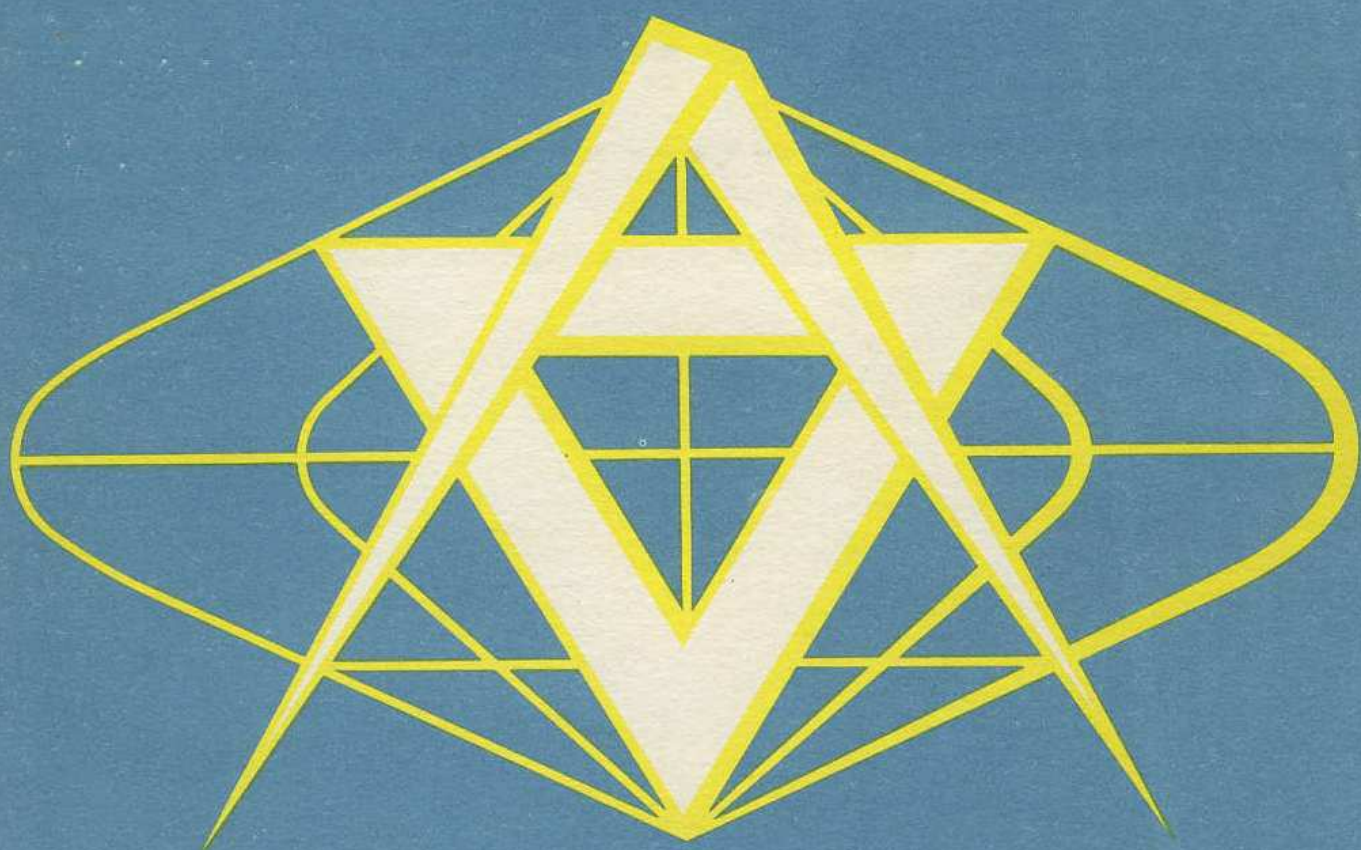


**SBORNÍK
TOPOGRAFICKÉ
SLUŽBY
MNO**



**VOJENSKÝ
TOPOGRAFICKÝ OBZOR**

1/77

OBSAH

	Strana
Pplk. ing. Jiří Kánský, mjr. ing. Drahomír Dušátko, CSc.: Zdokonalení čs. astronomicko-geodetické sítě	1
<i>Recenzent: pplk. ing. Věnek Pavlica, CSc.</i>	
Pplk. ing. Jaroslav Prachař: Možné způsoby spojování různých souřadnicových systémů pomocí společných bodů na jejich styku	10
<i>Recenzent: ing. Jan Říkal</i>	
Pplk. ing. Jiří Kánský: K automatizaci tvorby a obnovy topografických map	35
<i>Recenzent: doc. ing. Lubomír Lauermann, CSc.</i>	
Mjr. ing. Drahomír Dušátko, CSc.: Mapy tížnicových odchylek zahraničního území	48
<i>Recenzent: ing. Jan Fixel, CSc.</i>	
Pplk. ing. Vladimír Martinák, CSc.: Perspektivní vyzbrojení skupiny topografickou technikou	56
<i>Recenzent: pplk. ing. Vladimír Zmeškal</i>	
Npor. RNDr Jaroslav Fiedler: Zjišťování parametrů jaderných explozí seismickými metodami	69
<i>Recenzent: pplk. ing. Eduard Domený</i>	

SBORNÍK TOPOGRAFICKÉ SLUŽBY MNO

VOJENSKÝ TOPOGRAFICKÝ OBZOR

Č Í S L O
1 9 7 7 1

Pplk. ing. Jiří Kánský

mjr. ing. Drahomír Dušátko, CSc.

Zdokonalení československé astronomicko-geodetické sítě

1. Úvod

Odborné veřejnosti jsou známy charakteristiky československé astronomicko-geodetické sítě /dále čs. AGS/, jež vzešly z příprav k jejímu společnému vyrovnání s geodetickými sítěmi socialistických států v roce 1956. Po dvaceti letech jsou vykonány přípravy k novému společnému vyrovnání geodetických sítí socialistických států, které zahrne geodetické sítě zdokonalené, modernizované, zpřesněné měřeními a výpočty provedenými v uplynulém dvacetiletí. V rámci těchto příprav byly v ČSSR provedeny poměrně rozsáhlé práce na uspořádání výsledků úhlových měření, uspořádání a zpřesnění výsledků astronomických měření, měření délek stran čs. AGS a stran vložených polygonů československé části Základny kosmické triangulace /ZKT/, nové výpočty tížnicových odchylek a nové určení průběhu kvazigeoidu na území ČSSR. Tímto příspěvkem chceme podat stručnou charakteristiku výsledků příprav, jimiž čs. AGS vstoupí do společného vyrovnání, a tím informovat o současném stavu sítě a jejích kvalitách.

2. Úhlová měření

Čs. AGS zahrnuje v sobě 146 bodů, z nichž 120 leží na území ČSSR a ze zbývajících osm leží poblíž státních hranic: 4 na území NSR a 4 na území Rakouska. Z dalších vrcholů čs. AGS leží 3 na území NDR, 10 na území PLR, 1 na území SSSR a 4 na území MLR.

Čs. AGS je připravena pro nové vyrovnání v podstatě ve stejné konfiguraci, v jaké byla pojata do mezinárodního vyrovnání v letech 1956 - 1958. Byl doplněn

jen jediný bod v roce 1968. Byla provedena důkladná revize měřického operátu. Byly do něho doplněny výsledky dalších měření. Byl proveden převod měřených směrů na elipsoid. K tomuto převodu bylo využito nových výsledků určení tížnicových odchylek, k němuž muselo dojít v důsledku oprav astronomických souřadnic bodů čs. AGS.

Kvalita výsledků úhlových měření je dána především kvalitou měření, jež byla v síti uskutečněna. Na bodech čs. AGS ležících v českých krajích byly osnovy směrů měřeny v letech 1939 - 1943 různými metodami a přístroji s vahami měřených směrů od 24 do 200. Váhy byly vypočteny z počtu laboratorních jednotek. Přesnost této západní části čs. AGS je charakterizována střední chybou v úhlu vypočtenou dle Ferrerova vzorce v hodnotě $\pm 0,42''$.

Na bodech čs. AGS ležících na Slovensku byly v letech 1949 - 1955 jednotným způsobem měřeny jednotlivé vrcholové úhly vyplňující horizont /vrcholovou metodou/. Na každém bodě měřili dva pozorovatelé třemi teodolity. Úhly byly měřeny ve 48 laboratorních jednotkách. Přesnost této východní části čs. AGS je vyšší; střední chyba v úhlu vypočtená podle Ferrerova vzorce dosahuje hodnoty $\pm 0,28''$.

Přesnost celé čs. AGS charakterizuje střední chyba v úhlu dle Ferrerova vzorce v hodnotě $\pm 0,38''$. Přesnost v okrajových částech čs. AGS je nižší. Například spojovací řetězec při hranicích s MLR vykazuje střední chybu v úhlu v hodnotě $\pm 0,62''$, při hranicích s PLR $\pm 0,51''$ a při hranicích s NDR $\pm 0,39''$.

Výsledky měření úhlů na bodech čs. AGS podél státních hranic byly s Geodetickými službami NDR, PLR, MLR a SSSR navzájem porovnány v průběhu roku 1974 a 1975 a byla potvrzena jejich správnost. Totožnost center byla ověřena porovnáním trojúhelníků v hraničních řetězcích.

Přesnost úhlových měření v čs. AGS je tedy stejná jako při vyrovnání v roce 1956. Je ověřena jejich správnost a soulad s výsledky měření v sousedních státech. Je proveden nový převod směrů na elipsoid.

3. Astronomická měření

Z 96 bodů čs. AGS na nichž byla v minulosti uskutečněna astronomická měření je jen na 74 bodech dostatek podkladů pro převod do systému OCI a BIH 68, což

je jedna z podmínek pro zařazení bodů do společného vyrovnání. Přesnost měření, jež na nich byla provedena, byla jednotlivě i v celé síti posouzena a bylo rozhodnuto o výběru azimutů a astronomických zeměpisných souřadnic.

Azimuty byly v letech 1973 až 1975 hodnoceny konfrontací azimutů na dvou sousedních nebo blízkých bodech, dále posouzením hodnot uzávěrů Laplaceových rovnic, a konečně podle výsledků testovacích vyrovnání, jež byly podkladem pro konečný výběr astronomických azimutů.

Bylo vybráno 16 azimutů. Jsou v čs. AGS rozmístěny rovnoměrně. Byly zaměřeny v období let 1949 - 1974. Střední chyba charakterizující vnitřní přesnost měřených azimutů dosahuje hodnot od $\pm 0,10''$ do $\pm 0,32''$ se střední hodnotou $\pm 0,17''$.

Šest z nich bylo zaměřeno před rokem 1960 metodou Polárky astronomickými teodolity Askania a Wild T4 s průměrnou vahou 60 jednotek. Odhad úplné střední chyby azimutu činí $\pm 0,50''$. Zbývajících deset azimutů bylo měřeno po roce 1960 vždy dvěma teodolity s kontrolovanými čepy. Bylo měřeno dvěma metodami, a to metodou Polárky a metodou zaměřování hvězdy poblíž elongace. Odhad úplné střední chyby azimutu činí $\pm 0,30''$.

Astronomické souřadnice byly hodnoceny především podle délky observace a podle velikosti středních chyb, v dalším pak podle výsledků testování pomocí podrobných údajů o tíhovém poli Země. Byla vyloučena ta měření, u kterých nebyla známa osobní rovnice.

Byly vybrány astronomické souřadnice 68 bodů čs. AGS.

Byly zaměřeny v období let 1929 - 1974. Před rokem 1960 byla astronomická šířka i délka určována současně při použití cirkumzenitálu, od roku 1943 byl používán též pasážník Secrétain. Astronomická šířka byla měřena obvykle metodou Horrebow-Talcottovou. Astronomická délka byla určována metodou průchodu hvězd meridiánem. Od roku 1960 se používaly astronomické univerzály Wild T4 a určovala se osobní rovnice na srovnávacím bodě PECNÝ. Pro určení astronomické šířky se od roku 1965 na každém bodě používalo dvou metod - Horrebow-Talcottovy a Pěvcovovy. Pro měření astronomické délky, která byla od roku 1960 určována metodou Cingerovou, se od roku 1965 používalo rovněž dvou metod na každém bodě, metody Cingerovy a metody průchodu hvězd o malých zenitových vzdálenostech meridiánem. Střední chyby charakterizující vnitřní přesnost určených astronomických

souřadnic dosahují u astronomické šířky hodnot od $\pm 0,04''$ do $\pm 0,31''$ se střední chybou $\pm 0,09''$ a u astronomické délky hodnot od $\pm 0,07''$ do $\pm 0,47''$ se střední chybou $\pm 0,18''$.

Porovnání výsledků v určení astronomické délky provedeném před rokem 1960 s výsledky dosaženými po roce 1960, v němž bylo zavedeno určování osobních rovnic na srovnávacím bodě PECNÝ, byl zjištěn rozdíl přibližně $\pm 0,5''$, který má systematický charakter. V důsledku toho je 21 bodů, jejichž astronomická délka byla určena po roce 1960, klasifikováno jako astronomické body 1. řádu, zbývající body jsou astronomické body 2. řádu.

V roce 1975 došlo v rámci příprav ke společnému vyrovnání ke zhodnocení výsledků dlouhodobých měření času uskutečněných na vybraných bodech časové služby a k vyrovnání astronomických délek základních bodů nového systému astronomických délek. Vyrovnání provedla Geodetická služba SSSR, Jedním z výsledků tohoto vyrovnání je i nová hodnota délky srovnávacího bodu PECNÝ.

Současně s novou astronomickou délkou srovnávacího bodu byla schválena i jeho nová šířka, která je výsledkem dalších měření a výsledkem eliminace některých dřívějších chyb.

Nové souřadnice srovnávacího bodu PECNÝ se liší od dosavadních přibližně o $|\Delta\lambda| \approx 0,40''$ a o $|\Delta\varphi| \approx 0,20''$.

V průběhu roku 1975 byly všechny astronomické souřadnice bodů čs. AGS o výše uvedené rozdíly opraveny. Změna astronomických souřadnic bodů čs. AGS vyvolala nutnost nově určit hodnoty tížnicových odchylek a nově určit převýšení kvazigeoidu. O tom je podrobnější zmínka v dalším.

4. Měření délek stran AGS a ZKT

Pro určení rozměru čs. AGS jsou při příležitosti společného vyrovnání navrženy nové podklady. Zatím co dosavadní rozměr sítě byl odvozován od šesti geodetických základů měřených invarovými dráty, bude v dalším rozměr sítě odvozován jednak z délek stran čs. AGS nepřímou určených pomocí polygonových pořadí s délkami stran měřenými elektronickými dálkoměry při měření ZKT, jednak z dě-

lek stran čs. AGS přímo měřených laserovými dálkoměry. Tím se značně zlepšil rozměr sítě i stabilita měřítka sítě na celém území ČSSR.

Pro určení 14 stran čs. AGS o průměrné délce 40,2 km bylo využito výsledků měření 37 polygonových stran pomocných pořadů vedených podél ZKT. Délky těchto polygonových stran, jež dosahovaly od 10,8 km do 22,6 km, byly měřeny elektrooptickými dálkoměry v období let 1968 - 1972. Bylo použito elektrooptických dálkoměrů EOD, EOS, geodimetrů NASM i dálkoměrů AGA 6 a AGA 8. Každá délka byla měřena nejméně dvěma různými přístroji ve dvou různých obdobích. Pro průměrnou délku polygonové strany 15,4 km činil odhad úplné střední chyby ± 19 mm. Pro odvozenou průměrnou délku strany AGS 40,2 km činil odhad úplné střední chyby ± 49 mm, čemuž odpovídá střední relativní chyba 1:820 000.

Délky dalších 10 stran čs. AGS, jež jsou na území ČSSR rovnoměrně rozloženy, byly přímo měřeny laserovými dálkoměry AGA 8 v obdobích let 1973-1975. Každá délka byla měřena ve dvou různých obdobích vždy jiným přístrojem. Pro průměrnou délku měřené strany AGS 32,0 km činí odhad úplné střední chyby $\pm 29,0$ mm, čemuž odpovídá střední relativní chyba přibližně 1:1 000 000.

V průběhu příprav podkladů pro nové vyrovnání došlo tedy po kritice měřítka sítě k novému určení jejího rozměru nejmodernějšími přístroji a metodami. Po zavedení fyzikálních redukcí byly délky převedeny na geoid.

5. Testovací vyrovnání

Testovací vyrovnání byla provedena v roce 1974 s cílem přezkoušet před odesláním geodetických materiálů ke společnému vyrovnání kvalitu sítě, odhalit při vhodné volbě podmínek její nedostatky, aby mohly být pochybené výsledky ze společného vyrovnání vyloučeny, nebo aby mohla být uskutečněna měření nová.

Dílní testovací vyrovnání sledovalo kvalitu určení azimutu. Celkové testovací vyrovnání sledovalo kvalitu sítě jako celku. Metoda testovacího vyrovnání byla zvolena takovým způsobem, aby bylo možno k podmínkám vyplývajícím z měření úhlů postupně připojovat další podmínky. Síť byla vyrovnána exaktně v jediném celku. Výpočet byl uskutečněn metodou ortogonalizace podmínkových rovnic.

V celku bylo vypočteno 13 variant. Přehled jejich výsledků převzatý z [11] je sestaven do tabulky, v níž je v jednotlivých sloupcích uvedeno

- 1 - číslo varianty testovacího vyrovnání
- 2 - druh varianty / T = vyrovnání za podmínky tvaru, horizontu a pólů, tj. jen podle úhlů, A_{∞} = azimuty s vahou $\rho_A = \infty$, $A_{0,8}$ = azimuty s vahou $\rho_A = 0,8$, Z_{∞} = délky stran s vahou $\rho_S = \infty$, Z_R , Z_K další varianty váhy délek stran/
- 3 - střední chyba jednotky váhy m_o vyrovnaného úhlu,
- 4 - střední hodnota opravy azimutu

$$m_A = \pm \sqrt{[v_A v_A] : n_A} ,$$

- 5 - střední hodnoty relativní chyby v délce

$$m_S = \pm \sqrt{[v_S v_S] : n_S} .$$

Výsledky testovacího vyrovnání potvrdily vysokou kvalitu čs. AGS, připomněly nebo odhalily některé nedostatky sítě /např. hrubé chyby v azimutech - viz [2], systematický rozdíl způsobený teodolitem Askania - viz [3]/, a daly podnět a podklady pro opravu nebo vyloučení výsledků z dalšího vyrovnání, pro volbu vah jednotlivých veličin apod.

1	2	3	4	5
č.		m_o''	m_A''	m_S mm/1 km
1	T	0,417		
2	$T + A_{\infty}$	0,430		
3	$T + A_{0,8}$	0,418	0,31	
4	$T + Z_{\infty}$	0,426		
5	$T + Z_R$	0,415		0,83
6	$T + Z_K$	0,414		1,12
7	$T + A_{\infty} + Z_{\infty}$	0,444		
8	$T + A_{\infty} + Z_R$	0,430		0,99
9	$T + A_{\infty} + Z_K$	0,429		1,28
10	$T + A_{0,8} + Z_{\infty}$	0,427	0,36	
11	$T + A_{0,8} + Z_R$	0,415	0,34	0,82
12	$T + A_{0,8} + Z_K$	0,414	0,34	1,09
13	$T + A_{\infty}$	0,470		

6. Výpočet tížnicových odchylek a určení průběhu kvazigeoidu

V důsledku zavedení nového systému astronomických délek a změn souřadnic výchozího bodu PECNÝ doznaly změny i složky tížnicových odchylek v meridiánu i v prvním vertikálu a tedy i výšky kvazigeoidu. Jejich hodnoty byly v průběhu roku 1974 a 1975 přepočteny s přesností, kterou charakterizují následující střední chyby

- hodnot počítaných z astronomických a geodetických souřadnic

$$m_{\xi_1} = \pm 0,2'' \quad m_{\eta_1} = \pm 0,4''$$

- hodnot určených gravimetrickou interpolací v plném rozsahu

$$m_{\xi_2} = \pm 0,31'' \quad m_{\eta_2} = \pm 0,64''$$

- hodnot odsouvaných z map s výpočtem centrální zóny

$$m_{\xi_3} = \pm 0,86'' \quad m_{\eta_3} = \pm 1,07''$$

Pro určení průběhu kvazigeoidu byla v roce 1975 sestavena základní síť astro-nomicko-gravimetrické nivelace /AGN/, jež obsahuje 58 bodů, vrcholů 137 trojúhel-níků. Výpočet převýšení kvazigeoidu byl proveden metodikou [13] s přihlédnutím na požadavky instrukce [9]. Základní síť AGN byla vyrovnána podle pozorování zpro-středkujících ortogonalizační metodou. Přesnost určení průběhu kvazigeoidu na bo-dech AGN je charakterizována střední chybou vyrovnaného převýšení, jejíž průměr-ná hodnota činí

$$\pm 0,061 \text{ m.}$$

Základní síť AGN byla zhuštěna 831 body podrobného bodového pole, jež jsou do základní sítě AGN transformovány v 8 transformačních oblastech ve verzi VTOPÚ a grafickou transformací ve verzi VÚGTK.

Vrstevnicová mapa relativního průběhu kvazigeoidu v měřítku 1:1 000 000 je konstruována na základě 887 bodů. Za vztažný bod sítě o kótě 0,00 m byl zvolen bod AGS č. 30 - PECNÝ.

7. Závěr

Od připravovaného společného vyrovnání astronomicko-geodetických sítí so-cialistických států se očekává, že jeho výsledkem bude kvalitativně vyšší typ zá-kladní astronomickogeodetické sítě jednotné pro evropské socialistické státy, a to

jak v jejím celku, tak i ve všech jejích částech. Byly pro to vytvořeny předpoklady modernizací astronomicko-geodetických sítí všech zúčastněných států, zaměřením základny kosmické triangulace, využitím výsledků geodetické gravimetrie i volbou moderních výpočetních metod připravovaného společného vyrovnání.

Zpřesnění výsledků všech druhů měření uskutečněných v čs. AGS, nové stanovení rozměru čs. AGS moderními metodami, oprava astronomických souřadnic a tížnicových odchylek v souvislosti se zavedením nového systému astronomických délek, to je československý vklad do společného vyrovnání sítí. Je důležité, že všechny tyto přípravy byly včas technicky i formálně sjednoceny a koordinovaným úsilím důsledně uskutečněny.

Příprava podkladů pro společné vyrovnání je významným příkladem rozsáhlé vědecko-technické spolupráce v postupující socialistické integraci.

Literatura

- [1] Тěchničeskije ukazanija po vyčisleniju bazisov kosmičeskoj trianguljacii i po podgotovke geodezičeskich matěrialov k sovměstnomu uravnavaniju EAGS evropejskich socialističeskich stran, Moskva 1973
- [2] FIXEL, J.: Rozbor Laplaceových azimutů, VAAZ Brno, 1972
- [3] FIXEL, J.: Studie přesnosti Laplaceových azimutů v AGS ČSSR, VAAZ Brno, 1974
- [4] NEVOSÁD, Z.: Analýza přesnosti vzdáleností měřených elektronickými dálkoměry, VAAZ Brno, 1973
- [5] NEVOSÁD, Z.: Analýza přesnosti délek stran AGS měřených laserovými dálkoměry, VAAZ Brno, 1975
- [6] BURŠA, KANDA, MAŘANOVÁ: Tížnicové odchylky a výšky kvazigeoidu na území ČSSR, Edice VÚGTK, Praha 1971
- [7] BURŠA, M.: K výpočtu gravimetrické opravy v astronomicko-gravimetrické nivelaci, Sborník VÚGTK, Praha 1971
- [8] DUŠÁTKO, D.: Přínos geodetické gravimetrie ke zpracování astronomicko-geodetických údajů z území ČSSR /dosud nepublikováno/
- [9] Nastavlenije po vyčisleniju gravimetričeskich ukloněnij otvěsa i vysot kvazigeoida, GUGK Moskva 1972
- [10] Otčet ob itogach proveděnojj raboty po podgotovke k uravnavaniju EAGS, Praha 1974
- [11] Otčet o těstovom uravnavanii astronomo-geodezičeskoj seti ČSSR, Praha, 1974
- [12] Zápisy a dokumenty z činnosti odborné koordinační skupiny JAGS
- [13] BURŠA, M.: K výpočtu gravimetrické opravy v astronomicko-gravimetrické nivelaci. Sbořník výzkumných prací VÚGTK, řada 3, svazek č. 5, Praha 1971.

Došlo dne 30. 4. 1976

Možné způsoby spojování různých souřadnicových systémů pomocí společných bodů na jejich styku

Referát přednesen na geodetickém semináři VAAZ K 23
v Brně 15. 11. 1973

1. Úvod

I když současné možnosti a již dosažené konkrétní výsledky v oblasti družicové geodézie dávají zcela reálnou perspektivu zapojení geodetických základů větších územních celků do jednotného celosvětového systému, přesto otázka připojení určitého souřadnicového systému k souřadnicovému systému sousedního státu dosud neztrácí svůj vojenský význam. Z tohoto důvodu budou v dalším uvedeny dvě možné varianty řešení tohoto úkolu za předpokladu, že velikost připojovaného území nepřesáhne délkový rozměr 1000 km a to jak ve směru poledníku tak i rovnoběžky a že na styku obou systémů budou k dispozici alespoň tři trigonometrické body, jejichž geodetické souřadnice byly spolehlivě určeny v obou uvažovaných systémech.

2. Ověření spolehlivosti souřadnic na společných bodech

Nejprve bude zřejmě nezbytné výpočtem ověřit, zda souřadnice společných bodů jsou v obou systémech plně spolehlivé a zda jsou vztaženy k týmž stabilizovaným značkám v terénu. Jako kritéria pro posouzení spolehlivosti a identity společných bodů je možno použít číselných hodnot rozdílů v odpovídajících azimutech ΔA a v délkách odpovídajících stran sítě ΔD , které vypočteme ze souřadnicových rozdílů sousedních společných bodů jednak v původním systému S^I , jednak v připojovaném systému S^II .

Vzhledem k tomu, že půjde o výpočet malých hodnot rozdílů vzájemně blízkých veličin, bude možné vycházet z těchto zjednodušujících předpokladů:

1/ Ke známým hodnotám geodetických souřadnic n společných bodů v systému S^I

$$L_i^I, B_i^I, \quad i = 1, 2 \dots n$$

určíme přibližné nadmořské výšky h_i /ze seznamů souřadnic případně i z mapy/ a jim přisoudíme charakter elipsoidických výšek v systému S^I , tzn. položíme

$$H_i^I = h_i.$$

2/ Pro výpočet odpovídajících hodnot H_i^II budeme předpokládat rovnoběžnost os elipsoidů E^I a E^{II} použitých jako referenčních ploch systémů S^I a S^{II} .

3/ Za číselné hodnoty posunů středů referenčních elipsoidů E^I a E^{II} přijmeme rozdíly prostorových pravoúhlých souřadnic bodu P_s , ležícího zhruba uprostřed oblasti společných bodů.

Položíme tedy

$$\Delta X_o = X_s^I - X_s^{II}$$

$$\Delta Y_o = Y_s^I - Y_s^{II}$$

$$\Delta Z_o = Z_s^I - Z_s^{II},$$

kde prostorové pravoúhlé souřadnice X_s, Y_s, Z_s vypočteme ze známých geodetických souřadnic a parametrů použitého elipsoidu jak v systému S^I tak v S^{II} podle vztahů

$$X_s^k = N_s^k \cos B_s^k \cos L_s^k$$

$$Y_s^k = N_s^k \cos B_s^k \sin L_s^k$$

$$Z_s^k = N_s^k [1 - (e^k)^2] \sin B_s^k$$

$$N_s^k = a^k [1 - (e^k)^2 \sin^2 B_s^k]^{-\frac{1}{2}} \quad k = I, II.$$

Poněvadž pro výpočet azimutů normálových řezů a délek přímočarých spojnic společných bodů je třeba znát prostorové pravoúhlé souřadnice společných bodů v systémech S^I i S^{II} , vypočteme:

a/ Prostorové pravoúhlé souřadnice X_i, Y_i, Z_i společných bodů v systému S^I podle vztahů

$$X_i^I = (N_i^I + H_i^I) \cos B_i^I \cos L_i^I$$

$$Y_i^I = (N_i^I + H_i^I) \cos B_i^I \sin L_i^I$$

$$Z_i^I = \{N_i^I [1 - (e^I)^2] + H_i^I\} \sin B_i^I$$

$$N_i^x = a^x [1 - (e^x)^2 \sin^2 B_i^x]^{\frac{1}{2}} ;$$

b/ redukované souřadnice $\bar{X}_i, \bar{Y}_i, \bar{Z}_i$ vztažené ke středu elipsoidu E^x

$$\bar{X}_i = X_i^x - \Delta X_0$$

$$\bar{Y}_i = Y_i^x - \Delta Y_0$$

$$\bar{Z}_i = Z_i^x - \Delta Z_0$$

a s použitím parametrů elipsoidu E^x jím odpovídající gedetické šířky \bar{B}_i pomocí rovnic /srovn. [7]/

$$\bar{B}_i = \bar{B}_{oi} + \frac{\cos^2 \bar{B}_{oi}}{\bar{D}_i} [(\bar{N}_{oi} e^2 \sin \bar{B}_{oi} - \bar{Z}_i e^2)(1 + \bar{N}_{oi} e^2 \frac{\cos^3 \bar{B}_{oi}}{\bar{D}_i})],$$

kde

$$\bar{D}_i = \sqrt{\bar{X}_i^2 + \bar{Y}_i^2}$$

a

$$B_{oi} = \text{arc tg } \frac{\bar{Z}_i (1 + e^2)}{\sqrt{\bar{X}_i^2 + \bar{Y}_i^2}}$$

c/ výšky H_i^x nad elipsoidem E^x

$$H_i^x = \frac{\bar{D}_i}{\cos \bar{B}_i} - \bar{N}_i^x$$

d/ prostorové pravoúhlé souřadnice společných bodů v systému S^x

$$X_i^x = (N_i^x + H_i^x) \cos B_i^x \cos L_i^x$$

$$Y_i^x = (N_i^x + H_i^x) \cos B_i^x \sin L_i^x$$

$$Z_i^x = \{N_i^x [1 - (e^x)^2] + H_i^x\} \sin B_i^x$$

$$N_i^x = a^x [1 - (e^x)^2 \sin^2 B_i^x]^{\frac{1}{2}} .$$

Pro výpočet azimutů normálových řezů A_{ij}^k v obou systémech a délek přímočarých spojnic společných bodů D_{ij}^k použijeme vztahů

$$\text{tg } A_{ij}^k = \frac{\Delta X_{ij}^k \sin L_i^k - \Delta Y_{ij}^k \cos L_i^k}{(\Delta X_{ij}^k \cos L_i^k + \Delta Y_{ij}^k \sin L_i^k) \sin B_i^k - \Delta Z_{ij}^k \cos B_i^k}$$

$$D_{ij}^k = [(\Delta X_{ij}^k)^2 + (\Delta Y_{ij}^k)^2 + (\Delta Z_{ij}^k)^2]^{\frac{1}{2}} ,$$

kde

$$\Delta X_{ij}^k = X_j^k - X_i^k$$

$$\Delta Y_{ij}^k = Y_j^k - Y_i^k$$

$$\Delta Z_{ij}^k = Z_j^k - Z_i^k \quad k = \text{I, II} .$$

Hodnoty rozdílů azimutů

$$\Delta A_{ij} = A_{ij}^I - A_{ij}^K$$

a poměrů odpovídajících délek

$$q_{ij} = \frac{D_{ij}^I}{D_{ij}^K}$$

pak budou použitelné pro posouzení spolehlivosti a identity společných bodů.

