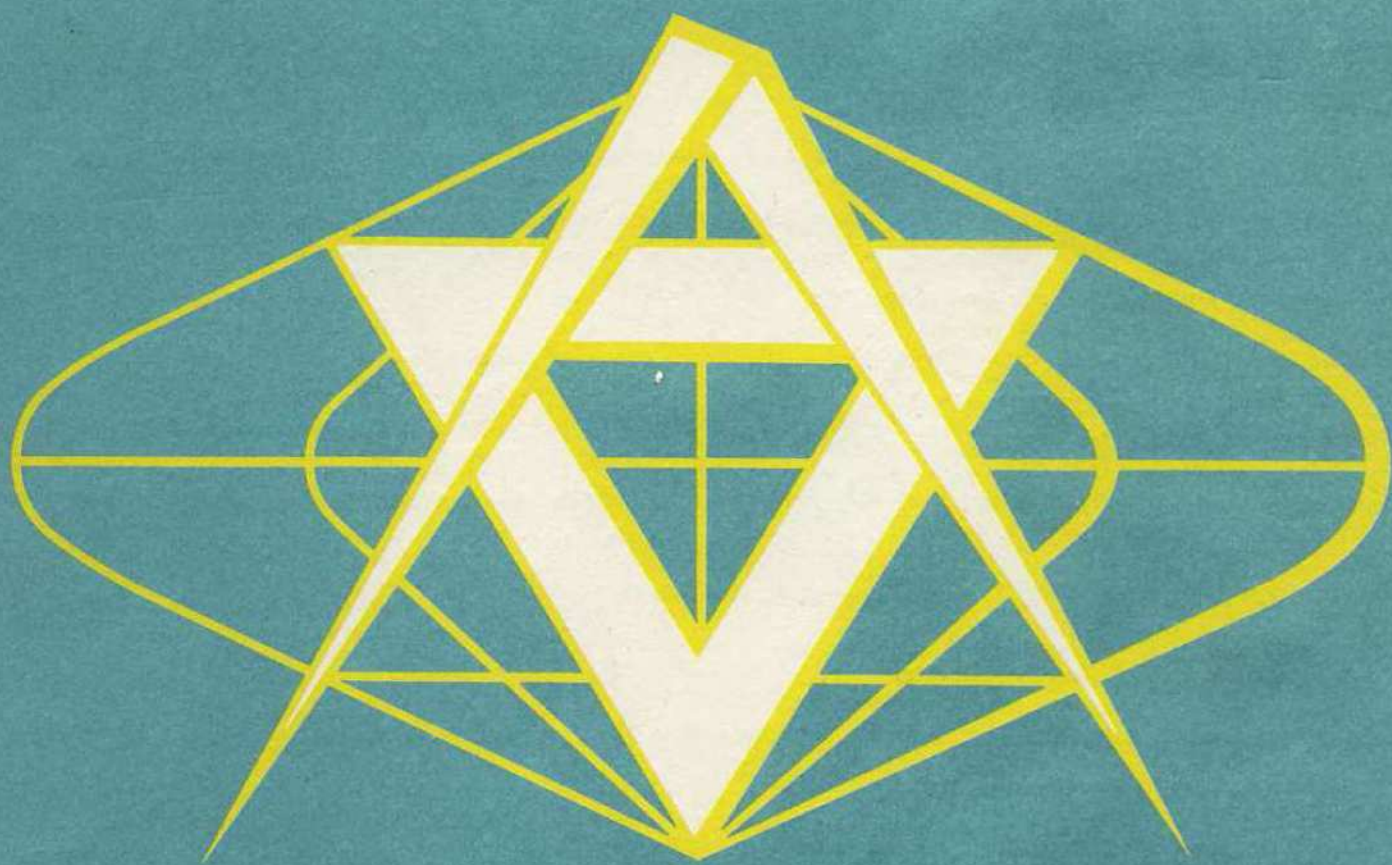


SBORNÍK TOPOGRAFICKÉ SLUŽBY



**VOJENSKÝ
TOPOGRAFICKÝ OBZOR**

1/89

O B S A H

	Strana
Pplk. Ing. Drahomír Dušátko, CSc.: Informace o první etapě modernizace československých geodetických základů	1
<i>Recenzent: pplk. Ing. Karel Raděj, CSc.</i>	
Ing. Miloš Cimbálník, CSc.: Moderní geodetické systémy a čs. národní geodetické polohové základy . . .	11
<i>Recenzent: pplk. Ing. Karel Raděj, CSc.</i>	
Pplk. Ing. Drahomír Dušátko, CSc.: Informace o družicovém systému GEO-1K a jeho programu	66
Pplk. Ing. Drahomír Dušátko, CSc.: Využití tíhového pole Země pro navigaci v okolozemském prostoru . . .	72
<i>Recenzent: prof. Ing. Jan Fixel, CSc.</i>	
Pplk. Ing. Drahomír Dušátko, CSc. — Ing. Vlastimil Jonáš: Současné přístupy k hodnocení, výběru a použití transformačních metod	81
Pplk. Ing. Vladimír Šilhan, CSc.: Rozbor přesnosti tvorby digitálního modelu reliéfu 2. generace	96
<i>Recenzent: plk. doc. Ing. Dalibor Vondra, CSc.</i>	
Pplk. Ing. Vladimír Šilhan, CSc.: Možnosti technologického zabezpečení výstavby digitálního modelu území . . .	115
Pplk. Ing. Petr Janský, CSc.: Příspěvek k novelizaci koncepce tvorby a obnovy speciálních map a vojenskogeografických podkladů	120
<i>Recenzent: prof. Ing. Lubomír Lauermann, CSc.</i>	
Kpt. Ing. Jaroslav Piroh: Možnosti zvýšení aktuálnosti topografických map cestou zjednodušení ich obsahu	132
<i>Recenzent: plk. Ing. Jan Kotva</i>	
Ing. Jan Vondrák, DrSc.: Rádiová interferometrie z velmi dlouhých základen (VLBI) a její využití v geodézii	142
Ing. Jaroslav Prachař, CSc.: K možnostem využití různých druhů transformací pravoúhlých rovinných souřadnic	162
<i>Recenzent: pplk. Ing. Karel Raděj, CSc.</i>	
Kpt. Ing. Karel Brázdil: Automatizace inženýrských prací v kartografii	175
<i>Recenzent: Ing. Dalibor Moravec, DrSc.</i>	
Pplk. Ing. Vladimír Šilhan, CSc.: Laserový družicový dálkoměr LD-3	184
Npor. Ing. Vladimír Kovařík: Registrační elektronický tachymetr RETA a možnosti jeho využití	200
<i>Recenzent: Ing. Vladimír Martínák, CSc.</i>	
Václav Skoupý: Přístroj pro astronomické určování souřadnic ve ztížených podmínkách	211

