podaří-li se nám to, zkrátíme dobu trvání celého procesu. Konečným cílem je nalezení takového modelu, v němž jsou všechny činnosti kritické. Při narušení realizace procesu (nepředvídaná skutečnost, špatně odhadnuté doby trvání některých činností, opomenutá závislost apod.) metoda ve spojení se SAPO umožňuje snadné a rychlé přepracování modelu a výpočet nové varianty, která přihlíží k požadovaným změnám. Současně můžeme zjistit dopad změn na potřebu kapacit (případně jejich nevyužití) a na celkovou dobu trvání. Umožňuje tedy operativní řízení a dává k němu potřebné podklady. Dává vedoucím všech stupňů do ruky zbraň, která jim pomáhá

nalézt optimální variantu nasazení sil a prostředků k nejrychlejšímu splnění daného cíle a za předpokladu, že na všech stupních jsou vedoucí na svých místech, umožňuje i odhalit případné nedostatky dříve, než k nim dojde. V průběhu realizace umožňuje konfrontaci skutečně dosažovaných časů (pouze ve spojení s evidencí použití kapacit) s původně odhadnutými a neustálé jejich upřesňování pro plánování dalších stejných nebo podobných prací.

### 3. Matematické základy metody CPM

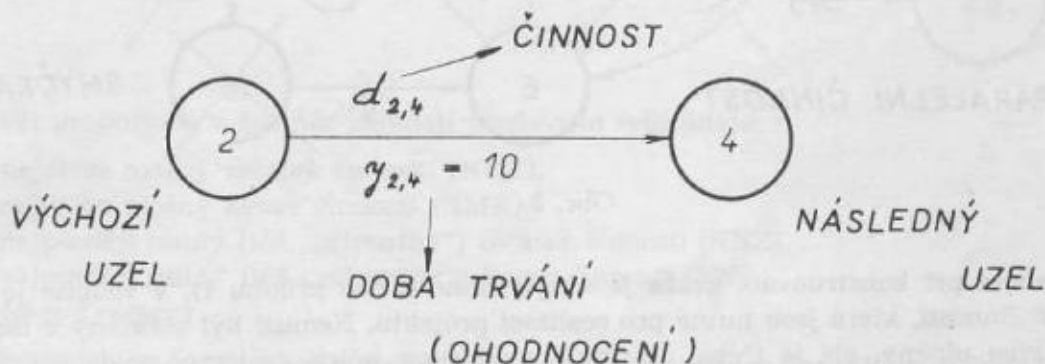
**P o z n á m k a :** V této kapitole jsou stručně popsány matematické základy metody CPM, nejčastěji používané v ČSSR (úsečkově ohodnocená síť). Při popisu bude přihlédnuto na výpočetní program CPM (CPM-TIME - jen časový), který je u VTOPÚ k dispozici.

Komplex prací a činností, které jsou nutné ke splnění určitého procesu (k dosažení určitého cíle), nazýváme **p r o j e k t e m**.

Projekt můžeme rozdělit na dvě základní množiny elementů:

- a) množinu činností,
- b) množinu uzlů.

Činnost ( $d$ ) definujeme jako prvek trvající v čase a spotřebovávající zdroje v průběhu trvání projektu. Je definována uspořádanou dvojicí uzlů, a to jejím uzlem výchozím a následným. Graficky ji znázorňujeme orientovanou úsečkou (tzv. hranou) označenou šipkou, ohodnocenou dobou trvání. (Šipka znázorňuje časový sled plnění.) Délka úsečky na této době nemusí záviset. (Existují však grafy zpracované přímo do časové osy.) (Viz obr. 1.)



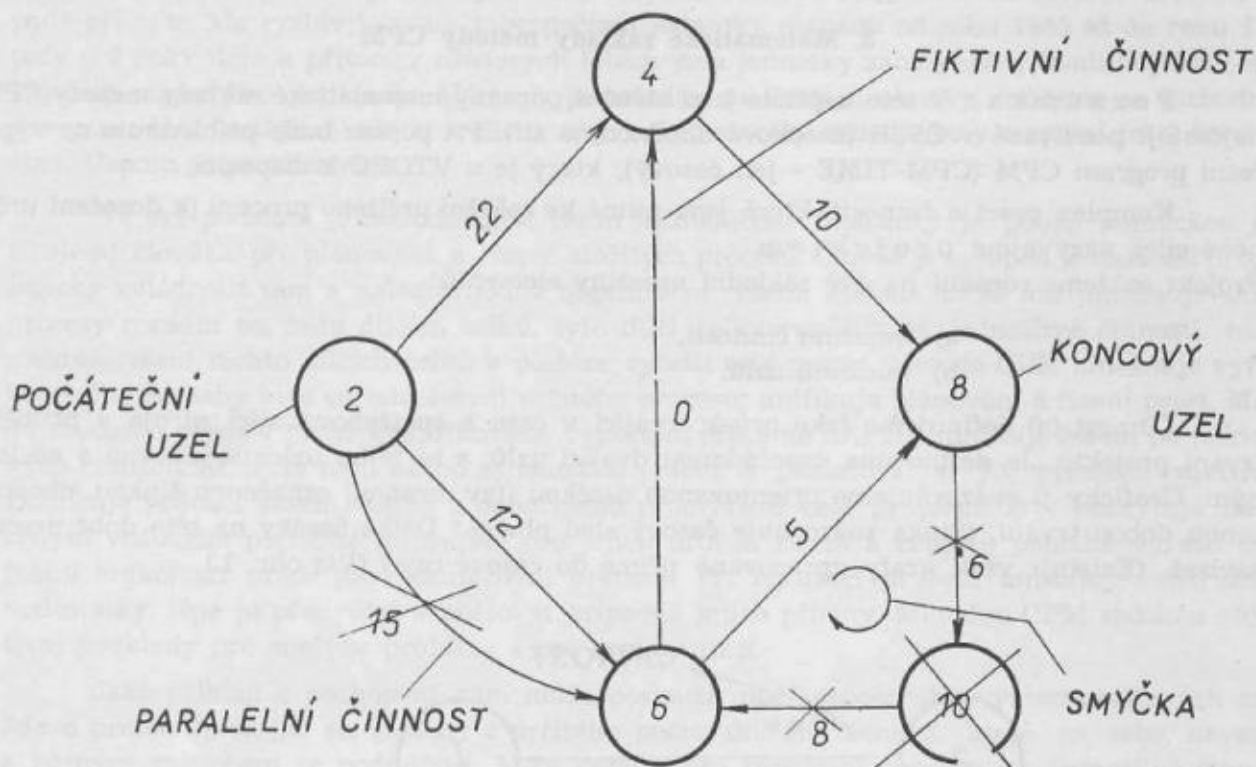
Obr. 1.

Uzel ( $u$ ) definujeme jako element projektu, který nespotebovává ani čas, ani zdroje. Jde pouze o časový okamžik, ve kterém některé činnosti začínají, jiné končí. Uzly nám činnosti oddělují a zajišťují nám jejich závislosti. Např. (obr. 2) nemůže být zahájena činnost  $d_{4,8}$ , dokud nejsou dokončeny činnosti  $d_{2,4}$  a  $d_{6,4}$ . Poněvadž  $d_{6,4}$  je fiktivní (viz dále) a závisí na dokončení  $d_{2,6}$ , závisí vlastně  $d_{4,8}$  též na  $d_{2,6}$ . V projektu má být pouze jeden počáteční a jeden koncový uzel. Z počátečního uzlu činnosti pouze vycházejí - do koncového pouze ústí. Uzly libovolně číslováme pořadovými čísly. Pro možnost přehlednějšího doplňování je vhodné (není nutné) pro první číslování použít jen čísla sudá nebo jen lichá. Druhými doplňujeme.

Činnosti (hrany) ohodnocujeme bobou trvání ( $y$ ) ve stejných časových jednotkách pro celý projekt. Některé z činností nespotebovávají ani čas, ani zdroje a vyjadřují pouze závislosti činností jiných. Takové činnosti nazýváme fiktivními a znázorňujeme je čárkovaně. Způsob zpracování sítě je jasný z obr. 2.

V grafickém modelu CPM se nesmějí vyskytovat nekonečné cykly tzv. smyčky (viz uzel 10, obr. 2), nebo činnosti paralelní. Vychází-li z téhož uzlu více činností směřujících do stejného uzlu následného, je nutné následný uzel rozdělit na více uzlů a závislosti zajistit fiktivními činnostmi (viz  $d_{6,4}$ , obr. 2). Některé činnosti lze při postupném zpracování grafu spo-

jovat, nebo i rozdělovat. Graf můžeme i konstruovat postupně po menších dílčích celcích a na závěr je možné jednotlivé části spojit. Již samotné zpracování podkladů pro graf a zpracování vlastního grafu nám pomůže vníknout do problematiky projektu. Přinutí nás zamyslet se nad závislostmi ještě před vlastním provedením výpočtu. Zpravidla vyplynou z těchto úvah problémy, které bychom při řešení projektu doposud používanými metodami ztěžka předpokládali.



Obr. 2.

Podkladem při konstruování grafu je soupis činností (viz přílohu 1). V soupise je třeba uvést veškeré činnosti, které jsou nutné pro realizaci projektu. Nemusí být seřazeny v časovém sledu, jak budou plněny, ale je třeba, aby byly vyjádřeny jejich vzájemné závislosti. Potom nebo i současně je možno přikročit ke konstrukci sítě, při které nám vyplynou většinou ještě další závislosti. Předpokládá se, že činnost závisící na činnosti předchozí, která je závislá ještě na další předchozí činnosti, je automaticky též na ní závislá. Do soupisu je vhodné uvést potřebné kapacity a čas pro jejich splnění a případně některé další indikace a závislosti (např. použití některého stroje apod.). Je důležité určit vhodnou míru detailu pro rozdělení projektu do jednotlivých činností. Při prvním zpracování je lépe více detailizovat s tím, že pracovník, který bude zpracovávat vlastní síť, bude v dalších etapách činnosti spojovat, kde mu to situace dovolí. Tímto způsobem zpracujeme grafický model projektu – tzv. hranově ohodnocenou síť. Činností bude zpravidla více než uzlů. Složitost sítě bude závislá na množství činností a jejich návaznosti. Tím, že jsme přiřadili k činnostem doby trvání (zpravidla značíme  $y$  s indexy výchozího a následného uzlu) a určili jejich závislosti, získali jsme matematický deterministický model CPM projektu.

### Časové propočty v síti

Viz obr. 3.

Činnost  $d_{i,j}$  nemůže začít dříve, než jsou skončeny všechny činnosti (a nejen ty), které ústí do uzlu  $i$  (je jejich následným uzlem). Činnost  $d_{i,j}$  může začít někdy i později, aniž došlo k ohrožení splnění termínu celého projektu. K tomu může dojít např. tehdy, když do uzlu



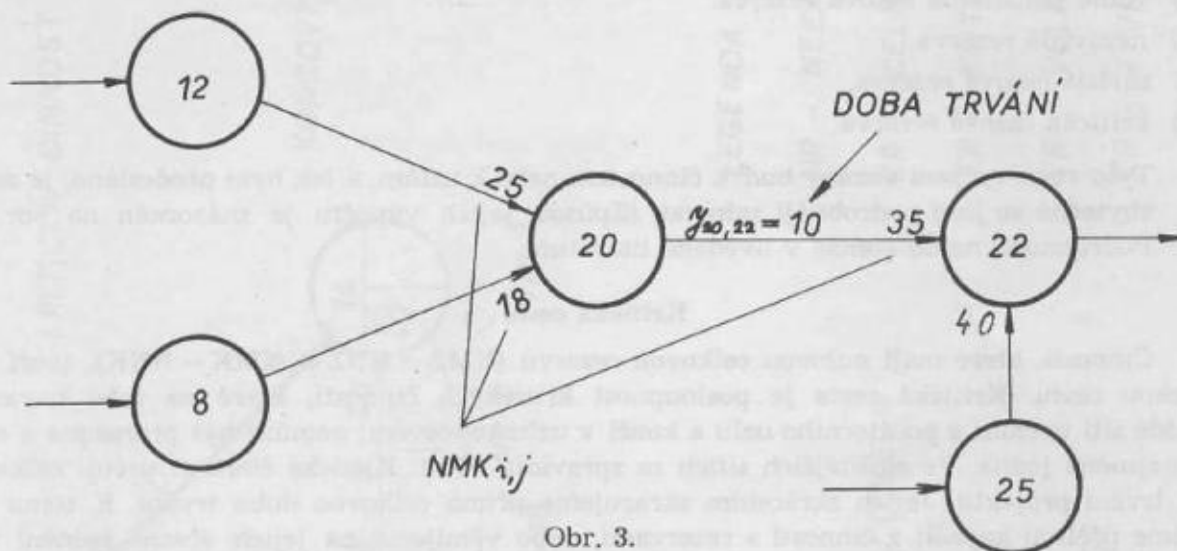
ústí více činností, z nichž některá může být skončena dříve (viz obr. 3). V tomto případě vzniká při této činnosti časová rezerva. Vznik a použití těchto rezerv závisí na konfiguraci sítě.