Vyjdeme-li z reálného předpokladu, že v obou systémech je relativní chyba rozměru sítě 1:300 000, lze za střední chybu libovolné strany sítě o délce D přijmout hodnotu

$$m_D = \pm D \cdot 3,3 \cdot 10^{-6}.$$

Za tohoto předpokladu by byla střední chyba m_q vypočteného poměru q_{ij}

$$m_q = \pm 4,7 \cdot 10^{-6}.$$

S ohledem na možné lokální deformace a méně přesnou polohu okrajových bodů sítě /vyplývající z jejich méně vhodného určení/ bude možné pro dovolenou odchylku Δq přijmout dvaapůlnásobek hodnoty m_q , tzn.

$$\Delta q = \pm 1,17 \cdot 10^{-5}.$$

Číselná hodnota Δq , převedená do kolmé azimutální složky a vyjádřená v šedesátinné úhlové míře, by představovala hodnotu $\pm 2''{,}4$. Poněvadž však rozdíly azimutů ΔA_{ij} budou v sobě zahrnovat stálou složku vzájemného stočení obou uvažovaných systémů /vyplývající z rozdílné orientace obou sítí, která může dosáhnout hodnoty několika vteřin/, bude třeba jako směrového kritéria použít redukovaných hodnot $\bar{\Delta} A_{ij}$, vypočtených ze vztahu

$$\bar{\Delta} A_{ij} = \Delta A_{ij} - \frac{[\Delta A_{ij}]}{n},$$

kde n je celkový počet vypočtených azimutů a protiazimutů spojnic společných bodů. Potom za číselnou hodnotu kritéria $\bar{\Delta} A_{ij}$ bude třeba vzít úhlovou hodnotu veličiny Δq kvadraticky zmenšenou o stálou složku m_q , tedy

$$|\bar{\Delta} A_{ij}| \leq q^n \sqrt{\Delta q^2 - m_q^2}.$$

Za použitelné pak bude možno považovat pouze ty dvojice společných bodů, pro které budou splněny podmínky

$$0,9999883 \leq q_{ij} \leq 1,0000117$$

$$|\bar{\Delta} A_{ij}| \leq 2''{,}2. \quad (1)$$

V případě, že u některé spojnice bude alespoň jedno z uvedených kritérií překročeno, bude třeba identifikovat bod, který odchylku způsobuje a ten pak ze souboru společných bodů vyloučit.

Budou-li u společných bodů k dispozici jejich rovinné pravoúhlé souřadnice v systému S^I i S^{II} , bude přirozeně výhodnější vypočítat rovinné vzdálenosti a směrníky spojnic sousedních společných bodů. Pak pro posouzení spolehlivosti a identity souřadnic společných bodů bude možno použít poměr rovinných vzdáleností a redukovaných rozdílů směrníků, vypočtených v obou systémech. Za číselné hodnoty kritérií však bude možno převzít hodnoty z rovnic (1) $\pm 1,17 \cdot 10^{-5}$ a $\pm 2,2$ / jen tehdy, bude-li v systémech S^I i S^{II} použito téhož zobrazení a budou-li rovinné souřadnice vztaženy k témuž počátku. Nebude-li tento předpoklad splněn, bude třeba vypočítat a vzít v úvahu rozdíl délkového zkreslení na všech spojnicích společných bodů.

3. Připojení systému S^{II} k systému S^I přechodem do roviny Gauss-Krügerova zobrazení

3.1 Šířka zobrazovacího pásu a volba počátku pomocné soustavy rovinných pravoúhlých souřadnic

Pokud rozloha připojovaného území přesahuje rozsah jednoho běžného šestistupňového pásu Gauss-Krügerova zobrazení, jeví se účelným zvolit pomocnou soustavu rovinných souřadnic tak, aby bylo možno rovinné souřadnice bodů z celého připojovaného území vypočítat pomocí zobrazovacích rovnic Gauss-Krügerova zobrazení v jednom poledníkovém pásu, jehož šířka může být /jak z dalšího vyplyne/ větší než běžně používaných 6° zeměpisné délky.

Pro stanovení meze maximálně použitelné šířky zobrazovacího pásu nebude rozhodující hodnota délkového zkreslení na jeho okraji, nýbrž číselná hodnota změny této veličiny. Zobrazíme-li totiž do téhož poledníkového pásu polohy společných bodů definované geodetickými souřadnicemi B^I, L^I na elipsoidu E^I a B^{II}, L^{II} na elipsoidu E^{II} , pak číselné hodnoty délkového zkreslení budou prakticky v obou systémech stejné. Vyjdeme-li dále ze zcela reálného předpokladu, že polohy obou systémů na přijatých elipsoidech byly nezávisle astronomicky určeny tak, že chy-

ba v určení zeměpisné délky výchozího bodu nepřesáhne hodnotu $\pm 2''$, pak pro rozdíl zeměpisných délek $\Delta\lambda \approx 3''$ budou rozdíly délkového zkreslení ΔM v závislosti na vzdálenosti od dotykového poledníku ΔL_0 dosahovat těchto hodnot:

V zeměpisné šířce $B_1 = 10^\circ$

ΔL_0	$\Delta M \cdot 10^6$	Šířka pásu	
		stupňů	km
3	0,74	6	658
4	0,99	8	877
5	1,25	10	1096
6	1,50	12	1316
7	1,76	14	1535
8	2,02	16	1754

V zeměpisné šířce $B_2 = 30^\circ$

ΔL_0	$\Delta M \cdot 10^6$	Šířka pásu	
		stupňů	km
3	0,58	6	579
4	0,77	8	772
5	0,96	10	965
6	1,15	12	1158
7	1,35	14	1351
8	1,55	16	1544

V zeměpisné šířce $B_3 = 50^\circ$

ΔL_0	$\Delta M \cdot 10^6$	Šířka pásu	
		stupňů	km
3	0,32	6	430
4	0,42	8	573
5	0,53	10	717
6	0,63	12	860
7	0,74	14	1004
8	0,84	16	1147

V zeměpisné šířce $B_* = 70^\circ$

Δl_0	$\Delta M \cdot 10^6$	Šířka pásu	
		stupňů	km
3	0,09	6	229
4	0,12	8	305
5	0,15	10	382
6	0,18	12	458
7	0,20	14	535
8	0,24	16	611

Předpokládáme-li tedy připojení systému ležícího na území v zeměpisné šířce

$$B \geq 30^\circ,$$

jehož rozměr ve směru rovnoběžky nepřesáhne 1000 km, pak z předchozích tabulových údajů je zřejmé, že veličina ΔM nepřesáhne hodnotu $1 \cdot 10^{-6}$. Uvážíme-li, že v obou systémech lze očekávat relativní chybu měřítka sítě 1:300 000, pak rozdílnost měřítek na jejich styku bude představovat hodnotu $3,3 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{2}$, tedy $4,7 \cdot 10^{-6}$, což je více než čtyřnásobek hodnoty ΔM . Na základě těchto úvah můžeme tedy vyslovit závěr, že zvětšení šířky pásu Gauss-Krügerova zobrazení pro předpokládaný šířkový rozměr připojovaného území 1000 km v zeměpisných šířkách nad 30° nemůže podstatně ovlivnit číselnou hodnotu rozdílu měřítek na styku sítí.

Rozdílnost měřítek dvou různě umístěných systémů, maximálně se projevující na okrajích pásu Gauss-Krügerova zobrazení, však není jediným limitujícím faktorem pro volbu jeho šířky. Dalším nepříznivým vlivem pro přechod do roviny rozšířeného poledníkového pásu zřejmě bude skutečnost, že běžně používané zobrazovací rovnice konformního Gauss-Krügerova zobrazení /omezené na členy do šestého řádu, viz např. [1] str. 55, rovnice (104)/ zřejmě nezaručí centimetrovou přesnost na okrajích pásu značně přesahujícího šířku šesti stupňů.

Pro posouzení, do jaké míry bude možno zvětšovat šířku Gauss-Krügerova zobrazovacího pásu pro požadavek centimetrové přesnosti v souřadnicích, zřejmě postačí určit číselnou hodnotu prvního zanedbaného členu rozvoje, použitého v zo-

brazovacích rovnicích Gauss-Krügerova zobrazení. Označíme-li první zanedbané členy v rovnicích pro výpočet souřadnic x a y symboly Z_x a Z_y , pak podle [6]

$$\begin{aligned} Z_x &= \frac{1}{40'320 \varrho^8} N \cos^8 B t (1385 - 3111 t^2 + 543 t^4 - t^6) l^8 \\ Z_y &= \frac{1}{5040 \varrho^7} N \cos^7 B (61 - 479 t^2 + 179 t^4 - t^6) l^7 \end{aligned} \quad (2)$$

kde $t = \operatorname{tg} B$

Postupným dosazováním za l hodnot $8^\circ, 7^\circ, 6^\circ, \dots$ pro zeměpisné šířky $10^\circ, 30^\circ, 50^\circ$ a 70° získáme dostatečnou představu o průběhu funkcí Z_x a Z_y . Z nich pak lze snadno stanovit mezní hodnoty šířky zobrazovacího pásu, které jsou shrnuty v tabulce 1.

B	Šířka pásu		Z_x	Z_y
	stupňů	km		
10°	12	1316	0,003 m	0,007 m
30°	12	1158	0,000 m	0,005 m
50°	14	1004	0,000 m	0,006 m
70°	16	611	0,000 m	0,005 m

Tabulka 1

Z údajů uvedených v tabulce 1 je zřejmé, že pro území, jehož rozměr ve směru východ západ dosáhne předpokládané hodnoty 1000 km, bude možné v zeměpisných šířkách $B \leq 50^\circ$ použít pro výpočet rovinných souřadnic běžně užívaných zobrazovacích rovnic Gauss-Krügerova zobrazení. Ve větších zeměpisných šířkách bude třeba u bodů značně vzdálených od dotykového poledníku / $l > 7^\circ$ / zobrazovací rovnici pro výpočet souřadnice y rozšířit o další člen, označený v rovnicích (2) symbolem Z_y .

Za předpokladu, že připojovaný systém S^x bude svou velikostí a polohou vyhovovat uvedeným požadavkům, zvolíme za pomocnou soustavu rovinných pravoúhlých souřadnic rozšířený poledníkový pás Gauss-Krügerova zobrazení, v němž za dotykový zvolíme ten poledník L_0 , který bude procházet co nejbližší střed připojovaného systému S^x . Počátek této pomocné souřadnicové soustavy položíme buď do průsečíku dotykového poledníku s rovníkem nebo do průsečíku dotykového poledníku s rovnoběžkou, odpovídající zhruba střední zeměpisné šířce připojovaného systému.

3.2 Výpočet posunů, úhlu stočení a měřítkového koeficientu systému S^I v pomocné soustavě rovinných pravoúhlých souřadnic

Geodetické souřadnice B^I, L^I společných bodů v systému S^I převedeme pomocí zobrazovacích rovnic Gauss-Krügerova zobrazení a s použitím parametrů elipsoidu E^I na rovinné pravoúhlé souřadnice v pomocné soustavě X_p^I, Y_p^I . Stejným postupem a s použitím parametrů elipsoidu E^{II} získáme z geodetických souřadnic B^{II}, L^{II} hodnoty X_p^{II}, Y_p^{II} . Dosadíme-li pak takto získané rovinné souřadnice n společných bodů v obou systémech do známých rovnic lineární konformní transformace

$$\begin{aligned} X_p^I &= \Delta X_0 + a X_p^{II} - b Y_p^{II} \\ Y_p^I &= \Delta Y_0 + a Y_p^{II} + b X_p^{II}, \end{aligned} \quad (3)$$

získáme soustavu $2n$ lineárních rovnic, z nichž metodou nejmenších čtverců vy počteme čtyři neznámé $\Delta X_0, \Delta Y_0, a, b$. Symboly $\Delta X_0, \Delta Y_0$ vyjadřují posuny počátku systému S^{II} vzhledem k počátku systému S^I v pomocné soustavě a symboly a, b jak známo jsou funkcemi poměru měřítek q systémů S^I a S^{II} a úhlu vzájemného stočení ω obou systémů. Poněvadž

$$\begin{aligned} a &= q \cos \omega \\ b &= q \sin \omega, \end{aligned}$$

lze pak z číselných hodnot a, b snadno určit ω a q podle vztahů

$$\begin{aligned} \omega &= \operatorname{arctg} \frac{b}{a} \\ q &= \sqrt{a^2 + b^2}. \end{aligned}$$

3.3 Připojení systému S^{II} v pomocné soustavě rovinných souřadnic a výpočet geodetických souřadnic v systému S^I .

Vypočtené číselné hodnoty veličin $\Delta X_0, \Delta Y_0, a, b$ byly určeny z omezeného počtu společných bodů, jejichž přesnost v obou systémech není absolutní. Navíc je třeba uvážit, že většinou půjde o okrajové body trigonometrických sítí nevhodně určené z menšího počtu měřených směrů. Aby tyto nepřesnosti v poloze společných bodů neznehodnotily původní orientaci a případně i měřítko připojovaného systému S^{II} , bude třeba pro transformaci rovinných souřadnic X_p^{II}, Y_p^{II} do systému S^I pomocí rovnic (3) použít nikoliv koeficienty $a, b, \Delta X_0, \Delta Y_0$, nýbrž jejich hodnoty

poněkud redukované, které označíme symboly \bar{a} , \bar{b} , $\bar{\Delta}X$, $\bar{\Delta}Y$. Pro jejich určení bude třeba nejdříve zvolit redukční koeficient úhlu vzájemného stočení r_1 , a případně i redukční koeficient měřítkový r_2 . Pro stanovení číselných hodnot redukčních koeficientů r_1 a r_2 bude třeba vzít v úvahu:

- jakým způsobem byla určena orientace a rozměr obou systémů;
- počet společných bodů a přesnost v určení jejich polohy;
- rovnoměrnost rozmístění společných bodů podél čáry /hranice/ styku obou systémů;
- délku spojnice dvou vzájemně nejodlehlejších společných bodů v poměru k maximálnímu délkovému rozměru připojovaného území.

Je zřejmé, že pro každý konkrétní případ připojení bude třeba zvolit hodnoty

$$r_1 \in \langle 0, 1 \rangle$$

$$r_2 \in \langle 1, q^{-1} \rangle$$

a ty použít k výpočtu veličin

$$\bar{\omega} = r_1 \omega$$

$$\bar{q} = r_2 q$$

$$\bar{a} = \bar{q} \cos \bar{\omega}$$

$$\bar{b} = \bar{q} \sin \bar{\omega}$$

Dosazením rovinných souřadnic n společných bodů a koeficientů \bar{a} , \bar{b} do rovnic (3) upravených na tvar

$$\begin{aligned} \Delta X &= X_p^I - \bar{a} X_p^II + \bar{b} Y_p^II \\ \Delta Y &= Y_p^I - \bar{a} Y_p^II - \bar{b} X_p^II \end{aligned} \quad (3a)$$

získáme posuny ΔX a ΔY na jednotlivých společných bodech a z nich vypočteme

$$\Delta \bar{X}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n}, \quad \Delta \bar{Y}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Y_i}{n}.$$

Rovnice (3) ve tvaru

$$\begin{aligned} X_{pt}^I &= \Delta \bar{X}_0 + \bar{a} X_p^II - \bar{b} Y_p^II \\ Y_{pt}^I &= \Delta \bar{Y}_0 + \bar{a} Y_p^II + \bar{b} X_p^II \end{aligned} \quad (3b)$$

pak použijeme v pomocné soustavě rovinných pravoúhlých souřadnic pro hromadný převod všech souřadnic systému S^II do systému S^I . Vypočtené souřadnice X_{pt}^I a Y_{pt}^I pro všechny body připojovaného systému převedeme na geodetické souřadnice B_7^I , L_7^I pomocí transformačních rovnic Gauss-Krügerova zobrazení s použitím parametrů elipsoidu E^I a vztahů (105) uvedených v [1] na straně 55.

3.4 Rozdíly v souřadnicích společných bodů a možnost jejich zmenšení

Poněvadž dvojí souřadnice společných bodů jsou výsledkem dvou různých triangulací a vzhledem k tomu, že koeficienty a konstanty transformačních rovnic (3) $a, b, \Delta x_0, \Delta y_0$ byly redukovány na hodnoty $\bar{a}, \bar{b}, \bar{\Delta} x_0, \bar{\Delta} y_0$ nebudou souřadnice společných bodů B_T^I, L_T^I převedené ze systému S^II do S^I číselně rovny původním hodnotám v systému S^I , tj. B^I, L^I .

Za předpokladu, že počet ověřených společných bodů bude dostatečně velký, dále pak, že tyto body budou rovnoměrně rozmístěny podél čáry styku obou systémů, jejíž délka bude větší než polovina maximálního délkového rozměru připojovaného území, bude možné rozdíly

$$\Delta B = B^I - B_T^I$$

$$\Delta L = L^I - L_T^I$$

na n společných bodech zmenšit konformní kvadratickou transformací v pomocné soustavě rovinných pravoúhlých souřadnic, která se při zkušebních výpočtech ukázala jako nejvhodnější.

Pokud tedy počet a rozmístění společných bodů bude splňovat uvedené požadavky, zvolíme na protilehlém okraji připojovaného systému vzhledem k čáře styku dalších m rovnoměrně rozmístěných opěrných bodů s požadavkem, aby

$$m \approx n$$

Koeficienty a konstanty konformní kvadratické transformace pak vypočteme z podmínky, aby odchylky v v rovinných souřadnicích na společných i opěrných bodech splňovaly rovnici

$$[pvv] = \min ,$$

přičemž polohám společných bodů bude možno přisoudit až dvojnásobek váhy stanovené pro body opěrné.

V tomto případě po výpočtu souřadnic X_{PT}^I a Y_{PT}^I z rovnic (3b) /tedy ještě před jejich transformací na B_T^I, L_T^I / přiřadíme souřadnicím daných bodů X_{PD}^I a Y_{PD}^I u n bodů společných jejich původní hodnoty v systému S^I , tzn.

$$X_{PD}^I = X_P^I$$

$$Y_{PD}^I = Y_P^I$$

zatím co u m opěrných bodů položíme

$$X_{PD}^I = X_{PT}^I$$

$$Y_{PD}^I = Y_{PT}^I$$

Pokud počátek pomocné soustavy rovinných pravoúhlých souřadnic nebyl ztožněn s průsečíkem dotykového poledníku s rovnoběžkou, odpovídající střední zeměpisné šířce připojovaného území, bude třeba rovinné souřadnice X_{PT}^I, Y_{PT}^I všech bodů zredukovat k tomuto počátku. Potom rovnicím konformní kvadratické transformace /srovn.[2], str. 8/

$$\begin{aligned} \bar{X}_{PT}^I &= a' + c' X_{PT}^I - d' Y_{PT}^I + e' [(X_{PT}^I)^2 - (Y_{PT}^I)^2] - 2f' X_{PT}^I Y_{PT}^I \\ \bar{Y}_{PT}^I &= b' + d' X_{PT}^I + c' Y_{PT}^I + f' [(X_{PT}^I)^2 - (Y_{PT}^I)^2] + 2e' X_{PT}^I Y_{PT}^I \end{aligned} \quad (4a)$$

přisoudíme po dosazení

$$\bar{X}_{PT}^I = X_{PD}^I$$

$$\bar{Y}_{PT}^I = Y_{PD}^I$$

charakter rovnic oprav a napíšeme je pro $(n+m)$ společných a opěrných bodů ve tvaru

$$\begin{aligned} v_x &= a' + c' X_{PT}^I - d' Y_{PT}^I + e' [(X_{PT}^I)^2 - (Y_{PT}^I)^2] - f' [2(X_{PT}^I)(Y_{PT}^I)] - X_{PD}^I \\ v_y &= b' + d' X_{PT}^I + c' Y_{PT}^I + f' [2(X_{PT}^I)(Y_{PT}^I)] + e' [(X_{PT}^I)^2 - (Y_{PT}^I)^2] - Y_{PD}^I \end{aligned} \quad (4b)$$

Po zavedení vah do rovnic (4b) / ρ_s pro společné body, ρ_o pro opěrné body / a s připojením podmínky

$$[p v v] = \min$$

získáme šest normálních rovnic pro výpočet šesti neznámých koeficientů konformní kvadratické transformace a', b', c', d', e', f' .

Po určení číselných hodnot a', b', c', d', e', f' vypočteme pomocí rovnic (4a) souřadnice $\bar{X}_{PT}^I, \bar{Y}_{PT}^I$ pro všechny body připojovaného systému a teprve tyto hodnoty pak převedeme na geodetické souřadnice \bar{B}_T^I, \bar{L}_T^I postupem uvedeným v závěru odstavce 3. 3.

Zatímco poměrně malé číselné hodnoty rozdílů

$$R_x = \bar{X}_{PT}^I - X_{PT}^I$$

$$R_y = \bar{Y}_{PT}^I - Y_{PT}^I$$

nebudou znamenat na opěrných bodech citelné zhoršení jejich polohové přesnosti, pak u bodů společných nutně způsobí znatelné přiblížení hodnot souřadnic získaných transformací k jejich původním hodnotám v systému S^I .

3. 5 Úprava rovnic pro výpočet koeficientů a konstant konformní transformace a některé zvláštnosti tohoto výpočtu

Je zřejmé, že pro hromadný převod souřadnic systému S^x do systému S^y pomocí rovnic (3b) jakož i pro případnou konformní kvadratickou transformaci pomocí rovnic (4a) bude třeba, aby číselné hodnoty koeficientů a konstant v rovnicích (3b) i (4a) byly určeny pro požadavek centimetrové přesnosti v souřadnicích na dostatečně velký počet platných číslic.

Kromě zmíněné volby počátku pomocné soustavy rovinných pravoúhlých souřadnic zhruba uprostřed připojovaného systému S^x , /která z tohoto hlediska bude nesporně účelná/, bude navíc třeba rovnice (3) i rovnice (4b) vhodně měřítkově upravit a dále pak pro výpočet koeficientů a konstant jak lineární tak i kvadratické konformní transformace sestavit výpočetní programy v dvojnásobné aritmetice.

Při zkušebním výpočtu na počítači ZPA 600 byly do rovnic (3) dosazovány rovinné pravoúhlé souřadnice Gauss-Krügerova zobrazení /s počátkem v průsečíku dotykového poledníku pomocné soustavy s rovníkem/ vynásobené koeficientem $k = 1 \cdot 10^{-6}$. V rovnicích (4b) bylo použito redukovaných rovinných pravoúhlých souřadnic /tj. s počátkem zhruba uprostřed systému S^x /, které byly vynásobeny rovněž koeficientem k . V obou případech byly z takto upravených hodnot vypočteny koeficienty a konstanty normálních rovnic v dvojnásobné aritmetice. Pro výpočet koeficientů a konstant transformačních rovnic (3) i (4a) byl sestaven výpočetní program řešení soustavy lineárních rovnic rovněž v dvojnásobné aritmetice s použitím ortogonalizace matice soustavy normálních rovnic podle [5], str. 104.

Takto vypočtené koeficienty transformačních rovnic (3) a (4a) byly konečně převedeny do normální přesnosti počítače /9 platných číslic/ a použity pro hromadnou transformaci v normální přesnosti. Spolehlivost tímto postupem určených koeficientů a konstant transformačních rovnic se ukázala plně postačující.

4. Připojení systému S^{II} k systému S^{I} v soustavě prostorových pravoúhlých souřadnic

4.1 Definice zvolených soustav prostorových pravoúhlých souřadnic a princip řešení

Pro prostorové řešení úlohy připojení systému S^{II} k systému S^{I} zvolíme soustavu prostorových pravoúhlých souřadnic $x^{\text{I}}, y^{\text{I}}, z^{\text{I}}$ takto:

počátek soustavy O^{I} ztotožníme se středem rotačního elipsoidu E^{I} , použitého jako referenční plochy systému S^{I} ; osu z^{I} ztotožníme s malou poloosou elipsoidu E^{I} a orientujeme ji kladně ve směru sever;

osu x^{I} ztotožníme s průsečnicí základního /nultého/ geodetického poledníku systému S^{I} s rovinou rovníku a orientujeme ji kladně směrem k nultému poledníku;

osu y^{I} vedeme z počátku O^{I} kolmoko oběma definovaným osám $x^{\text{I}}, z^{\text{I}}$ s kladnou orientací ve směru k poledníku $L^{\text{I}} = 90^\circ$.

Zcela analogicky je možno definovat soustavu prostorových pravoúhlých souřadnic $x^{\text{II}}, y^{\text{II}}, z^{\text{II}}$ s počátkem O^{II} ve středu rotačního elipsoidu E^{II} a osou z^{II} ztotožněnou s malou poloosou elipsoidu E^{II} .

Za předpokladu, že úhly, které svírají osy $x^{\text{I}}, x^{\text{II}}$ dále pak $y^{\text{I}}, y^{\text{II}}$, jakož i $z^{\text{I}}, z^{\text{II}}$ budou malé /což v našem případě bude zřejmě splněno/, je možné libovolný bod P_i o souřadnicích $x_i^{\text{II}}, y_i^{\text{II}}, z_i^{\text{II}}$ ze soustavy II transformovat do soustavy I pomocí rovnic /srovn. [4], str. 49/

$$\begin{aligned}x_i^{\text{I}} &= \Delta x_0 + x_i^{\text{II}} + \omega y_i^{\text{II}} - \psi z_i^{\text{II}} \\y_i^{\text{I}} &= \Delta y_0 + y_i^{\text{II}} - \omega x_i^{\text{II}} + \varepsilon z_i^{\text{II}} \\z_i^{\text{I}} &= \Delta z_0 + z_i^{\text{II}} + \psi x_i^{\text{II}} - \varepsilon y_i^{\text{II}}\end{aligned}\tag{5}$$

kde

$\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta z_0$ jsou posuny počátku soustavy II /středu elipsoidu E^{II} / vzhledem k počátku soustavy I /středu elipsoidu E^{I} /
 $\omega, \varepsilon, \psi$ rotační prvky soustavy II vzhledem k soustavě I, definované shodně s [4], str. 43.

Je zřejmé, že za předpokladu znalosti translačních prvků $\Delta x_0, \Delta y_0,$

Δz_0 i rotačních prvků $\omega, \varepsilon, \psi$ by bylo možné přechod ze systému s^x do systému s^z realizovat tímto postupem:

a/ Z geodetických souřadnic B^x, L^x všech bodů systému s^x vypočítá prostorové pravoúhlé souřadnice x^x, y^x, z^x podle vztahů

$$\begin{aligned}x^x &= N^x \cos B^x \cos L^x \\y^x &= N^x \cos B^x \sin L^x \\z^x &= N^x [1 - (e^x)^2] \sin B^x\end{aligned} \quad (6a)$$

a směrové kosiny a^x, b^x, c^x normál vedených k elipsoidu E^x těmito body podle vztahů

$$\begin{aligned}a^x &= \cos B^x \cos L^x \\b^x &= \cos B^x \sin L^x \\c^x &= \sin B^x.\end{aligned} \quad (6b)$$

b/ Z prostorových pravoúhlých souřadnic x^x, y^x, z^x a směrových kosinů a^x, b^x, c^x vypočítá jejich hodnoty $x^z, y^z, z^z, a^z, b^z, c^z$ transformací do soustavy I s použitím rovnic

$$\begin{aligned}x^z &= \Delta x_0 + x^x + \omega y^x - \psi z^x \\y^z &= \Delta y_0 + y^x - \omega x^x + \varepsilon z^x \\z^z &= \Delta z_0 + z^x + \psi x^x - \varepsilon y^x\end{aligned} \quad (5a)$$

$$\begin{aligned}a^z &= a^x + \omega b^x - \psi c^x \\b^z &= b^x - \omega a^x + \varepsilon c^x \\c^z &= c^x + \psi a^x - \varepsilon b^x\end{aligned} \quad (5b)$$

c/ V soustavě I vypočítá souřadnice průsečíků přímek, určených souřadnicemi x^z, y^z, z^z a příslušnými směrovými kosiny a^z, b^z, c^z s plochou elipsoidu E^z , tzn. získat prostorové pravoúhlé souřadnice $\bar{x}^z, \bar{y}^z, \bar{z}^z$ ležící na elipsoidu E^z průmětem původních poloh bodů po normálách k původnímu elipsoidu E^x na plochu nového elipsoidu E^z . /Vztahy pro výpočet $\bar{x}^z, \bar{y}^z, \bar{z}^z$ budou odvozeny v odst. 4. 2./

d/ Z rovinných pravoúhlých souřadnic $\bar{x}^z, \bar{y}^z, \bar{z}^z$ vypočítá geodetické souřadnice \bar{B}^z, \bar{L}^z pro body ležící na elipsoidu pomocí přímých vztahů

$$\operatorname{tg} \bar{L}^z = \frac{\bar{y}^z}{\bar{x}^z}, \quad \bar{B}^z = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{\bar{z}^z [1 - (e^z)^2]}{\sqrt{(\bar{x}^z)^2 + (\bar{y}^z)^2}} \quad (16)$$

4.2 Odvození vztahů pro výpočet průsečíků normál k původnímu elipsoidu s plochou nového elipsoidu

Předpokládejme, že souřadnice bodu $P_0 (x_0^{\text{I}}, y_0^{\text{I}}, z_0^{\text{I}})$ ležícího na elipsoidu E^{I} a směrové kosiny normály k E^{I} v bodě $P_0 a^{\text{I}}, b^{\text{I}}, c^{\text{I}}$ /vypočtené z rovnic (6a), (6b) byly transformovány s použitím vztahů (5a), (5b) do soustavy I. Pro jednoduchost symboliky označme prostorové pravoúhlé souřadnice bodu P_0 v soustavě I x_0, y_0, z_0 a směrové kosiny normály k E^{I} přepočtené do soustavy I a_0, b_0, c_0 . Ze směrových kosinů normály pak zpětně vypočteme číselné hodnoty geodetických souřadnic B_0, L_0 ze vztahů

$$B_0 = \arcsin c_0$$

$$\operatorname{tg} L_0 = \frac{b_0}{c_0}$$

V soustavě I lze rovnici normály k E^{I} v bodě P_0 napsat ve tvaru /srovn. [8], str. 204, (1)/.

$$\frac{x - x_0}{\cos B_0 \cos L_0} = \frac{y - y_0}{\cos B_0 \sin L_0} = \frac{z - z_0}{\sin B_0} \quad (7)$$

Vyjádríme-li v (7) x a z jako funkci y , bude

$$x = y \cdot \operatorname{cotg} L_0 + x_0 - y_0 \operatorname{cotg} L_0$$

$$z = y \frac{\operatorname{tg} B_0}{\sin L_0} + z_0 - y_0 \frac{\operatorname{tg} B_0}{\sin L_0}$$

a po zavedení pomocných symbolů

$$C = \operatorname{cotg} L_0, \quad T = \frac{\operatorname{tg} B_0}{\sin L_0}$$

$$x = Cy + (x_0 - Cy_0) \quad (7a)$$

$$z = Ty + (z_0 - Ty_0) \quad (7b)$$

Hledaný průsečík normály k E^{I} s plochou E^{I} získáme dosazením rovnic (7a), (7b) do rovnice rotačního elipsoidu E^{I} , kterou lze vyjádřit vztahem

$$(x^2 + y^2)(1 - e^2) + z^2 = a^2(1 - e^2) \quad (8)$$

ve kterém a je velká polosá elipsoidu E^{I} a

e jeho první excentricita.