SBORNÍK TOPOGRAFICKÉ SLUŽBY. Neperiodická publikace vojenskoodborných článků a informací. Vydalo topografické oddělení GŠ ČSA. Řídí redakční rada. Předseda redakční rady: plk. Ing. Bohumil Vavřina, CSc. Odpovědný redaktor: plk. Ing. Jan Kotva, Výzkumné středisko 090, Rooseveltova 23, Praha 6. Vytiskl Vojenský zeměpisný ústav Praha. Reg. č. ÚVIS ČSA - 8.
Neprošlo jazykovou úpravou.

INFORMACE O PRVNÍ ETAPĚ MODERNIZACE
ČESKOSLOVENSKÝCH GEODETICKÝCH ZÁKLADŮ

1. Úvod

Metodami dynamické družicové geodézie byly s vysokou mírou přesnosti a spolehlivosti definovány základní geometrické a dynamické parametry tělesa Země. Výsledky, které poskytují soudobé družicové technologie a velkozákladnová interferometrie, umožňují určování časově proměnné polohy rotace Země a změny její rychlosti, pohyby zemských pólů, umožňují definici globálního geocentrického systému pro studium geodynamických jevů. Vyšší geodézie tak v podstatě vyřešila svůj historický úkol - určení náhradního tělesa Země a definici jeho parametrů. Dnešní úkoly, které před geodézií staví postupující integrace jejích disciplin, včetně vojenských aplikací, tvoří obsah vědecko-technické revoluce v teoretické i praktické oblasti [1]. V průběhu posledních dvou dekad došlo k modernizaci, systémovému zpřesnění stávajících i vzniku nových, kontinentálních geodetických systémů. V průběhu jejich výstavby i v důsledku jejich vzniku probíhala analýza kvality, modernizace a zpřesnění klasických národních geodetických sítí.

Klasické geodetické sítě vznikaly v průběhu poměrně dlouhého časového období a v závislosti na specifických národních podmínkách. Odtud také pramení společné nedostatky, jako

- vznik a hromadění systematických chyb, typických pro rozvinovací metodu triangulace (podélný, příčný a radiální zdvih úměrně rostoucí od základního bodu triangulace),
- lokální deformace měřítká sítě, orientace stran sítě a tím i proměnnou přesnost polohového bodového pole,
- z toho plynoucí obtížnost vzájemného navazování a spojování národních sítí a jejich vzájemná nehomogenita.

Výčet těchto nedostatků je charakteristický i pro stávající geodetický systém S-JTSK, vyhrazený pro potřeby národního hospodářství [2].

Článek podává stručnou informaci o přípravných pracích pro první etapu modernizace čs. geodetických základů.

2. Charakter čs. geodetických základů

Československá trigonometrická síť byla budována od r. 1920 postupným zhušťováním od I. do V. řádu v průběhu několika desetiletí. Nevznikala jako síť astronomicko-geodetická, ale základem byly převzaté observace na 64 bodech rakousko-uherské vojenské triangulace z let 1862 až 1898. V roce 1926 měla tato síť zaměřeno 268 bodů, přičemž její rozměr, orientace a umístění na Besselově elipsoidu byly převzaty prostřednictvím 42 identických bodů z už zmíněné zastaralé vojenské triangulace se všemi chybami a nedostatky. Postupné zhušťování triangulační sítě bylo dokončeno v roce 1957. Vedle výstavby této technické sítě byly v roce 1930 zahájeny práce na novém systémovém geodetickém základu, zahrnující astronomické observace, měření základů i spojení se sítěmi sousedících států [6]. V rámci 1. souborného vyrovnání astronomicko-geodetických sítí socialistických států byly výsledky těchto prací použity pro geodetickou definici západního okraje systému S-1942 na čs. území. Další modernizace této národní AGS (zahrnující nová geodetická, astronomická a gravimetrická měření) byla vhodně využita při 2. souborném vyrovnání Jednotné astronomicko-geodetické sítě socialistických států (JAGS). Tímto odděleným vývojem AGS byla prakticky určena i další perspektiva čs. geodetických polohových základů. Dnes vedle sebe existují dvě kvalitativně odlišná bodová pole - zaostalé S-JTSK a v současné době moderní S-1942/83. Souběžně oba systémy absorbují pouze změny získávané v průběhu údržby geodetických bodů v terénu. Obecně známé nedostatky S-JTSK jsou při plánování geodetického zabezpečení výstavby uvažovány v závislosti na náročnosti díla - buď se stávající bodový podklad S-JTSK použije anebo se vybuduje kvalitativně nová lokální síť.

Imperativem současné doby je maximální zhodnocování všech společenských prostředků, investovaných do všech odvětví národního hospodářství, včetně prostředků vyčleněných na obranu.

3. Předpoklady modernizace čs. geodetických základů (ČSGZ)

Ustrnutí současného bodového pole S-JTSK není pouze problémem zpracování a využití poválečných měření a využití výsledků 1. a 2. souborného vyrovnání ČSGZ. Vážným nedostatkem, který se plně dotýká obou existujících systémů je prohlubující se rozpor mezi reálnou polohou stabilizací bodů v terénu s jejich teoretickou polohou danou souřadnicemi. Řada evropských států, včetně socialistických našla teoretická a praktická, ekonomická východiska a realizuje práce ve prospěch zpřesnění a zrealnění geodetických polohových základů včetně optimalizace

konfigurace sítí a využití moderních, výkonných technologií pro rychlé určování polohy bodů v terénu. Z tohoto hlediska mají na modernizaci ČSGZ zájem obě hlavní uživatelské složky, vojenská i civilní. Předpokladem pro vypracování reálného projektu modernizace ČSGZ je získání objektivních, metrických informací, které upřesní, doplní a vymezí dosud známé obecné charakteristiky, získávané na bodech vyšších řádů.