K obr. 3:

Činnost 12, 20 může nejdříve skončit v době 25.

Činnost 8, 20 může nejdříve skončit v době 18.

Činnost 25, 22 může nejdříve skončit v době 40. Pak činnost 20, 22 může nejdříve skončit až v době 35 (určuje 12, 20) a obdobně pro začátek činností vycházejících z uzlu 22 je rozhodující skončení činnosti 25, 22 v době 40.



Obr. 3.

Při propočtech v síti nás zajímají především tyto údaje:

- nejdříve možný začátek činnosti (NMZ),
- nejdříve možný konec činnosti (NMK),
- nejpozději nutný (též „přípustný“) začátek činnosti (NNZ),
- nejpozději nutný (též „přípustný“) konec činnosti (NNK),
- časové rezervy.

- ad a) NMZ je určen nejdříve možným termínem splnění všech činností ústících do uzlu  $i$  (prakticky tou z nich, která je splněna jako poslední). Je samozřejmé, že teprve potom mohou být zahájeny činnosti z uzlu  $i$  vycházející. Všechny činnosti, které vycházejí z téhož uzlu, mají stejný NMZ. NMZ značíme též  $t_i^{(0)}$ .
- ad b) NMK je určen výpočtem ze vztahu:  

$$\text{NMK} = \text{NMZ} + \text{doba trvání činnosti} = t_i^{(0)} + y_{i,j}$$
 NMK je doba, v níž může být některá činnost nejdříve splněna.
- ad c) NNZ je doba, v níž je nutno nejpozději začít s realizací činnosti, aby nebyl narušen nejdříve možný začátek všech činností vycházejících z uzlu  $j$  (následného). NNZ se bude lišit od NMZ jen v těch případech, kdy zkoumané činnosti mají rezervu. Počítá se ze vztahu:  

$$\text{NNZ} = \text{NNK činností ústících do uzlu } j (t_j^{(1)}) - \text{doba trvání činnosti} = t_j^{(1)} - y_{i,j} .$$
- ad d) NNK značíme  $t_j^{(1)}$ . Je to doba, ve které bude splněna poslední z činností vcházejících do uzlu  $j$ .
- ad e) V metodě CPM existuje více druhů rezerv, jejichž použití má různý dopad, který vždy nelze dosti dobře stanovit. Dopad závisí především na konfiguraci sítě. Zkušenější pracovník si může dovolit předem určit nebo alespoň odhadnout vliv využití některé rezervy na termíny ostatních okolních činností. Vzhledem k tomu, že výpočet z opravené sítě je velmi rychlý, řeší se to v praxi novým výpočtem, který nám vlivy použití záloh určí.

Všimneme si pouze celkové časové rezervy:

$$CR_{i,j} = t_j^{(1)} - t_i^{(0)} - y_{i,j} = NNK - NMZ - \text{doba trvání činnosti.}$$

Její hodnota je vždy nezáporná.

Označíme-li  $NNK - NNZ$  jako maximálně přípustné rozpětí, pak celková rezerva je rozdíl mezi ním a dobou trvání činnosti. Celkovou rezervu lze zpravidla odčerpat pouze u jedné činnosti.

Další rezervy alespoň vyjmenujeme:

- a) volně použitelná časová rezerva,
- b) nezávislá rezerva,
- c) závislá časová rezerva,
- d) kritická časová rezerva.

Tyto rezervy jsou vázány buď k činnostem nebo k uzlům, a jak bylo předesláno, je zatím zbytečné se jimi podrobněji zabývat. (Způsob jejich výpočtu je znázorněn na obr. 4.) Podrobnosti najde čtenář v uvedené literatuře.

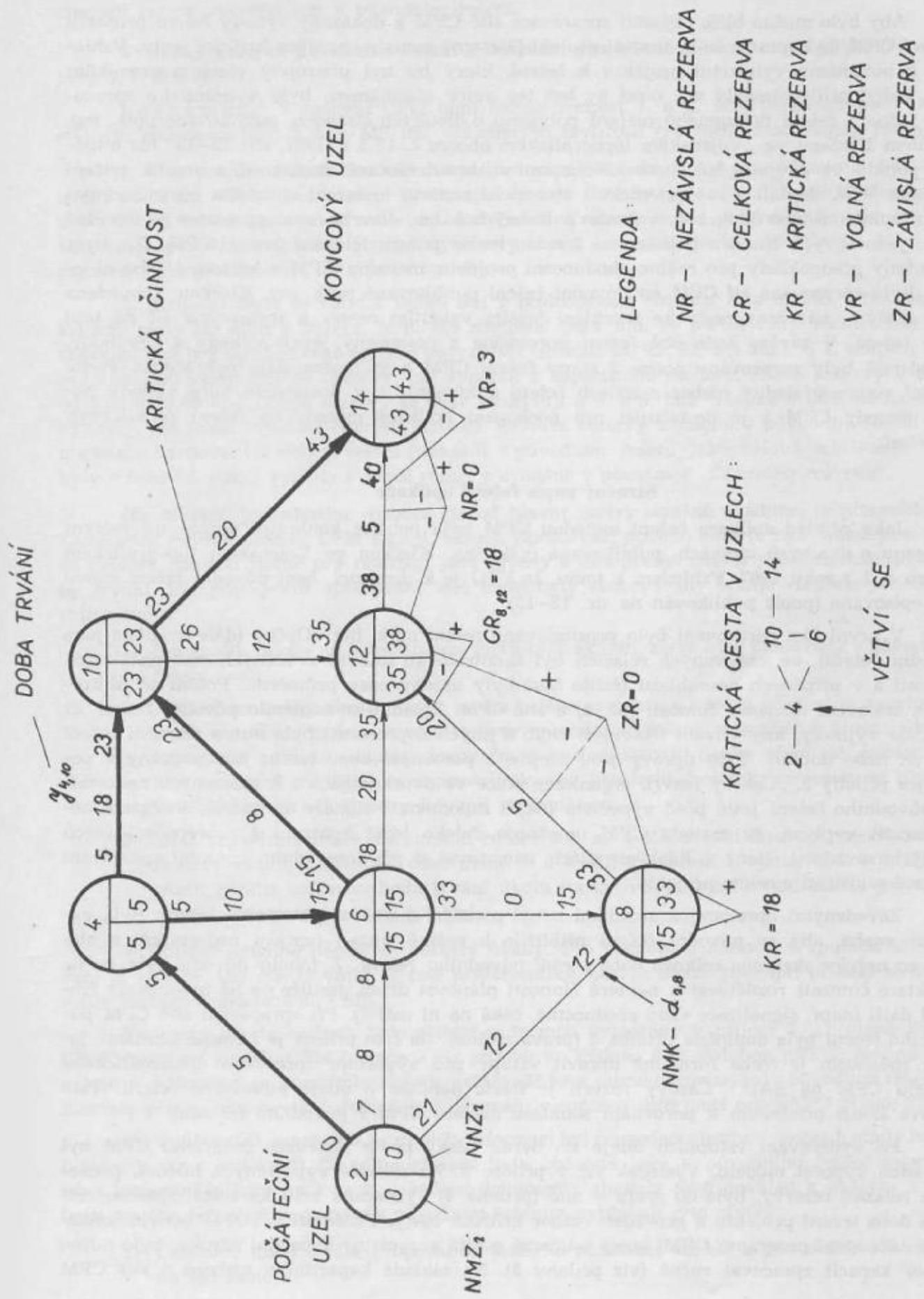
### Kritická cesta

Činnosti, které mají nulovou celkovou rezervu ( $NMZ = NNZ$  a  $NMK = NNK$ ), tvoří tzv. kritickou cestu. Kritická cesta je posloupnost kritických činností, které na sebe navazují. V každé síti vychází z počátečního uzlu a končí v uzlu koncovém; nemůže být přerušena a existuje nejméně jedna. Ve složitějších sítích se zpravidla větví. Kritické činnosti určují celkovou dobu trvání projektu. Jejich zkrácením zkracujeme přímo celkovou dobu trvání. K tomu využíváme přelivu kapacit z činností s rezervami, nebo věnujeme na jejich včasné splnění více prostředků a zaměřujeme se na ně při kontrolách jejich realizace. Výpočty opakujeme do doby, než je vypočtená doba trvání celého projektu pro nás přijatelná. V praxi se projekt CPM řeší do té etapy, až už žádné zkrácení není možné. To je do případu, že byly využity všechny rezervy a i vynakládání dalších prostředků na zrychlení činností je neekonomické. V tom případě se stanou všechny činnosti v projektu kritickými (optimum pro danou konfiguraci sítě).

### Způsob výpočtu

Výpočty v síti CPM provádíme většinou programem na samočinném počítači. Účelem výpočtu je zpravidla získání údajů  $NMZ$ ,  $NNZ$ ,  $NMK$ ,  $NNK$  a  $CR$  ode všech činností. Algoritmus výpočtu na SAPO vychází z uvedených matematických vztahů. Výpočty v síti ovšem můžeme provádět i ručně, jestliže nemáme k dispozici SAPO, a vhodný program, nebo je činností méně (do 80) a použití počítače není ekonomické. Způsob ručního výpočtu a záznamu je uveden na obrázku 4. Program na SAPO pracuje obdobně.

Máme-li sestavenou síť, propočítáme v jednotlivých uzlech  $NMK$  jednotlivých činností (přičtením doby trvání k  $NMZ$  — viz obr. 4). Ústí-li do uzlu více činností, pak maximální  $NMK$  z nich nám určuje  $NMZ$  uzlu. Ten poznamenejeme do kroužku uzlu vlevo dole. Tímto způsobem pokračujeme dále ve směru šipek, až dostaneme  $NMZ$  koncového uzlu, což je vlastní doba celkového trvání projektu. Ten opíšeme do kroužku koncového uzlu vpravo dole, považujeme jej na  $NNK$  všech činností do koncového uzlu ústících a zpětně odečítáním jednotlivých dob trvání činností (proti směru šipek) od tohoto údaje získáváme u jednotlivých činností  $NNZ$ . Vychází-li z některého uzlu více činností, pak minimální ze všech  $NNZ$  těchto činností nám určuje  $NNK$  činností do tohoto uzlu vcházejících a napíšeme jej do kroužku uzlu vpravo dole. Po propočtu celé sítě dojdeme nakonec k počátečnímu uzlu, kde musí vyjít původní zapsaná doba zahájení projektu (kontrola — bývá zpravidla 0). Při dalších rozvahách je třeba rozlišovat, že vypočtené údaje se váží jednak k činnostem (zapisujeme je u činností) a jednak k uzlům (zapisujeme do kroužku uzlů). Uzly, ve kterých se oba spodní údaje shodují, jsou na kritické cestě. Najdou se a silněji vytáhnou kritické činnosti. Jejich  $NMZ$  a  $NMK$  se shodují s hodnotami v uzlech.



obr. 4



#### 4. Ukázka aplikace metody CPM na řešení praktického problému z oblasti VTS

Aby bylo možno blíže objasnit zpracování sítě CPM a dokázány výhody řešení projektu pomocí CPM, byl zpracován konkrétní projekt (2 etapy) metodou analýzy kritické cesty. Vzhledem k obtížnému vyhledání projektu k řešení, který by byl přístupný všem pracovníkům VTS, nebyl příliš rozsáhlý a s nímž by byl též autor obeznámen, bylo vybráno ke zpracování jedno z řešení postupného měření polygonu o dlouhých stranách, publikované pplk. ing. Kamilem Klečkou ve „Vojenském topografickém obzoru č. 1“ z r. 1967, str. 12–15. Jde o měření pořadu ve dvojskupinách, ve kterém autor shrnul získané zkušenosti z mnoha cvičení jednotek VTS, doplnil o své praktické i teoretické znalosti a navrhl optimální organizaci pro včasné splnění celého úkolu s vytvořením potřebných záloh. Navrhovaná organizace je detailně podle jednotlivých činností popsána ve formě vhodné pro modelování pomocí CPM. Tím byly vytvořeny předpoklady pro reálné zhodnocení projektu metodou CPM a případné jeho zlepšení. Byla zpracována síť CPM na původní řešení publikované pplk. ing. Klečkou, provedena jeho analýza, navrženy cesty ke zrychlení lepším využitím rezerv a zpracována síť na toto nové řešení. V závěru byla obě řešení porovnána a posouzeny jejich výhody a nevýhody. V podstatě byly zpracovány pouze 2 etapy řešení CPM a je možno dále pokračovat. Podle mínění autora výsledný rozbor a způsob řešení dokumentuje v dostatečné míře výhody použití metody CPM a je dostačující pro pochopení aplikace metody na řešení praktických problémů.