Bude tedy

$$\{[Cy + (x_0 - Cy_0)]^2 + y^2\} (1 - e^2) + [\tau y + (z_0 - \tau y_0)]^2 - a^2 (1 - e^2) = 0$$

a po úpravě získáme kvadratickou rovnici

$$\begin{aligned} & [(1 - e^2)(C^2 + 1) + \tau^2] y^2 + \left\{ 2 [(1 - e^2)(x_0 - Cy_0)C + (z_0 - \tau y_0)\tau] \right\} y + \\ & + \left\{ [x_0^2 - a^2 - Cy_0(2x_0 - Cy_0)] (1 - e^2) + z_0^2 - \tau y_0(2z_0 - \tau y_0) \right\} = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

jejímž řešením jsou souřadnice y dvou průsečíků přímky (7) s plochou (8).

Pro body na východní zemské polokouli, pro které

$$0^\circ \leq L \leq 180^\circ$$

přijmeme za souřadnici y hledaného průsečíku kladný kořen rovnice (9). Jeho dosazením do vztahů (7a), (7b) vypočteme zbývající souřadnice x, z .

Vzhledem k tomu, že výslednými hodnotami tohoto analytického řešení jsou prostorové pravoúhlé souřadnice bodu ležícího na elipsoidu E^I , tedy číselné hodnoty u nichž vyžadujeme přesnost osmi a devíti platných číslic, bude nezbytné koeficienty a konstanty v rovnicích (7a), (7b) a (9) počítat v dvojnásobné aritmetice. Přirozeně i řešení rovnice (9) /kde v absolutním členu např. v rozdílu $x_0^2 - a^2$ nutně dojde ke ztrátě několika platných číslic/ bude třeba programovat v dvojnásobné aritmetice.

4.3 Postupné řešení úlohy pro předpokládaný případ rozmístění společných bodů podél čáry styku obou systémů

Vzhledem k tomu, že obecně nelze předpokládat dostatečný počet společných bodů rovnoměrně rozmístěných na celém území připojovaného systému S^II , nebude možné ze známých hodnot rozdílů prostorových pravoúhlých souřadnic společných bodů a rozdílů velkých poloos a excentricit obou elipsoidů s postačující přesností přímo vypočítat translační a rotační prvky $\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta z_0, \omega, \varepsilon, \psi$, jednoznačně definující polohu a orientaci soustavy II vzhledem k soustavě I. Pro předpokládaný případ rozmístění společných bodů podél čáry styku obou systémů bude třeba zvolit postupný výpočet hodnot translačních a rotačních prvků v těchto etapách:

1. Výpočet přibližných hodnot posunů $\Delta x_0^p, \Delta y_0^p, \Delta z_0^p$ za předpokladu rovnoběžnosti os obou soustav tak, aby:

- a/ na společných bodech byl součet čtverců vzdáleností bodů v soustavě I od normál k ploše E^{II} /procházejících odpovídajícími body v soustavě II/ minimální:
 b/ měřítko na odlehlém okraji připojovaného systému odpovídalo měřítku na čáře styku / tj. na přilehlém okraji připojovaného systému/.
2. Výpočet průsečíků normál k ploše E^{II} s plochou E^{I} postupem uvedeným v odst. 4. 1 a 4. 2 s hodnotami

$$\begin{aligned} \Delta x_0 &= \Delta x_0^{\text{P}} & \omega &= 0 \\ \Delta y_0 &= \Delta y_0^{\text{P}} & \varepsilon &= 0 \\ \Delta z_0 &= \Delta z_0^{\text{P}} & \psi &= 0 \end{aligned}$$

na n společných bodech a $m \approx n$ vhodně volených opěrných bodech na odlehlém okraji připojovaného systému.

3. Výpočet hodnot rotačních prvků $\omega, \varepsilon, \psi$ a korekcí $d\Delta x_0, d\Delta y_0, d\Delta z_0$, přibližných posunů z rozdílů souřadnic n společných bodů tak, aby na m opěrných bodech nedošlo k velkým změnám v poloze.

4. 3. 1 Výpočet přibližných hodnot translačních prvků

Pro požadavek dodržení měřítko /definovaného původní polohou společných bodů v systému S^{I} / i na protilehlém okraji systému S^{II} vzhledem k čáře styku $S^{\text{I}}, S^{\text{II}}$ bude vhodné v blízkosti geometrického středu systému S^{II} zvolit centrální bod P_c^{II} o souřadnicích $B_c^{\text{II}}, L_c^{\text{II}}$. Pro určení polohy bodu P_c^{I} v systému S^{I} , tedy hodnot $B_c^{\text{I}}, L_c^{\text{I}}$ /za předpokladu rovnoběžnosti os obou soustav/ je možné analogicky rovinnému řešení použít přechodu do pomocné roviny rozšířeného pásu Gauss-Krügerova zobrazení s volbou osy X v dotykovém poledníku $L_0 \approx L_c^{\text{II}}$. Dotykový poledník můžeme rovněž zvolit tak, aby procházel ve stejné vzdálenosti jak od bodu P_c^{II} tak i od těžiště společných bodů, což bude vhodné tehdy, přesáhne-li rozměr připojovaného systému ve směru východ západ předpokládanou mez 1000 km.

Pomocí zobrazovacích rovnic Gauss-Krügerova zobrazení pak převedeme geodetické souřadnice $B^{\text{I}}, L^{\text{I}}$ všech společných bodů v systému S^{I} na rovinné pravoúhlé souřadnice v pomocné rovinné soustavě $X_p^{\text{I}}, Y_p^{\text{I}}$ s použitím parametrů elipsoidu E^{I} . Stejným postupem a s použitím parametrů elipsoidu E^{II} získáme z geodetických souřadnic společných bodů $B^{\text{II}}, L^{\text{II}}$ hodnoty $X_p^{\text{II}}, Y_p^{\text{II}}$ a z geodetických souřadnic centrálního bodu $B_c^{\text{II}}, L_c^{\text{II}}$ rovinné souřadnice $X_c^{\text{II}}, Y_c^{\text{II}}$.

γ_c^I . Průměrné hodnoty posunů rovinných pravoúhlých souřadnic vypočtené ze všech n společných bodů

$$\Delta X_p = \frac{\sum (X_p^I - X_p^II)}{n}, \quad \Delta Y_p = \frac{\sum (Y_p^I - Y_p^II)}{n}$$

pak použijeme pro transformaci polohy centrálního bodu ze systému S^I do S^II v pomocné zobrazovací rovině dosazením do vztahů

$$X_c^I = X_c^II + \Delta X_p, \quad Y_c^I = Y_c^II + \Delta Y_p$$

Konečně pomocí známých rovnic Gauss-Krügerova zobrazení s použitím parametrů elipsoidu E^I vypočteme z rovinných pravoúhlých souřadnic centrálního bodu X_c^I , Y_c^I souřadnice geodetické B_c^I , L_c^I .

Pro výpočet přibližných hodnot translačních prvků Δx_0^p , Δy_0^p , Δz_0^p /tj. za předpokladu rovnoběžnosti os prostorových soustav I a II/ vyjdeme z těchto požadavků:

a/ průmětem centrálního bodu P_c^II (B_c^II , L_c^II) po normále k E^II nechť je bod P_c^I (B_c^I , L_c^I);

b/ nechť na společných bodech je součet čtverců vzdáleností bodů v soustavě I od normál k ploše E^I /procházejících odpovídajícími body v soustavě II/ minimální.

Přijmeme-li za výchozí hodnoty přibližných posunů Δx_0^v , Δy_0^v , Δz_0^v rozdíly prostorových pravoúhlých souřadnic v centrálním bodě, tedy

$$\begin{aligned} \Delta x_0^v &= N_c^I \cos B_c^I \cos L_c^I - N_c^II \cos B_c^II \cos L_c^II \\ \Delta y_0^v &= N_c^I \cos B_c^I \sin L_c^I - N_c^II \cos B_c^II \sin L_c^II \\ \Delta z_0^v &= N_c^I [1 - (e^I)^2] \sin B_c^I - N_c^II [1 - (e^II)^2] \sin B_c^II \end{aligned} \quad (10)$$

kde $N_c^k = a^k [1 - (e^k)^2 \sin^2 B_c^k]^{-\frac{1}{2}}$, $k = I, II$

a budeme-li bod P_c^II posouvat po normále k E^II , tedy po přímkě o směrových kosinech

$$\begin{aligned} a_c &= \cos B_c^II \cos L_c^II \\ b_c &= \cos B_c^II \sin L_c^II \\ c_c &= \sin B_c^II \end{aligned} \quad (11)$$

procházející bodem P_c^I tak dlouho, až bude splněn požadavek ad b/, budou číselné hodnoty hledaných posunů Δx_0^p , Δy_0^p , Δz_0^p rovny rozdílům prostorových pravoúhlých souřadnic bodů P_c^I a P_c^II /po zaujetí poslední polohy na normále k E^II /.

Je zřejmé, že uvedený postup výpočtu by byl značně zdlouhavý na kalkulačním stroji, avšak při použití počítače je naopak výhodný.

Pro zkušební výpočet byl sestaven a odladěn program, kterým lze určit konečnou polohu bodu P_c^x na normále k E^x /splňující požadavek b// po dvaceti až čtyřiceti iteracích. Výchozí hodnoty posunů Δx_0^y , Δy_0^y , Δz_0^y se určí z rovnic (10) a směrové kosiny normály v centrálním bodě k E^x a_c , b_c , c_c ze vztahů (11). Potom následuje výpočet čtverců vzdáleností d^2 u n společných bodů v soustavě I od normál k E^x /procházejících polohami odpovídajících bodů v soustavě II, jejíž počátek je posunut o hodnoty Δx_0^y , Δy_0^y , Δz_0^y / podle vztahu /srovn. [3], strana 285/

$$d^2 = (\bar{x} \cdot \bar{b} - \bar{y} \cdot \bar{a})^2 + (\bar{y} \cdot \bar{c} - \bar{z} \cdot \bar{b})^2 + (\bar{z} \cdot \bar{a} - \bar{x} \cdot \bar{c})^2 \quad (12)$$

kde

$$\bar{a} = \cos B^x \cos L^x$$

$$\bar{b} = \cos B^x \sin L^x$$

$$\bar{c} = \sin B^x$$

$$\bar{x} = N^I \cos B^I \cos L^I - N^x \cos B^x \cos L^x - \Delta x_0^p$$

$$\bar{y} = N^I \cos B^I \sin L^I - N^x \cos B^x \sin L^x - \Delta y_0^p \quad (13)$$

$$\bar{z} = N^I [1 - (e^I)^2] \sin B^I - N^x [1 - (e^x)^2] \sin B^x - \Delta z_0^p$$

$$N^k = a^k [1 - (e^k)^2 \sin^2 B^k]^{-\frac{1}{2}}, \quad k = I, x$$

$$\Delta x_0^p = \Delta x_0^y$$

$$\Delta y_0^p = \Delta y_0^y$$

$$\Delta z_0^p = \Delta z_0^y$$

Z takto získaných n čtverců vzdáleností d^2 se vypočte součet druhých mocnin $[d^2]_1$.

Pro druhou iteraci posuneme polohu bodu P_c^x po normále k E^x o zvolenou délku D , tzn. posunům v rovnicích (13) přiřadíme hodnoty

$$\Delta x_0^p = \Delta x_0^y + a_c D$$

$$\Delta y_0^p = \Delta y_0^y + b_c D$$

$$\Delta z_0^p = \Delta z_0^y + c_c D$$

jejichž dosazením do rovnic (13) získáme nové hodnoty \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} a ty použije-

me pro určení $[\alpha^2]$ opakovaným výpočtem rovnic (12). Případné další iterace probíhají naprosto stejným postupem až do stavu, kdy

$$[\alpha^2]_i > [\alpha^2]_{i-1} \quad (14)$$

Po splnění nerovnosti (14) změnou číselné hodnoty D posouváme polohu bodu ρ_c^x v opačném směru po normále k E^x o desetinu původně zvolené délky D opět až do stavu, kdy bude splněna nerovnost (14). Potom opět změním směr posunu a jeho velikost znovu redukuje na desetinu. Při zkušebním výpočtu byla zvolena délka posunu po normále $D = 20$ m, která byla postupně redukována na 2 m a 20 cm. Volba tohoto kroku se ukázala plně postačující pro vyhledání hodnot translačních prvků Δx_o^p , Δy_o^p , Δz_o^p , splňujících požadavek minimálního součtu čtverců vzdáleností původních poloh společných bodů v systému S^x od normál k E^x .

4. 3. 2 Výpočet souřadnic společných a opěrných bodů na ploše elipsoidu E^x

Po výpočtu přibližných hodnot posunů počátku soustavy II vzhledem k soustavě I zvolíme /analogicky řešení rovinnému/ na protilehlém okraji připojovaného systému vzhledem k čáře styku m rovnoměrně rozmístěných opěrných bodů s požadavkem, aby

$$m \approx n .$$

Všech n bodů společných jakož i m bodů opěrných pak promítneme po normálách k původnímu elipsoidu E^x /jehož střed v soustavě I přisoudíme souřadnice Δx_o^p , Δy_o^p , Δz_o^p / na povrch elipsoidu E^x . Pro výpočet těchto průmětů x_o^x , y_o^x , z_o^x použijeme vztahů (5a) a (5b) s hodnotami

$$\begin{aligned} \Delta x_o &= \Delta x_o^p \\ \Delta y_o &= \Delta y_o^p \\ \Delta z_o &= \Delta z_o^p \\ \omega &= 0 \\ \epsilon &= 0 \\ \psi &= 0 \end{aligned} \quad (15)$$

V případě, že odchylky v souřadnicích společných bodů

$$\begin{aligned}\Delta x &= x^I - x_p^I \\ \Delta y &= y^I - y_p^I \\ \Delta z &= z^I - z_p^I\end{aligned}\quad (17)$$

budou malé, nebo bude-li k dispozici pouze malý počet společných bodů, rozmístěných pouze na malé části hranice obou systémů, přijmeme hodnoty translačních a rotačních prvků v rovnicích (15) za konečné. Pak přirozeně kromě / $n+m$ / bodů okrajových vypočteme souřadnice x_p^I , y_p^I , z_p^I pro všechny zbývající body systému S^II a jejich polohy na elipsoidu E^I budeme považovat za definitivní, tzn. položíme

$$\begin{aligned}\bar{x}^I &= x_p^I \\ \bar{y}^I &= y_p^I \\ \bar{z}^I &= z_p^I\end{aligned}$$

a geodetické souřadnice všech bodů připojeného systému \bar{L}^I , \bar{B}^I vypočteme ze vztahů (16) v odst. 4. 1.

4. 3. 3 Výpočet hodnot rotačních prvků a korekcí přibližných posunů

Pokud rozdíl v orientaci systémů S^I a S^II bude zřejmý ze systematického charakteru odchylek Δx , Δy , Δz /vypočtených na společných bodech z rovnic (17)/ a za předpokladu, že dostatečně velký počet ověřených společných bodů bude rovnoměrně rozmístěn podél celé hranice systémů S^I a S^II , přikročíme k výpočtu číselných hodnot rotačních prvků ω , ϵ , ψ a korekcí přibližných hodnot posunů $d\Delta x_0$, $d\Delta y_0$, $d\Delta z_0$.

Uvedených šest neznámých veličin bude možno určit z podmínky, aby odchylky v v prostorových pravoúhlých souřadnicích jak na společných tak i opěrných bodech splňovaly rovnici

$$[pvv] = \min ,$$

přičemž polohám společných bodů bude možno přisoudit váhu podstatně vyšší než bodům opěrným. Zatímco souřadnicím daných bodů x_b^I , y_b^I , z_b^I přiřadíme na n společných bodech jejich původní číselné hodnoty v systému S^I , tedy

$$\begin{aligned}x_b^I &= N^I \cos B^I \cos L^I \\ y_b^I &= N^I \cos B^I \sin L^I \\ z_b^I &= N^I [1 - (e^I)^2] \sin B^I\end{aligned}$$

pak u m opěrných bodů položíme

$$x_D^I = x_P^I$$

$$y_D^I = y_P^I$$

$$z_D^I = z_P^I$$

Pro výpočet neznámých rotačních prvků a korekcí prvků translačních pak sestavíme 3. $(n + m)$ rovnic oprav ve tvaru

$$\begin{aligned} v_x &= d\Delta x_0 && + \omega'' y_R && - \psi'' z_R + x_P^I - x_D^I \\ v_y &= && d\Delta y_0 && - \omega'' x_R + \varepsilon'' z_R && + y_P^I - y_D^I \\ v_z &= && d\Delta z_0 && - \varepsilon'' y_R + \psi'' x_R && + z_P^I - z_D^I \end{aligned}$$

kde $x_R = x_P^I : \varrho''$, $y_R = y_P^I : \varrho''$, $z_R = z_P^I : \varrho''$, $\varrho'' = 206264,806$

Po zavedení vah p_s v rovnicích pro body společné a p_o v rovnicích pro body opěrné a po výpočtu koeficientů normálních rovnic získáme řešením šesti lineárních rovnic o šesti neznámých číselné hodnoty $d\Delta x_0$, $d\Delta y_0$, $d\Delta z_0$, ω'' , ε'' , ψ'' . Zpětným přechodem z šedesátinné úhlové míry na obloukovou vypočteme

$$\omega = \omega'' : \varrho'' \quad \varepsilon = \varepsilon'' : \varrho'' \quad \psi = \psi'' : \varrho''$$

Vyrovnané hodnoty translačních prvků Δx_0 , Δy_0 , Δz_0 budou dány vztahy

$$\begin{aligned} \Delta x_0 &= \Delta x_0^o + d\Delta x_0 \\ \Delta y_0 &= \Delta y_0^o + d\Delta y_0 \\ \Delta z_0 &= \Delta z_0^o + d\Delta z_0 \end{aligned}$$

Pro výpočet definitivních souřadnic \bar{x}^I , \bar{y}^I , \bar{z}^I na elipsoidu všech bodů systému S^I pak použijeme vztahů (5a), (5b) a postupu uvedeného v odst. 4. 2. Konečně geodetické souřadnice všech bodů připojených k systému \bar{l}^I , \bar{B}^I vypočteme ze vztahů (16) v odst. 4. 1.

4. 4 Postup při stanovení vah společným a opěrným bodům a případné zmenšení rozdílů v souřadnicích společných bodů

Pro stanovení vah společným a opěrným bodům v každém konkrétním případě připojení bude třeba vzít v úvahu hlediska uvedená v odst. 3. 3 pro volbu redukčních koeficientů. Poněvadž v případě prostorového řešení nelze přímo číselnými hodnotami vah vyjádřit poměr, do jaké míry bude převzata orientace ze systému S^I a z jaké části bude ponechána původní orientace systému S^I , bude třeba určit váhu společným bodům empiricky. V tomto případě volíme pro opěrné body váhu $p_o = 1$

a pro body společné budeme postupně volit váhu rovnou např. pěti, deseti a patnácti. Pro každou volbu váhy vypočteme postupem uvedeným v odst. 4. 3. 3 číselné hodnoty rotačních a translačních prvků. Podle velikosti oprav z vyrovnání /které představují rozdíly v prostorových pravoúhlých souřadnicích na společných i opěrných bodech/ pak buď přijmeme za váhu ρ_s jednu ze tří testovaných hodnot nebo vcelku spolehlivě odhadneme některou z hodnot mezilehlých.

Je zřejmé, že ponechané rozdíly v souřadnicích společných bodů bude možno zmenšit o zbytek vlivu rozdílné orientace /stejně tak jako u řešení rovinného/ po přechodu do pomocné Gauss-Krügerovy zobrazovací roviny konformní kvadratickou transformací. Pro tento krok bude možno převzít v plném rozsahu postup uvedený v odst. 3. 4.

5. Závěr

Uvedené dvě varianty řešení úlohy připojení systému s^x k s^y vycházejí prakticky z téhož požadavku, tj. tvarově nedeformovat původní trigonometrickou síť přechodem na jinou referenční plochu. Poloha sítě na novém elipsoidu je jak v řešení rovinném tak i prostorovém beze zbytku převzata z poloh společných bodů na elipsoidu E^x , měřítko buď plně nebo zčásti převzato ze systému s^x . Konečně obě řešení dávají možnost podle konkrétních podmínek původní orientaci systému s^x buď zachovat nebo ji více či méně přizpůsobit orientaci systému s^y . Za předpokladu poměrně pevné vazby obou systémů pomocí většího počtu společných bodů podél celé čáry styku je možno konformní kvadratickou transformací vyřešit spojitě zbytkovou rozdílnost orientací na styku obou systémů, případně jí zmírnit rozdíly v azimutech, způsobené přechodem na novou referenční plochu.

V obou variantách je použito opěrných bodů na odlehlém okraji připojovaného systému proto, aby konformní kvadratickou transformací nebyly způsobeny nevhodné deformace ani v místech nejvzdálenějších od čáry styku. Navíc při řešení prostorovém plní opěrné body tuto funkci i při výpočtu translačních a rotačních prvků.

Předběžné výsledky zkušebních a ověřovacích výpočtů ukazují, že obě varianty řešení jsou co do přesnosti prakticky rovnocenné a obě by tedy mohly nalézt

praktického použití. Vezmeme-li však v úvahu i hledisko ekonomické, pak nesporně výhodnější je řešení rovinné. Jeho předností je menší počet aritmetických operací, z nichž převážná část probíhá v normální přesnosti počítače, takže potřeba strojového času představuje asi šestinu času nutného pro řešení prostorové, při kterém je třeba značnou část aritmetických operací programovat v dvojnásobné aritmetice. Řešení prostorové by se naopak uplatnilo tehdy, kdyby připojovaný systém zahrnoval území přesahující předpokládaný délkový rozměr 1000 km, kterým je omezeno řešení rovinné.

L I T E R A T U R A

- [1] Böhm J.: Matematická kartografie II. díl, Brno 1951
- [2] Böhm J.: Transformace souřadnic v geodesii, Praha, 1951
- [3] Bronštejn-Semendžajev: Příručka matematiky, III. vydání, SVTL Bratislava
- [4] Burša M.: Základy kosmické geodézie, I. díl, VTS MNO 1967
- [5] Bystrý J.: Základy numerické matematiky, I. díl, Brno 1971
- [6] Christov V.: Transformationsformeln zwischen den Gauss-Krügerschen und den geographischen Koordinaten und umgekehrt Z. f. V. 1938, str. 598
- [7] Prachař J.: K transformaci prostorových pravoúhlých souřadnic na souřadnice zeměpisné, VTO 1972
- [8] Rektorys K. a kol.: Přehled užití matematiky, SNTL Praha 1963
- [9] Vykutíl J.: Vyrovňovací počet, Brno 1964

Došlo dne 1. 2. 1974

K automatizaci tvorby a obnovy topografických map

1. Úvod

Soudobé nároky na informace o území, o terénu, o přirozených i umělých objektech v něm, o jejich vztazích, změnách a vývoji neustále vzrůstají. Rostoucí požadavky na tyto informace, na jejich kvantitu, kvalitu i aktuálnost odpovídají rostoucím potřebám národního hospodářství i obrany, vědy i kultury. Rozsah a naléhavost potřeb informací o území však přesahuje možnosti stávajících informačních zdrojů, ať už se jedná o informace textové, číselné nebo grafické. V současné době zvláště výrazně vystupuje do popředí potřeba topografických map s čerstvým aktuálním obsahem, odpovídajícím stavu v přírodě. Možnosti zabezpečit tuto naléhavou potřebu jsou limitovány zejména tím, že dosavadní způsob tvorby topografických map je s výjimkou reprodukčního zpracování map a jejich tisku založen výlučně na živé lidské práci. Podíl mechanizačních prostředků zejména v kartografickém zpracování topografických map je zatím minimální. Zdroje růstu produktivity práce jsou v podstatě vyčerpány. Omezené počty pracovních sil nepostačují k zvládnutí rostoucích úkolů, což se projevuje zejména v neuspokojivém tempu obnovy topografických map.

Racionalizační úsilí v kartografii však směřovalo dosud především k mechanizaci a automatizaci velkoměřítkového mapování. Svědčí o tom i zaměření vědeckotechnické činnosti a technického rozvoje. V poslední době mu byl dán výraz zejména v závěrech a doporučeních mezinárodní rady, která se na téma "Základní principy automatizované tvorby velkoměřítkových map" konala v květnu 1975 v Bratislavě.

Konfrontace potřeb a možností tvorby a obnovy topografických map vede k závěru, že obdobná pozornost a úsilí, jaké je věnováno tvorbě velkoměřítkových map, by mělo směřovat i k racionalizaci tvorby a obnovy map topografických.

V této stati chceme zdůraznit potřebu automatizace tvorby a obnovy topografických map a naznačit její možné řešení s využitím systému DIGIKART.

2. Technické a ekonomické aspekty potřeb a možností automatizované tvorby a obnovy topografických map

Potřeby uživatelů topografických map budou dokonale uspokojeny, bude-li obsah topografických map v souladu se skutečností a budou-li takové topografické mapy okamžitě k dispozici pro využití.

Současné metody a prostředky tvorby topografických map vedou k tomu, že v době, kdy se nově vydávaná mapa dostává k uživateli, je její obsah už zastaralý. K jejímu novému opravenému vydání dochází až po více než 10 letech. Takováto míra zabezpečení potřeb uživatelů je neuspokojivá, neboť za tohoto stavu topografické mapy zobrazují rozsáhlé a významné změny, k nimž vede vysoké tempo rozvoje národního hospodářství, teprve s velkým časovým odstupem a dále rychle stárnou. Tomu je třeba předcházet rozsáhlou, pohotovou a rychlou aktualizací a obnovou map a jejich neodkladným vydáváním uživatelům.

Realizace takového záměru je však limitována

- zdroji informací, rozsahem, kvalitou a formou informací i organizací zdrojů informací a informačních systémů,
- silami, prostředky a metodami kartografického zpracování informací.

Zdroje informací jsou rozptýleny mezi několik desítek resortních správců informací, kteří určují rozsah, kvalitu i formu informací, jakož i organizaci informačních zdrojů a aktualizaci informací podle svých resortních potřeb a zájmů. Úsilí o koordinaci těchto potřeb a zájmů a počáteční integrační snahy nepřinesly zatím významnější konkrétní výsledky.

Síly, prostředky a metody kartografického zpracování informací jsou příliš spjaty s tradičním charakterem mapové tvorby, která má z menší části inženýrský charakter - v oblasti matematického a kartografického podkladu, redakce, generalizace a přesnosti - a z rozhodující části charakter uměleckého řemesla - v oblasti kartografické kresby, rytiny a litografie. To vede při mapové tvorbě k řadě subjektivních vlivů jednotlivých tvůrců a vyvolává potřebu rozsáhlého jednotícího vlivu

redaktorů a řídicích pracovníků, potřebu opakovaných revizí, oprav a kontrol s vysokými nároky na živou lidskou práci. Počet pracovních sil je omezen. Nelze jej zvyšovat. Zdroje růstu produktivity práce, omezené na mechanizaci ručních prací, jsou v podstatě vyčerpány.

K prosazení výše naznačeného záměru, který vychází z objektivně opodstatněných potřeb, je zejména třeba:

- koordinovat sběr a aktualizaci informací do účelně organizovaných informačních systémů s možností kooperace i vhodné míry integrace,
- objektivizací tvorby topografických map vytvořit podmínky pro komplexní mechanizaci a automatizaci této tvorby a postupně mechanizovat a automatizovat jednotlivé technologické úseky tvorby a obnovy topografických map, především kartografickou tvorbu a sestavitelské práce,
- zdokonalit poloautomatické a automatické kreslicí prostředky a zařízení, uspořádat je do výkonných kartografických linek a jejich využitím snížit a posléze zcela nahradit ruční kartografickou kresbu i další úseky tvorby topografických map.

K realizaci těchto záměrů mohou být využity principy, které k rozvoji přístrojové základny a technologií pro oblast automatizované tvorby velkoměřítkových map doporučila výše uvedená bratislavská porada i jiné kvalifikované orgány. Z těchto principů jakož i z výsledků výzkumu i praktických zkušeností provozních pracovišť je zřejmé, že klíčovým problémem je technické vybavení, jehož základní parametry byly již definovány a uvedeny na mnohých poradách a publikovány v odborných časopisech. Vývoj a výroba doporučeného systému zařízení je jistě hlavním předpokladem automatizované tvorby mapy. Doporučené parametry jsou výrazem snahy o vrcholnou technickou úroveň, o maximální komplexnost automatizace.