Vzhledem k předpokládaným nákladům, úrovni využívání S-JTSK při velko- i středně měřítkovém mapování a zákonnému ustanovení S-JTSK pro civilní sektor navrhla mezipodniková komplexní racionalizační brigáda VTOPÚ-VÚGTK-VS 090-GKP variantní a víceetapové řešení [7]. Limitujícími podmínkami jsou

- zachování Besselova elipsoidu jakožto referenční plochy a Křovákova zobrazení,
- minimální rozdíly mezi původní S-JTSK a S-JTSK zpřesněným,
- jednoznačný transformační vztah mezi modernizovaným S-JTSK a S-1942/83 pro celé státní území.

4. První etapa modernizace ČSGZ

Získání metrických, prostorově přiřazených kvalitativních informací o S-JTSK předpokládá však jeho porovnání s vyšší informační úrovní. Tou je v čs. podmínkách jediné nově zpracovaná čs. AGS v rámci JAGS a do její konstrukce na Krasovského elipsoidu vyrovnané trigonometrické sítě 1. - 4. řádu. Tato rozsáhlá práce byla prakticky skončena v roce 1988 díky společnému úsilí vojenské a civilní geodetické služby. Ještě v roce 1988 proběhly ve VTOPÚ na základě doporučení 4. komise čs. geodetické služby [8] tyto práce:

- a) určení identických bodů čs. AGS v S-1942/83 a S-JTSK,
- b) definice průběhu kvazigeoidu v tzv. pracovním S-JTS transformací z S-1942,
- c) určení geodetických (elipsoidických) výšek H^{el} v S-JTS pro identické body s S-1942/83, za podmínky, aby na bodě BRDO byla H^{el} minimální a aby převýšení kvazigeoidu vzhledem k Besselovu elipsoidu v orientaci S-JTSK byla pro celou síť kladná a minimální,
- d) určení pracovního transformačního klíče pro sedmiprvkovou prostorovou podobnostní transformaci mezi S-1942/83 a S-JTS,
- e) transformace souřadnic bodů zkušebních, vyrovnaných polí z S-1942/83 do S-JTS pro ověření předpokladu, že transformace souřadnic bodů z S-1942/83 bude co do kvality ekvivalentní souřadnicím v S-JTS, získaným opakovaným

vyrovnáním na Besselově elipsoidu,

f) transformace složek tížnicových odchylek z S-1942 do S-JTS.

Výsledky analýz prokázaly, že pro účely 1. etapy je předpoklad rovnocennosti vyrovnání a transformace splněný a že lze tedy provést hromadnou transformaci souřadnic bodů 1. - 4. řádu z S-1942/83 do S-JTS parametry získanými v ad d).

Zkoušky centricit 128 bodů čs. AGS v S-1942/83 a v S-JTSK prokázaly spolehlivě identitu 101 bodů. Porovnání obou bodových polí je uvedeno na obr. 1. Průběh kvazigeoidu a charakter průběhu složek tížnicových odchylek v S-JTS je uveden na obr. 2, 3, 4. Vývoj hodnot transformačních parametrů translace $\delta x_0, \delta y_0, \delta z_0$; rotace $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ a poměru měřítek m_0 S-1942/83 a S-JTS v průběhu čtyř aproximací je uveden na obr. 5. Aproximace plnily funkce

- 1) určení přibližných výšek kvazigeoidu v S-JTS pro výpočet přibližných H^{el} ,
- 2) identifikace neidentických bodů AGS,
- 3) určení definitivních výšek kvazigeoidu a H^{el} v S-JTS,
- 4) určení definitivních transformačních parametrů.

Správnost výsledků, získaných upraveným programem VÚGTK PROTRA [9] byl porovnán s ekvivalentním programem VTOPÚ, doplněným podprogramem pro analýzu kvality (homogenity) bodových polí [10].