##### Stručný popis řešení aplikace

Jako příklad aplikace řešení metodou CPM byla použita konkrétní organizace měření polygonu o dlouhých stranách, publikovaná pplk. ing. Klečkou ve Vojenském topografickém obzoru č. 1 z roku 1967. Vzhledem k tomu, že VTO je k dispozici, není původní řešení znovu celé opisováno (popis publikován na str. 12–15).

V první fázi zpracování bylo prostudováno řešení pplk. ing. Klečky (dále uváděno jako původní řešení), ve vzájemných relacích byl zkontrolován souhlas uváděných časů podobných činností a v případech nesouhlasu těchto časů byly určeny časy průměrné. Potom se přikročilo k sestavení seznamu činností (př. 2) a sítě CPM. Zásadně se neměnilo původní řešení, až na malé výjimky, kdy vlivem tiskových chyb a jiných nepřesností bylo nutno původní řešení opravit nebo doplnit. Tyto úpravy jsou zřejmé z porovnání obou textů; jsou popsány v poznámce přílohy 2, „Časový rozvrh organizace práce ve dvojskupinách“. Z nalezených nedostatků původního řešení ještě před výpočtem (např. zapomenuté signály na bodech a některé ne-logičnosti) vyplývá, že metoda CPM umožňuje daleko lepší kontrolu a zabezpečení všech nutných závislostí. Není v lidských silách pamatovat si při dosavadním způsobu zpracování veškeré závislosti v celém projektu.

Zavedenými opravami a změnami nebyl porušen charakter původního řešení. Byla vyvíjena snaha, aby se původní řešení přiblížilo k reálné situaci (oprava nedostatků) a aby byla co nejvíce zkrácena celková doba trvání původního řešení. Z tohoto důvodu bylo nutné i některé činnosti rozdělovat a některé činnosti plánovat dříve, jestliže na ně navazovaly činnosti další (např. signalizace vždy přednostně, čeká na ni měřič). Při zpracování sítě CPM původního řešení byla doplněna příloha 2 (pravá strana). Na této příloze je názorně ukázáno, jakým způsobem je třeba formálně upravit vstupy pro výpočetní zpracování matematického modelu CPM na SAPO. Časový rozvrh je navíc doplněn o údaje původního řešení. Tato úprava slouží především k porovnání souhlasu modelu CPM s původním řešením.

Po vyděrování vstupních údajů do děrné pásky podle instrukce programu CPM byl proveden výpočet modelu. Výsledek viz v příloze 3. Na základě vypočtených hodnot, především celkové rezervy, byla do grafu – sítě (příloha 4) vyznačena kritická cesta, zjištěna celková doba trvání projektu a proveden rozbor kritické cesty. Poněvadž VTOPÚ nebylo umožněno zakoupení programu CPM, který současně počítá a vypisuje kapacitní nároky, bylo nutno rozbor kapacit zpracovat ručně (viz přílohu 5). Na základě kapacitního rozboru a sítě CPM

byla provedena hluboká odborná analýza původního řešení s cílem zkrátit dobu trvání při zachování rezerv vytvořených v původním řešení.

**Výsledky analýzy původního řešení s návrhem pro řešení nové (I. etapa CPM)** (viz přílohy 6, 7, 8, a 9).

**Poznámka:** V modelu CPM není řešena činnost 7. a 8. MS, poněvadž plní úkoly stejným způsobem jako 5. a 6. MS bez vzájemných závislostí (ve shodě s původním řešením).

1. V původním řešení činí celková doba trvání 475 minut, což je o 55 minut déle, než uvádí autor ve VTO. Toto zdržení především vzniklo tím, že byly v modelu CPM plánovány v původním řešení opomenuté potřebné skutečnosti. Celkově se ale potvrdilo, že původní řešení bylo zpracováno dobře a s uvedenými výjimkami odpovídá reálné skutečnosti (tato organizace byla prozkoušena na více cvičeních).

2. Kritická cesta se větví a úplně leží v posloupnosti činností 5. a 6. MS. Při rozboru kritické cesty lze dojít k závěru, že 6. MS zbytečně čeká tím, že posílá vždy vozidlo napředcházející bod pro signál a čeká na jeho návrat (viz činnosti 88, 92; 92, 104 atd.). U 1. skupiny a 2. skupiny jsou velmi značné rezervy, jak vyplývá z kapacitního rozboru. Jde o rezervy v době od 6.00 do 9.00 hod. Menší rezervy se ještě vyskytují u 4. a 6. MS. Naopak 5. MS, až na malé výjimky, má téměř všechny činnosti kritické. Celkové rezervy uváděné v původním řešení máme snahu zachovat i v dalším řešení (uváděné v původním řešení jako záloha oddělení). Dále byly v řešení I. etapy využity i menší rezervy uváděné v poznámce „Časového rozvrhu“.

Na základě podrobného rozboru, jehož hlavní závěry stručně uvádíme, se přikročilo ke zpracování nového modelu CPM (tzv. I. etapa). Zpracování nového modelu bylo umožněno tím, že veškeré činnosti nutné pro realizaci jsou určeny a jsou přesně známy jejich návaznosti i doby trvání. Při postupném zpracování sítě CPM byly zachovávány kromě všeobecných zásad tyto zásady:

1. Nenarušit zálohy u jednotlivých měřických skupin, které byly plánovány v původním řešení.
2. Celkově se snažit zkrátit dobu trvání celého projektu a k tomu především navrhnout lepší organizaci práce, využít rezervy původního řešení v průběhu plnění úkolu, zabezpečit měřické skupiny dostatečným počtem signálů (lehké přenosné signály nejsou nákladné ani těžké na dopravu) tak, aby jich bylo dostatek, nemusely se přestavovat a mohly být staženy kdykoli po zaměření.
3. Lepší organizaci práce s využitím rezerv u 1. až 4. MS zvětšit časovou rezervu a této rezervy využít k odebrání části úkolu 5. a 6. MS (zaměření 1. bodu). U 5. a 6. MS se snažit zkrátit celkovou dobu trvání úkolu (ta ovlivňuje dobu trvání celého projektu) a navíc jim zmenšit úkol o 1 bod.

Je obtížné detailně popisovat veškeré úvahy. Pro pochopení metody a způsobu zpracování je vhodné, aby čtenář vnikl do celé problematiky, sám se snažil pochopit princip zlepšení, a tím pochopí celou metodu CPM.

Výsledky tohoto rozboru byly písemnou formou vyjádřeny v příloze 7, „I. etapa řešení CPM“ (nová síť modelu CPM I. etapy - viz přílohu 6). Příloha 6 je obdobou příl. 2. Nejsou tam ovšem uváděny údaje původního řešení, poněvadž není nutné porovnávání s původním řešením. Sloužila přímo jako prvotní doklad pro děrování vstupních informací pro SAPO Minsk 22.

Po vyděrování prvotních vstupních informací byl proveden vlastní výpočet I. etapy řešení (výsledek viz v příloze 8). Na jejím základě byla obdobně jako u původního řešení vypracována kapacitní bilance (příloha 9). Uvedené dokumenty sloužily jako podklad k analýze a rozboru nového řešení. Z porovnání s původním řešením vyplývají tyto závěry:

1. Celkovou dobu trvání projektu se podařilo podstatně zkrátit z původních 475 minut na 355 minut.



2. U 1. měřické skupiny vzrostla záloha o 20 minut. U 2. MS naopak byla snížena záloha o 60 minut. U 3. MS vzrostla záloha o 40 minut, u 4. MS vzrostla záloha o 10 minut, u 5. MS vzrostla záloha o 130 minut a u 6. MS o 200 minut. Celkově bylo i při zkrácení doby trvání ušetřeno v zálohách celkem 340 minut. Tento údaj je částečně zkreslen tím, že v původním řešení byly předpokládány větší časy na předávání výsledků, ovšem i tak je markantní značná časová úspora. Je samozřejmé, že při vlastní realizaci měření podle I. etapy odpadne většina rezerv (lépe řečeno prostojů v průběhu měření), ke kterým by došlo v původním řešení.

Skupiny budou podstatně více vytíženy, termíny splnění jednotlivých prací budou napjatější, organizace prací bude citlivější a i řízení plnění úkolů bude náročnější. Na druhé straně je možno náčelníkům skupin pomocí přesného modelu CPM dokázat, že úkol v daných termínech lze splnit a navíc dostává náčelník oddělení do rukou podklady pro skutečně vědecké řízení plnění úkolů.

Vyřešením I. etapy úkol ovšem nekončí. Autor si nedělá nárok, že řešení uvedené v I. etapě je optimální. Existuje zcela určitě řada dalších řešení, ještě výhodnějších. K nim se lze snáze přiblížit na základě rozboru této I. etapy a postupného zpracování etap dalších, optimálnějších. I po nalezení optimální varianty je vhodné u prací, které se opakují, provést praktické ověření nalezené organizace plnění úkolů. Na modelu prakticky procvičujeme různé organizace práce. Vzhledem k tomu, že při vlastní realizaci může dojít k nepředvídaným překážkám, je vhodné jednotlivé varianty uschovávat a při vyskytnutí překážky nalézt vhodnou variantu, která by optimálním způsobem vyřešila vyskytnuvší se nedostatky. Je-li k dispozici samočinný počítač, je vhodné jej při rozhodování použít a najít vhodný model, který by řešil konkrétní situaci. Tento model se dá i v průběhu vlastní realizace neustále upřesňovat.

### Závěr

Závěrem je třeba zdůraznit, že žádná z moderních metod řízení nemůže nahradit myšlenkovou činnost lidí, jejich zkušenosti, odborné znalosti, schopnost logického myšlení a jejich přizpůsobivost při řešení konkrétních situací. Stejným způsobem nelze od metody očekávat, že odstraní naráz různé nedostatky. Každá metoda je a lze předpokládat, že zůstane pouze nástrojem, který pomůže lidem k úspěšnější realizaci jejich cílů. Ne nadarmo se dostalo moderním metodám vědeckého řízení tak širokého uplatnění. Je to značné rozšíření metod lineárního programování v socialistických státech a rozšíření všech metod ve státech kapitalistických. V jejich podmínkách se nejvíce uplatnily metody CPA především pro jejich jednoduchost a obecnost. Metodami CPA jsou v západních státech řízeny celé výrobní podniky. V ČSSR se metody CPA používají poměrně málo. Zatím byly použity ve stavebnictví a při opravách větších zařízení. Bylo dosaženo pouze dílčích úspěchů vzhledem k tomu, že v našich současných podmínkách lze i seberealističtěji naplánovaný projekt velmi obtížně realizovat. Tato skutečnost by neměla hrát v armádě, která je přísně centralizovaným útvarem s kontrolovaným direktivním řízením (direktivní řízení není podmínkou pro zavádění metod CPA), podstatnou roli. Z těchto důvodů se jeví použití metod CPA v armádě jako zvlášť výhodné.

Cílem této práce není vyřešení optimální varianty měření pořadů o dlouhých stranách. Měla pouze ukázat na praktickém příkladu postup řešení metodou CPM. Z porovnání dosažených výsledků jasně vyplývá, že se současně podařilo dokázat, jak vhodné a vědecké je použití metody CPM při řešení tohoto problému. Je-li výhodné aplikovat metodu CPM na řešení podobných i jiných problémů ve VTS, se ponechává čtenářům k posouzení.

#### Literatura:

1. Sborník MNO-19 č. 3 z roku 1965, „Exaktní metody řízení složitých procesů“
2. Pplk. ing. Krásný: Zlepšovací návrh na organizaci práce při měření polygonových pořadů o dlouhých stranách (1964).