Při automatizaci tvorby a obnovy topografických map mají však svou důležitost i ekonomické aspekty. Mnohé ekonomické problémy vyplývají zejména z porovnání nákladů na vývoj, výrobu a systémové uspořádání techniky doporučených parametrů s náklady na pomalou avšak poměrně lacinou lidskou práci. Zasazení automatizačních prostředků přinese podstatnou změnu profesní struktury tvůrců topografických map, změnu požadavků na jejich kvalifikaci a neobejde se bez vážných sociálních důsledků.

Přes náročnost vývoje a výroby zařízení pro automatizovanou tvorbu map a

přes závažnost ekonomických problémů spojených s přechodem k automatizované tvorbě map je potřeba tohoto přechodu naléhavá a nevyhnutelná. Hlavní východiska k tomuto přechodu jsou následující:

- vytvoření informačních systémů jako hlavních zdrojů aktuálních informací pro tvorbu topografických map
- vývoj a výroba nové techniky v produkci socialistických států
- vývoj odpovídající technologie automatizované tvorby topografických map.

3. Cíle automatizované tvorby a obnovy topografických map

Cílem automatizované tvorby a obnovy topografických map je náležité uspokojení potřeb uživatelů topografických map. Toho by mělo být dosaženo především zkrácením cyklu tvorby a obnovy topografických map při současném zvýšení informační kvality a užitné hodnoty topografických map. Závislost na kartografické kresbě jakožto nejužším profilu tvorby a obnovy topografických map by měla být překonána objektivizací, mechanizací a postupnou automatizací kartografické kresby a dalších etap tvorby a obnovy topografických map.

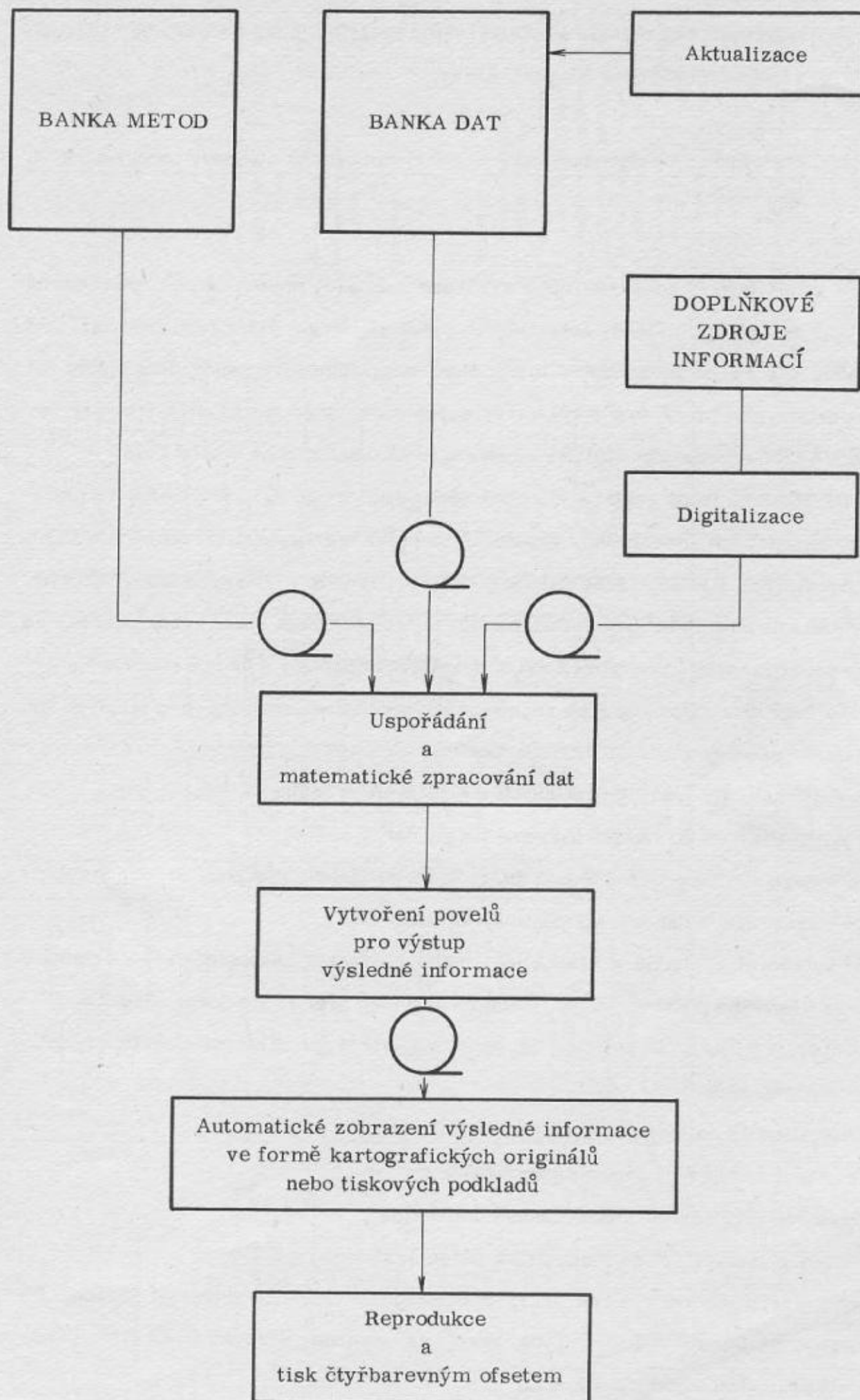
Cílová podoba uspořádání automatizované tvorby a obnovy topografických map je naznačena ve schématě č. 1.

Uvedené cílové podoby by mělo být dosaženo postupně ve čtyřech krocích:

- 1/ Vývoj a výroba zařízení, jeho systémové uspořádání a současný vývoj technologií
- 2/ Obnova topografických map na podkladě aktualizovaných grafických podkladů cestou jejich digitalizace a automatickým vykreslením originálů při současném naplňování banky dat
- 3/ Tvorba a obnova topografických map na podkladě fotogrammetrického vyhodnocení leteckých snímků v digitální formě a automatickým vykreslením originálů při současném aktualizování dat v bance dat
- 4/ Tvorba a obnova topografických map na podkladě aktuálních dat a služeb poskytovaných specializovaným informačním systémem vytvořeným v průběhu předchozích tří kroků.

Potřeba postupného řešení vyplývá z technických a ekonomických možností

Schéma č. 1



pro vývoj zařízení, technologie a informačních systémů jakož i z možnosti připravit kádry a řešit odpovídající sociální otázky.

4. Podmínky a předpoklady pro automatizaci tvorby a obnovy topografických map

V ČSSR jsou v současné době vyráběna zařízení, jmenovitě poloautomatická odečítací zařízení, počítače, automatické kreslicí stoly a další periferní zařízení počítačů, jež by po technickém zdokonalení a systémovém uspořádání mohla být východiskem pro první dva z výše vytyčených cílů. Proto byl zahájen vývoj systému DIGIKART a jemu odpovídající technologie automatizované tvorby map.

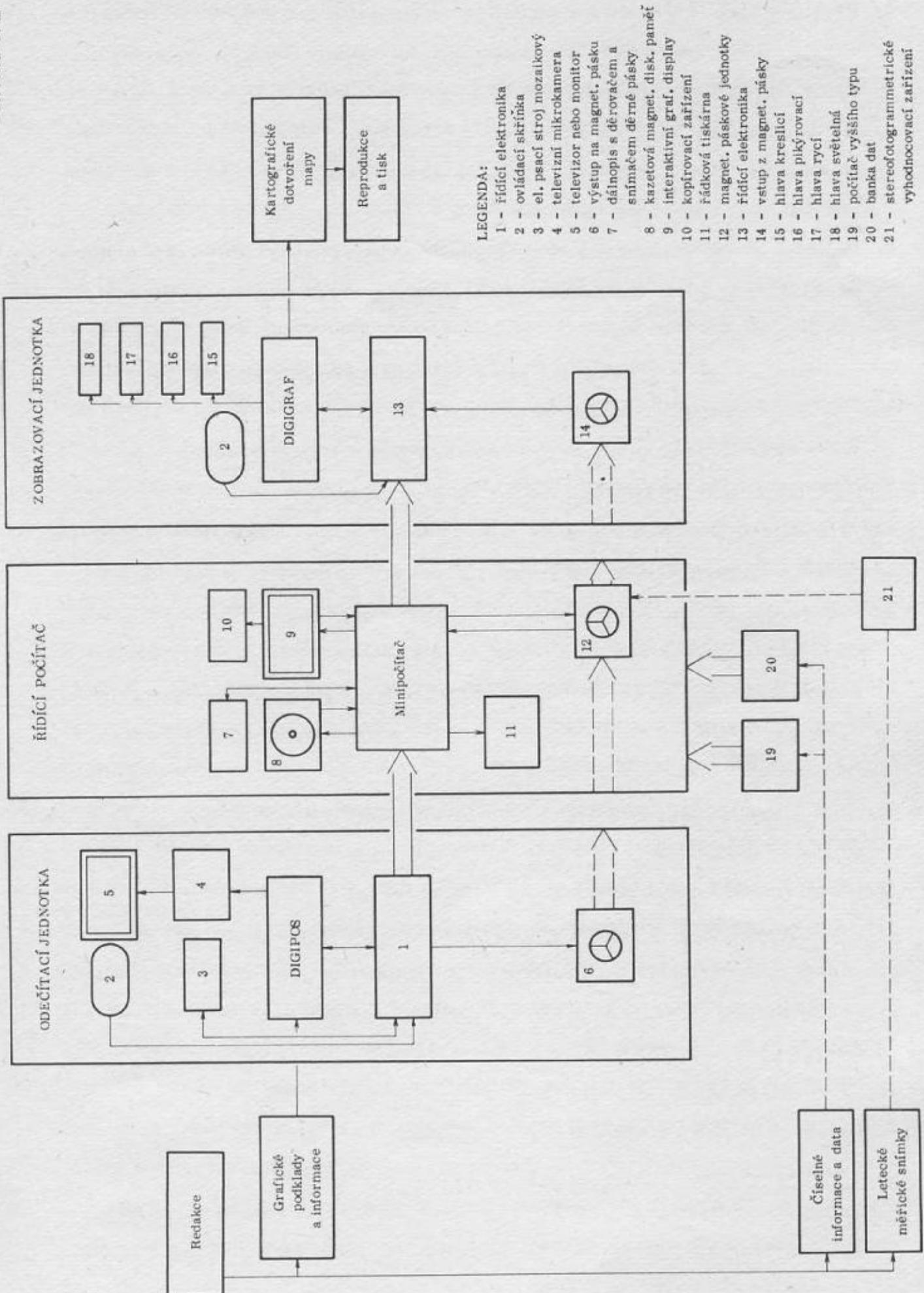
DIGIKART, jehož sestava je znázorněna ve schématu č. 2, je systémové uspořádání technických prostředků, výpočetní techniky a programů vyrobených v ČSSR nebo ve státech RVHP určené pro automatizaci tvorby vojenských topografických a speciálních map nebo jiných dokumentů, jejichž pořízení klade vysoké nároky na schopnost zpracovat a poskytnout velké množství informací o území současně s nároky na měřickou přesnost a na reprodukční způsobilost výsledných grafických informací. Funkce systému DIGIKART spočívá

- a/ v přijímání různorodých grafických a číselných informací a dat,
- b/ v jejich převodu do vhodné jednotné formy dat,
- c/ ve výběru a v uspořádání těchto dat řídicím počítačem systému do formy vstupních programů a dat pro automatický kreslicí stůl a
- d/ ve vytvoření výsledné grafické informace ve formě kartografického originálu nebo tiskového podkladu mapy, plánu nebo jiného grafického dokumentu.

Vývoj DIGIKARTU směřuje ke splnění následujících hlavních takticko-technických požadavků:

- 1/ Kompatibilita na mediích s počítačem EC 1030
- 2/ Operační paměť řídicího minipočítače 32 K slov
- 3/ Kasetová magnetická disková paměť 10 M slov
- 4/ Vstupy a výstupy dat na magnetické pásce 1/2"
- 5/ Děrování a snímání děrné pásky zařízeními s nejvyšší rychlostí /snímač FS 1501 s rychlostí snímání 1500 znaků za sekundu, děrovač 5 - 8 stopé pásky s výkonem 150 znaků za sekundu/

Schéma č. 2



- 6/ Přesnost odečítání souřadnic digitalizovaných grafických předloh charakterizovaná střední chybou $m_s = \pm 0,03$ mm při dálkovém ručním navádění měřické značky a při jejím sledování televizní pozorovací soustavou, s možností odečítání na 0,01 mm
- 7/ Možnost odečítání a registrace souřadnic liniových prvků v nastavitelném časovém nebo souřadnicovém intervalu
- 8/ Rychlost pohybu odečítací hlavy při digitalizaci jednotlivých bodů je až 100 mm/s /tj. 6 m/min/, při digitalizaci souvislých čarových prvků až 50 mm/s /tj. 3 m/min/
- 9/ Přesnost kresby čarových prvků na automatickém kreslicím stole:
 $m_1 = \pm 0,03$ mm při rychlosti 40 mm/s /tj. 2,4 m/min/
 $m_2 = \pm 0,05$ mm při rychlosti od 40 do 100 mm/s /tj. do 6 m/min/
 $m_3 = \pm 0,1$ mm při rychlosti nad 100 mm/s
- 10/ Pracovní plocha kreslicího stolu 1700x1200 mm nebo 1200x800 mm
- 11/ Kvalita výsledné kresby a její další reprodukční způsobilost je zajišťována výměnnými technologickými hlavami /kreslicí, pikýrovací, rycí a světelnou/, které umožní zobrazení vybraných symbolů a kresbu čar různých druhů /čárkovaných, tečkovaných, čerchovaných/ ve tvarech a velikostech podle značkového klíče topografických map /síla čar od 0,1 do 1,2 mm, nejmenší odlehlost čar a symbolů 0,1 mm/
- 12/ Řídící minipočítač, odečítací i zobrazovací jednotka mohou pracovat v režimu on-line i off-line
- 13/ Programovací jazyky Assembler a Fortran IV
- 14/ Možnost budoucího připojení grafického interaktivního displaye
- 15/ Každé z hlavních zařízení DIGIKARTU je obsluhováno jedním operátorem, takže celý systém vyžaduje 3 operátory. Periferní zařízení nevyžadují zvláštní obsluhy
- 16/ Provozní podmínky:
- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| Teplota pracovního prostředí | +21° až +23°C |
| Relativní vlhkost | 40 až 70 % |
| Atmosférický tlak | 975 až 1055 mbar |
| Prašnost | max. 0,2 mg/m ³ |

Provozní plocha	110 až 130 m ²
Elektrická energie	220 V, 50 Hz, 20 kVA

Tyto technické požadavky jsou ve shodě s technickými požadavky formulovanými v různých dokumentech a odborných člancích. Možná hlavní zařízení DIGIKARTU jsou zobrazena na obrázcích 1, 2 a 3.

Současně s vývojem DIGIKARTU je připravována odpovídající technologie automatizované tvorby map. Její základní linie je zřejmá ze schématu č. 1 a č. 2. Vychází z předpokladu, že požadavky na vývoj DIGIKARTU budou splněny dříve než požadavky na efektivní využití zdrojů informací. Proto předpokládá dočasné využití poloautomatické digitalizace grafických podkladů a geodetických údajů a komplexní mechanizaci grafického vytvoření výsledné informace ve formě kartografického originálu nebo tiskového podkladu. Hlavním automatizačním prostředkem je řídicí počítač, resp. minipočítač, který přejímá některé tvůrčí funkce kartografa /např. utřídění a výběr dat, spojování, odsunování a uvolňování značek a symbolů, později i některé úlohy generalizace/ i programátora /např. vytvoření povelové pásky pro zobrazovací jednotku/.

Rozhodující etapou automatizované tvorby a obnovy je redakční příprava, která musí s předstihem a beze zbytku vyřešit všechny otázky obsahu mapy, maximálně přispět k objektivizaci tvorby mapy a vyloučit subjektivní zásahy do tvorby mapy v průběhu jejího automatizovaného zpracování. Stejně důležitým faktorem je kvalita přípravy vstupních dat.

Náročnou a důslednou kontrolou kvality vstupních dat musí být zaručeno, že vstupní data nebudou příčinou chyb v následujícím výpočetním a grafickém zpracování dat. Jen tak je opodstatněn předpoklad, že výsledná grafická informace bude mít hodnotu kartografického originálu nebo tiskového podkladu a že bude dokončena s úsporami pracovního času a s ekonomickým efektem.

Automatizovaná tvorba výškopisu a popisu mapy se předpokládá až ve 2. etapě vývoje a zavádění technologie. V počáteční etapě budou tyto prvky vytvářeny dosavadními způsoby převážně fotomechanickými při postupném uplatňování automatizace v rozmísťování popisu a v jeho přípravě.

Rozhodujícím předpokladem pro automatizovanou tvorbu výškopisu bude fotogrammetrické vyhodnocování leteckých snímků v digitální formě. To bude současně

hlavním zdrojem aktualizace dat a informací o území, jež budou centralizovány v informačním systému o území. Ten pak umožní další intenzifikaci tvorby a obnovy topografických map i map speciálních.

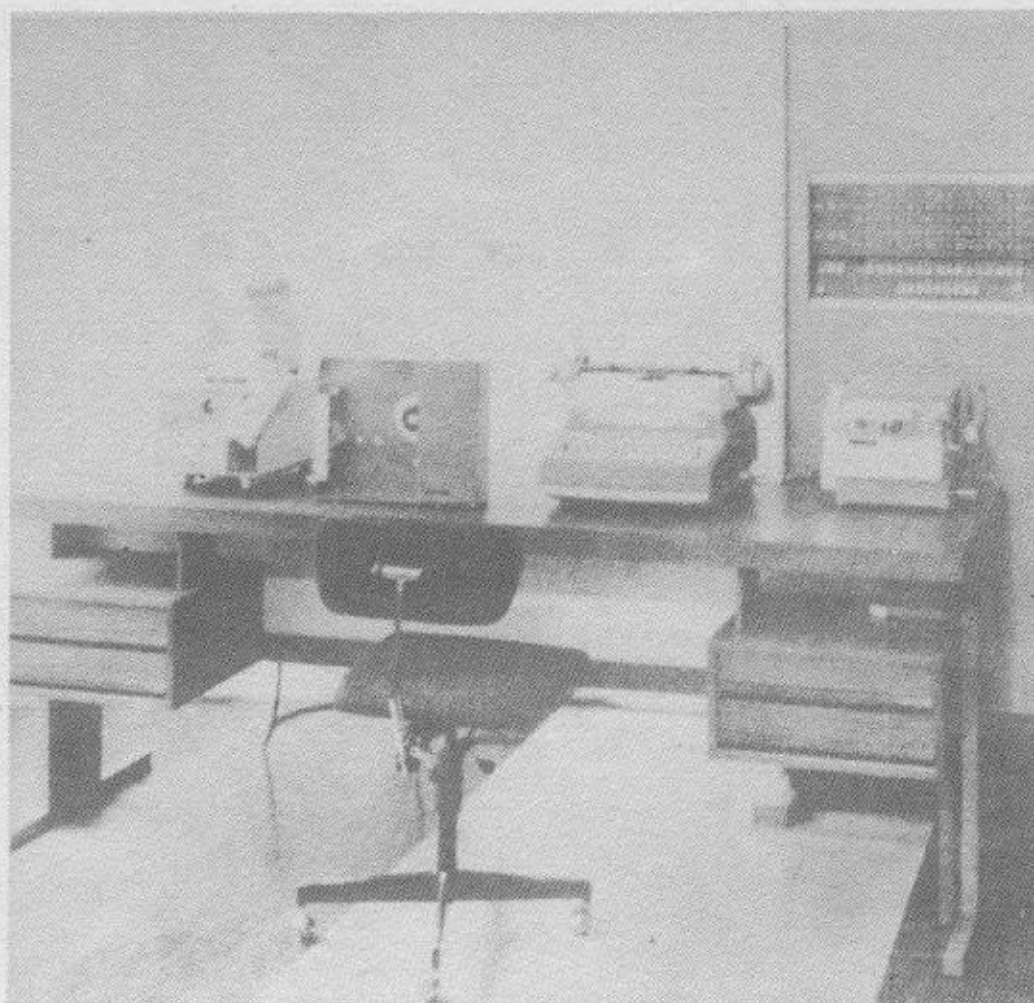
Závěr

Vývoj DIGIKARTU a odpovídající technologie automatizované tvorby a obnovy topografických map může podle provedených analýz a odhadů přinést zkrácení výrobního cyklu, významný vzrůst produkce topografických map a přispět k lepšímu zabezpečení potřeb uživatelů topografických map.

Nelze zatím uvést dostatečně objektivní technicko-ekonomické ukazatele automatizované tvorby topografických map, protože provedená experimentální ověření přijatých principů a zásad jsou dosud úzkou základnou pro zobecnění. K tomu je potřeba dalších experimentálních a vývojových prací.

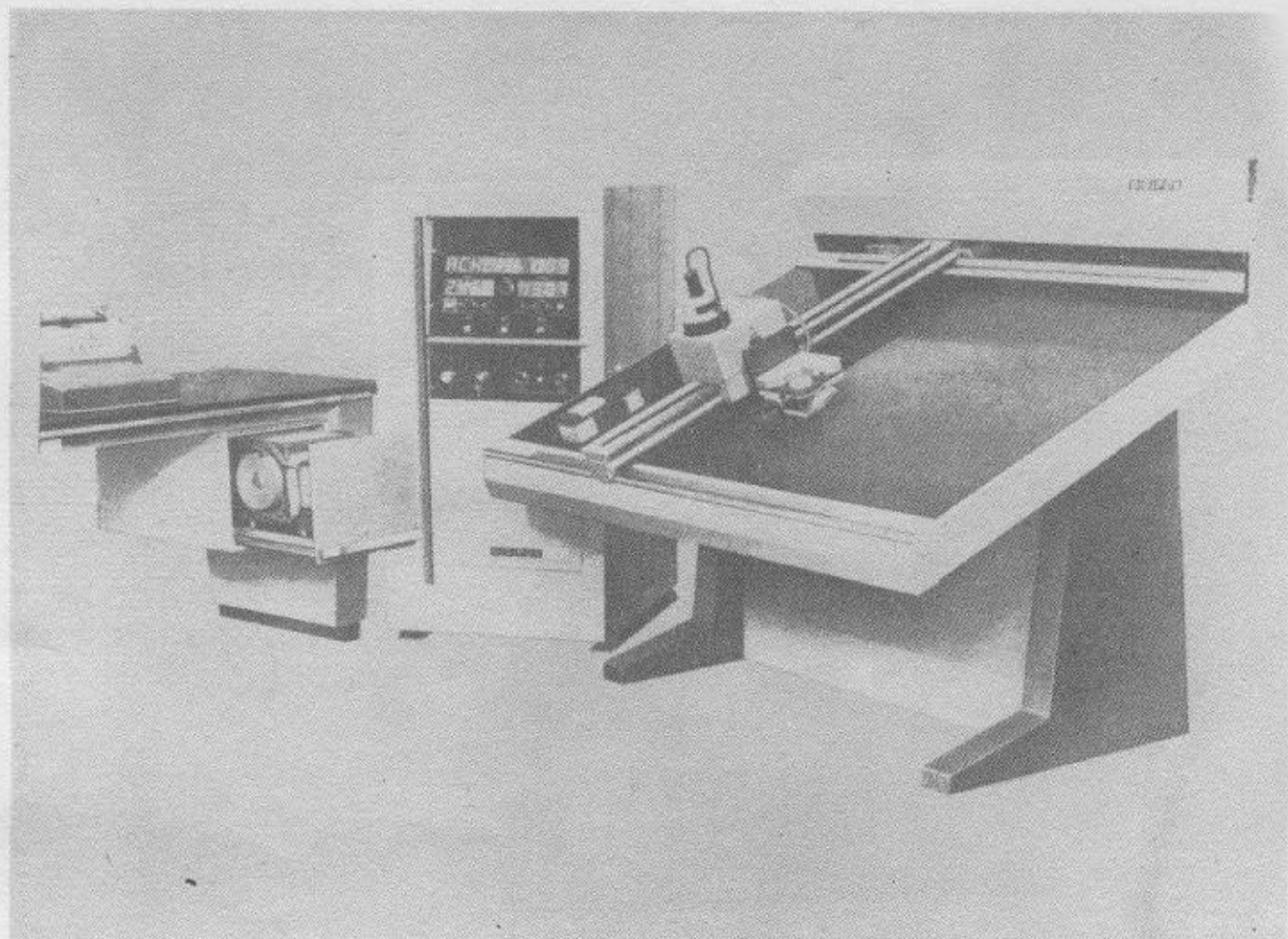
Je však třeba vytvářet příznivé podmínky nejen pro experimentování a pro vývoj, nýbrž i pro správné pochopení významu, jaký může mít zavedení automatizovaných systémů a odpovídající technologie tvorby map do naší praxe. Nepůjde totiž o nic menšího než o přechod od tradiční ruční tvorby map k jejich strojové výrobě s vysokou mírou mechanizace a automatizace s veškerými důsledky technickými, ekonomickými i sociálními. Je nutno je včas správně znát nebo aspoň odhadnout a připravované významné změně účinně napomáhat.

Došlo dne 12. 4. 1976



Obr. 1 Minipočítač ADT 4100 - řídicí počítač DIGIKARTU /výrobce ZPA, Trutnov/

- slouží k přijetí, sjednocení a uspořádání vstupních dat do vhodných pracovních souborů,
- výpočetně zpracovává uspořádaná data a početně řeší úlohy kartografické tvorby v závislosti na softwaru,
- uspořádává výsledky výpočetního zpracování dat do formy povelů pro zobrazovací jednotku,
- řídí činnost připojených zařízení systému tak, aby pracovala v souvislém a efektivním režimu a kontroluje tuto činnost.

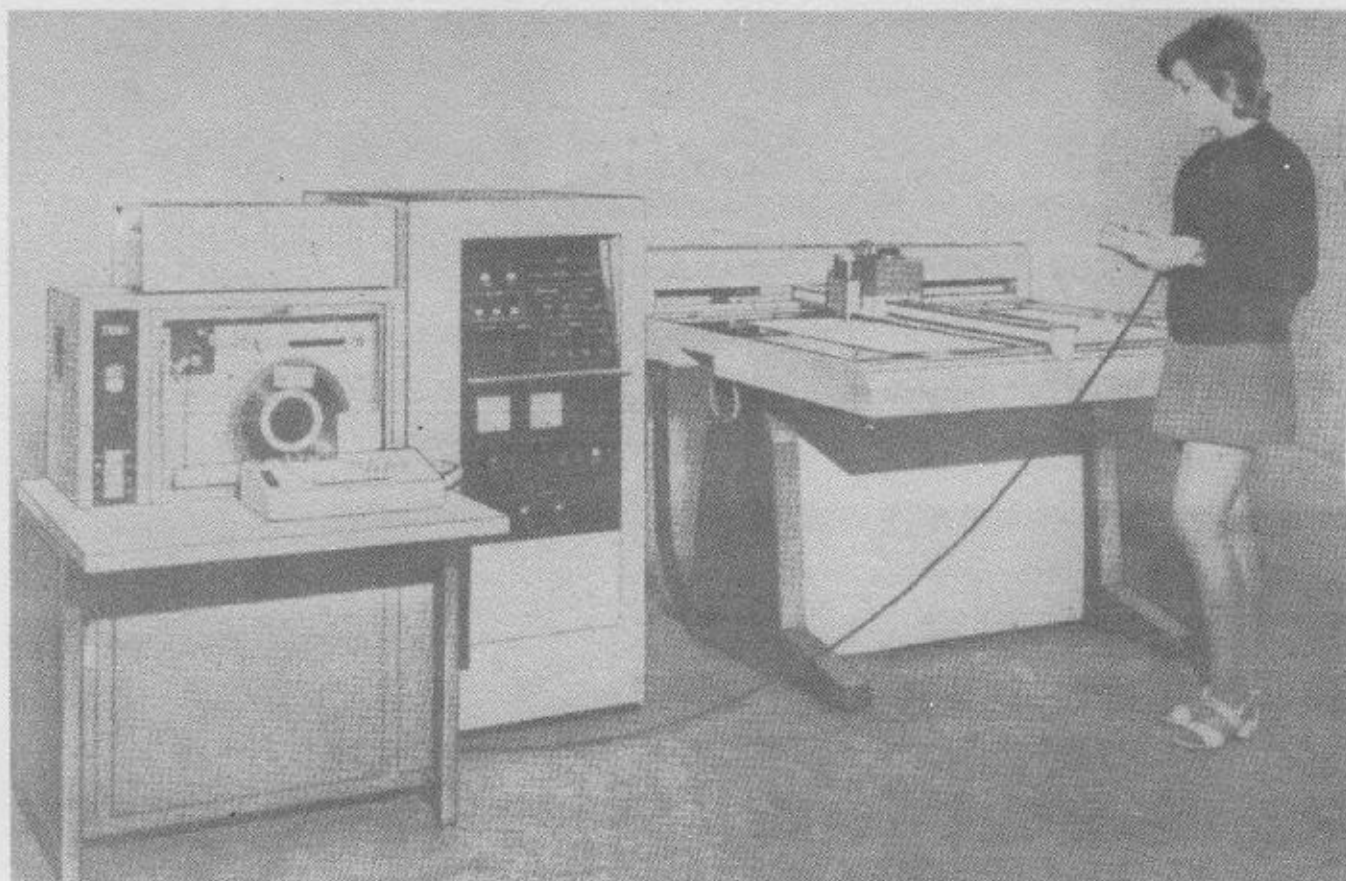


Obr. 2 Digitální poloautomatický zapisovač souřadnic DIGIPOS

- odečítací jednotka DIGIGRAFU

/Výrobce Novoborské strojírny, n.p., Nový Bor/

slouží k převedení výchozích grafických informací do digitální formy tím, že umožňuje přesné určení a odečítání souřadnic jednotlivých bodů výchozí grafické informace, registruje tyto souřadnice a zaznamenává je spolu s dalšími potřebnými údaji na mediích vhodných k dalšímu výpočetnímu zpracování.