5. Závěr

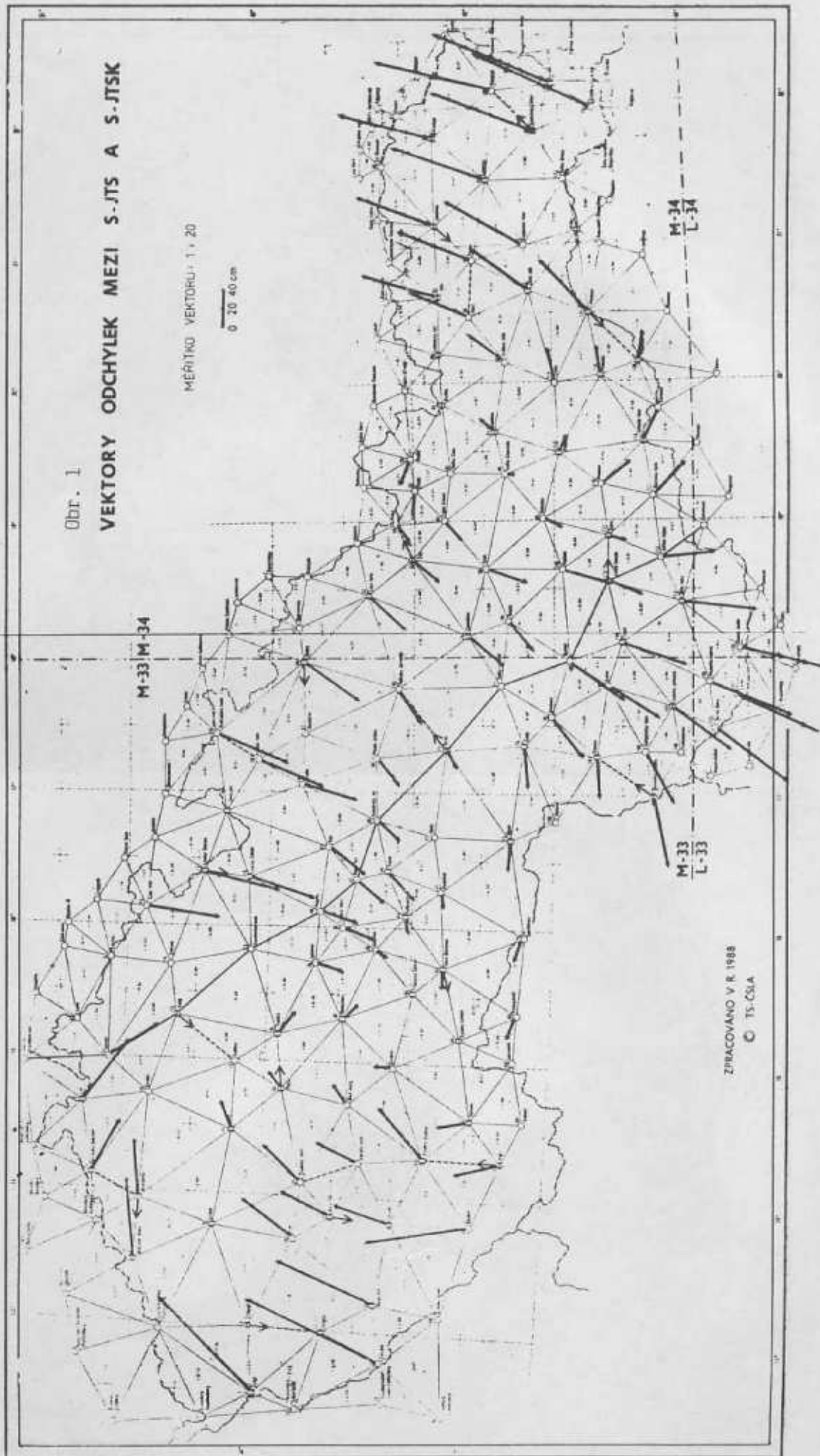
Další etapa modernizace ČSGZ proběhne na základě porovnání souřadnic S-JTSK a S-JTS, analýzy měřítkových, směrových a polohových deformací. K tomu bude u Geodetického a kartografického podniku Praha vytvořena v roce 1989 technologie tvorby izochar měřítkových, směrových a polohových deformací, které budou automatizovaně vykresleny po základních triangulačních listech. Tento průkazný diagnostický podklad umožní plánování dalších prací ve prospěch modernizace ČSGZ i zefektivnění projekce geodetických prací pro potřeby národního hospodářství. Pracovní soubor S-JTS lze pro svou univerzálnost vhodně využít při předávání údajů údržby bodů ČSGZ z civilního sektoru geodézie i při pracích TS-ČSLA v S-JTSK. Transformace souřadnic z S-JTS do S-1942/83 a naopak je a zůstane výhodně v působnosti TS-ČSLA.

Obr. 1

VEKTORY ODCHYLEK MEZI S-JTS A S-JTSK

MĚŘÍTKO VEKTORŮ: 1 : 20

0 20 40 cm



ZPRACOVANO V R. 1988
© TS-ČSĀ

Obč. 2

PRŮBĚH KVAZIGEODU V S-JTS

UMÍSTĚNÍ A ORIENTACE NA BODĚ AGS BRDO

$\xi = -3,41$ $\eta = -0,36$ $\zeta = 103$ m



51° + 13°

22° + 50°

+ 48°
22°

48° + 13°

MĚŘITKO 1:

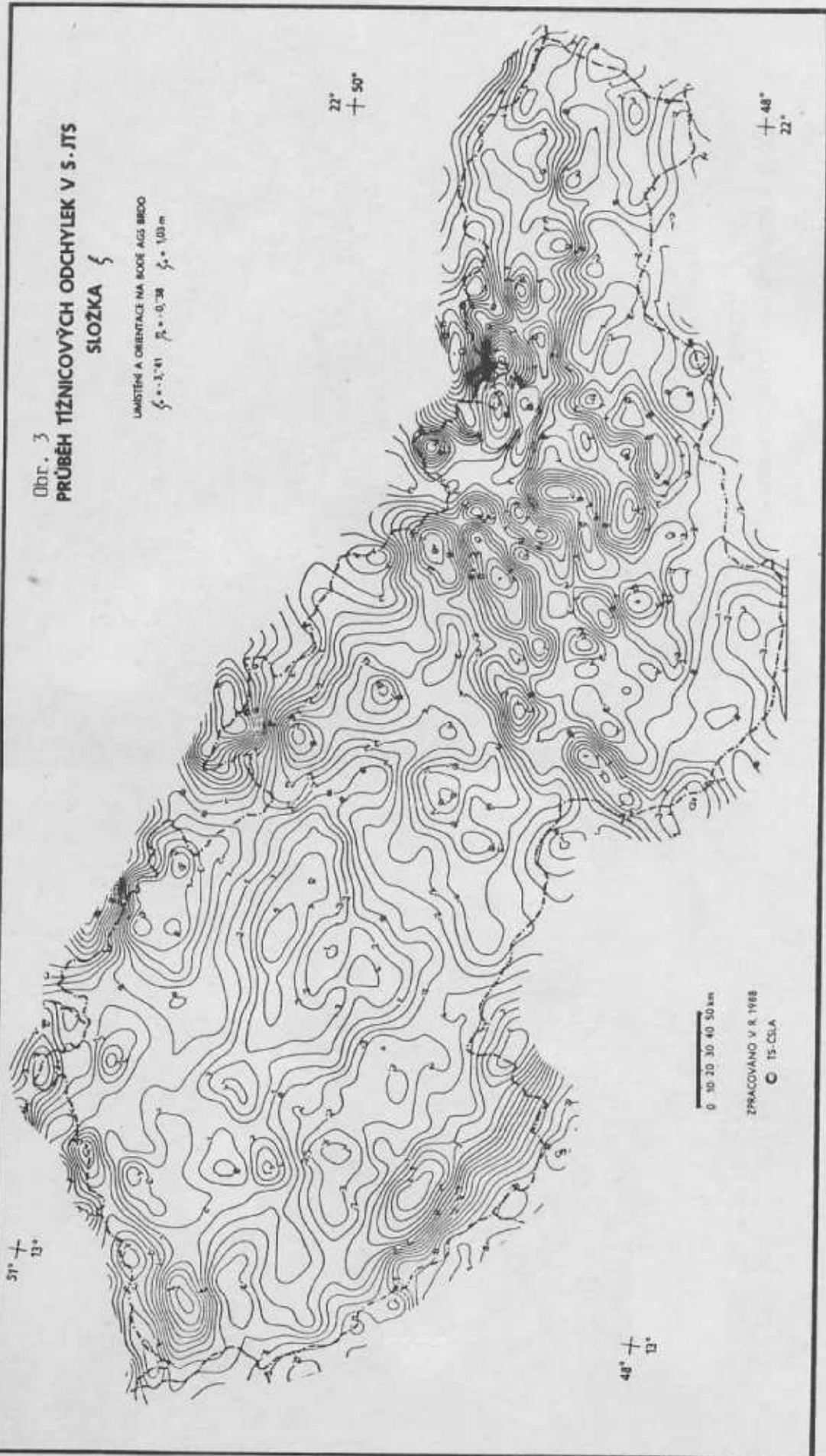
0 10 20 30 40 50 km

ZPRACOVANO V R. 1985

© TS-ČSĽA

Obr. 3
PRŮBĚH TÍZNICOVÝCH ODCHYLEK V S. JTS
SLOŽKA ξ

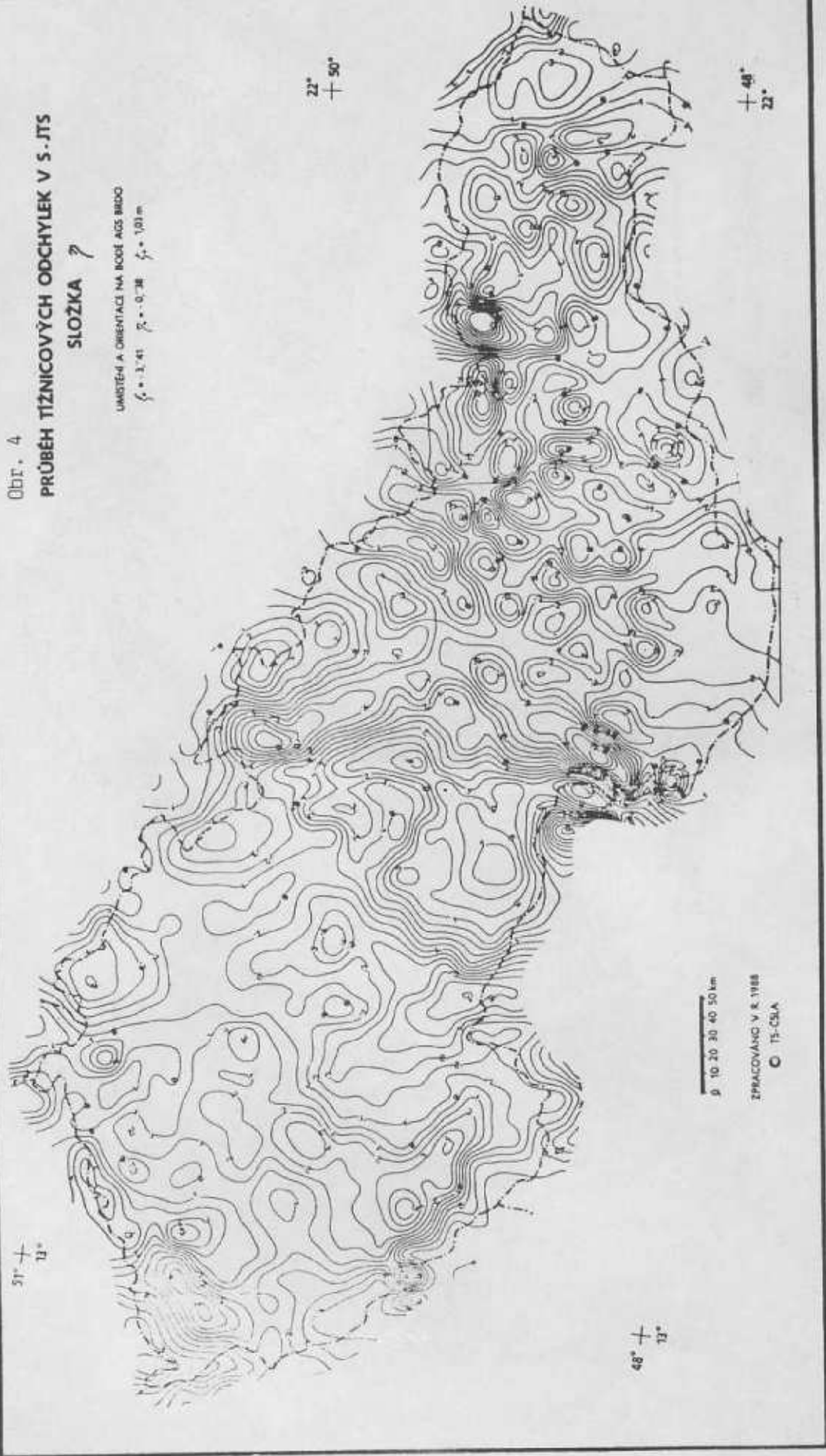
UMÍSTĚNÍ A ORIENTACE NA KOLE AIGS BRDO
 $\xi_0 = 3,41$ $\beta_0 = 0,38$ $\xi_1 = 1,03$ m