Došlo dne 28. 7. 1969



Poř. čís.	Činnost (popis)	Závisí na činnosti poř. č.	Uzel		Doba trvání	Kdo prov.	Kapacity			Poznámka
			vých.	násl.			prac.	stroj.	mat. a jiné	

## Analýza kritické cesty

Příloha č. 3

MOZ nejdříve možný termín NUT nejpozději nutný termín POČ výchozí uzel KON následný uzel	Činnost			Začátek		Konec		Celková rezerva
	POC	KON	DOBA	MOZ	NUT	MOZ	NUT	
Pro nedostatek místa je uveden pouze začátek výpočtu	2	4	10	0	90	10	100	90
	2	80	20	0	0	20	20	0
	4	8	50	10	245	60	295	235
	4	6	5	10	100	15	105	90
	8	10	0	60	295	60	295	235
	8	9	0	60	355	60	355	295
	6	10	45	15	250	60	295	235
	24	25	5	30	120	35	125	90
	25	10	0	35	295	35	295	260
	25	26	15	35	125	50	140	90

## Analýza kritické cesty

Příloha č. 8

MOZ nejdříve možný termín NUT nejpozději nutný termín POČ výchozí uzel KON následný uzel	Činnost			Začátek		Konec		Celková rezerva
	POC	KON	DOBA	MOZ	NUT	MOZ	NUT	
Pro nedostatek místa je uveden pouze začátek výpočtu	2	4	10	0	0	10	10	0
	2	100	10	0	55	10	65	55
	4	8	30	10	10	40	40	0
	4	6	5	10	10	15	15	0
	6	10	5	15	15	20	20	0
	6	20	15	15	15	30	30	0
	20	18	15	30	30	45	45	0
	8	14	15	40	40	55	55	0
	8	16	10	40	150	50	160	110
	14	32	15	55	55	70	70	0
	32	30	15	70	70	85	85	0
	10	12	15	20	20	35	35	0
	12	18	10	35	35	45	45	0
	18	24	15	45	45	60	60	0
	18	16	0	45	160	45	160	115

Časový rozvrh a organizace práce ve dvojskupinách

Příloha č. 2/1

Původní řešení		Původní řešení upravené pro zpracování metodou CPM (normy času neměněny)				Poznámka	
Od — do hodin	Doba trvání	Provádí MS č.	Popis činnosti původního řešení	Uzel vých. násled.	Doba trvání		Činnost, zdůvodnění, případné nutné úpravy
06.00 — — 06.10	10	1., 2., 3., 4.	Rekognoskace 1. vrcholu (V1) a navazovacích směrů (na V0 — výchozí bod)	2	4	Ponecháno beze změny	
06.10 — — 06.15	5	1., 3., 4.	Dohovor o součinnosti 1. MS s 3. + 4. MS, předání stavivu + terče pro signal. V1	4	6	Ponecháno beze změny	4. MS nevyužita
06.10 — — 07.00	5 + 45	2.	Odjezd k signalizaci navazovacích bodů a jejich signalizace	4	8	Odjezd (5 min.) spojen se signalizací (45 min.) pro zjednodušení	
06.15 — — 07.00	45	1.	Kresba topografie (na V0)	6	10	Ponecháno beze změny	Vzhledem k ostatním normám délce (15) Poměrně dlouhý čas 45 min. (— 30)
07.00 — — 08.00	60	1.	Měření na V0	10	12	Ponecháno beze změny	Vzhledem k ostatním normám délce (15) Poměrně dlouhý čas 45 min. (— 30)
	0	F		8	10	Fiktivní, činnost 10, 12 závisí na dokončení činnosti 4, 8 (viz popisy činností)	
	0	F		25	10	Fiktivní, činnost 10, 12 závisí na dokončení činnosti 24, 25	
08.00 — — 08.10	10	1.	Signalizace V0 a přesun 1. MS na V1	12	14	Ponecháno beze změny	Příliš krátká doba? (+ 10 — jinde více)
08.10 — — 08.40	30	1.	Měření na V1	14	18	Ponecháno beze změny	
08.00 — — 08.40	40	2.	Stahování signálů z navaz. bodů, odjezd na V0	9	16	Ponecháno beze změny	V činnosti čekání = malá rezerva (10 min.)
	0	F		8	9	Fiktivní, technický důvod k zamezení vzniku smyčky 8, 10, 12, 8	
	0	F		12	9	Fiktivní činnost 9, 16 závisí na dokončení 10, 12	

Časový rozvrh a organizace práce ve dvojskupinách

Příloha č. 2/2

Původní řešení		Provádí MS č.	Popis činnosti původního řešení	Původní řešení upravené pro zpracování metodou CPM (normy času neměněny)			Poznámka
Od — do hodin	Doba trvání			Uzel vých.	Uzel násl.	Doba trvání	
08.40 — 09.00	20	1.	Odjezd na VS, odeslání výsledků měření (na V 0 a V 1)	18	22	20	Přidáno 5 minut na stažení signálu z V 1, tato činnost v původním řešení oponenta
08.40 — 09.00	20	2.	Stažení signálu z V 0 a odjezd na VS	16	19	5	Stažení signálu z V 0 (5 min.)
		2.		19	23	15	Přesun 2. MS na VS oddělení
				18	16	0	Fiktivní, stažení signálu z V 0 čeká na dokončení V 1 (14, 18)
				38	18	0	Fiktivní, stažení signálu z V 1 čeká na dokončení V 2 (34, 38)
				39	14	0	Fiktivní, měření V 1 čeká na postavení signálu na V 2 (38, 39)
09.00 — 12.00	180	1.	Celá dvojskupina (1. a 2. MS) čeká jako záloha ve VS, nebo je použita ke kontrolnímu měření gyrotetheodolitem nebo k astron. měření	22	56	0	Fiktivní, aby program vyčísлил zvlášť rezervu 1. MS vzhledem k 3. a 4. MS
09.00 — 12.00	180	2.		23	56	0	Fiktivní, aby program vyčísлил zvlášť rezervu 2. MS vzhledem k 3. a 4. MS
12.00 — 19.00		1., 2.	Rozvinutí sítě v prostoru předpokládaných pal. prostorů				Není nutné v projektu CPM řešit, nezávislá práce po 12.00 hod.
06.15 — 06.30	15	3., 4.	Přesun na V 1	6	24	15	Nezměněno
06.30 — 06.50	20	3.	Rekognoskace a stab., nakreslení náčrtku na V 1 společně	25	26	5	Nezměněno až na 24, 25
06.30 — 06.50	20	4.	Signalizace	24	25	5	Signalizace, vyčleněna přednostně, čeká na ni (10, 12)
06.50 — 07.00	10	3., 4.	Přesun na V 2	26	28	10	Nezměněno
							4. MS část nevyužitá doby
							4. MS část nevyužitá doby
							Oproti jiným přesunům málo času (15 min.) (4. MS — část doby nevyužitá)



Původní řešení		Původní řešení upravené pro zpracování metodou CPM (normy času neměněny)			Poznámka			
Od — do hodin	Doba trvání	Provádí MS č.	Popis činnosti původního řešení	Uzel vých. násil.		Doba trvání	Činnost, zdůvodnění, případné nutné úpravy	
07.00 — 07.15	15	3., 4.	Rekognoskace V 3 na V 2	28	30	15	Nezměněno	P. této činnosti by mohl být V 2 signalizován přednostně
07.15 — 07.30	15	3.	Přesun na V 3	30	32	15	Nezměněno	
07.15 — 07.45	30	4.	Stabilizace V 2 a topografie V 2	30	34	30	Nezměněno	Zbytečně mnoho času (- 15)
07.30 — 07.45	15	3.	Rekognoskace V 3 stabil. signalizace a topografie V 3 (vyhledání V 4)	32	36	15	Nezměněno	
07.45 — 08.15	30	3.	Přesun na V 4, rekognoskace, měření a stabil. OB 1 a OB 2	36	40	30	Nezměněno	
07.45 — 08.15	30	4.	Zaměření V 2	34	38	30	Nezměněno	
				36	34	0	Fikt. — měření V 2 (34, 38) čeká na signál na V 3 (32, 36)	
08.15 — 08.30	15	3.	Stab. + signalizace V 4, náčrt OB	40	42	15	Nezměněno	
08.15 — 08.30	15	4.	Signalizace V 2 a přesun na V 3	38	39	5	Signalizace předem, závisí na ní (14, 18)	Signalizace V 2 zbytečně pozdě
08.30 — 09.00	30	4.	Přesun na navazovací bod (dále V 0') 2. části polygonu, studium náčrtu	39	44	10	Přesun na V 3	Příliš mnoho času, vyčerpá ale v činnosti 46, 48
08.30 — 09.00	30	3.	Návrat vozidla 4. MS na V 2	42	46	30	Nezměněno	(4. MS v původním řešení nemá pro tuto dobu určenou činnost — viz 44, 60)
08.30 — 09.00	30	vozidlo 4. MS		44	58	15	Zkráceno, nepojede 30 min. a rozděleno (viz 58, 64 podměněno 60, 58)	
09.00 — 09.30	30	4. MS	Zaměření V 3, signalizace V 3	60	64	5	Dána možnost v síti CPM měřit již od 8.30, měření odděleno	
				60	64	5	Signalizace V 3 oddělena	

Časový rozvrh a organizace práce ve dvojskupinách

Příloha č. 2/4

Původní řešení		Původní řešení upravené pro zpracování metodou CPM (normy času neměněny)			Poznámka			
Od — do hodin	Doba trvání	Provádí MS č.	Popis činnosti původního řešení	Činnost, zařazení, případné nutné úpravy				
				Uzel				
				vých. násl.				
09.00 — 09.30	30	auto 4. MS	Signalizace V 0' + přesun na V 1' (1. vrchol 3. dvojskupiny), jeho signalizace a návrat na V 0'	42	44	0	Fikt. měření V 3 (44, 60) čeká na signál na V 4 (40, 42)	
09.30 — 10.00	30	3.	Přesun 4. MS na V 4	58	64	15	Vozidlo 4. MS — zrušení signálu V 2 a návrat na V 3	
09.30 — 10.00	30	3.	Zaměření V 0'	48	48	30	Nezměněno	Došlo málo času (viz 42, 46)
10.00 — 10.30	30	3.	Signalizace V 0', zrušení signálu z V 1'	60	58	0	Fikt. zrušení signálu na V 2 (58, 64) čeká na doměření V 3 (44, 60)	
10.00 — 10.30	30	4.	Zaměření V 4 1 s OB, odesílá auto na V 3	64	66	30	Nezměněno	Příliš mnoho času (-15)
10.00 — 10.30	30	4.	Vozidlo 4. MS na V 3	48	50	30	Nezměněno	Jde o 2. signalizaci V 0' (byla terčem) v 9.00—09.30 (46, 48)
10.00 — 10.30	F	auto 4. MS	Zrušení signálu z VS (auto 4. MS) a přesun na VS (velmi málo času, je řešeno viz poznámka)	50	52	5	Signalizace V 0' oddělena	
10.30 — 11.00	30	4. MS		52	53	25	Zrušení signálu z V 1' s přesunem	
				66	70	30	Nezměněno	
				52	66	0	Fikt., měření V 4 (66, 70) čeká na signalizaci V 0' (50, 52)	
				66	68	15	Beze změny (jen rozdělen čas kvůli podmínce)	
				50	70	0	Fikt. — zrušení signálu na V 4 (70, 74) čeká na doměření V 0' (48, 50)	
				53	54	20	Přesun 3. MS na V 0' a stažení signálu	Podle původního řešení by nebyl stažen signál z V 0' — bylo nutno rozepsat

Časový rozvrh a organizace práce ve dvojskupinách

Příloha č. 2 5

Původní řešení		Původní řešení upravené pro zpracování metodou CPM (normy času neměněny)			Poznámka			
Od — do hodin	Doba trvání	Provádí MS č.	Popis činnosti původního řešení	Uzel vřch.		Uzel násl.	Doba trvání	Činnost, zdůvodnění, případné nutné úpravy
10.30 — 11.00	30	3. MS	Přesun na VS odd.	70	53	0	Fikt. - zrušení signálu z V 0' podmíněno doměřením V 4 (86, 70)	Vzhledem k nepřesnostem původního řešení bylo dokončení prací 3. MS a 4. MS navrženo obdobně jako jinde v pův. řešení s dodržením původních norem
		4.		70	74	5	Zrušení signálu na V 4 — 4. MS	
11.00 — 12.00	60	3. MS	Odevzdání výsledků na VS	54	56	30	Přesun 3. MS na VS odd.	Zbytečně dlouhá doba, v původním řešení se zde zřejmě plánuje současně záloha
		4.		74	76	30	Přesun 4. MS na VS odd.	
		3. MS		56	152	60	Beze změny	
12.00 —		3., 4.	Jako záloha nebo jsou 3. MS a 4. MS obdobně použity jako dopoledne na další úkol				Nezahrnuto do CPM, nemá pro řešení význam	
06.00 — 06.20	20	5., 6.	Rekognoskace, stabilizace, místopis a signalizace V 0'	2	80	20	Beze změny	6. MS nevyužita?
06.20 — 06.50	30	5., 6.	Přesun na V 1, rekognoskace	80	82	30	Beze změny	6. MS nevyužita?
06.50 — 07.00	10	5., 6.	Dohovor o V 2', vyhotovení náčrtu V 1''	82	84	10	Beze změny	
07.00 — 07.15	15	5.	Přesun na V 2'	84	86	15	Beze změny	
07.00 — 07.15	15	6.	Stabilizace, místopis V 1'	84	88	15	Beze změny	
07.15 — 07.30	15	5.	Rekognoskace, stabilizace, signalizace V 2'	86	90	15	Beze změny	
07.15 — 07.30	15	6.	Příprava k měření na V 1', odeslání auta na V 0' pro terč	88	94	15	Beze změny, auto odlišeno zvlášť současně s 88, 94	Zbytečně mnoho času (-10 min.)