Obr. 3 Automatický kreslicí stůl DIGIGRAF - zobrazovací jednotka DIGIKARTU
/Výrobce - Novoborské strojírny, n.p., Nový Bor/

slouží k převedení výsledných informací z digitální do grafické formy tím, že podle povelů vystupujících z řídicího minipočítače zobrazuje obsah mapy nebo jiného výsledného grafického dokumentu kresbou, rytinou, řezem do slupovací vrstvy nebo vytvořením latentního obrazu ve světlocitlivé vrstvě.

Mapy tížnicových odchylek zahraničního území

1. Úvod

Na základě úkolů vojenskoodborné činnosti VTOPÚ pro rok 1975 byly zpracovány alternativní mapy složek tížnicových odchylek pro zahraniční území. Zpracování proběhlo ve dvou variantách

a/ mapy izochar úplných hodnot složek ξ, η s krokem 1''

b/ mapy izochar částí složek $\xi - \xi^{(0-5)km}$ a $\eta - \eta^{(0-5)km}$ taktéž s krokem 1''

Vydělení vlivu centrální zóny /0-5/ km umožňuje dokonalejší grafické vystižení průběhu veličin /1/. Dodatečným určením vlivu centrální zóny pro daný bod podle /2/ a přičtením tohoto vlivu ke zbývajícím částem odsunutým z mapy ad b/ lze dosáhnout vyšší přesnosti v určení příslušné složky.

Reálná přesnost v určení složky tížnicové odchylky odsunutím z mapy ad a/ je na vlastním území

$$m_{\xi, \eta} = \pm 1,2''$$

na zahraničním území

$$m_{\xi, \eta} = \pm 1,4''$$

S použitím mapy ad b/ a dodatečným určením vlivu centrální zóny je přesnost na vlastním území

$$m_{\xi, \eta} = \pm 0,9''$$

na zahraničním území

$$m_{\xi, \eta} = \pm 1,1''$$

Na zahraničním horském území byla vyzkoušena ve velkém technologické zpracování veličin pro zahraniční území /3/. Vzhledem k tomu, že šlo o zpracování hraničního listu měřítkem 1:500 000, byl obsah mapy pro čs. území převzat z díla /1/ a přizpůsoben i způsob vydělení centrální zóny.

Byla získána zkušenost, že u zpracovávaných listů horského a velehorského

území v zahraničí bude vhodnější rozšířit oblast dodatečného určení vlivu centrální zóny z 0 - 5 km na 0 - 48,5 km.

Rozhodujícím činitelem pro hromadnou výrobu těchto speciálních map bude přechod k určení vlivu oblasti /48,5 - 305,4/km numerickou integrací na počítači. K tomu je třeba dokončit soustředění středních hodnot tíhových anomálií a nadmořských výšek.

2. Postup zpracování obsahu mapy

2. 1. Transformace tížnicových odchylek na zahraničním území do systému S-1942

Podkladem pro gravimetrickou interpolaci /zhuštění údajů mezi Laplaceovými body gravimetrickou metodou/ jsou transformované hodnoty složek tížnicových odchylek /4/ ze systému EUR-50 do S-1942 /5/. Transformace byla uskutečněna dvakrát nezávisle určenými vztahy

a/ pomocí translačních prvků pro středy příslušných elipsoidů /5/,

b/ pomocí transformačních vztahů prof. Christova /6/.

Pro posouzení spolehlivosti transformace byly vypočteny z dvojice výsledných veličin na identických bodech rozdíly. Střední chyba je pro složku v meridiánu $m_{\xi}^{\prime} = \pm 0,03$ a pro složku v 1. vertikálu $m_{\eta}^{\prime} = \pm 0,17$. Grafické znázornění průběhu rozdílů mezi výsledky obou transformací pro obě složky je na obr. 1 a obr. 2.

2. 2. Určení gravimetrických veličin ξ^{gr} , η^{gr} , ζ^{gr}

Numerická integrace elementárních vlivů tíhových anomálií a hypsometrie proběhla podle metodiky V. F. Jeremějeva pro Laplaceovy body a pro průsečíky zeměpisné sítě $10' \times 15'$ v oblasti integrace /0 - 305,4/km. Pro 30 % průsečíků zeměpisné sítě bylo integrováno pouze do 100 krh. Vliv zóny /100 - 300 km/ těchto bodů byl určen grafickou interpolací, neboť představuje veličinu dosahující malých změn. Dokonce lze na základě místních nespojitostí odhalovat hrubé chyby, přepisy apod. ve vlastním bodovém poli. Vlastní výpočet elementárních vlivů je řešen programem

"Výpočet gravimetrických tížnicových odchylek a výšek kvazigeoidu" na počítači Minsk-22.

Tytéž integrační podkladové údaje Fayeových anomálií jsou využity pro analytické pokračování harmonické funkce vzhůru. Harmonickou funkcí byl součin $r \cdot \Delta g / r$ - vzdálenost od středu Země k bodu nad povrchem Země, Δg - Fayeova anomálie;/ řešením této úlohy na počítači byly určeny tíhové anomálie ve výškách /10, 15, 20, 30/ km nad Laplaceovými body a průsečíky $10' \times 15'$.

Společný výpočet složek gravimetrických tížnicových odchylek, výšek kvazigeoidu a hodnot tíhové anomálie v různých výškách nad Zemí představuje komplexní přístup ke studiu tíhového pole Země. Získané veličiny jsou využitelné pro interpolaci veličin astronomicko-geodetických a výpočet tíhového zrychlení v různých výškách nad Zemí. Praktický význam bude mít tento přístup po zavedení počítače jednotné řady a po vytvoření digitálního modelu tíhových anomálií a terénního reliéfu.

2. 3. Převod gravimetrických veličin do geodetického systému

Veličiny ξ^{gr} , η^{gr} byly využity k lokálním interpolacím astronomicko-geodetických veličin ξ^{ag} , η^{ag} . Byly vymezeny kruhové oblasti interpolace, které se vzájemně překrývaly /obr. 3/, takže výsledné ξ^{ag} , η^{ag} byly získány pro každý bod několikrát. Interpolační rovnice jednotlivých oblastí interpolace, rozdílly mezi výsledky z jednotlivých oblastí jsou součástí elaborátu /archiv VTOPÚ/.

Střední chyby interpolace, určené z údajů na identických /Laplaceových bodech/, jsou určeny v tabulce 1.

Střední chyby interpolace v oblastech 1 až 10 vyjadřují také skutečnost, že údaje v katalogu /4/ jsou zaokrouhleny na celé vteřiny.

Výsledné ξ^{ag} , η^{ag} byly určeny průměrem z interpolovaných hodnot oblastí interpolace. Tím byl získán bodový podklad ξ^{ag} , η^{ag} pro grafickou interpolaci izochar veličin na zahraničním území.

Tabulka 1

Oblast číslo	$m_{\Delta\xi}$	$m_{\Delta\eta}$	$m_{\Delta\xi}$
1	$\pm 0,36$	$\pm 0,54$	-
2	$\pm 0,34$	$\pm 0,61$	-
3	$\pm 0,43$	$\pm 0,63$	-
4	$\pm 0,39$	$\pm 0,60$	-
5	$\pm 0,35$	$\pm 0,56$	-
6	$\pm 0,42$	$\pm 0,95$	-
7	$\pm 0,55$	$\pm 0,52$	-
8	$\pm 0,40$	$\pm 0,79$	-
9	$\pm 0,44$	$\pm 0,51$	-
10	$\pm 0,55$	$\pm 0,73$	-
11	-	-	0,19 m

2. 4. Využití výsledku pro sestavení grafického elaborátu

Na základě získaných údajů bylo vyneseno konstrukční bodové pole veličin

$$\xi_i^{zg} = \text{konst.}$$

$$\eta_i^{zg} = \text{konst.}$$

$$\xi_i - \xi_i^{(0-5)km} = \text{konst.}$$

$$\eta_i - \eta_i^{(0-5)km} = \text{konst.}$$

Na stycích ČSSR - zahraniční území bylo nutno izočáry elaborátu /1/ působovat průběhu izočar na zahraničním území a vytvořit tak ucelené pole. V některých oblastech tak došlo k citelnému zásahu do čs. elaborátu, zvláště tam, kde zpracovatel extrapoloval odvážněji.

3. Perspektivní technologie tvorby speciálních map tížnicových odchylek

3.1. Příprava středních hodnot tíhových anomálií a nadmořských výšek

V souvislosti s přechodem na nový počítač jednotné řady je třeba dokončit digitální model tíhových anomálií a terénního reliéfu. K tomu je možné využít dosud zpracovaných údajů u VTOPÚ i získávaných materiálů ze zahraničí.

3.2. Integrace elementárních vlivů na počítači

Vliv zón od 48,5 km do 305,4 km na gravimetrické veličiny lze určit pomocí výpočtu na počítači pro libovolně hustou síť bodů. Obvykle je volena síť tvořená průsečíky zeměpisné sítě $10' \times 15'$, v horských oblastech pak $5' \times 7,5'$.

Vliv oblasti /0 - 48,5 km/ je vhodné určit pomocí šablon ruční metodou. Určení vlivu této oblasti není natolik obtížné ani pracné, neboť šablonu lze upravit na bodovou.

Spojením určených vlivů /0 - 48,5 km/ a /48,5 - 305,4 km/ se získá celkový vliv, tj. gravimetrické veličiny ξ^{gr} , η^{gr} potřebné pro gravimetrickou interpolaci veličin astronomicko-geodetických.

Za předpokladu využití rozvinuté výpočetní techniky lze vytvořit systém programů a podprogramů s grafickým výstupem:

- vstup dat gravimetrických a astronomicko-geodetických,
- výpočet veličin gravimetrických,
- gravimetrická interpolace do geodetického systému,
- transformace souřadnic B, L, určovaných bodů na pravoúhlé rovinné souřadnice,
- interpolace izočar,
- výstup grafický i číselný.

4. Objem uskutečněných prací

K dispozici bylo 15 Laplaceových bodů čs. AGS, 32 bodů zahraniční AGS s da-

nými hodnotami astronomicko-geodetických složek tížnicových odchylek v S-1942. Toto bodové pole tížnicových odchylek bylo zhuštěno gravimetrickou interpolací na pravidelně rozmístěných bodech v intervalu $30' \times 15'$.

Vcelku byly gravimetrické veličiny ξ^{gr} , η^{gr} , ζ^{gr} určeny na 112 bodech.

Získaná časová norma pro ruční odsouvání elementárních veličin v oblasti /0 - 305,4 km/ s kontrolou připadající na jeden bod pro dvojici pracovníků:

tíhové anomálie - 3 hod.

výškopis - 4,5 hod.

Odděleně pro oblast /0 - 48,5 km/:

tíhové anomálie - 0,8 hod.

výškopis - 1,4 hod.

Nutno připomenout, že pracnost při integraci vlivů pro zónu /102,6 - 305,4 km/ byla podstatně snížena tím, že na 38 bodech byl vliv uvedené zóny získán grafickou interpolací z vlivů určených na bodech zbývajících.

5. Závěr

Na základě provedených prací lze konstatovat:

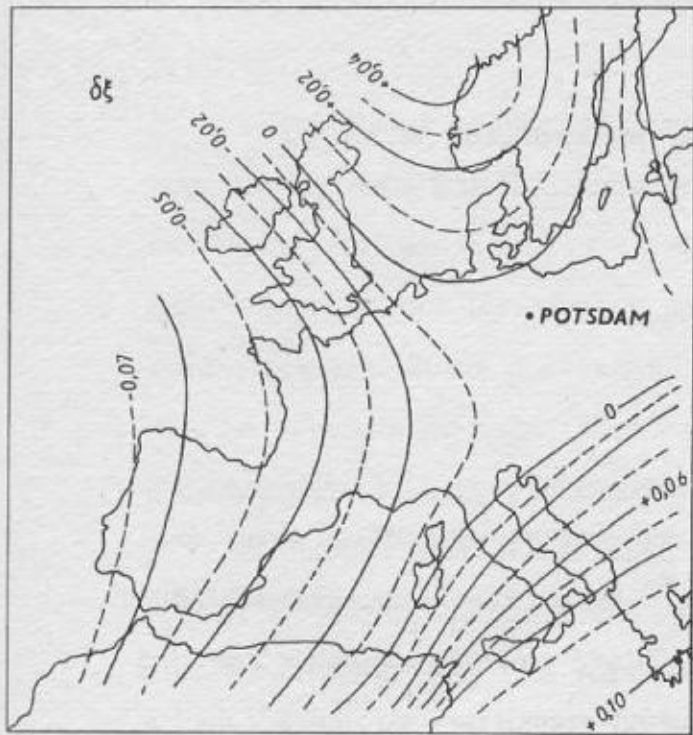
- transformace tížnicových odchylek ze systému EUR-50 do S-1942 byla provedena s nezávislou kontrolou a zřejmě spolehlivě;
- použitá technologie odpovídá současným možnostem;
- byla zvládnuta komplexní technologie gravimetrické interpolace tížnicových odchylek, výšek kvazigeoidu a analytické pokračování harmonické funkce vzhůru;
- je třeba dokončit práce nutné k realizaci předpokladů pro použití perspektivní technologie na novém počítači.

Do vydání map a katalogů tížnicových odchylek se zájmového území lze potřebné tíhové, hypsometrické i číselné podklady včetně šablon získat formou zápůjčky u VTOPÚ Dobruška. Popisy pracovních postupů s návodem na vyhotovení šablon jsou uvedeny v [2].

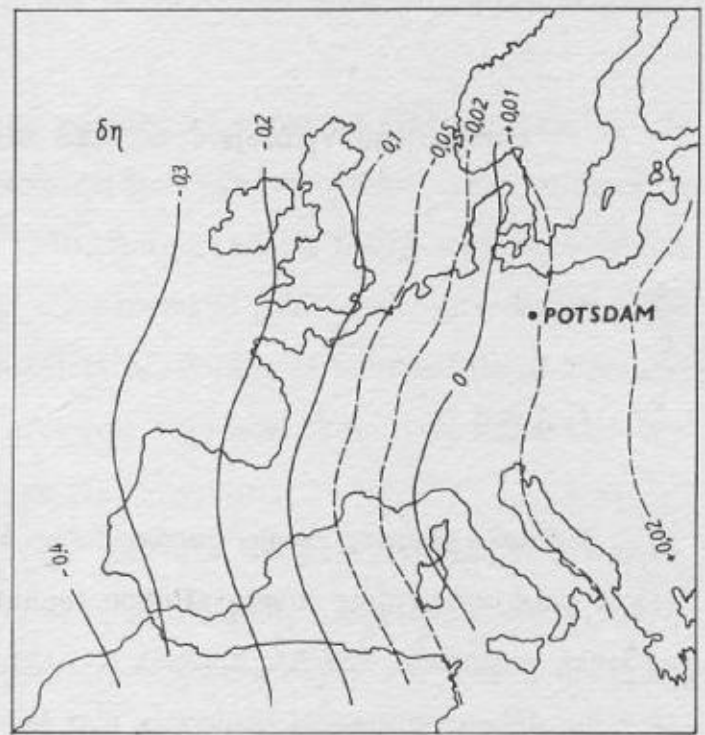
L I T E R A T U R A

- [1] Burša, Kanda, Mařanová: Tížnicové odchylky a výšky kvazigeoidu na území ČSSR a teorie jejich určování. II. Technologické postupy a praktické výsledky. A. Tížnicové odchylky, Praha, VÚGTK, 1972
- [2] Určování tížnicových odchylek a výšek kvazigeoidu pro potřeby TG ZBČV. Návrh služební pomůcky, VTOPÚ Dobruška, 1975
- [3] Technologické postupy pro zpracování tížnicových odchylek a výšek kvazigeoidu pro zájmové území. Směrnice VTOPÚ Dobruška, 1973
- [4] Liste de deviations de verticale au stations rattachées au region européen et Afrique du Nord. IV. edition, IUGG Paris, 1971
- [5] Studium tíhového pole v zájmovém území, závěrečná výzkumná zpráva úkolu XXV-C-4, 1973, VTOPÚ Dobruška
- [6] Sborník vojenské topografické služby. II. část, c/ Přeřad od evropského souřadnicového systému k souřadnicovému systému roku 1952, překlád. GŠ ČSLA, topografické oddělení, Praha 1957

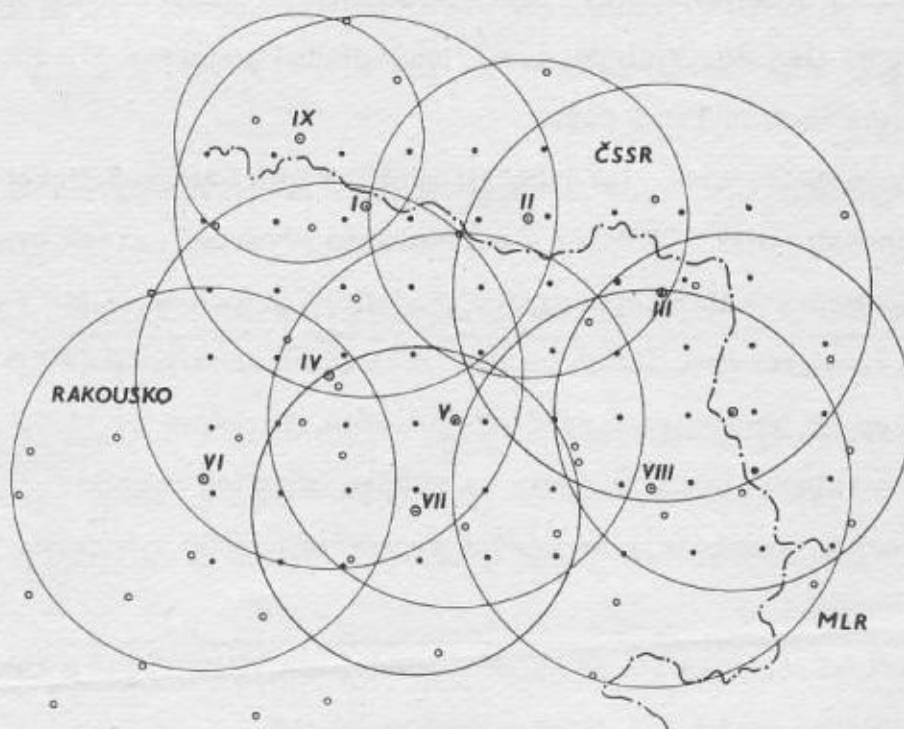
Došlo dne 26. 9. 1975



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3

Perspektivní vyzbrojení měřické skupiny topografickou technikou

1. Úvod

Měřické skupiny /msk/ geodetického nebo topogeodetického odřadu jsou v současné době vyzbrojeny topografickou technikou,^{x/} kterou tvoří soupravy: základní měřická souprava /ZMS/, doplněk k ZMS pro úhlové měření, doplněk k ZMS pro astronomickou orientaci, souprava pro jednoduchou signalizaci ve dne a v noci a osobní souprava. Některé měřické skupiny jsou dále vyzbrojeny doplňkem k ZMS pro rádiové měření délek, nebo doplňkem k ZMS pro elektrooptické měření délek, soupravou gyroteodolitu nebo pojízdnou soupravou gyroteodolitu, malou vyhodnocovací soupravou, gravimetrem apod. Soupravy jsou uloženy převážně v dřevěných transportních bednách a jsou převáženy spolu s výstrojí a výzbrojí obsluhy na valnících Tatra 805 nebo Gaz 69. Výjimku tvoří jen pojízdná souprava gyroteodolitu umístěná ve skříňovém vozidle Tatra 805.

Parametry současné techniky zabezpečují plnění úkolů topogeodetického zabezpečení bojové činnosti vojsk /TZBČV/ s požadovanou přesností, avšak neumožňují nutné zkrácení časových lhůt zejména pro geodetické připojení. Některé úkoly TZBČV, především rozvíjení speciálních geodetických sítí k zabezpečení RVD, může měřická skupina splnit jen v časově nepřijatelné lhůtě. Současný typ vozidla, jeho vnitřní vybavení a způsob uložení techniky na valníku odpovídá charakteru mírových měřických prací a neumožňuje provádění výpočetních nebo vyhodnocovacích

x/ Termín "topografická technika" je ve shodě s předpisem Všeob-26-1 a zahrnuje přístroje topografické, geodetické, fotogrammetrické atd.

prací v terénu. Nutně se kalkuluje s ubytovacím objektem msk jako s pracovištěm. Ve vybavení msk topografických oddělení a msk geodetických oddělení není rozdílu v typech přístrojů, ačkoliv charakter práce je odlišný. Rozdíly jsou jen v počtech přístrojů.

Tento článek je věnován úvaze o perspektivním vybavení měřické skupiny topografickou technikou. Článek má vyprovokovat diskusi na toto téma, která by usměrnila často protichůdné názory a vedla k optimálnímu řešení. Úvahy o perspektivních typech topografické techniky se opírají o publikované údaje o vývoji techniky v civilním sektoru. Podle dosavadních mnoholetých zkušeností lze i nadále předpokládat, že perspektivní topografická technika pro vojenské účely bude v hlavních typech totožná s technikou produkovanou pro civilní sektor.

Z rozboru současného stavu výzbroje měřické skupiny vyplývá, že pro perspektivní vybavení je nutno klást hlavní důraz na techniku a měřické metody, které umožní zkrácení doby pro rozvíjení speciálních geodetických sítí a zkrácení doby pro vyhodnocení topografického průzkumu. Požadavek na zvyšování přesnosti je druhořadý, neboť dosahovaná přesnost obecně vyhovuje.

Požadovaného zkrácení lhůt je možno dosáhnout:

a/ vytvořením mobilního pracoviště, které umožní zpracovat výsledky měření a průzkumu přímo v terénu a přispěje ke zrychlení manipulace s topografickou technikou. Při modernizaci topografické techniky je třeba přihlídnout k účelné diferenciaci přístrojů v závislosti na takticko-technickém charakteru základních úkolů.

b/ zavedením zcela nových perspektivních metod a odpovídající techniky.

2. Výchozí hlediska pro perspektivní vyzbrojení měřické skupiny

Při úvahách o modernizaci topografické techniky jsme vycházeli z úkolů, které plní geodetický nebo topogeodetický odřad a které jsou stanoveny služebním předpisem Topo-1-1. Z nich byly vyvozeny následující základní úkoly pro měřické skupiny:

a/ udržování a doplňování státní geodetické sítě

b/ rozvíjení speciálních geodetických sítí a určování orientačních směrů zejména k zabezpečení RVD

c/ provádění gravimetrických měření

d/ polní práce k obnově topografických map podle leteckých snímků nebo průzkumu v terénu

e/ polní práce k fotogrammetrickému zpracování leteckých snímků a fotogrammetrických dokumentů

f/ provádění topografického průzkumu

g/ provádění speciálních geodetických a gravimetrických prací.

Vzhledem k takticko-technickému charakteru základních úkolů, požadované přesnosti a s ohledem na účel tohoto článku budeme v dalším považovat úkoly ad a/ a c/ za "geodetické", úkoly ad d/ a e/ za "topografické" a úkoly měřických skupin ad b/, f/ a g/ podle charakteru a požadované přesnosti za geodetické nebo topografické. Ke geodetickým úkolům přiřadíme rozvíjení speciální sítě SGS 15'' a všechny přesnější práce, tj. ve státní geodetické síti: dosah délkového měření do 30 - 50 km. K topografickým úkolům přiřadíme rozvíjení speciální sítě SGS 30'' a sítí nižší přesnosti; dosah délkového měření do 5 - 10 km.

Při analýze základních úkolů msk vyplývá určitá rozpornost v požadavcích na přesnost měření v terénu. Zatím co při pracích ve státní geodetické síti a při jejím zhušťování se požaduje obecně přesnost několika centimetrů v poloze a několik vteřin ve směru, je požadovaná přesnost při rozvíjení speciálních geodetických sítí charakterizována polohovou přesností v metrech a směrovou v desítkách vteřin. Odtud vyplývá závěr, že topografická technika určená pro práce s vyšší přesností bude nutně předimenzována při použití pro méně náročné úkoly. Z této skutečnosti vyvozujeme závěr, že topografickou techniku pro vyzbrojení msk je nutno v určité míře diferencovat. Měřické skupiny, které plní převážně "geodetické" úkoly, je třeba vyzbrojit přesnější technikou než měřické skupiny topografických oddělení, které plní převážně "topografické" úkoly.

Od techniky konstruované pro práce s nižší přesností je nutno obecně očekávat pohotovější manipulaci, rychlejší přípravu k měření, menší počet obsluhy, nižší hmotnost, možnost stavebnicové úpravy, zavedení prvků automatizace atd., tedy

vesměs okolnosti, které přispívají ke zrychlení práce. Zanedbatelný není ani ekonomický efekt, který přináší v tomto případě zavedení jednodušší techniky.

Na základě uvedených hledisek navrhujeme diferencované vyzbrojení měřických skupin geodetických oddělení vzhledem k měřickým skupinám topografických oddělení.

3. Vyzbrojení měřické skupiny geodetického oddělení

Pro msk geodetického oddělení se navrhuje vybavení "standardní" technikou, která bude trvale uložena v terénním automobilu se skříňovou karosérií a vybavení "speciální technikou", která se bude přidělovat ze stavu geodetického oddělení dočasně pro plnění úkolů nebo pro převoz.

Standardní technika msk zahrnuje:

- vteřinový teodolit /1 ks/ s příslušenstvím a výbavou pro astronomickou orientaci
- horizontální paralaktickou 2m lať s příslušenstvím /2 ks/
- záměrné terče s příslušenstvím /3 ks/
- elektronickou kalkulačku /1 ks/
- prostředky pro stabilizaci a jednoduchou signalizaci /redukovaná dosavadní souprava ZMS/
- přenosný 5m signál s příslušenstvím /1 ks/
- prostředky pro grafické práce /modernizovaná osobní souprava/
- terénní automobil se skříňovou karosérií, únosnost asi 2 t; účelová vnitřní zástavba pro zřízení mobilního pracoviště velitele msk, pro převoz obsluhy a uložení techniky a materiálu
- nezbytný ženižní, chemický, spojovací, proviantní, výzbrojní a výstrojní materiál.

Ve vývoji standardní topografické techniky pro vyzbrojení msk nelze do roku 1980-85 očekávat změny s výjimkou elektronických kalkulaček. Zavedený vteřinový teodolit THEO 010 vyhovuje a postupně bude modernizován typem THEO 010A. Nelze očekávat změnu u používaných lať BALA fy Zeiss, záměrných terčů téže firmy a u přenosného 5m signálu. K podstatné změně dojde u výpočetní techniky. Dosavadní ruční kalkulační stroje budou nahrazeny elektronickými kalkulačkami s funkčními tlačítky. Jejich vhodný typ pro ČSLA se dosud upřesňuje.

Vzhledem k únosnosti vozidla je nutno redukovat dosavadní soupravy topografického materiálu a to o části určené především pro polní práce v míru. Naopak je nutno zahrnout prostředky pro vytažení a zastaničení techniky na atypických zvýšených stanovištích jako jsou věže kostelů, neporušené tovární komíny, vysoké stožáry, budovy apod.

Jako zdroj elektrické energie v terénu je třeba unifikovat akumulátory, které jsou zahrnuty v příslušenství techniky. Vzhledem k omezené únosnosti vozidla je vhodné používat ve standardní soupravě 2 akumulátory 10 NKN 45 /12 V/ pro osvětlení majáčků v soupravě pro signalizaci a 18 akumulátorů NKN 10 /1,2 V/ pro osvětlení teodolitu, paralaktických latí, záměrných terčů a jako zdroj osvětlovacích reflektorů RST. V typech uvedených akumulátorů nelze očekávat do r. 1980-85 změny.

Terénní automobil se skříňovou karosérií je dán jednotnou řadou vozidel v ČSLA. Dosavadní vozidla T805 a GAZ69 budou nahrazena vozidly GAZ66 se skříňovou karosérií o únosnosti 1,6 t. Ačkoliv by pro úkoly msk vyhovovalo vozidlo o únosnosti asi 2 t, nelze plánovanou řadu nedodržet a nižší únosnost je nutno kompenzovat pečlivým výběrem techniky. Kromě standardní techniky bude přidělována měřické skupině speciální technika jen dočasně pro plnění úkolu a při respektování únosnosti. Speciální technika se bude ve vozidle ukládat v lehkém univerzálním kontejneru, který bude možno jednoduše zaměnit. V kontejneru lze uložit i jinou techniku, např. se zaměřením na speciální práce v míru.

Speciální technika

Speciální topografická technika bude ve stavu geodetického oddělení. Jednotlivé přístroje se budou přidělovat pro msk na dobu plnění speciálního úkolu nebo pro převoz během přesunu. Zbytek speciální techniky bude převážen vozidlem geodetického oddělení. Pro oddělení se navrhuje tato souprava speciální techniky:

- rádiový dálkoměr /geodetický/ s dosahem 30-50 km a s oddělenou anténou. Celkem 6 stanic s příslušenstvím,
- gyroteodolit se střední chybou $\pm 15''$ s příslušenstvím 2 ks,
- "univerzální souprava pro měření podrobné sítě", celkem 2 soupravy. Každá souprava obsahuje teodolit s gyroskopickým nastavcem /stř. chyba $\pm 30''$ /, rádiový dálkoměr /topografický/ s dosahem 5-10 km a příslušenstvím,
- gravimetr s příslušenstvím - 1 ks,

- elektrocentrála s příslušenstvím /v počtu pro 50% msk/.

Ve vývoji speciální topografické techniky lze předvídat do r. 1980-85 tento stav:

Rádiový dálkoměr geodetický:

V ČSLA je dosud používán zastaralý typ rádiového dálkoměru GET-B1, který se více nevyrábí. Hlavním jeho nedostatkem z hlediska úkolů TZBČV je pevná anténa, kterou nelze oddělit od přístroje a vysunout do výše 20-25 m pro měření délek v zalesněném území. Parametry moderního rádiového dálkoměru v podstatě splňuje typ LUČ /SSSR/ s dosahem 40 km a přesností $\pm /3 \text{ cm} + 3 \cdot 10^{-6} D/$. K LUČi je dodáván skládací stožár o výšce 25 m, který však pro svou hmotnost /300 kg/ a nutný počet obsluhy /6-8 mužů/ není pro vyzbrojení msk reálný. V úvahu přichází druhá varianta s teleskopickým stožárem o výšce 16 m /hmotnost 137 kg/. Jeho výška je poněkud malá vzhledem k výšce porostů na našem území. Je nutno navrhnout vhodné prodloužení teleskopického stožáru, případně hledat možnost záměny modernějším typem o výšce alespoň 20 m a hmotnosti menší než 137 kg. Vývojem stožárů se zabývají v MLR [6].