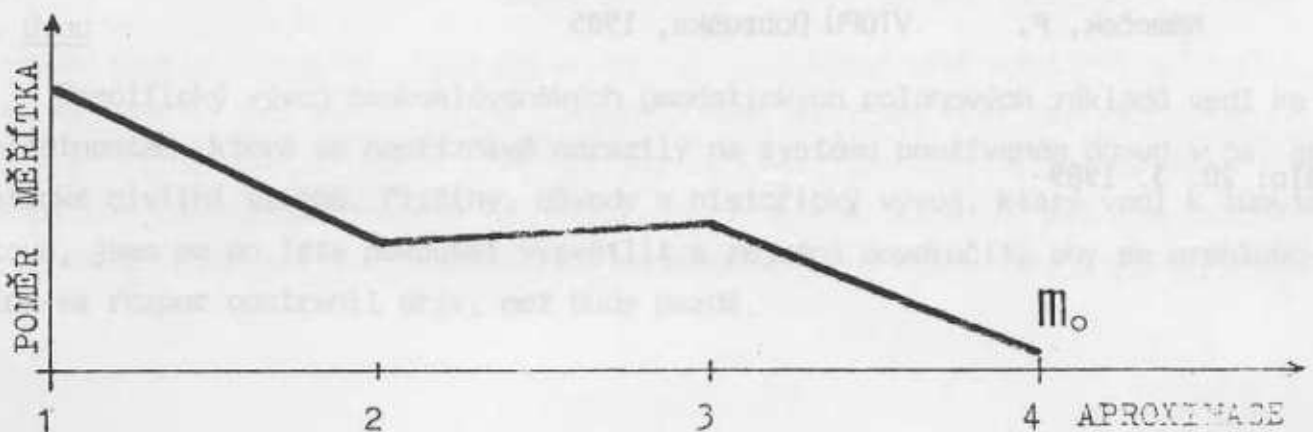
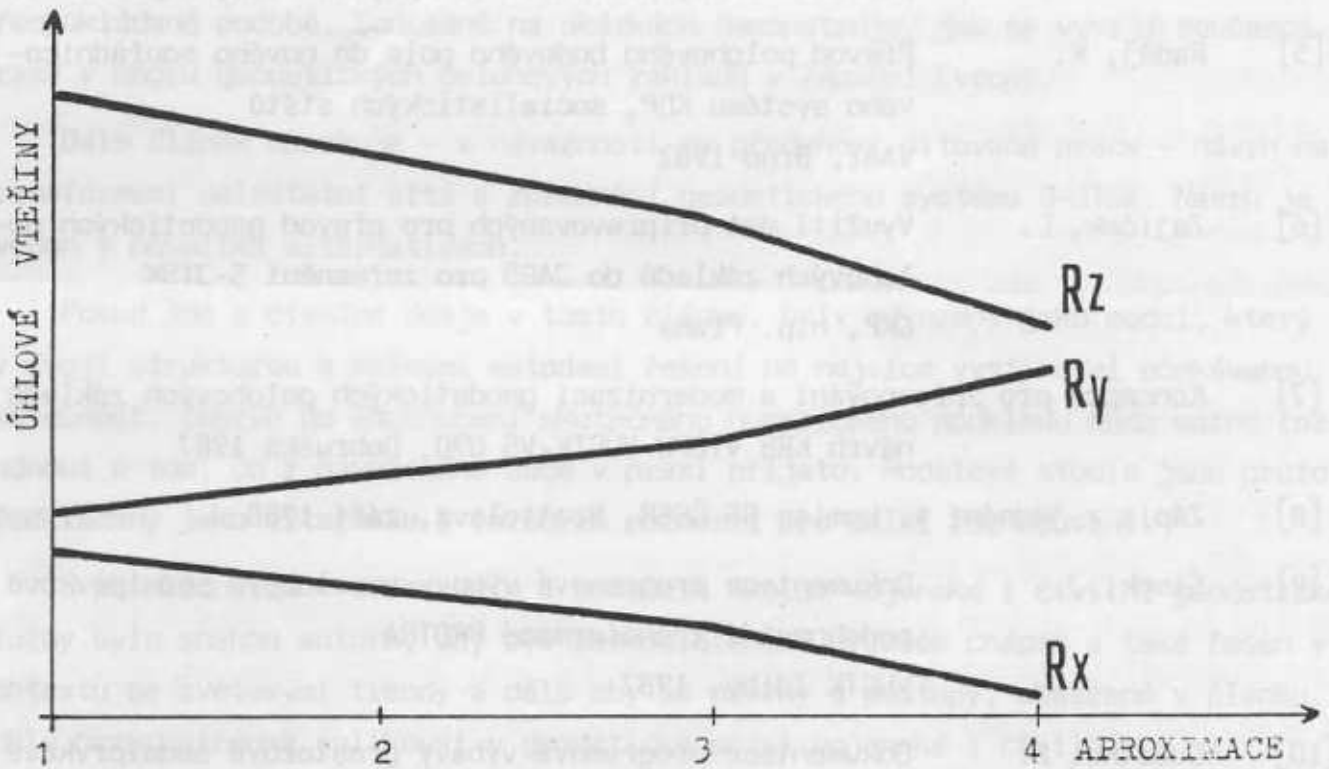
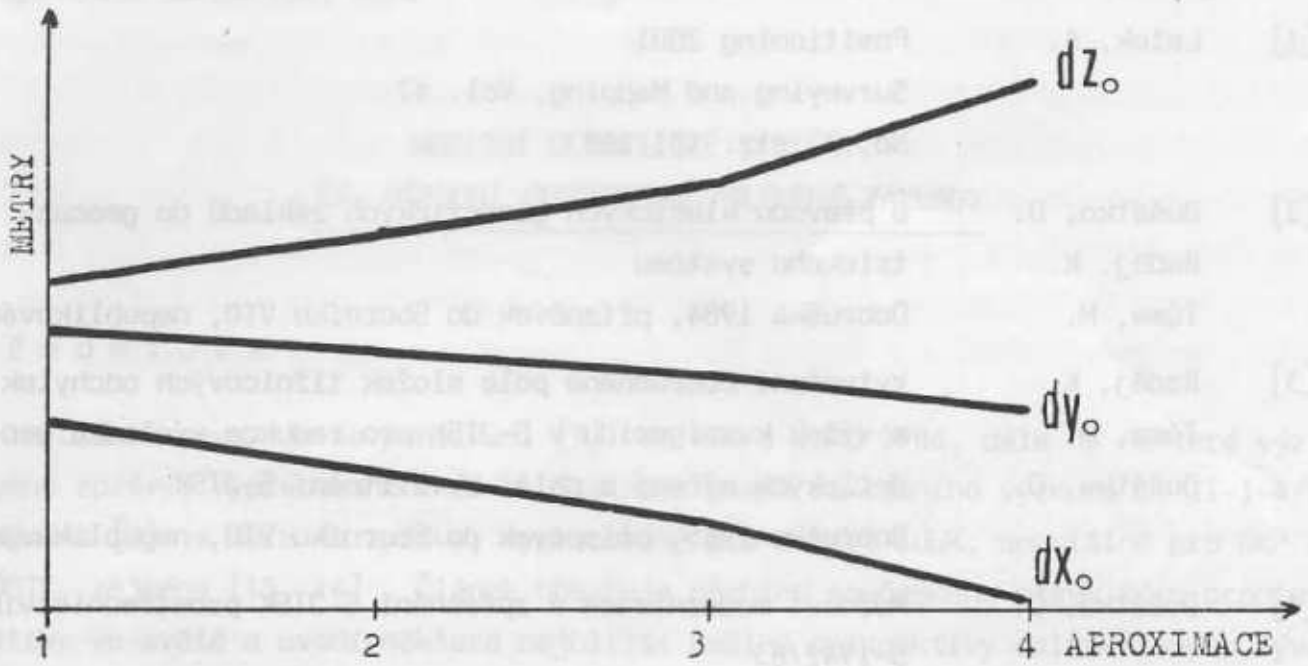