Časový rozvrh a organizace práce ve dvojskupinách

Příloha č. 2/6

Původní řešení		Popis činnosti původního řešení	Původní řešení upravené pro zpracování metodou CPM (normy času neměněny)		Poznámka
Od — do hodin	Doba trvání		Uzel vých. — násl.	Doba trvání	
07.30 — — 08.00	30	Náčrt na V 2', přesun na V 3'	88 — 92	15	Zbytečně dlouho (— 10 min.)
07.30 — — 08.00	30	Měření na V 1', na konci přivola- ní auta se signálem z V 0'	90 — 96	30	
	30		94 — 98	30	
			90 — 94	0	
08.00 — — 08.30	30	Rekognoskace, sign., stabilizace, místopis na V 3'	96 — 102	30	
08.00 — — 08.30	30	Signalizace V 1', přesun na V 2' (a sign. V 3' — tisková chyba, provádí 3. MS)	98 — 104	5	
			104 — 106	25	
			98 — 92	0	
08.30 — — 09.00	30	Přesun na V 4', rekognoskace 1 OB, stabilizace V 4'	102 — 108	30	
08.30 — — 09.00	30	Zaměření V 2', odeslání auta na V 1'	106 — 110	30	
			108 — 112	15	
			102 — 106	0	
09.00 — — 09.30	30	Stabilizace, signál V 4', náčrt OB	108 — 114	30	

Původní řešení		Popis činnosti původního řešení	Doba trvání	Provádí MS č.	Původní řešení upravené pro zpracování metodou CPM (normy času neměněny)		Poznámka
Od – do hodin	Doba trvání				Úzel vých.	Úzel násl.	
09.00 – 09.30	30	6. auto 6. MS F	Stážení signálu z V 1', signalizace V 2' a přesun na V 3'	110	116	5	Bylo nutno rozdělit — signalizace V 2'
				112	116	15	Zrušení signálu V 1' a přesun auta na V 2' (podmínka)
				110	112	0	Zrušení sign. V 1' (112, 116) čeká na doměření V 2' (106, 110)
				120	116	15	Přesun 6. MS na V 3'
09.30 – 10.00	30	5.	Přesun na V 0', studium náčrtu	114	118	30	Beze změny
09.00 – 10.00	30	6. auto 6. MS	Kontrola signalizace V 4' — odešlá auto na V 2'	120	124	30	Beze změny, auto zvlášť
10.00 – 10.30	30	5.	Signalizace V 1''	120	122	15	Přesun auta 6. MS na V 2'
10.00 – 10.30	30	6. F	Zaměření V 3', stažení signálu z V 2'	124	128	30	Zaměření V 3'
				114	124	0	Zaměření V 3' (124, 128) závisí na postavení signálu na V 4' (108, 114)
				122	136	15	Zrušení signálu V 2' a přesun auta 6. MS na V 3'
				128	122	0	Zrušení signálu V 2' a přesun auta 6. MS na V 3' (122, 136) závisí na dokončení měření V 3' (124, 128)
10.30 – 11.00	30	F	Zaměření V 0''	128	132	30	Beze změny
10.30 – 11.00	30	6	Signalizace V 3' a přesun na V 4'	128	136	5	Rozděleno: signalizace V 3'
							Zbytečně mnoho času (— 10 min.) — rezerva v času, čeká  V původním řešení nezdůrazněny vůbec nutné přesuny z V 0' na V 1'' a zpět

Časový rozvrh a organizace práce ve dvojskupinách

Příloha č. 2/8

Původní řešení		Původní řešení upravené pro zpracování metodou GPM (normy času neměněny)				Poznámka	
Od – do hodin	Doba trvání	Provádí MS č.	Popis činnosti původního řešení	Uzel			Činnost, zdůvodnění, případné nutné úpravy
				vých.	násl.	Doba trvání	
11.00 – 11.30	30	6	Signalizace V 0'', stažení signálu z V 1''	136	138	25	Přesun na V 4'
11.00 – 11.30	30	5	Zaměření V 4' i s OB, odeslání auta na V 3'	132	134	5	Rozděleno: Signalizace V 0''
		5		134	140	25	Přesun pro signál na V 1''
		6		138	142	30	Zaměření V 4' i s OB
		F		134	138	0	Fikt.: zaměření V 4' i s OB (138, 142) závisí na signálu na V 0'' (132, 134)
		auto 6. MS		138	144	15	Přesun auta 6. MS na V 3'
		F		142	144	0	Zrušení signálu na V 3' a přesun auta na V 4' (144, 150) závisí od doměření V 4' (138, 142)
11.30 – 12.00	30+90	5. MS	Přesun na VS odd. + odevzdání výsledků od 12.00 do 13.00 (60 min.)	140	152	30	Beze změny
11.30 – 12.00	30+90	6. MS	Stažení signálu z V 3', přesun na VS odd. + odevzdání výsledků od 12.00 do 13.00	142	150	5	Možno rozdělit: Zrušení signálu na V 4' – poza-pomenuto
		auto 6. MS F		144	150	15	Zrušení signálu na V 3' a návrat auta 6. MS na V 4'
				150	151	20	Přesun na V 0'' a zrušení signálu na V 0'' 6. MS
				151	152	90	Přesun 6. MS na VS odd. + odevzdání výsledků řešení

Mohla být již dříve (114, 118)

Tato činnost byla opomenuta v původním řešení, její provedení závislé na doměření V 4' – k tomu dojde až po 11.30 hod.!



## I. etapa řešení CPM

Příloha č. 7/1

Uzel		Doba trvání	Provádí MS č.:	Popis činnosti	Poznámka
vých.	násl.				
2	4	10	1, 2, 3, 4	Rekogn. vých. bodu (V 0), navaz. směrů 1. vrcholu pořadu (V 1)	
4	6	5	1, 3	Dohovor o součin. 1. MS + 3. MS, předání stavivu, terče pro sign. V 1	
4	8	30	2, 4	Odjezd. k sign. navaz. směrů a jejich sign.	NS sig.
6	20	15	3	Přesun na V 1	
6	10	5	1	Signalizace V 0	V 0 sig.
10	12	15	1	Přesun 1. MS na V 1 (může jet společně s 3. MS zdrží se pouze činností 6, 10)	
12	18	10	1	Dohovor s 3. MS o V 2, sign. stab., topogr. V 1 a náčrt V 2	V 1 sig.
20	18	15	3	Rekogn. V 1, vyhledání V 2, část společně s 1. MS (10 minut)	
18	24	15	1, 3	Přesun na V 2	
24	26	10	1, 3	Rekogn. a sign. V 2, dohovor o V 3	V 2 sig.
26	28	15	1	Stab., místopis, náčrt V 2	
26	30	15	3	Přesun na V 3	
8	14	15	4	Přesun 4. MS na V 1 (je-li informován, může se přesunovat přímo na V 2, příp. V 3)	
14	32	15	4	Přesun na V 2 (jede za 3. MS)	
32	30	15	4	Přesun na V 3	
8	16	10	2	Stab., topogr. V 0	
16	66	30	2	Zaměření V 0	
18	16	0	fikt.	Zaměření V 0 závislé na sign. V 1 (činnost 18, 16)	
66	70	15	2	Přesun na V 1	
70	72	30	2	Zaměření V 1	
26	70	0	fikt.	Zaměření V 1 závislé na sign. V 2 (24, 26)	
30	33	10	3, 4	Rekogn., sig., stab. V 3, dohovor o V 4	V 3 sig.
33	28	0	fikt.	Zaměření V 2 (28, 66) závislé na sig. V 3 (30, 33)	
28	66	30	1	Zaměření V 2	
66	74	15	1	Přesun na V 1	
66	72	0	fikt.	Zrušení sig. na V 1 (72, 74) podm. zaměř. V 2 (28, 66)	

## I. etapa řešení CPM

Příloha č. 7/2

Uzel		Doba trvání	Provádí MS č.:	Popis činnosti	Poznámka
vých.	násl.				
74	76	10	1, 2	Předání výsledků 2. MS k 1. MS	
76	78	20	1	Přesun k VS odd. — odevzdání výsledků	
78	156	0	1	Činnost doplněna z tech. důvodů a pro získání vypočtené zálohy 1. MS do skončení úkolu	
76	80	15	2	Přesun na V 0	
80	82	40	2	Zrušení signálu na V 0, Zrušen na or. směry a na nich zrušení signálu	signál na V 0 zrušen signál na OS zrušen
82	84	40	2	Přesun na VS odd. při cestě zrušení signálu na V 2 a V 3 (náčrt a sig. V 2 sdělí, kde je signál na V 3)	signál na V 2 zrušen V 3
38	82	0	fikt.	Zrušení signálu na V 2 (82, 84) podmíněno zaměřením V 3 (36, 38)	
84	156	0	2	Činnost, doplnění z tech. důvodů a pro získání vypočtené zálohy 2. MS do skončení úkolu	
33	34	15	3	Přesun na V 4	
34	40	10	3	Rekogn., sig., stab. V 4, určení V 5 a náčrt	V 4 sig.
33	36	25	4	Místopis V 3, stab. OB, příprava k měření	
36	38	30	4	Zaměření V 3	
40	36	0	fikt.	Zaměření V 3 (36, 38) podm. postavením signálu V 4 (34, 40)	
38	50	15	4	Přesun na V 4	
40	42	15	3	Přesun na V 5	
42	44	10	3	Rekogn., sig. V 5 — nalezení V 0' (navaz. bod 5. a 6. MS)	V 5 sig.
44	46	5	3	Stab. V 5	
46	48	30	3	Zaměření V 5	
104	46	0	fikt.	Zaměření V 5 (46, 48) závislé na postavení sig. na V 0'	
50	52	35	4	Zaměření V 4, místopis	
44	50	0	fikt.	Zaměření V 4 (50, 52) závislé na postavení signálu na V 5 (42, 44)	
48	56	15	3	Přesun na V 0'	
52	54	20	4	Zrušení signálu V 4 a přesun na V 0' (navaz. bod V 0' předem určen)	signál na V 4 zrušen
48	52	0	fikt.	Zruš. signálu V 4 (52, 54) závislé na zaměření V 5 (46, 48)	

## I. etapa řešení CPM

Příloha č. 7/3

Uzel		Doba trvání	Provádí MS č.:	Popis činnosti	Poznámka
vých.	násl.				
56	57	15	3A	Odeslání auta 3. MS pro signál na V 1' a jeho přesun	
56	58	30	3	Studium náčrtu o V 1' a zaměření V 0'	
58	57	0	fikt.	Zrušení sig. na V 1' (57, 59) čeká na doměření V 0' (56, 58)	
57	59	15	A3	Zrušení signálu V 1' a návrat na V 0'	signál na V 1' zrušen
138	57	0	fikt.	Zrušení signálu V 1' nesmí být dříve, než bude doměřen V 2'	
54	58	10	4	Kontrola a příprava výsledků k odevzdání a jejich předání 3. MS	
58	59	5	3, 4	Kontrola převzatých výsledků od 4. MS, zrušení sig. V 0'	signál na V 0' zrušen
59	62	15	4	Přesun na V 5	
59	60	30	3	Odjezd k VS odd. s výsledky měření 3. a 4. MS	
60	156	60	3	Odevzdání výsledků a účast při výpočtech (doba ponechána pro snazší porovnání s pův. řešením)	[ponecháno stejně jako v původním řešení]
62	64	30	4	Zrušení sig. na V 5 (o měření V 0' domluvení s 3. MS) a přesun k VS odd.	signál V 5 zrušen
52	82	0	fikt.	Zrušení sig. na V 3 podmíněno doměř. na V 4 (50, 52)	
64	156	60	4	Účast při odevzdání výsledků na VS (zbytečně dlouhá doba ponechána však pro snazší porovnání s pův. řešením)	
116	58	0	fikt.	Zrušení sig. V 0' podm. zaměření z V 1'	
2	100	10	5, 6	Rekogn. V 0', dohovor o V 1'	
100	102	15	5	Přesun na V 1'	
100	104	15	6	Sig., místopis, stab., náčrt V 0'	V 0' sig.
102	106	10	5	Rekogn. V 1', náčrt V 2'	
104	108	15	6	Přesun na V 1'	
108	112	15	6	Sig., stab., místopis V 1'	V 1' sig.
112	56	0	fikt.	Zaměření V 0' závislé na postavení signálu na V 1'	
106	110	15	5	Přesun na V 2'	
110	114	10	5	Sig. V 2', náčrt V 3'	V 2' sig.
114	112	0	fikt.	Zaměření V 1 (112, 116) závislé na postavení sign. na V 2' (100, 114)	