Pro vyzbrojení geodetického oddělení se doporučuje celkový počet šesti stanic LUČ. Tento počet se opírá o fakt, že při měření stran polygonového pořadu provádějí měření dvě korespondující stanice a třetí se přesunuje. S počtem 6 stanic může geodetické oddělení rozvinout současně dva polygonové pořady nebo urychleně měřit jeden pořad ze dvou konců. Počet 6 stanic je vhodný i pro zaměření stran trojúhelníkových sítí /řetězců/, kdy 3 stanice jsou umístěny na vrcholech počátečního trojúhelníku a další 3 stanice se přesunují. Z požadavku na zvýšení rychlosti při topogeodetickém připojení vyplývá, že jedné msk lze přidělit jen jednu stanicí dálkoměru LUČ. Měření délky 30-40 km trvá přibližně 1/2 hodiny, ale přesun msk, jak ukazují závěry ze cvičení, trvá na tuto vzdálenost asi 3 hod. Umístění dvou korespondujících stanic dálkoměru na jediném vozidle by celý proces měření délek značně zpomalilo.

Sériová výroba přístroje LUČ není v SSSR zabezpečena. V zemích RVHP v současné době kromě přístroje LUČ existuje prototyp moderního rádiového dálkoměru GET-A2 /MLR/, který byl předveden již v roce 1965, ale jeho sériová výroba nebyla zahájena. Bude-li trvat tento stav, doporučuje se jako náhradní řešení moderní-

zace dosavadních typů GET-B1. Modernizace by spočívala v konstrukčním oddělení antény od přístroje bez podstatného zkrácení dosahu. Vzhledem k tomu, že sériová výroba GET-B1 byla již zastavena, bylo by nutné zrušit polovinu odrazových stanic GET-B1 /v každé dosavadní soupravě je 1 řídicí stanice a 2 odrazové/ a použít je na náhradní součástky.

Vývojem rádiových dálkoměrů se zabývá také PLR. Dosavadní typy RG-10 /RAWAR, Waršava/ nevyhovují pro ČSLA, poněvadž mají anténu pevně spojenou s přístrojem.

Gyroteodolit s přesností $\pm 15''$:

V ČSLA se používá gyroteodolit Gi-B2 se střední chybou $\pm 12''$ a s automatickým sledováním oscilací citlivého prvku. Tento typ přesností vyhovuje pro vyzbrojení msk geodetického oddělení. Zkrácení poněkud dlouhé doby na měření jedné série /45 min./ není možné bez podstatného zásahu do konstrukce a nárůstu příslušenství. Pro období do r. 1980-85 nelze předpokládat vývoj jiného vhodnějšího typu pro potřeby ČSLA. Závodem MOM /MLR/ byl vyvinut v r. 1975 gyroteodolit Gi-B21 s přesností $\pm 3''$. Konstrukční složitost soupravy i technologie měření nevyhovují pro masové nasazení v ČSLA.

Pro geodetické oddělení se doporučují 2 gyroteodolity Gi-B2. Tento počet vychází ze sestavy jednoho gyroteodolitu a tří stanic rádiového dálkoměru pro zaměření polygonového pořadu o dlouhých stranách.

Univerzální souprava pro měření podrobné sítě:

Složení této nově navrhované soupravy je popsáno v odst. 4, poněvadž tvoří hlavní část techniky pro msk topografického oddělení. Doporučuje se přidělit 2 soupravy geodetickému oddělení pro plnění úkolů "topografického" charakteru, např. pro topogeodetické připojení RVD v oblastech s hustou sítí geodetických bodů /1 bod /20 km² / .

Gravimetr:

V období do r. 1980-85 se doporučuje vybavit geodetické oddělení širokopásmovým gravimetrem GMT-1 /SSSR/. Desetinný gravimetr je vhodný pro vojenské použití vzhledem k rozsahu asi 600 miligalů.

Elektrocentrála:

Elektrocentrála 220 V s výkonem 1 kVA je určena pro dobíjení akumulátorů a pro osvětlení pracoviště ve skříňové karosérii. Byla zařazena do počtů speciální techniky a přiděluje se jen těm msk, které nevezou rádiový dálkoměr s teleskopickým stožárem. Tím se respektuje limitující únosnost vozidla, která by byla překročena při vysoké hmotnosti teleskopického stožáru.

4. Vyzbrojení měřické skupiny topografického oddělení

Pro msk topografického oddělení se navrhuje topografická technika, která bude trvale uložena ve skříňové karosérii. Nepředpokládá se přidělování další speciální techniky ze stavu topografického oddělení.

Pro vyzbrojení msk se doporučuje tato technika:

- univerzální souprava pro měření podrobné sítě - /1 souprava/
- horizontální paralaktická 2m lať s příslušenstvím /2 ks/
- záměrné terče s příslušenstvím /3 ks/
- elektronická kalkulačka /1 ks/
- prostředky pro stabilizaci a jednoduchou signalizaci /redukovaná dosavadní souprava ZMS/
- přenosný 5m signál s příslušenstvím /1 ks/
- prostředky pro grafické práce /modernizovaná osobní souprava/
- malá vyhodnocovací souprava
- elektrocentrála 220 V, 1 kVA
- terénní automobil se skříňovou karosérií, únosnost asi 2 t; účelová vnitřní zástavba pro zřízení mobilního pracoviště velitele msk, pro převoz obsluhy a uložení techniky a materiálu
- nezbytný ženižní, chemický, spojovací, proviantní, výzbrojní a výstrojní materiál.

Z porovnávání navrhované výzbroje pro msk geodetického oddělení a pro msk topografického oddělení vyplývá určitá diferenciace. U topografického oddělení nemá měřická skupina teodolit Theo 010. Pro úhlové a délkové měření a pro autonomní orientaci má trvale přidělenou "univerzální soupravu pro měření podrobné sítě";

pro vyhodnocování průzkumu má malou vyhodnocovací soupravu a pro osvětlení mobilního pracoviště ve skříňové karosérii má trvale elektrocentrálu.

Univerzální souprava pro měření podrobné sítě je nově navrhovaná souprava. Obsahuje teodolit s gyronástavcem typu Gi-C11 a topografický rádiový dálkoměr. Gyroteodolity Gi-C11 jsou již v ČSLA zavedeny. Při měření gyroskopického azimutu dosahují přesnosti $\pm 30''$. Vlastní teodolit Te-B je vteřinový teodolit pro měření vodorovných a svislých úhlů. V ČSLA sice nejsou zkušenosti s tímto typem teodolitu, avšak z hlediska přesnosti pro topografické práce nemohou vzniknout pochybnosti o vyhovujících technických vlastnostech. Centrační podložka gyroteodolitu Gi-C11 je typu Zeiss a dovoluje využití trojpodstavcové soupravy pro paralaktické latě BALA i záměrné terče fy Zeiss, které jsou v ČSLA zavedeny.

Jako druhou složku univerzální soupravy doporučujeme topografický rádiový dálkoměr. Vzhledem k taktickému použití je třeba, aby topografický dálkoměr měl tyto parametry: dosah minimálně 5 km, přesnost ± 10 cm až ± 20 cm, hmotnost řídicí stanice s baterií do 10 kg, hmotnost odrazové stanice s baterií do 5 kg, možnost upevnění odrazové stanice na vytýčce nebo jiném lehkém přenosném signálu ve výši minimálně 2 m, digitální odečítání hodnot, provedení řídicí stanice ve stavebnicové úpravě /spolu s gyroteodolitem Gi-C11/.

Řídicí i odrazová stanice topografického dálkoměru se přiděluje jedné měřické skupině /na rozdíl od geodetického rádiového dálkoměru/ a převáží se na jednom vozidle.

V současné době se v zemích RVHP nevyrábí topografický rádiový dálkoměr. Podle údajů publikovaných v r. 1974 [3] lze vývoj takového přístroje očekávat v SSSR. Pro porovnání požadovaných parametrů uvedeme krátkou charakteristiku teluometru CA 1000 /Anglie/ [2], který lze zařadit k topografickému dálkoměru. Hmotnost řídicí stanice s baterií pro 5hodinový provoz je 4 kg, hmotnost odrazové stanice je tatáž, dosah je 10 km a při použití výkonnější antény až 30 km.

Do doby, než bude vyráběn sériově vhodný topografický rádiový dálkoměr v zemích RVHP, doporučuje se zařadit do univerzální soupravy jako náhradní světelný dálkoměr EOK 2000 /fa Zeiss/ nebo nově vyvinutý Telemetr DLS/PLR/. Dálkoměr EOK 2000 se v ČSLA s úspěchem používá v několika exemplářích. Spolu s gyroteo-

dolitem Gi-C11 může využívat trojpodstavcovou soustavu systému Zeiss, ale nelze využít stavebnicové úpravy gyroteodolitu.

V r. 1976 byl v PLR ověřen násadový světelný dálkoměr Telemetr DLS s luminiscenční diodou / $\lambda = 900 \text{ nm}$ / a s dosahem asi 1 km. Jeho předností je konstrukční provedení ve formě dálkoměrného nástavce na teodolit Gi-C11. Toto konstrukční provedení přináší úsporu času při měření polygonových pořadů. Pro využití v ČSLA je určitým nedostatkem poměrně krátký dosah. Je nutno přístroj ověřit při práci v terénu, zejména jeho dosah. Na základě výsledků bude možno fundovaně navrhnout, který z typů světelných dálkoměrů by bylo vhodné do soupravy zařadit. Uváděný dosah 1000 m u Telemetru DLS je poměrně krátký a již za slabého oparu může klesnout o stovku metrů.

Malá vyhodnocovací souprava obsahuje obkreslovač leteckých snímků LUZ fy Zeiss a zrcadlový stereoskop s jednoduchým stereometrem. Souprava je určena především pro vyhodnocování topografického průzkumu a rychlé doplňování map jednoduchými metodami. Souprava vyhovuje svému účelu a ve vývoji přístrojů nelze očekávat změny.

Terénní vozidlo se skříňovou karosérií je totožné s vozidlem určeným pro msk geodetického oddělení. V účelové zástavbě se navrhuje dílčí změny. Skříňová karosérie pro msk topografického oddělení nemá úpravu pro teleskopický stožár rádiového dálkoměru. Naopak se požaduje, aby pracovní stůl pro náčelníka msk byl konstruován jako prosvětlovací minimálně v rozměru topografické mapy. Trvalé osvětlení pracovního prostoru zabezpečuje převážená elektrocentrála, je-li vozidlo v klidu. Za přesunu je zdrojem osvětlení přídatná baterie. Provádění odborných prací za přesunu se předpokládá jen v omezeném rozsahu.

5. Nové metody a technika pro zrychlení prací při rozvíjení speciálních sítí

V úvodu bylo podotknuto, že hlavním cílem modernizace výzbroje měřické skupiny je zrychlení prací při topogeodetickém připojení ve prospěch RVD a jiných druhů vojsk. Optimálním výsledkem by bylo určení souřadnic požadovaného bodu

v prostoru bojové sestavy současně s jejím zaujetím nebo ještě dříve. Dnešní prostředky msk i po provedené modernizaci neumožní splnění takového požadavku ve většině případů. Pro určení souřadnic stanoviště současně s jeho zaujetím jsou ve výzbroji ČSLA topografické připojovače GAZ-69-TM, které dosahují přesnosti $\pm 0,5 \%$ projeté vzdálenosti prakticky do 10-15 km od výchozího bodu. Tato přesnost nevyhovuje pro geodetické účely a je podstatně nižší než polohová přesnost speciální geodetické sítě nejnižšího řádu SGS 60". Některé úvahy o využití topografického připojovače pro geodetické účely jsou uvedeny v rešerši [4].

S blízkou perspektivou lze uvažovat o dvou metodách dovolujících zrychlení prací při rozvíjení speciálních sítí:

1/ metoda inerciální navigace s využitím inerciálního /geodetického/ připojovače

2/ metoda aerogeodetického systému s využitím aparatury RDS-2, jejíž řídicí stanice je umístěna na vrtulníku.

O vývoji inerciálního geodetického připojovače v zemích RVHP nejsou publikovány žádné ucelené zprávy. Z dílčích výsledků publikovaných v dostupné literatuře však lze usuzovat, že na vývoji takového přístroje se pracuje. Perspektivně je třeba plánovat vyzbrojení geodetického oddělení inerciálním připojovačem, který dosahuje podle dosavadních zkušeností vyhovující přesnosti. V r. 1964 byly publikovány údaje o inerciálním geodetickém připojovači konstruovaném v USA, kterým byla dosažena přesnost 1:500 při volném polygonovém pořadu do vzdálenosti 10 km, 1:1000 při uzavřeném polygonovém pořadu v prostoru 15x15 km a přesnosti 1:3000 při uzavřených polygonových pořadech s uzlovými body v prostoru 60x60 km. Připojovač byl převážně na vrtulníku. Bližší údaje jsou uvedeny v rešerši [4].

Vývoj aerogeodetického systému byl v SSSR úspěšně zakončen. Ověřovací zkoušky s aparaturou RDS-2, jejíž řídicí stanice byla umístěna na vrtulníku, prokázaly, že v současné době lze určit polohu pozemního vrcholu nacházejícího se pod vrtulníkem s přesností ± 12 m během 1 hodiny [1]. Při dalším vývoji, zejména po zpřesnění metody určení excentricity vrtulníku vzhledem k pozemnímu vrcholu a po zařazení samočinného počítače přímo do vrtulníku lze očekávat určení polohy

pozemního vrcholu s přesností ± 3 až 5 m prakticky v době průletu vrtulníku nad určeným vrcholem.

Očekávaná polohová přesnost při použití aparatury RDS-2 odpovídá přesnosti speciálních sítí SGS 30'' a SGS 60''. Pro řadu úkolů TZBČV přinese nasazení vrtulníku s aparaturou RDS-2 požadované zkrácení lhůt na topogeodetické připojení.

Organizační zabezpečení aerogeodetického systému přesahuje možnosti geodetického oddělení a proto je nutno uvažovat o jeho začlenění ke geodetickému odřadu.

6. Závěr

Topografická technika, kterou je vyzbrojena měřická skupina, umožňuje plnění všech úkolů při TZBČV v požadované přesnosti a kvalitě, v některých případech ale v časově nepřijatelných lhůtách. V soulase s trendem vývoje topografické techniky se navrhuje účelná modernizace techniky měřické skupiny zaměřená především na zkrácení lhůt, na možnost měření za špatné viditelnosti, v zalesněném terénu a na možnost zpracování některých výsledků přímo v terénu. Současně se perspektivně zvažují dvě metody neklasického určení polohy, tj. metoda inerciální navigace s použitím inerciálního geodetického připojovače a aerogeodetická metoda s využitím aparatury RDS-2, jejíž řídicí stanice je umístěna na vrtulníku.

L I T E R A U R A

- [1] Bugajev, Maslennikov, Saveljev: Věrtoljotnyj variant sistemy RDS-2". Geod. i kart. čís. 2/1976
- [2] Deumlich: Instrumentenkunde der Vermessungstechnik, Berlin 1974
- [3] Genike, Naumov, Spiridonov: O sovremennom sostojanii i perspektivach razvitija geodezičeskogo priborostrojenija. Geod. i kart. čís. 11/1974
- [4] Martinák: Autonomní prostředky pro určování polohy bodů. Rešerše X-C-7, VTOPÚ Dobruška 1971
- [5] Martinák: Využití aerogeodetického systému pro TZBČV se zaměřením na RDS. Studie X-C-5, VTOPÚ Dobruška 1970
- [6] Symposium představitelů geodetických služeb socialistických zemí o elektronickém měření vzdáleností a gyroskopických metodách orientace, BLR 1974. Protokol o symposiu s materiály.

Došlo dne 15. 7. 1976

Zjišťování parametrů jaderných explozí seismickými metodami

1. Úvod do seismologie a seismometrie

A. Zdroj seismických vln

Při náhlém uvolnění energie, ať již v důsledku zemětřesení či exploze v plášti Země, dochází v nejbližším okolí k vytvoření zóny plastické deformace. Za jejími hranicemi se šíří elastické deformace, jimž říkáme seismické vlny. Místo uvolnění energie se nazývá ohnisko a je zdrojem seismických podélných a příčných objemových vln, šířících se celým zemským tělesem. Jejich odrazem a lomem na hustotních rozhraních uvnitř Země vznikají další typy objemových vln. Při jejich dopadu na povrch Země vznikají povrchové vlny, které se šíří pouze tenkou svrchní vrstvou kůry a s hloubkou se exponenciálně zeslabují.

Polohu zdroje udáváme zeměpisnými souřadnicemi epicentra a hloubkou hypocentra. Význam těchto pojmů je patrný z obr. 1. Velká část ohnisek zemětřesení leží v hloubkách kolem 30 km, existují však i zemětřesení s ohnisky hlubokými až 700 km. Méně často se vyskytují povrchová zemětřesení. Hloubka ohnisek podzemních jaderných explozí může být maximálně několik kilometrů. Rozměry ohnisek jsou od stovek metrů u jaderných explozí až po několik stovek kilometrů u velkých zemětřesení.

Charakter generovaných seismických vln je silně ovlivněn geometrií zdroje, velikostí uvolněné energie, fyzikálně-geologickými vlastnostmi okolního prostředí a časovým průběhem uvolnění energie. U zemětřesení je oblast zóny plastických deformací až o dva řády větší než u srovnatelných explozivních ohnisek. Doba, po kte-

rou působí síly v ohnisku zemětřesení, je až o několik řádů delší, než u srovnatelného explozivního zdroje.

Ohnisková energie jaderných explozí je malá ve srovnání s energií silných zemětřesení. Energie největších explozí představuje méně než desetinu energie, uvolněné při středně silném zemětřesení. Při podzemních explozích se asi 28 % veškeré uvolněné energie přemění v teplo a 68 % se spotřebuje na mechanické rozrušení hornin. Jen malá část celkové energie se uvolní ve formě seismického vlnění. Velikost energie připadající na tyto vlny závisí na typu exploze /podzemní, pozemní, vzdušná/, geologii ohniska a utěsnění nálože. Při podzemních, dobře utěsněných explozích činí pouze několik desetin procenta celkové uvolněné energie. Poměr seismické energie E_s k celkové ohniskové energii E se nazývá seismický efekt. Celková ohnisková energie jaderných explozí se udává ve váhových ekvivalentech trinitrotoluenu /TNT/. V literatuře se uvádí, že při jaderné explozi s ekvivalentem 1 kt TNT se uvolní energie $E = 4 \cdot 10^{12}$ J. Odhad ohniskové energie, případně nálože Q , je založen na určování velikosti seismické energie pomocí seismogramu. Vztah mezi E_s a E je složitý. Proto se velikost seismické energie charakterizuje veličinou zvanou magnitudo / m , M / a hledají se vztahy mezi magnitudem a ohniskovou energií, případně náloží. Pro dobře utěsněné jaderné exploze provedené ve větší hloubce než 300 m se uvádí následující vztah mezi magnitudem m a velikostí nálože Q v kt TNT:

$$m = \log_{10} Q + 3,65.$$

Náloži 15 kt TNT tedy za uvedených podmínek odpovídá magnitudo $m = 4,8$. Pro jiné typy explozí je tato závislost složitější a vyjadřuje se většinou graficky.

Magnituda se počítají z různých typů vln podle vzorce

$$m = \log_{10} \frac{A}{T} + \sigma(\Delta, h),$$

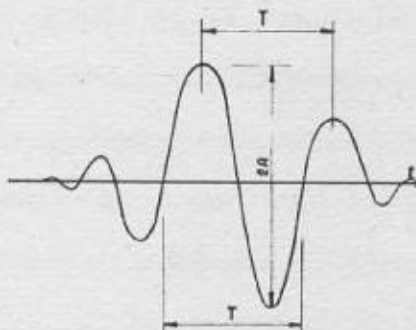
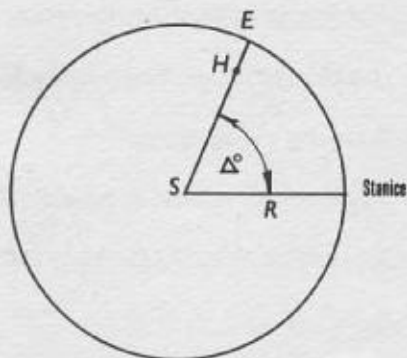
kde A je taková amplituda pohybu půdy v milimikronech, pro kterou je poměr $\frac{A}{T}$ maximální, T je velikost odpovídající periody v sekundách a $\sigma(\Delta, h)$ je kalibrační funkce vyjadřující závislost $\frac{A}{T}$ na epicentrální vzdálenosti Δ a hloubce ohniska h . Význam pojmů amplituda, perioda a epicentrální vzdálenost je patrný z obr. 1 a obr. 2. Velikost epicentrální vzdálenosti se udává ve stupních. Magnitudo počítané z povrchových vln se označuje M a jeho velikost získáme dosazením do vzorce

$$M = \log_{10} \frac{A}{T} + 1,66 \log_{10} \Delta + 3,3.$$

Mezi magnitudy určenými z objemových vln (m) a z povrchových vln (M) platí vztah

$$M = a.m - b ,$$

kde a, b jsou konstanty, jejichž hodnoty jsou stanoveny empiricky. Důležité je, že jsou jiné pro zemětřesení a jiné pro exploze. Na tomto rozdílu je založeno magnitudové kritérium rozlišování explozí od zemětřesení.



Obr. 1 Vysvětlení pojmů epicentrum, hypocentrum a epicentrální vzdálenost Δ

Obr. 2. Vysvětlení pojmů amplituda a perioda seismických vln

B. Seismické vlny a vliv stavby Země na jejich šíření

Seismické vlny se zemským tělesem šíří v souladu s obecnými zákony o vlnění. Typy vln a jejich vlastnosti dostáváme řešením vlnové rovnice v trojrozměrném prostoru. I zde se zavádí pojem vlnoplocha a její ortogonální trajektorie se nazývá seismický paprsek.

Podle způsobu existence různých typů objemových vln rozdělujeme část zemského povrchu mezi epicentrem a místem registrace vln na čtyři zóny v závislosti na epicentrální vzdálenosti:

a/ První zóna sahá do epicentrálních vzdáleností 800 až 1200 km. Zde se setkáváme s vlnami, které se šíří zemskou kůrou silnou 30 až 40 km a bezprostředně pod její hranicí, zemským pláštěm. Jsou to objemové vlny lomené, odražené a čelné. Střední rychlost šíření je u těchto vln kolem 6 km.s^{-1} . Zápis seismického jevu se

vyznačuje krátkými časovými úseky mezi vstupy vlnových skupin, krátkou délkou záznamu jevu /10 až 30 s/ a krátkými periodami objemových vln /0,05 až 2,5 s/.

b/ Druhá zóna sahá od 1200 do 2000 km a nazývá se zóna seismického stínu, protože se vyznačuje malými amplitudami seismických vln, což souvisí s kanálem nízké rychlosti v zemském plášti. Závislost rychlosti šíření objemových vln na hloubce v plášti je znázorněna na obr. 3. Periody objemových vln leží v intervalu 0,7 až 4 sekund.

c/ Třetí zóna sahá od 2000 do 12 000 km. Zde se vyskytují vlny odražené od spodní hranice zemského pláště, kde je rychlost šíření podélných vln největší, jak je patrné z obr. 3. Na rozhraní plášť-jádro dosahuje hodnoty $13,6 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Rychlost příčných vln na tomto rozhraní roste až na hodnotu $7,3 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Jádrem se příčné vlny nešíří. Záznam zemětřesení v této zóně trvá několik minut. Periody objemových vln leží v intervalu 1 až 8 sekund.

d/ Čtvrtá zóna sahá od 12 000 do 20 000 km. Začíná stínovou oblastí způsobenou existencí jádra. Za oblastí stínu je možno zaznamenat vlny lomené, prošlé jádrem, které na seismogramu zabírají úsek odpovídající přibližně 10 sekundám. Rychlost šíření těchto vln je patrná z obr. 3. Periody objemových vln v této zóně dosahují až 12 sekund.

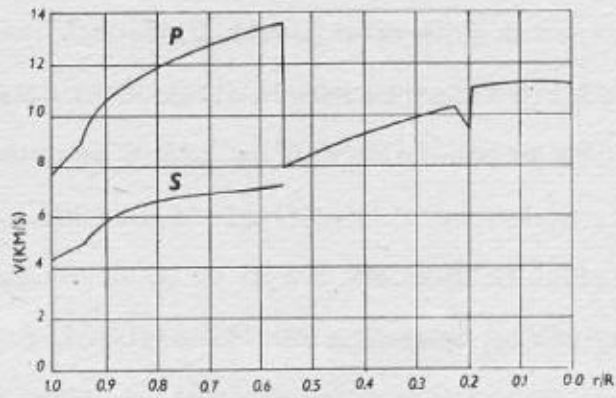
Vlastnosti objemových seismických vln se při jejich šíření prostředím mění. Při odrazech a lomech na hustotních rozhraních /diskontinuitách/ se mění typy vln. Mimo to vlny při šíření interferují, dochází k útlumu atd. V důsledku toho se mění amplitudy vlnových skupin. Proto je důležité studovat teoreticky i prakticky závislost $\frac{A}{T}$ na epicentrální vzdálenosti, tzv. amplitudové křivky. Z hlediska provádění lokalizace /určování zeměpisných souřadnic epicentra spolu s hloubkou hypocentra/ je důležité podrobné studium závislosti času příchodu seismických vln na epicentrální vzdálenosti /tzv. hodochrony/, případně závislost rychlosti šíření povrchových vln na jejich periodě /tzv. dispersní křivky/. Příklad hodochron různých typů objemových vln je uveden na obr. 4.

Přímá podélná objemová vlna se označuje písmenem P . Jednou odražená podélná vlna od zemského povrchu a šířící se opět jako podélná vlna se označuje PP . Podélná vlna prošlá jádrem a šířící se opět jako podélná vlna se označuje PKP . Přímá příčná objemová vlna se označuje písmenem S . Každá objemová vlna má

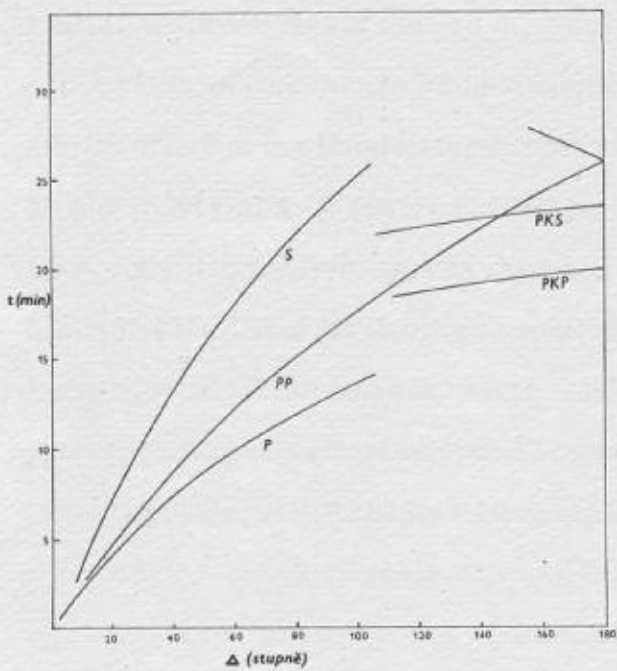
tímto způsobem tvořeno označení, ze kterého je patrné, jakého typu byla vlna původní a výsledná, i jakým způsobem vlna dospěla od zdroje k místu její registrace.

Mimo objemových vln se v tenké vrstvě u zemského povrchu šíří povrchové vlny, jejichž amplituda prudce klesá s hloubkou. Jsou to jednak vlny Loveovy, ve kterých částice půdy kmitají kolmo ke směru šíření, a vlny Rayleighovy, ve kterých se pohyb částic půdy děje ve směru šíření. Vyznačují se velkými periodami /10 až 100 sekund/, dispersí, malou rychlostí šíření /3 až 4 km.s⁻¹ / a malým útlumem v závislosti na epicentrální vzdálenosti.

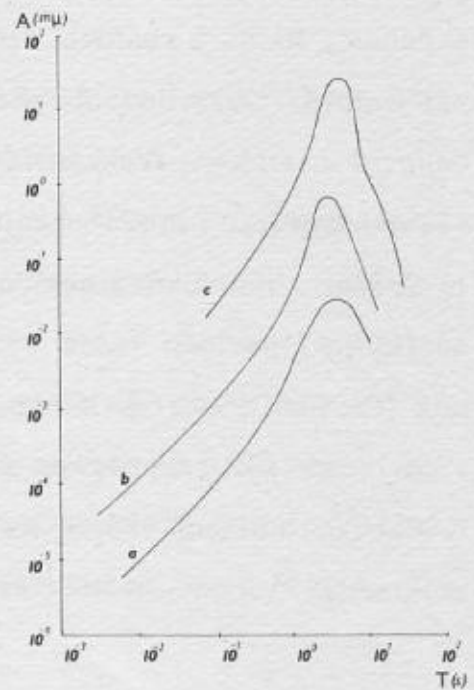
Kromě seismických vln, buzených zemětřeseními či explozemi, se zemským tělesem šíří tzv. seismický neklid a mikroseismy. Seismický neklid vzniká jako důsledek činnosti lidí /doprava, chvění strojů v továrnách, provoz hydroelektráren, atd./. Mikroseismy zachvacují celé kontinenty a mají původ v atmosférických jevech /přesuny vzdušných hmot/ a v nárazech mořských vln na pobřeží. Ukázka závislosti amplitud mikroseism na periodě pro tři základní typy seismických stanic je na obr. 5. Seismický neklid ruší zápis užitečných signálů a znesnadňuje vyhledávání a rozlišování jednotlivých fází seismických vln. Jeho velikostí je určena i tzv. efektivní citlivost registračních přístrojů. Charakter neklidu se mění s místem a časem. Např. s rostoucí vzdáleností od oceánů jeho úroveň klesá. Proto je třeba při budování nových stanic předem zkoumat jeho úroveň na uvažovaných lokalitách, časovou závislost, frekvenční složení a poměr užitečného signálu /např. amplitud vln generovaných zemětřesením/ k úrovni neklidu. Stanice se budují v místech, kde je úroveň seismického neklidu nejnižší. Nejvhodnější jsou takové lokality, kde má neklid pro periodu jedna sekunda střední úroveň amplitud posunutí půdy menší, než jeden milimikron. Mikroseismy mají největší amplitudy posunutí půdy pro periody okolo pěti sekund, kde na tichých stanicích dosahují hodnot až 30 milimikron. K dalšímu snížení úrovně neklidu a mikroseism vede použití filtrů, seskupování seismometrů a numerická filtrace.