Obr. 4

PRŮBĚH TÍZNICOVÝCH ODCHYLEK V S-JTS SLOŽKA 7

UMÍSTĚNÍ A ORIENTACE NA ROZĚ ACS BDDO
 $\lambda = 17^{\circ} 41'$ $\beta = 0^{\circ} 38'$ $\rho = 1,01$ m





Literatura:

- [1] Leick, A. Positioning 2001
Surveying and Mapping, Vol. 47
No. 3, str. 181-189
- [2] Dušátko, D. O převodu klasických geodetických základů do geocentrického systému
Raděj, K.
Tůma, M. Dobruška 1984, příspěvek do Sborníku VTO, nepublikováno
- [3] Raděj, K. Vytvoření podrobného pole složek tížnicových odchylek a výšek kvazigeoidu v S-JTSK pro redukce výsledků geodetických měření a další zkvalitnění S-JTSK
Tůma, M.
Dušátko, D. Dobruška 1985, příspěvek do Sborníku VTO, nepublikováno
- [4] Dušátko, D. Možnost modernizace a zpřesnění S-JTSK prostřednictvím S-1942/83
Dobruška 1983, příspěvek do Sborníku VTO, nepublikováno
- [5] Raděj, K. Převod polohového bodového pole do nového souřadnicového systému KDP, socialistických států
VAAZ, Brno 1982
- [6] Zajíček, L. Využití dat připravovaných pro převod geodetických polohových základů do JAGS pro zpřesnění S-JTSK
GKP, n.p. Praha
- [7] Koncepce pro zpřesňování a modernizaci geodetických polohových základů
návrh KRB VTOPÚ-VÚGTK-VS 090, Dobruška 1987
- [8] Zápis z jednání 4. komise GS ČSSR, Bratislava, září 1988
- [9] Šimek, J. Dokumentace programové výbavy prostorové sedmiprvkové podobnostní transformace PROTRA
VÚGTK Zdiby, 1987
- [10] Dušátko, D. Dokumentace programové výbavy prostorové sedmiprvkové podobnostní transformace TRL-PRVK
Raděj, K.
Němeček, P. VTOPÚ Dobruška, 1985

Došlo: 20. 3. 1989

MODERNÍ GEODETICKÉ SYSTÉMY A
ČS. NÁRODNÍ GEODETICKÉ POLOHOVÉ ZÁKLADY

P ř e d m l u v a

Článek navazuje na publikaci [9] ve VTO z roku 1986, dále na některé výzkumné zprávy, vypracované v rámci Státního plánu základního výzkumu č. II-1-4/04, zejména [8] a dále na zprávy, vypracované pro resort ČÚGK, speciálně pro GKP a VÚGTK, zejména [15, 16]. Článek obsahuje přehled současného stavu této problematiky ve světě a uvádí některé nejbližší reálné perspektivy celosvětového vývoje a upozorňuje na nutnost sledovat tento celosvětový trend v jeho realisticky předpokládané podobě. Současně na ukázkách demonstruje, jak se vyvíjí současná praxe v oboru geodetických polohových základů v Západní Evropě.

Dále článek obsahuje - v návaznosti na předchozí citované práce - návrh na transformaci celostátní sítě a zpřesnění geodetického systému S-JTSK. Návrh je uveden v několika alternativách.

Pokud jde o číselné údaje v tomto článku, byly odvozeny jako model, který by svojí strukturou a možnými metodami řešení co nejvíce vystihoval očekávanou skutečnost. Teprve po zhodnocení skutečného numerického podkladu bude možno rozhodnout o tom, co z navrženého bude v praxi přijato. Modelové studie jsou proto předkládány jako alternace s rozbohem možností pro další rozhodování.

S přihlédnutím k dosavadním a budoucím úkolům vojenské i civilní geodetické služby bylo snahou autora, aby byl československý problém chápán a také řešen v kontextu se světovými trendy a dále aby se návrhy a postupy, obsažené v článku, mohly bezprostředně aplikovat v geodetické praxi vojenské i civilní.

1. Úvod

Specifický vývoj československých geodetických polohových základů vedl ke zvláštnostem, které se nepříznivě odrazily na systému používaném dosud v čs. geodetické civilní službě. Příčiny, důvody a historický vývoj, který vedl k tomuto stavu, jsem se po léta pokoušel vysvětlit a zejména doporučit, aby se prohlubující se rozpor odstranil dřív, než bude pozdě.

V současné době dospěl vývoj do stadia, kdy je nutno z objektivních příčin o dalším osudu čs. základů rozhodnout. Připravovaná postupná automatizace téměř všech geodetických prací nás dříve nebo později postaví před rozhodnutí, jaký geodetický souřadnicový systém vložit do počítače - zda starý S-JTSK se vším, co s tím souvisí včetně měřítka z 19. století a nebo nový, modernizovaný a zpřesněný S-JTSK, který by v sobě obsahoval vše nejlepší, co máme v současné době k dispozici. Nutnost "kompatibility" vojenského a civilního systému vede a priori k závěru, že je zapotřebí i z tohoto důvodu korigovat a zpřesnit dosavadní civilní S-JTSK.