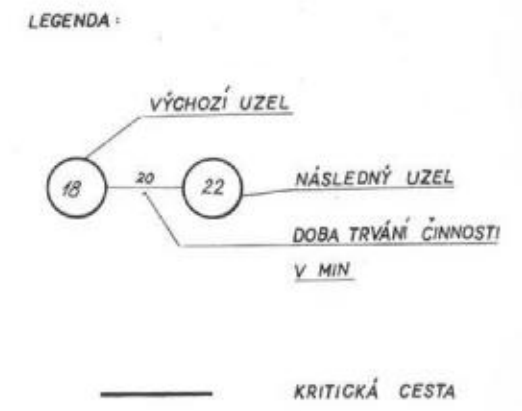
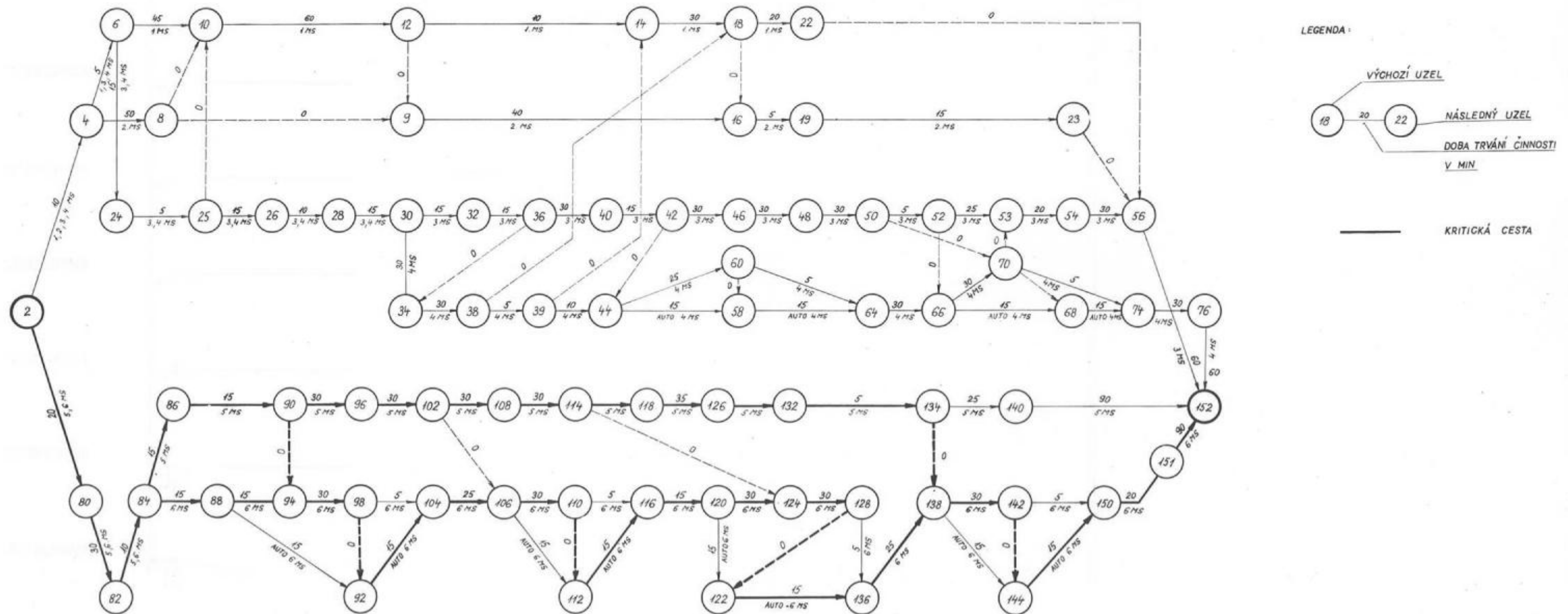


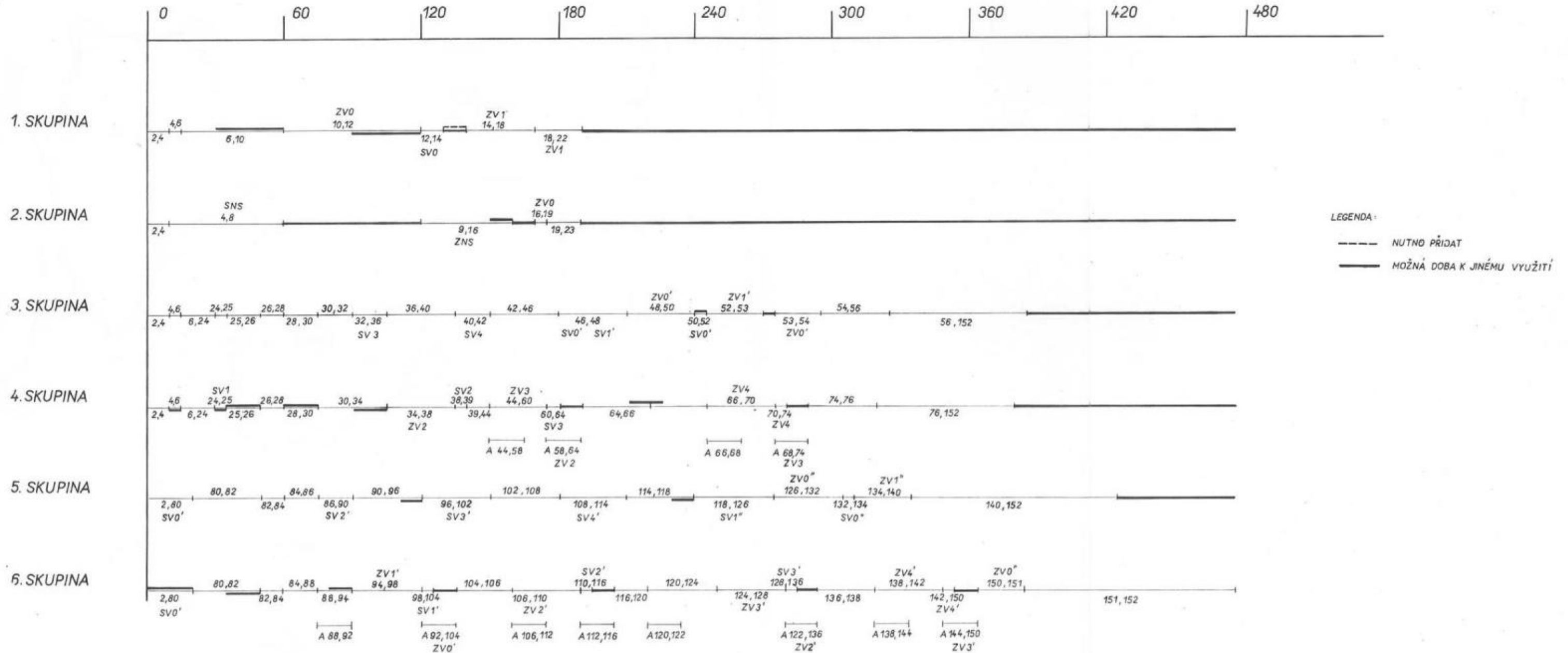
## I. etapa řešení CPM

Příloha č. 7/4

Uzel		Doba trvání	Provádí MS č.:	Popis činnosti	Poznámka
vých.	násl.				
112	116	30	6	Zaměření V 1'	
114	118	15	5	Přesun na V 3'	
118	120	5	5	Nalezení V 0'', rekogn. a sig. V 3' (V 0'' předem určen musí být již. sig. 7. a 8. MS, které pracují stejným způsobem jako 5. a 6. MS, přesto projekt počítá s příp. sig. V 0'' a V 1'' péčí 5. MS	
116	136	15	6	Přesun na V 2'	
136	138	40	6	Stab., místopis a zaměř. V 2'	
120	136	0	fikt.	Zaměření V 2' závislé na sig. V 3'	
120	122	15	5	Přesun na V 0''	
122	124	5	5	Studium náčrtu V 1'', příp. sig. V 0''	V 0'' sig.
124	126	5	5	Přesun na V 1'' (případně ponechání zápis. V 0'' k provedení místopisu stab. OB a k přípravě měření)	
126	128	5	5	Sig. V 1''	V 1'' sig.
128	130	15	5	Návrat na V 0''	
138	142	15	6	Přesun na V 3'	
142	144	30	6	Zaměření V 3'	
124	142	0	fikt.	Zaměření V 3' závislé na sig. V 0'' — jen pro případ, že nebude sig. provedena 7. a 8. MS	
130	132	35	5	Kontrola práce zapisovatele a zaměření V 0''	
132	134	15	5	Přesun na V 3'	
134	148	20	5	Pomoc 6. MS — místopis V 3' přebírání výsledků za 6. MS, zrušení sig. V 3'	signál V 3' zrušen
144	146	10	6	Příprava a předání výsledků měření 5. MS	
148	156	90	5	Odjezd 5. MS na VS odd. k odevzdání výsl. měření 5. 6. MS (zbytečně dlouhý čas ponechán beze změny jako v pův. řešení)	
146	148	0	fikt.	Odjezd 5. MS podmíněn obdržáním výsl. měření od 6. MS (144, 146)	
146	152	15	0	Přesun na V 2' a zrušení sig. V 2'	sig. V 2' zrušen
152	154	30	4	Přesun na V 0'' a V 1'' a zrušení sig.	sig. V 0'' a V 1'' zrušen
154	156	30	6	Přesun na VS odd.	