Obr. 3. Závislost rychlosti šíření P a S vln na hloubce



Obr. 4. Hodochrony základních typů objemových vln



Obr. 5. Velikost amplitud mikroseism a - tichých, b - středních, c - rušených stanic v závislosti na periodě

C. Záznam seismických vln

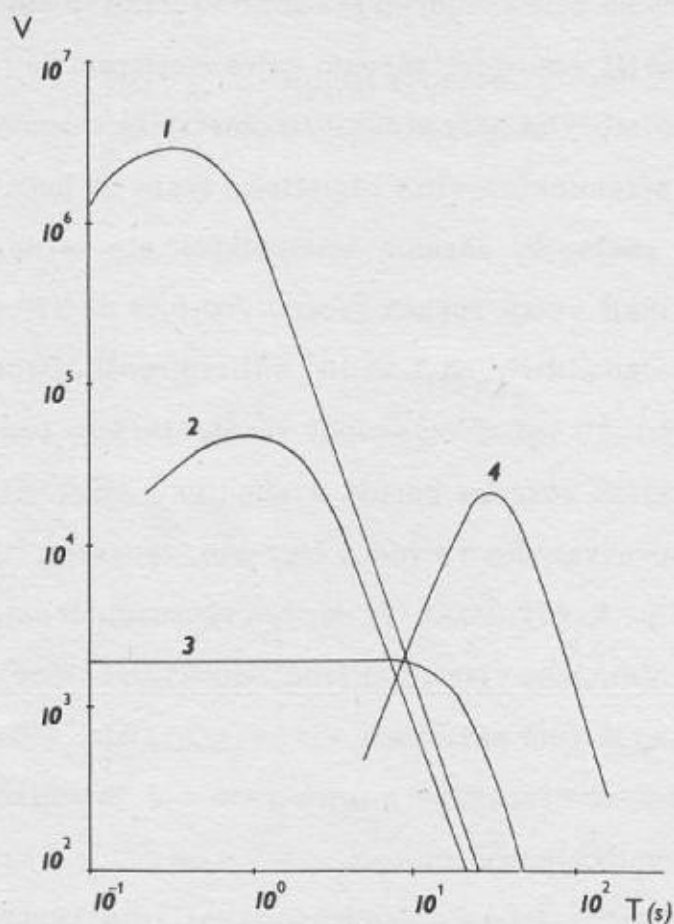
Pohyb půdy vyvolaný seismickými vlnami je obecně trojrozměrný. Proto jej při jeho záznamu rozkládáme dodvou horizontálních složek /obvykle ve směru hlavních světových stran/ a jedné vertikální složky. Snímače pohybu půdy se nazývají seismometry. Skládají se z velké setrvačné hmoty /kyvadla/, která se při pohybu půdy snaží zůstat v původní poloze. Tak vzniká relativní pohyb kyvadla vůči půdě. Kyvadlo je spojeno s cívkou, která se pohybuje v silném magnetickém poli. Pohybem kyvadla se v cívce indukuje elektromotorická síla /elektrické napětí o úrovni jeden mikrovolt/, která se dále vhodnými zesilovači zesiluje a zaznamenává. V současné době je nejběžnější analogový záznam galvanometrem na fotografický papír, teplocitlivý papír, inkoustovými pery a negalvanometrický magnetický záznam. Též již existují záznamy seismických vln v digitálním tvaru na magnetickou nebo děrnou pásku. Grafický analogový záznam seismických vln se nazývá seismogram.

Seismické vlny mají velký rozsah period /od 0,01 do 300 sekund/ a též velký dynamický rozsah /amplitudy od 1 do 10^3 milimikronů/. Protože z technických důvodů zatím nelze vytvořit jediný seismický kanál, který by pracoval s požadovanými vlastnostmi v celém rozsahu period a amplitud, musí být každá stanice, na které je třeba zaznamenávat vlny ze všech čtyř zón, vybavena čtyřmi samostatnými seismickými kanály. Každý kanál je tvořen seismometrem, zesilovači, filtry a registračním zařízením. Jeho vlastnosti jsou charakterizovány tzv. křivkou zvětšení, což je grafické vyjádření závislosti $V(T) = A/Z$, kde A je velikost amplitudy pohybu půdy odečtené ze záznamu v milimetrech a Z je velikost amplitudy skutečného pohybu půdy v milimikronech.

Na obr. 6 jsou křivky zvětšení seismických kanálů dle doporučení "Konference o zákazu zkoušek jaderných zbraní" konané v Ženevě v roce 1958 k vybavení stanic určených ke zjišťování jaderných explozí. Uvedené konference se zúčastnil i československý specialista prof. akad. A. Zátopek.

Ke zjišťování křivek zvětšení se na stanicích pravidelně provádí kalibrace. Na jejím podkladě se nastavují kanály na požadované hodnoty a přepočítává se zaznamenaný pohyb půdy na skutečný.

Součástí seismogramu je i záznam časových údajů, které se z něho odečítají s přesností maximálně desetiny sekundy v závislosti na charakteru začátku záznamu seismického jevu. Registrační rychlost kanálů nastavených podle křivky zvětšení 1 na obr. 6 je obvykle $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Tyto kanály se nazývají krátkoperiodické. Křivka zvětšení 2 na stejném obrázku charakterizuje kanály určené k záznamu velmi blízkých seismických jevů. V tomto případě se používají větší registrační rychlosti než u krátkoperiodických kanálů. Číslem 3 a 4 je označen širokopásmový a dlouhoperiodický kanál. U těchto kanálů se používá menší registrační rychlost než u krátkoperiodických, což souvisí s délkou registrovaných vln.



Obr. 6. Křivky zvětšení seismických kanálů doporučených k vybavení stanic určených k vyhledávání jaderných explozí

Teorie zdroje seismických vln a jejich registrace tvoří základ seismologie a seismometrie, které byly rozvinuty při výzkumu zemětřesení. Studium seismických vln buzených explozemi bylo zjištěno, že řadu pojmů a výsledků ze seismologie a seismometrie lze převzít přímo. Rozdílných vlastností mezi vlnami, generova-

nými explozemi a zemětřeseními se využívá k rozlišování explozí od zemětřesení. Touto problematikou se zabývá následující kapitola.

2. Rozlišování jaderných explozí od zemětřesení

Vzhledem k různému charakteru seismických vln v závislosti na epicentrální vzdálenosti, a tudíž i potřebnému různému přístrojovému vybavení seismických stanic, je na místě rozdělení pozorovaných seismických jevů na blízké a vzdálené.

Vyhledávání blízkých explozí vyžaduje nastavení seismických kanálů podle křivky zvětšení 2 na obr. 6. K lokalizaci a určování času výbuchu je zapotřebí mít k dispozici záznam stejné vlny alespoň ze tří stanic. Jestliže máme záznam z více stanic, je možná kontrola správnosti vyhodnocení daného jevu na jednotlivých stanicích a ocenění přesnosti získaných výsledků. Přitom je třeba mít na zřeteli, že např. příčné vlny se šíří jen do vzdálenosti zhruba 250 km od zdroje a pak následuje stínová oblast, kterou se šíří nezřetelné povrchové vlny. Šíření seismických vln v první zóně je ovlivňováno lokálními nehomogenitami ve stavbě zemské kůry a nejsvrchnějších partií pláště. Proto je nutno pracovat s regionálními hodochronami, které lze například získat studiem odpalů v lomech. Ke znalosti stavby zemské kůry slouží mimo jiné i výsledky hlubinné seismické sondáže, kterou se zabývají příslušné ústavy užitě geofyziky v rámci státního výzkumného úkolu. Dále je třeba se zabývat též studiem dynamických vlastností blízkých explozí, jako např. závislostí vlnového odrazu záznamu exploze na její náloži. Sledování jaderných úderů v prostoru předpokládaného válčiště vyžaduje již v míru vytvoření integrovaných vojenských seismických stanic, vybavených potřebnou technikou, kvalifikovanými vojenskými specialisty a přípravu metodik a programů pro automatizaci procesu vyhledávání jaderných úderů a určování jejich parametrů. Přitom počet stanic závisí na rozloze a geometrii zájmového území.

Praktické vyhledávání vzdálených explozí je třeba oddělit od vyhledávání blízkých explozí a to nejen z hlediska odlišného přístrojového vybavení, ale i z hlediska používané metodiky, protože v každém případě se pracuje s odlišným typem vln.

Uvažujeme-li rozdíly v seismických vlnách při zemětřeseních a explozích, lze najít na seismogramech určité znaky, podle nichž můžeme se známou pravděpo-

dobností odlišit vzdálené jaderné exploze od zemětřesení. Kritéria rozlišování lze rozdělit na dvě skupiny. Na pozitivní identifikátory a diagnostické příznaky. Pozitivní identifikátor je takové kritérium, při němž, jsou-li splněny některé podmínky, se jedná určitě o explozi. Diagnostickým příznakem rozumíme takové kritérium, které nám říká, že jev je s určitou pravděpodobností explozí. V dalším rozdělíme kritéria podle způsobu a metody zpracování seismogramů na několik skupin:

A/ Typová analýza. Zkušený operátor umí při pohledu na seismogram určit, zda seismický jev je či není podezřelý z toho, že by se mohlo jednat o explozi. Ví totiž, jak vypadají charakteristické záznamy zemětřesení z různých seismicky aktivních oblastí Země, explozí v lomech, atd. U tohoto kritéria se ovšem jedná o diagnostický příznak, neboť i vstup "podezřelý z exploze" může být způsoben zemětřesením, či naopak exploze může mít záznam podobný některým zemětřesením, které na dané stanici registrujeme.

B/ Charakter prvního nasazení. Jestliže první výchylka na záznamu vertikálního kanálu, způsobená příchodem seismických vln na stanici, odpovídá pohybu půdy nahoru, říkáme, že první vstup byla komprese. Jestliže pohyb půdy nastal směrem dolů, je první vstup dilatace. Dříve se vycházelo z předpokladu, že při explozi se jedná o jednoduchý model ohniska, z něhož se šíří tlaky ze středu rovnoměrně do všech směrů, tedy že na všech světových stanicích by mělo prvé nasazení mít podobu komprese. V dalším výzkumu ale bylo zjištěno, že nelze zcela použít tohoto zjednodušujícího předpokladu o ohnisku, neboť jeho charakter je ve skutečnosti složitější a mimo to že dochází ke změnám vlnového obrazu v procesu šíření od zdroje k místu registrace. Dalším faktorem, ovlivňujícím charakter prvního nasazení, je zkreslení registrační aparaturou a skutečnost, že první nasazení má ve srovnání s následujícími kmity amplitudu menší, která snadno zaniká v seismickém neklidu, zvláště u slabých jevů. Jedná se tedy opět o diagnostický příznak, a to ještě jen pro dostatečně silné jevy. Seismické jevy s magnitudem $m > 5,6$ a prvním nasazením jako dilatace lze považovat za zemětřesení.

C/ Hloubka ohniska. Určíme-li z několika seismogramů z různých stanic hloubku ohniska, pak můžeme s jistou pravděpodobností označit jev za zemětřesení či explozi. Vzhledem k tomu, že dosud nejhlubší vrty byly provedeny do hloubky asi 10 km, lze při určení hloubky větší než těchto 10 km usuzovat na zemětře-

sení. V literatuře se uvádí, že seismické jevy s hloubkou větší než 50 km při $m > 5,5$ můžeme s jistotou pokládat za zemětřesení; jde tedy o pozitivní identifikátor. Tímto způsobem můžeme identifikovat 25 % zemětřesení s magnitudem větším než 5,5.

D/ Poloha epicentra. Seismickými metodami lze ze seismogramů více stanic určit polohu epicentra. Zjistíme-li, že epicentrum leží v oblasti, která je zřetelně seismická a navíc jen nepatrně či vůbec neobydlena, pak to vyvolává podezření na explozi. Toto kritérium je diagnostickým příznakem.

E/ Magnitudové kritérium. Jednou z hlavních kvantitativních charakteristik ohniska, souvisejících s energií a počítaných ze seismogramu, je magnitudo. Magnitudové kritérium se opírá o rozdíly v poměrech M/m při explozích a zemětřeseních. Ukazuje se, že vztah mezi M a m je pro různé oblasti Země různý. Jedná-li se o zemětřesení a exploze z různých oblastí, je rozptyl hodnot poměrů M/m značný. Jedná-li se o jevy z téže oblasti, šíří se vlny za stejných podmínek a rozdíly mezi zemětřesením a explozí jsou mnohem zřetelnější. Magnitudové kritérium je dle literatury považováno za pozitivní identifikátor u jevů s magnitudem $m > 5,5$. K výpočtu magnituda M je zapotřebí širokopásmový kanál /viz obr. 6, křivka 3/, nebo dlouhoperiodický kanál /viz obr. 6, křivka 4/.

F/ Spektra prostorových vln. U explozí prakticky nezávisí hodnoty period, odpovídajících maximálním amplitudám prostorových vln, na epicentrální vzdálenosti. Na velikosti ohniskové energie /náloži/ závisí velikost period u podzemních jaderných explozí velmi slabě, u ostatních druhů explozí více. Dále platí, že periody prostorových vln explozí a zemětřesení stejného magnituda m jsou srovnatelné, jde-li o kontaktní či vzdušný výbuch, ale u podzemních jsou stejně jako u podvodních až třikrát menší. Toto kritérium tedy umožňuje rozlišovat zemětřesení a různé druhy explozí podle odlišných velikostí period. Větší hodnoty period dostáváme u zemětřesení, ale neobsahují je záznamy podvodních a podzemních explozí. Pro seismické jevy s hypocentrem v zemském tělese a s magnitudem $m > 6,0$ je toto kritérium považováno za pozitivní identifikátor. Procento explozí, odlišených touto metodou od zemětřesení, může být zvětšeno použitím širokopásmových seismických kanálů, které umožňují využití rozdílu ve spektrech prostorových vln explozí a zemětřesení v širším oboru period, než krátkoperiodické seismické kanály.

G/ Spektra povrchových vln. Vzhledem k tomu, že na charakter spekter povrchových vln má vliv stavba prostředí a typ seismického ohniska, je třeba podrobně studovat obě tyto oblasti. Celá tato problematika je dosud málo prozkoumána. Předpokladem k dalšímu rozpracování tohoto kritéria je analýza záznamů z dlouhoperiodických kanálů, majících zvětšení alespoň 10^4 v oblasti period od 20 do 60 sekund. Těchto přístrojů dosud pracuje na světě jen několik a poměrně krátkou dobu. Rozdíly ve spektrech povrchových vln jaderných explozí a zemětřesení považují někteří autoři za diagnostický příznak, jiní dokonce za pozitivní identifikátor.

H/ Složitost záznamu podélných vln. Jedná-li se o záznam téhož jevu, zaznamenaného stejnými přístroji na několika blízkých stanicích, záznamy nejsou stejné, což je způsobeno rozdílným geologickým podkladem, stavbou zemské kůry a nestejným charakterem seismického neklidu na jednotlivých stanicích. K tomu, aby se vyloučil či aspoň zmírnil rušivý vliv těchto faktorů a zvýraznilo to, co je společného záznamům jevu, se používá metody korelace. Počítač může vyhodnotit více záznamů vzhledem k vzájemné autokorelaci a podle tvaru korelační křivky můžeme zjistit řadu informací. Například, zda energie jevu je soustředěna ihned na začátku záznamu, či zda její příjem je rozložen rovnoměrně po čas trvání jevu. Právě těchto odlišností v rozložení energie v průběhu záznamu jevu lze využít při rozlišování zemětřesení od explozí. Abychom se obešli bez složitých přístrojů, zavádějí se pro praktické výpočty některá zjednodušení. Například uvažujeme poměry energie v objemových vlnách v prvních pěti sekundách záznamu k energii v následujících třiceti sekundách. Uvedeným způsobem je definována "složitost" záznamu seismického jevu. Ukazuje se, že složitost záznamu podélných vln závisí na azimutu, geologii v okolí zdroje, hloubce a typu zdroje atd. V literatuře se uvádí vzorec využívající údaje ze záznamu jevu vertikální složkou krátkoperiodického kanálu. Kvantitativní míra složitosti záznamu podélných vln je vyjádřena vztahem:

$$K(t) = \frac{\sum_{i=1}^t A_i}{A_{\max} \cdot n(t)},$$

kde A_i je i -tá dvojnásobná amplituda, A_{\max} je větší amplituda z prvních dvou kmitů, $n(t)$ je počet kmitů po t sekundách od vstupu podélné vlny na stanici. Výhoda tohoto způsobu zavedení kvantitativního ocenění míry složitosti záznamu $K(t)$ je především v tom, že není třeba znát zvětšení seismického kanálu, neboť do výpočtu

vstupují velikosti amplitud v poměrech. Mohou se tedy odečítat přímo ze záznamu v milimetrech. Při zkoumání jevů z jedné ohniskové oblasti se hodnota $K(t)$ považuje za pozitivní identifikátor pro jevy s magnitudem $m > 5,6$. Samotný počet oscilací n/t vzhledem k jedné oblasti se považuje za diagnostický příznak.

Další výzkumy seismických vlnových polí buzených explozemi a zemětřeseními jsou zaměřeny na studium jejich struktury pomocí zvýšení efektivní citlivosti krátkoperiodických, širokopásmových a dlouhoperiodických kanálů zlepšením podmínek jejich instalace, seskupováním seismometrů; použitím číslicové i analogové filtrace, spektrální analýzy, korelace a dalších metod číslicového zpracování časových řad. Zapomínat nelze ani na automatizaci procesu získávání a vyhodnocování seismických informací, což vyžaduje přejít na magnetický záznam seismických vln a použití samočinných počítačů. Neméně důležité je i rozpracování nových, dokonalejších metod stanovení mechanismu a hloubky zdroje seismického jevu.

3. Seismické prostředky k vyhledávání jaderných explozí a k určování jejich parametrů

A/ Metody používané na jediné seismické stanici k vyhledávání jaderných explozí provedených:

a/ kdekoliv na Zemi

Zkušený operátor, pracující delší období na určité seismické stanici, umí využít zvláštností celkového vlnového obrazu na seismogramu, neboť pro jednu stanici mají zemětřesení z určité seismicky aktivní oblasti charakteristickou strukturu záznamu, závislou též na geologii dané stanice. U většiny záznamů seismických jevů operátor odhadne jejich epicentrální vzdálenost.

Souřadnice ohniska lze z jedné stanice bez zvláštního technického zařízení určit jen u silných seismických jevů /s magnitudem $m > 6$ /. Přitom azimut na ohnisko se určuje z velikostí sobě odpovídajících amplitud na záznamu horizontálních pohybů a vzdálenost z časových rozdílů na stanici přicházejících různých typů vln, generovaných zkoumaným zdrojem. Přesnost této metody je malá, zvláště u vzdálených seismických jevů. V současné době však již existuje zařízení, umožňující z analogového záznamu vln širokopásmovým kanálem na magnetické pásce

určovat souřadnice ohniska i u slabých jevů / $m > 5$ / zachycených na jediné stanici v téměř reálném čase.

U zemětřesení a exploze s magnitudem alespoň $m = 5,6$ lze použít k jejich rozlišení charakteru prvního nasazení.

Určení hloubky ohniska je možné jen v určitém intervalu epicentrálních vzdáleností, s přesností obvykle 10 km.

Kdybychom znali, z které oblasti zkoumaný jev pochází, mohli bychom použít magnitudové kritérium. Tato metoda je vhodná pro jevy s větším magnitudem, kdy jsou vybudeny povrchové vlny s postačující intenzitou. Jeho použití vyžaduje zaznamenávat seismické jevy alespoň krátkoperiodickým a dlouhoperiodickým kanálem a dobře znát křivky jejich zvětšení.

K výpočtu spekter prostorových a povrchových vln je třeba číslicový počítač, nebo alespoň analogová zařízení. K analýze se hodí pouze záznamy širokopásmových kanálů na magnetické pásce v analogovém tvaru, nebo na děrné pásce v digitálním tvaru.

b/ na známých zkušebních polygonech

Pokusné jaderné exploze provádějí státy na známých zkušebních polygonech. Kontrolovat exploze, odpálené na těchto polygonech, je jednodušší, protože je známo, jak dlouhá doba uplyne od okamžiku odpálení nálože do příchodu vln na stanici. Dosavadní americké pokusné jaderné exploze byly všechny odpáleny v celou minutu, což podstatně usnadňuje jejich vyhledávání.

Efektivním prostředkem ke zjišťování jaderných explozí ze známých zkušebních polygonů je využití časových rozdílů v příchodu různých typů vln z téhož zdroje na stanici. Využívají se takové typy vln, jejichž záznam je na seismogramu dostatečně zřetelný. Časový rozdíl je pro danou stanici a polygon charakteristický.

Při sledování explozí z určitého zkušebního polygonu je možné nastavit horizontální seismometry tak, že jeden je orientován ve směru azimutu stanice-polygon a druhý kolmo na tento azimut. Jestliže se ve sledovaném polygonu uskuteční exploze, objeví se záznam vln jen na jedné horizontální složce, kdežto vlny přicházející z jiných oblastí budou zaznamenány na obou. Tímto způsobem se provádí automatický výběr signálu ze zájmové oblasti.

B/ Síť seismických stanic

Síť seismických stanic se rozumí několik stanic, které pracují relativně samostatně. Po zachycení vln od seismického zdroje se na každé z nich zpracují prvotní záznamy. Ze seismogramů se odečte čas příchodu první vlny na stanici, typ první vlny, charakter prvního nasazení, velikost periody, amplitudy, délka trvání záznamu vln a totéž pro další typy objemových a povrchových vln. Získané informace se posílají stanoveným způsobem a ve stanovené době do vyhodnocovacího centra, kde se pomocí počítače zjišťují souřadnice epicentra, hloubka hypocentra, hypocentrální čas, typ seismického zdroje a velikost uvolněné energie /magnitudo, nálož/.

Souřadnice epicentra se v tomto případě nepočítají ze záznamů horizontálních složek pohybů půdy, ale z rozdílných časů příchodů prvních vln na jednotlivé stanice sítě, což umožňuje provádět lokalizaci i slabých seismických jevů. Nejlepší výsledky jsou dosahovány u seismických jevů s epicentry uvnitř sítě stanic. Čím větší území tedy chceme sledovat, tím rozsáhlejší síť musíme budovat. K určování souřadnic epicentra, hypocentrálního času s hloubky hypocentra je zapotřebí záznam nejméně ze čtyř stanic sítě. Jestliže je záznam z více stanic, můžeme spočítat chybu výsledku. U blízkých seismických jevů je třeba počítat s tím, že jimi generované vlny se šíří maximálně do epicentrálních vzdáleností kolem 250 km. Proto je třeba při projektování sítě stanic, určených ke sledování blízkých jevů, vzít v úvahu tuto skutečnost a navrhnout ji tak, aby alespoň 3 stanice vždy zachytily seismické vlny od ohniska, umístěného kdekoli na sledovaném území. Přitom se předpokládá, že sledované území není seismicky aktivní a síť se především využívá ke sledování povrchových explozí.

Automatizace sítě seismických stanic spočívá v nalezení vhodného způsobu a zařízení dálkového přenosu /jde o stovky kilometrů/ seismických signálů z jednotlivých stanic do vyhodnocovacího centra, kde vzhledem k velkému objemu zpracovávaných informací je třeba použít počítač.

Ke sledování zemětřesení na celé Zemi byla mezinárodními vědeckými organizacemi vytvořena Světová síť seismických stanic, vybavených dle jednotného doporučení a pracujících podle stejných metodik vyhodnocování seismických jevů. Skládá se z jednotlivých národních seismických stanic. Do vyhodnocovacího centra ve Washingtonu se dálnopisem z každé stanice odesílají informace o zaregistrova-

ných seismických jevech. Vyhodnocení probíhá na číslicových počítačích. Výsledkem jsou zeměpisné souřadnice ohniska s přesností na desetinu stupně, hypocentrální čas s přesností na sekundu, hloubka ohniska s přesností na deset kilometrů a velikost m , případně M . Zpracované výsledky zasílá vyhodnocovací středisko na jednotlivé stanice formou předběžného a měsíčního bulletinu. Do tohoto systému jsou zapojeny i československé civilní seismické stanice. Světová síť seismických stanic slouží i k vyhledávání jaderných explozí a určování jejich parametrů. Tyto výsledky využívají především Spojené státy americké.

Nevýhodou sítě stanic je malá operativnost, zdlouhavost, potíže se spojením mezi stanicemi a centrem a nestejná kvalita jednotlivých seismických stanic, daná především historickými a geologickými podmínkami. V případě vyřazení vyhodnocovacího centra nebo spojení je vyřazena z provozu celá síť stanic.

C/ Seskupování seismometrů /array/.

V současné době nejefektivnějším prostředkem k vyhledávání jaderných explozí a určování jejich parametrů je seskupování seismometrů do různých geometrických útvarů ve vzdálenostech, srovnatelných s vlnovou délkou přijímaných seismických vln. Údaje z jednotlivých seismometrů skupiny se průběžně přenášejí v reálném čase do vyhodnocovacího centra, kde jsou zaznamenávány na magnetické pásky. Záznamy ze všech seismometrů skupiny se současně zpracovávají na počítači, kde se provádí výběr užitečného signálu /seismické vlny generované explozemi a zemětřeseními/ z neklidu, a skládáním ve fázi se vytváří sumární seismogram, který se potom fyzikálně interpretuje. Jestliže je v neklidu nalezen užitečný signál, počítač vypočítá parametry odpovídajícího ohniska, provádí rozlišování zemětřesení od explozí, vyhledává různé typy vln atd. Azimut na ohnisko se určuje z časových rozdílů v příchodu seismické vlny na jednotlivé snímače skupiny.

Ke zlepšení poměru signál/neklid se využívá poznatek, že seismický neklid je v různých místech povrchu Země různý, kdežto mezi seismickými signály z téhož zdroje existuje vztah, zvaný korelace, i když jsou registrovány v různých místech. Proto se na povrchu Země rozmísťují seismometry do různých geometrických útvarů, takže vznikají tzv. seismické antény. Jedna velká skupina s několika stovkami seismometrů rozmístěných ve čtverci o délce strany 200 km nahradí rozsáhlou sítí seismických stanic.

V kapitalistických státech jsou seismické skupiny vybudovány v USA, Kanadě, Velké Británii, Švédsku, Norsku a Austrálii. První z nich byly uvedeny do zkušebního provozu v roce 1965. Nejmenší z těchto skupin se skládají z dvaceti seismometrů a pokrývají území o ploše 25 km². Velké skupiny, např. LASA v USA, umožňují zaznamenat podzemní jadernou explozi nálože o velikosti 1 kt TNT, odpálenou kdekoliv na Zemi, a určují souřadnice ohniska v závislosti na epicentrální vzdálenosti s přesností jeden až deset kilometrů.

Výhodou seismických skupin je především jejich pružnost, operativnost /pokrývají na rozdíl od sítě stanic podstatně menší území/, standardizace přístrojového vybavení i zpracování seismických informací, menší potíže se spojením, zlepšení poměru užitečného signálu k neklidu až \sqrt{N} krát / N je počet seismometrů ve skupině/, použití numerických a analogových metod filtrace atd. Nejdůležitější výhodou je možnost a přímo nutnost automatizace vyhodnocování seismických informací skupiny na počítači, což je u sítě stanic téměř nemožné. Nevýhodou je technická náročnost systému a snadnější možnost vyřazení jaderným úderem v případě války.

4. Některé československé výsledky v seismologii jaderných explozí

Seismologií jaderných explozí se v ČSSR zabývají především specializovaná pracoviště ČSLA. Přitom využívají seismogramy z vojenských seismických stanic, výsledky teoretických i praktických prací civilních seismologických pracovišť a publikované články ve světové odborné literatuře. Cennou pomocí jsou konzultace se sovětskými vojenskými i civilními specialisty-seismology. Některé z teoretických prací ze seismologie jaderných explozí jsou uvedeny v seznamu literatury na konci tohoto článku. Mnohé z nich byly vypracovány v rámci řešení výzkumného úkolu. Seznámíme se především s některými z praktických výsledků ve sledování vzdálených jaderných explozí.

Na území ČSSR je v současné době v provozu několik seismických stanic. Civilní seismické stanice Kašperské Hory /KHC/, Průhonice /PRU/ jsou v kompetenci Geofyzikálního ústavu ČSAV; Praha v kompetenci katedry geofyziky a meteorologie Matematicko-fyzikální fakulty Karlovy univerzity; Bratislava /BRA/, Šrobárova /SRO/, Skalnaté Pleso /SPC/ a Hurbanovo v kompetenci Slovenské akademie věd.

České civilní stanice jsou vybaveny technikou k registraci vzdálených seismických jevů /krátkoperiodické kanály/, slovenské částečně i ke sledování seismické aktivity na Slovensku. Všechny mají fotogalvanometrickou registraci - zápis světelným paprskem na fotografický papír ve tmě. Tato registrace umožňuje vyhodnocovat zaznamenané seismické jevy až souhrnně, obvykle jednou za dvacet čtyři hodin. Stanice Kašperské Hory, Praha a Průhonice jsou kromě krátkoperiodických vybaveny ještě širokopásmovými kanály. Na stanici Kašperské Hory je v provozu mimo fotogalvanometrickou registraci i záznam na magnetickou pásku.

Některé seismické stanice jsou vybaveny speciálními aparaturami k záznamu především vzdálených seismických jevů, na nichž v současné době probíhá nepřetržitá registrace seismických jevů s jejich okamžitým vyhodnocováním. Na jedné z nich byly zahájeny práce na sestavení dlouhoperiodického a širokopásmového kanálu s využitím magnetického záznamu a na seskupování seismometrů. Příklad rozmístění československých seismických stanic vhodných z hlediska seismologie vzdálených jaderných explozí je na obr. 7.

Některé seismické stanice jsou vzájemně propojené, čímž je mimo jiné umožněno i provádění kontroly uskutečněných podzemních jaderných explozí na sledovaných zkušebních polygonech. Za několik minut po provedení exploze na některém ze známých zkušebních polygonů jsou na československých seismických stanicích zaznamenávány vlny generované explozí. U každého zaznamenaného seismického jevu se zjišťuje, zda může pocházet ze sledovaných oblastí či nikoliv. K vyhodnocování seismických jevů se používá charakteristický rozdíl v časech příchodu podélné vlny na stanice, rozdílu v časech příchodu PP a P vln seismogramech jednotlivých stanic /viz obr. 8 a 9/, charakter prvních nasazení na stanicích, určení azimutu směru na ohnisko z jednotlivých stanic a typová analýza. V nejbližší době se bude užívat i magnitudové kritérium spolu s mírou složitosti záznamu.

Pro lepší přiblížení a konkretizaci uveďme několik údajů vztahujících se k jaderným explozím provedeným na zkušebním polygonu Nevada v USA, které byly získány analýzou seismogramů se záznamy seismických vln z československých vojenských stanic.

a/ V následující tabulce jsou uvedeny vzdálenosti některých československých seismických stanic od středu zkušebního polygonu v Nevadě. Vzdálenosti jsou ve

stupních, údaje v závorce jsou azimuty spojnice stanice-polygon. Zeměpisné souřadnice středu uvedeného polygonu jsou $37,1^\circ N$ a $116,1^\circ W$.

St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
$82,8^\circ / 322^\circ /$	$83,1^\circ / 322^\circ /$	$85,2^\circ / 324^\circ /$	$83,2^\circ / 324^\circ /$

b/ Podélné vlny dorazí na Stanici 2 za 12 min. 28,9 sekundy, na Stanici 3 za 12 min. 39,5 sekundy a na Stanici 4 za 12 min. 29,4 sekundy.

c/ Rozdíl v čase příchodu podélné vlny na Stanici 4 a Stanici 2 je jedna sekunda, pro Stanici 3 a Stanici 2 je časový rozdíl roven jedenácti sekundám.

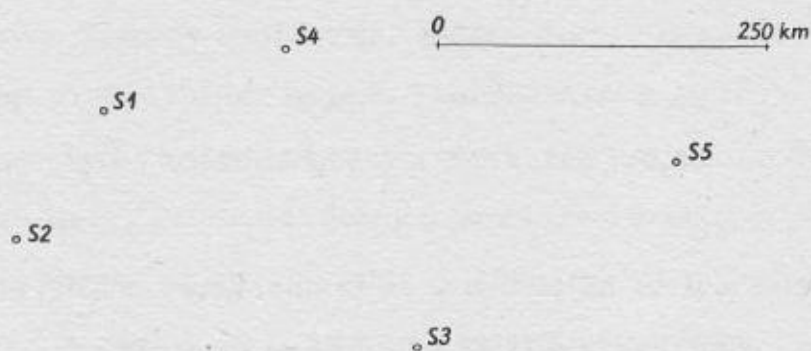
d/ Časové rozdíly v příchodu PP a P vln na Stanici 2 a Stanici 4 jsou v intervalu od 3 min. 08 sekund do 3 min. 14 sekund. Nejčastější hodnota rozdílu je 3 min. 10 sekund.

e/ Pro magnituda m a M počítaná z objemových a povrchových vln jaderných explozí z Nevady zaznamenaných na československých seismických stanicích platí $m:M=1,3 \pm 0,1$. Jako nejvhodnější kalibrační funkce byla odvozena závislost $\sigma(\Delta, h) = \log_{10} \Delta + 2,2$. Chyba takto počítaného magnituda m je menší než $\pm 0,4$ jeho jednotky.

f/ Z tohoto polygonu jsou na československých seismických stanicích registrovány podzemní jaderné exploze vyvolávající vlny s magnitudem alespoň 4,8, což odpovídá minimální ráži 15 kt TNT. V jednom případě byla zaznamenána exploze s magnitudem 4,6.

g/ Všechny jaderné exploze uskutečněné na tomto zkušebním polygonu v letech 1970 až 1975 byly odpáleny v době od 12 do 20 hodin světového času a vždy v celou minutu.

Na speciálním pracovišti ČSLA byla zavedena kartotéka všech provedených jaderných explozí a je stále doplňována. Rovněž je stále doplňován atlas záznamů z vojenských seismických stanic s vlnami generovanými jadernými explozemi a kartotéka literatury vztahující se k seismologii jaderných explozí. Ukázka seismogramů se záznamem seismických vln od slabé a silné podzemní jaderné exploze z Nevady ze Stanice 1 a Stanice 2 je na obr. 8 až 11. Popis jednotlivých kanálů je přímo na obrázku, registrační rychlost byla $60 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.



Obr. 7. Příklad rozmístění seismických stanic, vhodných z hlediska seismologie k registraci vzdálených jaderných explozí

Seznam podzemních jaderných explozí provedených od 1. 1. 1973 do 31. 12. 1975 v Nevadě a zaregistrovaných československými seismickými stanicemi je na konci této kapitoly. Za toto období nebylo zaznamenáno několik explozí, avšak jimi generované seismické vlny měly magnitudo m menší než 4,8.

Jaderné exploze provedené v Indii a Číně nebyly na československých seismických stanicích zaregistrovány vzhledem k tomu, že byly pozemní, vzdušné a malé ráže. Tyto exploze generují především povrchové vlny, které na stanicích, vzhledem k jejich přístrojovému vybavení, nemohly být registrovány. Mimo to velká část energie seismických vln z této oblasti je odrážena zpět kořeny velehor, které pod nimi existují podle izostatické teorie, která vysvětluje různou tloušťku zemské kůry v závislosti na velikosti zatížení rozsáhlých území na základě hydrostatické rovnováhy.

Od jaderných explozí uskutečněných Francií na ostrovech Muroroa jsou na československých seismických stanicích registrovány jasné krátké impulsy vln PKP, které vznikají průchodem podélné vlny jádrem Země.

Americký zkušební polygon na ostrovech Aleuty byl již pravděpodobně zrušen, protože za poslední dva roky se tam neuskutečnila žádná jaderná exploze. Vyznačoval se především tím, že byl v seismicky silně aktivní oblasti.

V současné době těžiště teoretických prací v ČSLA v oblasti seismologie jaderných explozí spočívá v automatizaci procesu záznamu i vyhodnocování seismic-

kých jevů, rozšíření registračních možností na další typy seismických vln, v rozpracování metod rozlišování jaderných explozí od zemětřesení a určování jejich parametrů. Tyto problémy tvoří i náplň výzkumného úkolu ze seismiky, který bude v následujících letech řešen.

Seznam jaderných explozí provedených od 1. 1. 1973 do 31. 12. 1975 na zkušebním polygonu v Nevadě a zaznamenaných československými seismickými stanicemi:

Datum	Světový čas odpalu	m	Q kt TNT
8.3.1973	16 10 00	5,4	60
26.4.1973	17 15 00	5,6	80
5.6.1973	17 00 00	5,1	30
6.6.1973	13 00 00	6,1	320
12.10.1973	17 00 00	4,8	15
27.2.1974	17 00 00	5,8	150
10.7.1974	16 00 00	5,7	90
30.8.1974	15 00 00	5,8	150
26.9.1974	15 05 00	5,6	80
28.2.1975	15 15 00	5,7	90
7.3.1975	15 00 00	5,5	70
5.4.1975	19 45 00	4,8	15
24.4.1975	14 10 00	4,6	10
30.4.1975	15 00 00	5,2	40
14.5.1975	14 00 00	6,1	320
3.6.1975	14 20 00	5,7	90
3.6.1975	14 40 00	5,9	180
19.6.1975	13 00 00	6,0	260
26.6.1975	12 30 00	6,3	525
28.10.1975	14 30 00	6,8	1550
20.11.1975	15 00 00	6,3	525
20.12.1975	20 00 00	6,0	260

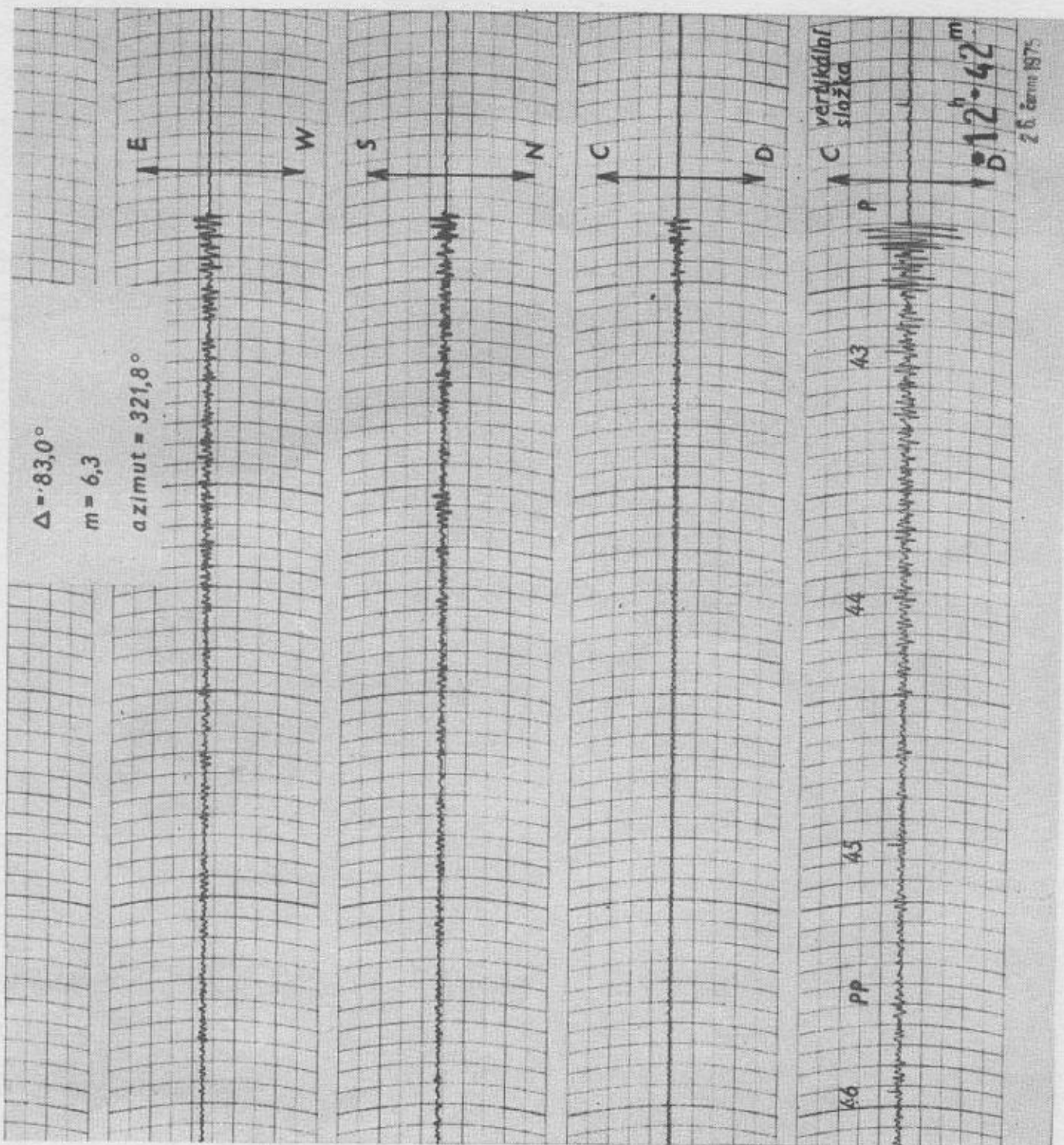
Velikost nálože Q je informativní, protože nejsou známy podmínky, za kterých byla exploze provedena. Jestliže je nálož odpálena v podzemní dutině, zmenšuje se několikanásobně seismický efekt exploze a neplatí vzorec vyjadřující vztah mezi magnitudem m a velikostí nálože Q , uvedený v první kapitole, pro dobře utěsněné nálože. Toto se využívá ke kamufláži velikosti odpálené nálože.

5. Politicko-vojenské podmínky rozvoje seismologie jaderných explozí v Československu

Z předchozích kapitol je patrné, že seismickými metodami lze jako prakticky jedinými sledovat provádění podzemních a podvodních jaderných explozí, při nichž nedochází k úniku radioaktivních látek na povrch. Je zcela v soudobých technických možnostech zjišťovat podzemní a podvodní jadernou explozi o ráži 1 kt TNT, odpálenou kdekoliv na Zemi. Chyba v určení souřadnic epicentra je přitom menší než 10 km, v určení času odpalu desetina sekundy a v určení ráže $\pm 10\%$. K dosažení této přesnosti je třeba budovat nákladné detekční systémy, pokrývající rozsáhlá území a kladoucí velké nároky na spojení a na použitou techniku ve vyhodnocovacích centrech.

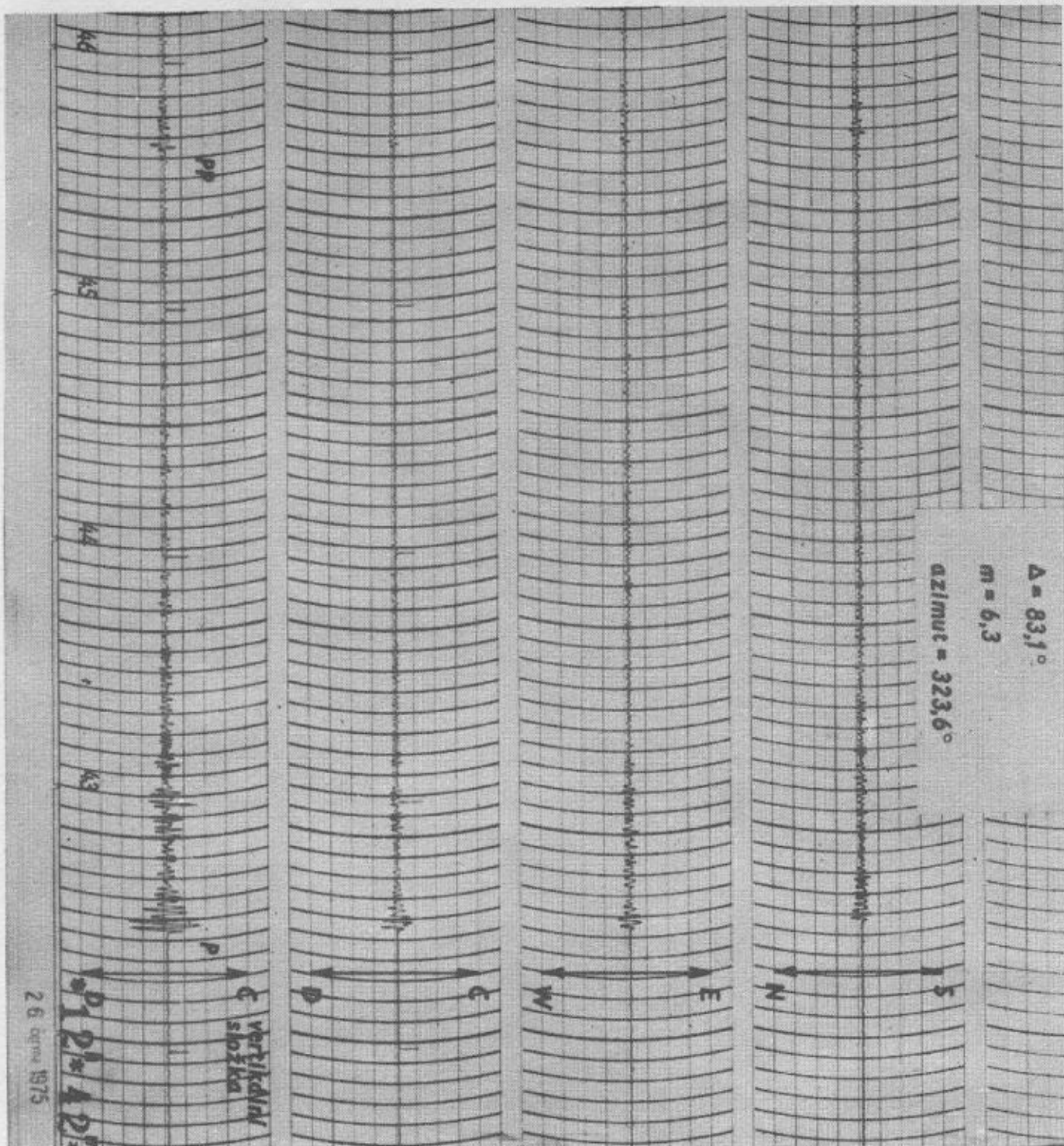
Na základě objektivních údajů, získaných seismickými metodami, lze za případného vojenského střetnutí vyhodnocovat jaderné údery na sledovaném území, odhadovat rozsah způsobených škod a ztrát nepřítelem, provádět opatření v řízení a velení vojskům, likvidovat následky napadení a vyhodnocovat přesnost zasažení nepřátelských cílů vlastními údery. V době míru jsou seismické metody prakticky jediným prostředkem kontroly prováděných podzemních a podvodních jaderných explozí kdekoliv na Zemi, jedním z prostředků kontroly pozemních a vzdušných jaderných explozí a též slouží ke zjišťování potenciálu jaderných zbraní nepřítele a dosažené úrovně v jejich vývoji.

Tak jako jsou v imperialistických státech budovány seismické detekční systémy s cílem určovat parametry jaderných explozí, prováděných socialistickými zeměmi, ani socialistické státy nezanedbávají tuto oblast, důležitou jak při válečném střetnutí, tak i v době míru. Vzhledem ke specifičnosti seismologie jaderných explozí je logické, že jejím rozvíjením byla pověřena armáda. Vojenská seismologie ja-

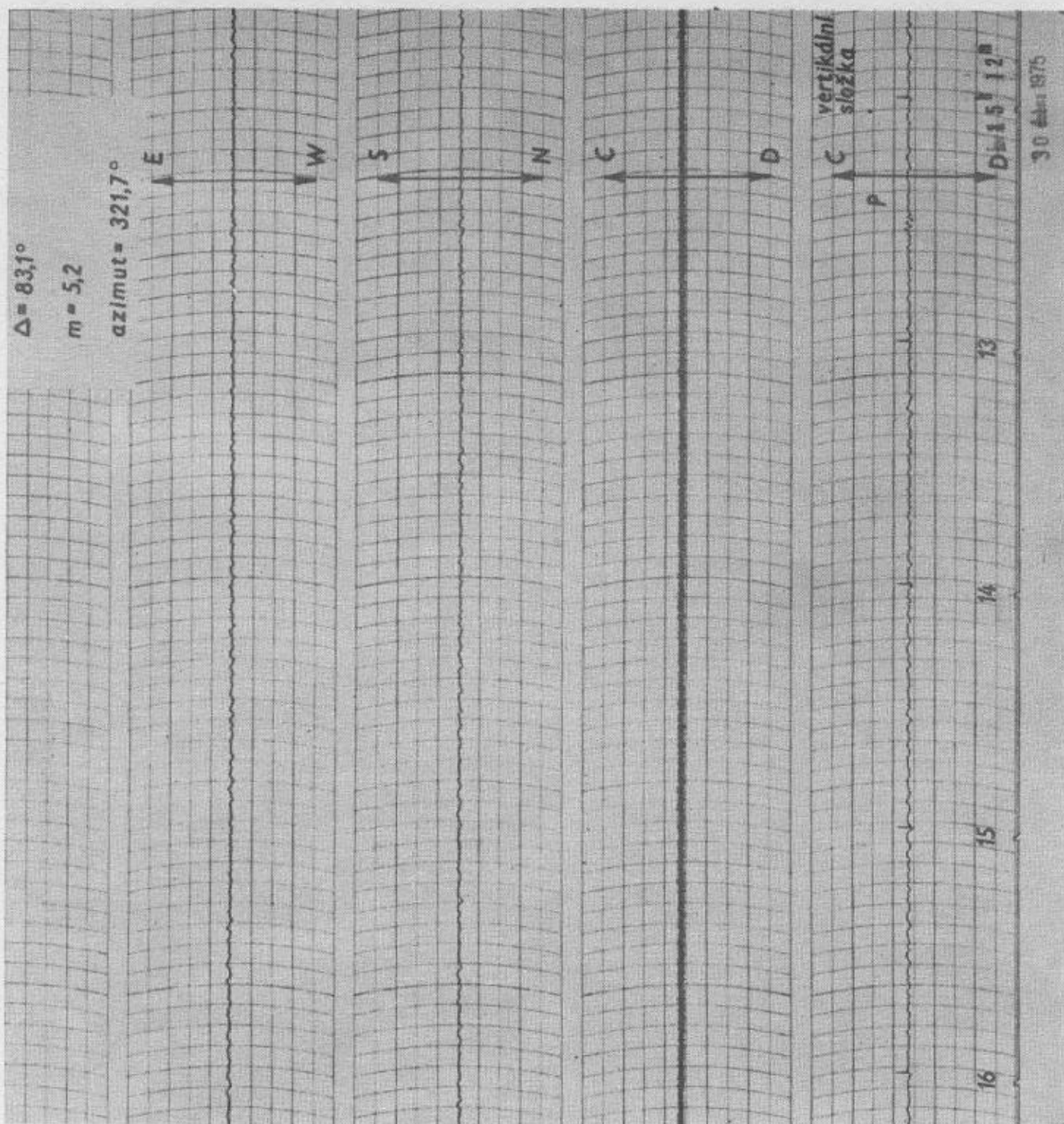


Z 6. čírné 1975

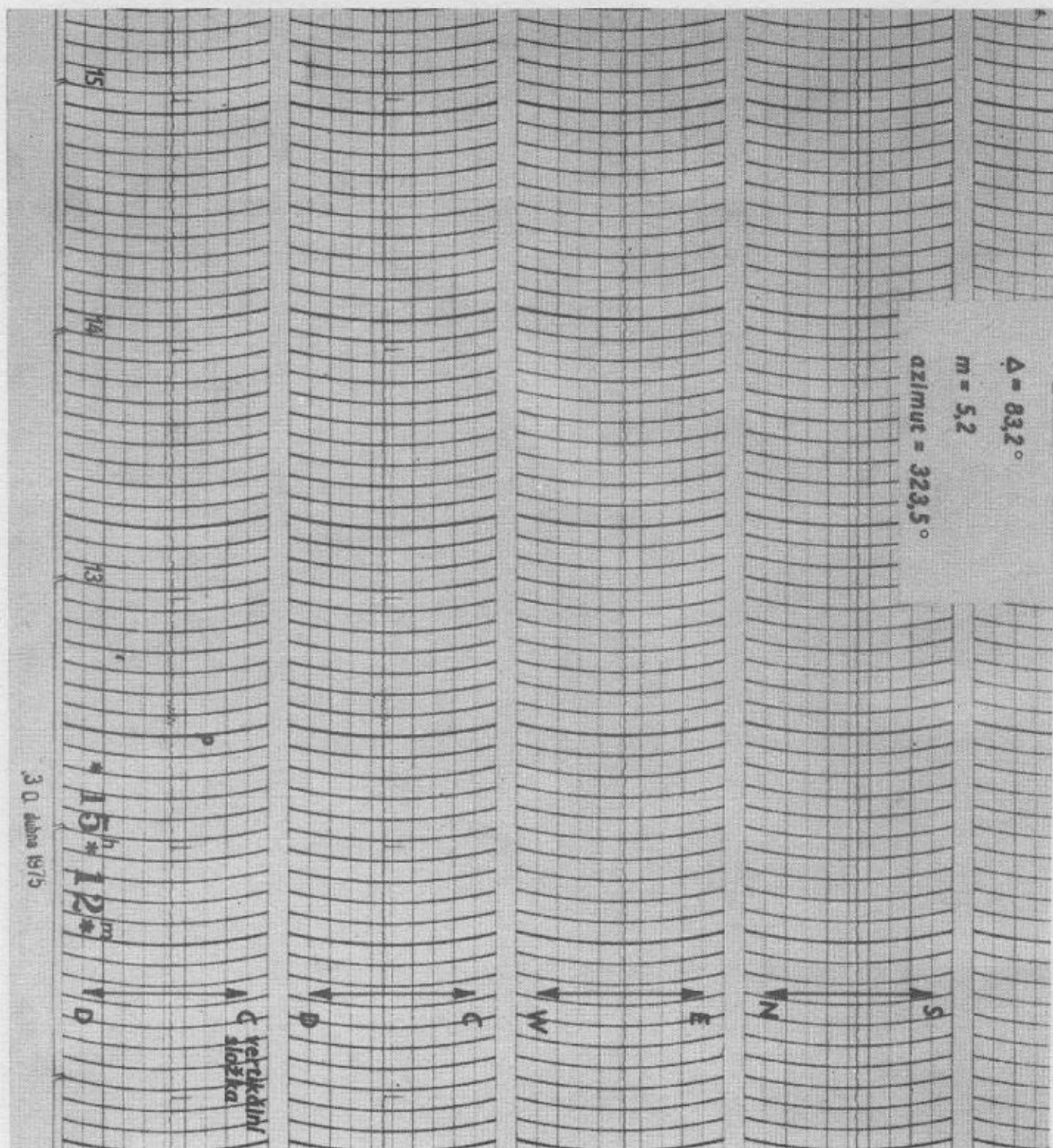
Obr. 8. Záznam silné podzemní jaderné exploze odpálené na zkušebním polygonu v Nevadě a zaznamenané na Stanici 1



Obr. 9. Záznam stejné exploze jako na obr. 8, ale zaznamenané na Stanici 2



Obr. 10. Záznam slabé podzemní jaderné exploze odpálené na zkušebním polygonu v Nevadě a zaznamenané na Stanici 1



Obr. 11. Záznam stejné exploze jako na obr. 10, ale zaznamenané na Stanici 2

derných explozí není jen určování jejich parametrů. Naopak, to představuje již výsledek předchozí široké teoretické přípravy zahrnující studium zdroje, seismických vln, vlivu prostředí na šíření vln, stavby Země, seismického neklidu, přístrojových problémů, metod a metodik vyhodnocování seismogramů, rozlišování explozí od zemětřesení, lokalizace zdroje seismických vln, přenosu seismických informací na dálku, automatizace získávání a vyhodnocování seismických informací atd. Přitom je třeba i využívat výsledky civilních geofyzikálních pracovišť a vhodným způsobem orientovat jejich vědeckovýzkumnou činnost.

Předpoklady pro rozvoj československé seismologie jaderných explozí jsou mimo jiné dány strategicky důležitou polohou našeho státu na mapě Evropy, velkou vzdáleností od oceánů, geologickou stavbou a tím, že naše území leží v aseismické oblasti. Tím je ovlivněna nízká úroveň seismického neklidu a tudíž československé seismické stanice patří k nejcitlivějším na světě.

Dosažené výsledky v seismologii jaderných explozí mimo jiné umožnily uzavřít Smlouvu mezi SSSR a USA o omezení podzemních zkoušek jaderných zbraní ze dne 3. 7. 1974, podle níž se obě strany zavazují od 31. 3. 1976 zakázat jakékoliv podzemní zkoušky s jadernými zbraněmi o kapacitě přes 150 kt TNT / $m=5,8$ /. Silné exploze lze již spolehlivě zjišťovat a rozlišovat i mnohem méně nákladnými národními seismickými prostředky, než je například seskupování seismometrů. Rovněž tak odpadá nutnost dříve požadované inspekce na místě podezřelém z provedení jaderné exploze. Seismickými detekčními prostředky se tak bude kontrolovat dodržení uzavřené smlouvy mezi SSSR a USA.

Mimo to existují státy, které se nepřipojily k zákazu zkoušek jaderných zbraní a provádějí zkoušky ve všech prostředích, jako například Francie, Čína a Indie. Dále existuje skupina států, které mohou v nejbližší době vývoj těchto zbraní úspěšně ukončit a zahájit jejich zkoušky. To je další důvod, proč význam seismologie jaderných explozí stále roste a to i po úspěšném uzavření konference v Helsinkách v roce 1975 a smluv mezi SSSR a USA.

L I T E R A T U R A

- Fiedler J.: Metody kalibrace elektrodynamických seismografů, 1972
- Fiedler J.: Aplikace předchozích výsledků seismického výzkumu při zřizování seismické stanice, 1972
- Fiedler J.: Studie k problematice rozlišování jaderných výbuchů od zemětřesení, 1973
- Fiedler J.: Vyhledávání vzdálených jaderných explozí seismickými metodami. Metodika, 1975
- Mašek P.: Návrh koncepce určování parametrů jaderných výbuchů na území ČSSR, 1972
- Moskva-Washington: Pro soužití v míru. Dokumenty. Knihovna Rudého práva 5/74 Závěrečný akt, Rudé právo, 6. 8. 1975
- Savarenskij E. F., Kirnos D. P.: Elementy sejsmologii i sejsmometrii. Izd. GTTI, Moskva, 1955
- Pasečnik I. P.: Charakteristiki sejsmičeskich voln pri jaděrných vzryvach i zemletrjasenijach. Izd. Nauka, Moskva, 1970
- Rodean H.: Nuclear explosion seismology, Lawrence Livermore Laboratory, University of California, 1971. Ruský překlad: Sejsmologija jaderných vzryvov, Izd. Mir., Moskva, 1974.

Došlo dne 24. 10. 1975

СОДЕРЖАНИЕ

Кански, Душатко: Усовершенствование чехословацкой астрономо-геодезической сети	1
Прахарж: Возможные способы соединения разных координатных систем помощью идентических пунктов	10
Кански: К автоматизации издания и обновления топографических карт	35
Душатко: Карты гравиметрических уклонений на зарубежных территориях	48
Мартинак: Перспективное вооружение измерительной группы топографической техникой	56
Фиэдлер: Установление параметров ядерных взрывов помощью сейсмических методов	69

INHALT

Kánský, Dušátko: Vervollkommnung des tschechoslowakischen astronomisch-geodätischen Netzes	1
Prachař: Die möglichen Methoden der Anknüpfung verschiedener Koordinatensysteme mit Hilfe der gemeinsamen Punkte	10
Kánský: Zur Automatisierung der Herstellung und Erneuerung von topographischen Karten	35
Dušátko: Karten der Lotabweichungen des Auslandsgebietes	48
Martinák: Perspektive Ausrüstung der Messgruppe mit topographischer Technik	56
Fiedler: Ermittlung von Parametern der Kernexplosionen durch seismische Methoden	69