SÍŤOVÝ GRAF CPM ZPRACOVANÝ PODLE PŮVODNÍHO AUTOROVA ŘEŠENÍ

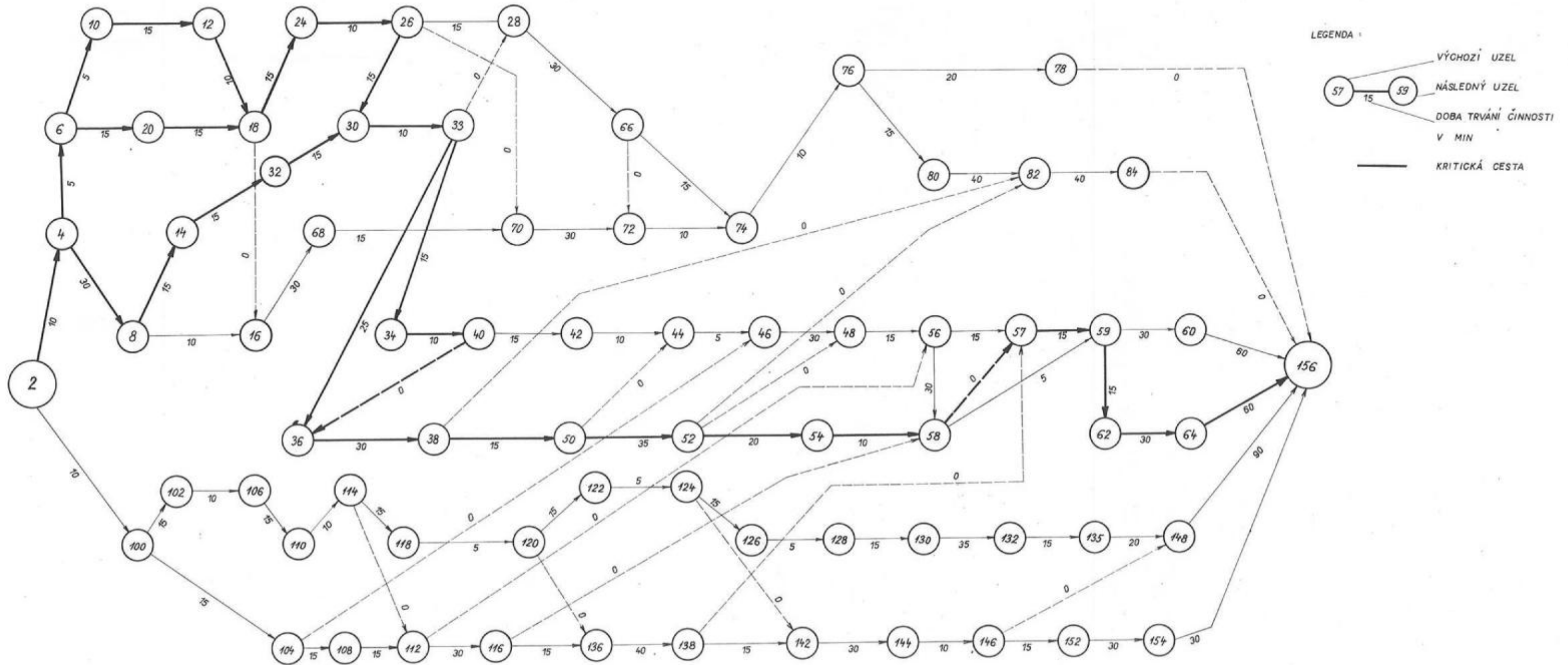


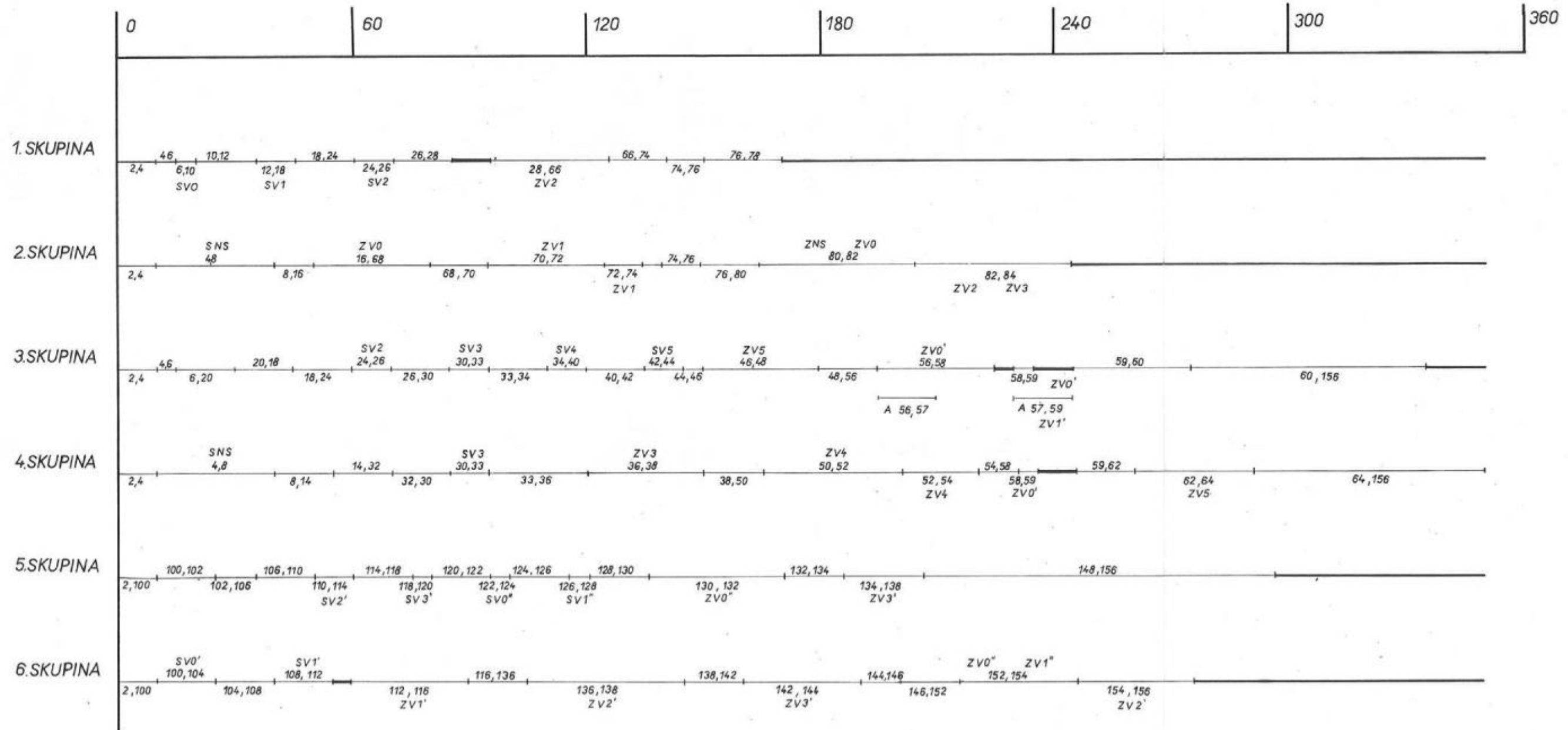


PŘEHLED VYTÍŽENOSTI SKUPIN - PŮVODNÍ ŘEŠENÍ



SÍŤOVÝ GRAF CPM - I. ETAPA





LEGENDA :

—— MOŽNÁ DOBA K JINÉMU VYUŽITÍ

PŘEHLED VYTÍŽENOSTI SKUPIN - PRVNÍ ETAPA ŘEŠENÍ CPM

Tabulka a nomogramy k článku doc. ing. Z. Nevosáda CSc.

„Fyzikální redukce délek měřených rádiovými dálkoměry z rychlosti šíření rádiových vln“





Tabulka pomocných hodnot k výpočtu délek  $d_0 = \tau \cdot \frac{v}{2}$  pro standardní meteorologické podmínky ( $N_0 = 1,000 \text{ 320}$ ;  $\frac{v}{2} = 149 \text{ 848 299 m/s}$ )

$\tau$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\tau$
0		14 984 830	29 969 660	44 954 490	59 939 319	74 924 149	89 908 979	104 894	119 879	134 863	0
1	149 848	164 833	179 818	194 803	209 788	224 772	239 757	254 742	269 727	284 712	1
2	299 697	314 681	329 666	344 651	359 636	374 621	389 606	404 590	419 575	434 560	2
3	449 545	464 530	479 515	494 499	509 484	524 469	539 454	554 439	569 424	584 408	3
4	599 393	614 378	629 363	644 348	659 333	674 317	689 302	704 287	719 272	734 257	4
5	749 241	764 226	779 211	794 196	809 181	824 166	839 150	854 135	869 120	884 105	5
6	899 090	914 075	929 059	944 044	959 029	974 014	988 999	1 003 984	1 018 968	1 033 953	6
7	1 048 938	1 063 923	1 078 908	1 093 893	1 108 877	1 123 862	1 138 847	1 153 832	1 168 817	1 183 802	7
8	1 198 786	1 213 771	1 228 756	1 243 741	1 258 726	1 273 711	1 288 695	1 303 680	1 318 665	1 333 650	8
9	1 348 635	1 363 620	1 378 604	1 393 589	1 408 574	1 423 559	1 438 544	1 453 528	1 468 513	1 483 498	9
10	1 498 483	1 513 468	1 528 453	1 543 437	1 558 422	1 573 407	1 588 392	1 603 377	1 618 362	1 633 346	10
11	1 648 331	1 663 316	1 678 301	1 693 286	1 708 271	1 723 255	1 738 240	1 753 225	1 768 210	1 783 195	11
12	1 798 180	1 813 164	1 828 149	1 843 134	1 858 119	1 873 104	1 888 089	1 903 073	1 918 058	1 933 043	12
13	1 948 028	1 963 013	1 977 998	1 992 982	2 007 967	2 022 952	2 037 937	2 052 922	2 067 907	2 082 891	13
14	2 097 876	2 112 861	2 127 846	2 142 831	2 157 815	2 172 800	2 187 785	2 202 770	2 217 755	2 232 740	14
15	2 247 724	2 262 709	2 277 694	2 292 679	2 307 664	2 322 649	2 337 633	2 352 618	2 367 603	2 382 588	15
16	2 397 573	2 412 558	2 427 542	2 442 527	2 457 512	2 472 497	2 487 482	2 502 467	2 517 451	2 532 436	16
17	2 547 421	2 562 406	2 577 391	2 592 376	2 607 360	2 622 345	2 637 330	2 652 315	2 667 300	2 682 285	17
18	2 697 269	2 712 254	2 727 239	2 742 224	2 757 209	2 772 194	2 787 178	2 802 163	2 817 148	2 832 133	18
19	2 847 118	2 862 103	2 877 087	2 892 072	2 907 057	2 922 042	2 937 027	2 952 011	2 966 996	2 981 981	19
20	2 996 966	3 011 951	3 026 936	3 041 920	3 056 905	3 071 890	3 086 875	3 101 860	3 116 845	3 131 829	20
21	3 146 814	3 161 799	3 176 784	3 191 769	3 206 754	3 221 738	3 236 723	3 251 708	3 266 693	3 281 678	21
22	3 296 663	3 311 647	3 326 632	3 341 617	3 356 602	3 371 587	3 386 572	3 401 556	3 416 541	3 431 526	22
23	3 446 511	3 461 496	3 476 481	3 491 465	3 506 450	3 521 435	3 536 420	3 551 405	3 566 390	3 581 374	23
24	3 596 359	3 611 344	3 626 329	3 641 314	3 656 298	3 671 283	3 686 268	3 701 253	3 716 238	3 731 223	24
25	3 746 207	3 761 192	3 776 177	3 791 161	3 806 147	3 821 132	3 836 116	3 851 101	3 866 086	3 881 071	25
26	3 896 056	3 911 041	3 926 025	3 941 010	3 955 995	3 970 980	3 985 965	4 000 950	4 015 934	4 030 919	26
27	4 045 904	4 060 889	4 075 874	4 090 859	4 105 843	4 120 828	4 135 813	4 150 798	4 165 783	4 180 768	27
28	4 195 752	4 210 737	4 225 722	4 240 707	4 255 692	4 270 677	4 285 661	4 300 646	4 315 631	4 330 616	28
29	4 345 601	4 360 585	4 375 570	4 390 555	4 405 540	4 420 525	4 435 510	4 450 494	4 465 479	4 480 464	29

τ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	τ
30	4 495 449	4 510 434	4 525 419	4 540 403	4 555 388	4 570 373	4 585 358	4 600 343	4 615 328	4 630 312	30
31	4 645 297	4 660 282	4 675 267	4 690 252	4 705 237	4 720 221	4 735 206	4 750 191	4 765 176	4 780 161	31
32	4 795 146	4 810 130	4 825 115	4 840 010	4 855 085	4 870 070	4 885 055	4 900 039	4 915 024	4 930 009	32
33	4 944 994	4 959 979	4 974 964	4 989 948	5 004 933	5 019 918	5 034 903	5 049 888	5 064 872	5 079 857	33
34	5 094 842	5 109 827	5 124 812	5 139 797	5 154 781	5 169 766	5 184 751	5 199 736	5 214 721	5 229 706	34
35	5 244 690	5 259 675	5 274 660	5 289 645	5 304 630	5 319 615	5 334 599	5 349 584	5 364 569	5 379 554	35
36	5 394 539	5 409 524	5 424 508	5 439 493	5 454 478	5 469 463	5 484 448	5 499 433	5 514 417	5 529 402	36
37	5 544 387	5 559 372	5 574 357	5 589 342	5 604 326	5 619 311	5 634 296	5 649 281	5 664 266	5 679 251	37
38	5 694 235	5 709 220	5 724 205	5 739 190	5 754 175	5 769 159	5 784 144	5 799 129	5 814 114	5 829 099	38
39	5 844 084	5 859 068	5 874 053	5 889 038	5 904 023	5 919 008	5 933 993	5 948 977	5 963 962	5 978 947	39
40	5 993 932	6 008 917	6 023 902	6 038 886	6 053 871	6 068 856	6 083 841	6 098 826	6 113 811	6 128 795	40
41	6 143 780	6 158 765	6 173 750	6 188 735	6 203 720	6 218 704	6 233 689	6 248 674	6 263 659	6 278 644	41
42	6 293 629	6 308 613	6 323 598	6 338 583	6 353 568	6 368 553	6 383 538	6 398 522	6 413 507	6 428 492	42
43	6 443 477	6 458 462	6 473 446	6 488 431	6 503 416	6 518 401	6 533 386	6 548 371	6 563 355	6 578 340	43
44	6 593 325	6 608 310	6 623 295	6 638 280	6 653 264	6 668 249	6 683 234	6 698 219	6 713 204	6 728 189	44
45	6 743 173	6 758 158	6 773 143	6 788 128	6 803 113	6 818 098	6 833 082	6 848 067	6 863 052	6 878 037	45
46	6 893 022	6 908 007	6 922 991	6 937 976	6 952 961	6 967 946	6 982 931	6 997 916	7 012 900	7 027 885	46
47	7 042 870	7 057 855	7 072 840	7 087 825	7 102 809	7 117 794	7 132 779	7 147 764	7 162 749	7 177 734	47
48	7 192 718	7 207 703	7 222 688	7 237 673	7 252 658	7 267 642	7 282 627	7 297 612	7 312 597	7 327 582	48
49	7 342 567	7 357 551	7 372 536	7 387 521	7 402 506	7 417 491	7 432 476	7 447 460	7 462 445	7 477 430	49
50	7 492 415	7 507 400	7 522 385	7 537 369	7 552 354	7 567 339	7 582 324	7 597 309	7 612 294	7 627 278	50
51	7 642 263	7 657 248	7 672 233	7 687 218	7 702 203	7 717 187	7 732 172	7 747 157	7 762 142	7 777 127	51
52	7 792 112	7 807 096	7 822 081	7 837 066	7 852 051	7 867 036	7 882 021	7 897 005	7 911 990	7 926 975	52
53	7 941 960	7 956 945	7 971 929	7 986 914	8 001 899	8 016 884	8 031 869	8 046 854	8 061 838	8 076 823	53
54	8 091 808	8 106 793	8 121 778	8 136 763	8 151 747	8 166 732	8 181 717	8 196 702	8 211 687	8 226 672	54
55	8 241 656	8 256 641	8 271 626	8 286 611	8 301 596	8 316 581	8 331 565	8 346 550	8 361 535	8 376 520	55
56	8 391 505	8 406 490	8 421 474	8 436 459	8 451 444	8 466 429	8 481 414	8 496 399	8 511 383	8 526 368	56
57	8 541 353	8 556 338	8 571 323	8 586 308	8 601 292	8 616 277	8 631 262	8 646 247	8 661 232	8 676 216	57
58	8 691 201	8 706 186	8 721 171	8 736 156	8 751 141	8 766 125	8 781 110	8 796 095	8 811 080	8 826 065	58
59	8 841 050	8 856 034	8 871 019	8 886 004	8 900 989	8 915 974	8 930 959	8 945 943	8 960 928	8 975 913	59
60	8 990 898	9 005 883	9 020 868	9 035 852	9 050 837	9 065 822	9 080 807	9 095 792	9 110 777	9 125 761	60
61	9 140 746	9 155 731	9 170 716	9 185 701	9 200 686	9 215 670	9 230 655	9 245 640	9 260 625	9 275 610	61
62	9 290 595	9 305 579	9 320 564	9 335 549	9 350 534	9 365 519	9 380 503	9 395 488	9 410 473	9 425 458	62
63	9 440 443	9 455 428	9 470 412	9 485 397	9 500 382	9 515 367	9 530 352	9 545 337	9 560 321	9 575 306	63
64	9 590 291	9 605 276	9 620 261	9 635 246	9 650 230	9 665 215	9 680 200	9 695 185	9 710 170	9 725 155	64



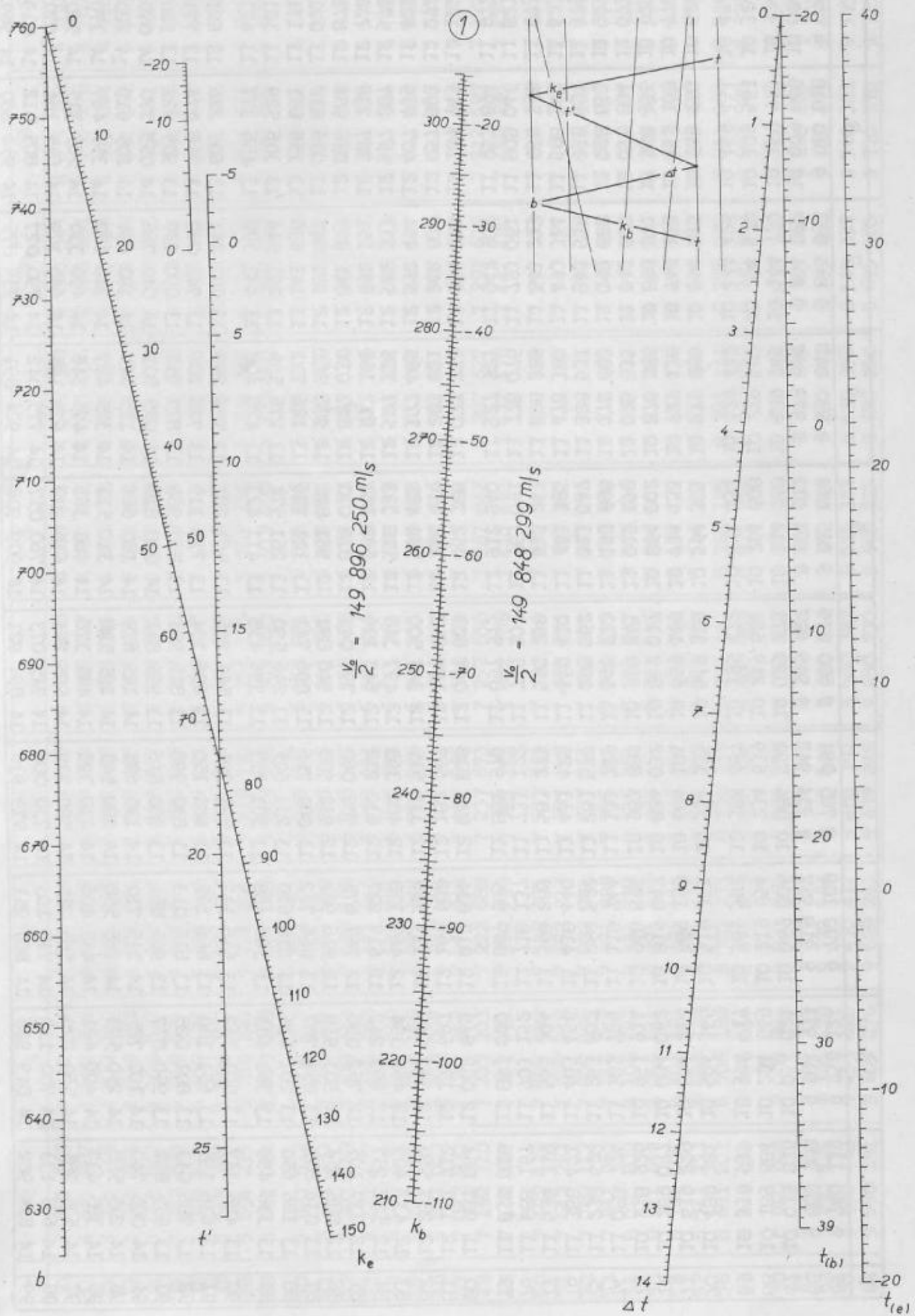
τ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	τ
65	9 740 139	9 755 124	9 770 109	9 785 094	9 800 079	9 815 064	9 830 048	9 845 033	9 860 018	9 875 003	65
66	9 889 988	9 904 973	9 919 957	9 934 942	9 949 927	9 964 912	9 979 897	9 994 882	10 009 866	10 024 851	66
67	10 039 836	10 054 821	10 069 806	10 084 790	10 099 775	10 114 760	10 129 745	10 144 730	10 159 715	10 174 699	67
68	10 189 684	10 204 669	10 219 654	10 234 639	10 249 624	10 264 608	10 279 593	10 294 578	10 309 563	10 324 548	68
69	10 339 533	10 354 517	10 369 502	10 384 487	10 399 472	10 414 457	10 429 442	10 444 426	10 459 411	10 474 396	69
70	10 489 381	10 504 366	10 519 351	10 534 335	10 549 320	10 564 305	10 579 290	10 594 275	10 609 260	10 624 244	70
71	10 639 229	10 654 214	10 669 199	10 684 184	10 699 169	10 714 153	10 729 138	10 744 123	10 759 108	10 774 093	71
72	10 789 077	10 804 062	10 819 047	10 834 032	10 849 017	10 864 002	10 878 986	10 893 971	10 908 956	10 923 941	72
73	10 938 926	10 953 911	10 968 895	10 983 880	10 998 865	11 013 850	11 028 835	11 043 820	11 058 804	11 073 789	73
74	11 088 774	11 103 759	11 118 744	11 133 729	11 148 713	11 163 698	11 178 683	11 193 668	11 208 653	11 223 638	74
75	11 238 622	11 253 607	11 268 592	11 283 577	11 298 562	11 313 547	11 328 531	11 343 516	11 358 501	11 373 486	75
76	11 388 471	11 403 456	11 418 440	11 433 425	11 448 410	11 463 395	11 478 380	11 493 364	11 508 349	11 523 334	76
77	11 538 319	11 553 304	11 568 289	11 583 273	11 598 258	11 613 243	11 628 228	11 643 213	11 658 198	11 673 182	77
78	11 688 167	11 703 152	11 718 137	11 733 122	11 748 107	11 763 091	11 778 076	11 793 061	11 808 046	11 823 031	78
79	11 838 016	11 853 000	11 867 985	11 882 970	11 897 955	11 912 940	11 927 925	11 942 909	11 957 894	11 972 879	79
80	11 987 864	12 002 849	12 017 834	12 032 818	12 047 803	12 062 788	12 077 773	12 092 758	12 107 743	12 122 727	80
81	12 137 712	12 152 697	12 167 682	12 182 667	12 197 652	12 212 636	12 227 621	12 242 606	12 257 591	12 272 576	81
82	12 287 560	12 302 545	12 317 530	12 332 515	12 347 500	12 362 485	12 377 469	12 392 454	12 407 439	12 422 424	82
83	12 437 409	12 452 394	12 467 378	12 482 363	12 497 348	12 512 333	12 527 318	12 542 303	12 557 287	12 572 272	83
84	12 587 257	12 602 242	12 617 227	12 632 212	12 647 196	12 662 181	12 677 166	12 692 151	12 707 136	12 722 121	84
85	12 737 105	12 752 090	12 767 075	12 782 060	12 797 045	12 812 030	12 827 014	12 841 999	12 856 984	12 871 969	85
86	12 886 954	12 901 939	12 916 923	12 931 908	12 946 893	12 961 878	12 976 863	12 991 847	13 006 832	13 021 817	86
87	13 036 802	13 051 787	13 066 772	13 081 756	13 096 741	13 111 726	13 126 711	13 141 696	13 156 681	13 171 665	87
88	13 186 650	13 201 635	13 216 620	13 231 605	13 246 590	13 261 574	13 276 559	13 291 544	13 306 529	13 321 514	88
89	13 336 499	13 351 483	13 366 468	13 381 453	13 396 438	13 411 423	13 426 408	13 441 392	13 456 377	13 471 362	89
90	13 486 347	13 501 332	13 516 317	13 531 301	13 546 286	13 561 271	13 576 256	13 591 241	13 606 226	13 621 210	90
91	13 636 195	13 651 180	13 666 165	13 681 150	13 696 134	13 711 119	13 726 104	13 741 089	13 756 074	13 771 059	91
92	13 786 043	13 801 028	13 816 013	13 830 998	13 845 983	13 860 968	13 875 952	13 890 937	13 905 922	13 920 907	92
93	13 935 892	13 950 877	13 965 861	13 980 846	13 995 831	14 010 816	14 025 801	14 040 786	14 055 770	14 070 755	93
94	14 085 740	14 100 725	14 115 710	14 130 695	14 145 679	14 160 664	14 175 649	14 190 634	14 205 619	14 220 604	94
95	14 235 588	14 250 573	14 265 558	14 280 543	14 295 528	14 310 513	14 325 497	14 340 482	14 355 467	14 370 452	95
96	14 385 437	14 400 421	14 415 406	14 430 391	14 445 376	14 460 361	14 475 346	14 490 330	14 505 315	14 520 300	96
97	14 535 285	14 550 270	14 565 255	14 580 239	14 595 224	14 610 209	14 625 194	14 640 179	14 655 164	14 670 148	97
98	14 685 133	14 700 118	14 715 103	14 730 088	14 745 073	14 760 057	14 775 042	14 790 027	14 805 012	14 819 997	98
99	14 834 982	14 849 966	14 864 951	14 879 936	14 894 921	14 909 906	14 924 891	14 939 875	14 954 860	14 969 845	99

# NOMOGRAM K URČENÍ POMOCNÉHO KOEFICIENTU $k$

$$k = \frac{N-1}{N} \cdot 10^6 = k_b + k_e$$

$$k_b = f(t \cdot b)$$

$$k_e = g(t \cdot t' \cdot b)$$



# NOMOGRAM K URČENÍ DÉLKOVÝCH KÖREKČÍ $\Delta d$

$$\Delta d_{(cm)} = k \cdot d_{(km)}$$

(2)