K modernizaci a zpřesnění civilního S-JTSK se právě v současné době vytvořily mimořádně příznivé okolnosti, ba dokonce se dá říci, že většina prací (více než 90 %) je již hotova.

V předchozích studiích (viz seznam literatury) jsem celkovou situací probíral z různých hledisek a podával některé návrhy v globální podobě. V tomto článku jsem se pokusil konkretizovat a dokončit svůj návrh resp. jeho alternativy a to zčásti až do stadia technologií. Kromě toho jsem se pokusil ukázat náš čs. problém v širších mezinárodních souvislostech a doložit příklady alespoň z Evropy. Doufám, že mi bude porozuměno alespoň v tom, že si náš problém nevytvářím sám, ale že jde o nutný a zcela zákonitý vývoj, který máme povinnost sledovat všemi dostupnými prostředky.

2. Současné geodetické systémy a nejbližší reálné perspektivy jejich vývoje

2.1. Úvodní poznámky

Základní polohová bodová pole jsou dnes chápána a posuzována z více hledisek než ještě v nedávné minulosti. Stále se zvyšující přesnost geodetických měření všeho druhu nevystačí s dosavadními definicemi: lokální problémy se vždy řeší v širších souvislostech, polohová přesnost úzce souvisí s přesností výšek a tyto opět narážejí na specifické problémy fyzikální geodézie - a to vše dohromady souvisí s definicí polohy bodu v prostoru vůbec.

Pryč je idylická doba klasických geodetických sítí, založených na triangulaci, určující tvar sítí plošných nebo řetězců, jejich rozměr byl určován geodetickými základnami a orientace několika Laplaceovými azimuty. Taková síť byla zpravidla umístěna na ploše referenčního elipsoidu, přičemž geodetické souřadnice (B, L) byly rovny astronomicky naměřeným (B', L') v tzv. referenčním bodě sítě,

jehož výška (nivelovaná!) nad geoidem byla přijata za výchozí elipsoidickou výšku systému. Způsoby zpracování těchto sítí byly různé a jejich výsledkem byly národní či mezinárodní geodetické systémy, z nichž nejznámější jsou Souřadnicový systém 1942, ED 50 (European Datum 1950), NAD 27 (North American Datum 1927) a lokální československý S-JTSK, jehož specifický vývoj byl již vícekrát popsán.

Zcela nové možnosti vznikly pro světovou i národní geodézii v letech šedesátých v důsledku rozvoje vědy a techniky. Byly to zejména:

- elektronické měření délek,
- počítače,
- družicová geodézie.

Bylo možno změřit přímo velké množství délek mezi body sítě, bylo možno geodetické systémy orientovat vzhledem ke Geocentru a vyloučit značnou část systematických chyb, a to vše bylo možno řešit numericky ve velkých celcích prakticky bez omezení.

Po dlouhou dobu existovala umělá hranice mezi fyzikální a geometrickou geodézií, která se dále dělila na složku horizontální a vertikální. Na začátku sedmdesátých let se široce rozvinuly teoretické práce v oboru třírozměrné a tzv. integrované geodézii, které vyústily ve snahy o praktické aplikace. Nemělo to však vliv na národní případně kontinentální sítě, už z toho praktického důvodu, že triangulační a nivelační stabilizace nebyly vesměs totožné a také zčásti z tradice, neboť praktici se zdráhali myslet v třírozměrném prostoru.

Zásadní průlom nastal teprve s nástupem GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM). S nebyvalou přesností a velkou operativností bylo náhle možno určit relativní polohy bodů a to přímo rozdílů tří pravouhlých prostorových souřadnic. Téměř současně byly vyvinuty další metody kosmické geodézie, jmenovitě SLR (SATELLITE LASER RANGING) a VLBI (VERY LONG BASELINE INTERFEROMETRY).

Pomocí VLBI lze dosáhnout relativní přesnosti v délce až 10^{-8} a GPS dává běžně přesnost 10^{-6} (viz dále), což umožňuje zcela nové struktury sítí: pomocí opakovaných měření lze např. objektivně sledovat dynamiku zemské kůry.

2.2. Klasické triangulační sítě a sítě kontinentální

Do rozvoje klasických triangulačních sítí zasáhly zejména dva nové technické prostředky: počítače a dálkoměry.

Počítače umožnily vyrovnat společně rozsáhlé sítě národní i kontinentální.

Samo společné vyrovnání (bez dalších měření) zvýšilo přesnost sítí a odstranilo zejména nehomogenity na rozhraní dřívějších menších bloků.

Ještě významněji zasáhly do přesnosti sítí nové dálkoměry. Z literatury [1] je zpravidla citován příklad sítě 1. řádu, OSGB 36, ve které byly zjištěny chyby v délkách až 50 mm/km, oproti OSGB 70, kde se z kovariančních analýz odhadují chyby cca 2,5 mm/km. Uvádím úmyslně příklad z literatury (a bylo by možno uvést jich více), aby bylo zřejmé, že starší triangulace obecně mají velmi špatné určení rozměru, což značně vadí při používání nových dálkoměrů. Proto jsou (až na výjimky) triangulační sítě systematicky modernizovány.

Při vyrovnání rozsáhlých kontinentálních sítí se dnes téměř výhradně používá Helmert-Wolfův způsob rozdělení sítě na bloky, samostatné řešení bloků a konečné řešení tzv. spojovacích rovnic. Těto metody bylo použito také v Západní Evropě (viz dále odst. 2.6.) a dále např. v USA pro tzv. North American Datum, NAD 83 (náhrada za zastaralý NAD 27), obsahující cca 270 000 stanic, 1 800 000 pozorování a vedoucí k řešení 900 000 normálních rovnic!

2.3. Současné geodetické referenční systémy

Většinou byly až dosud užívány klasické horizontální referenční systémy, při kterých bylo u národních nebo kontinentálních sítí zapotřebí definovat referenční elipsoid (2 parametry, zpravidla a , f), jeho umístění v prostoru (2 parametry), poloha počátku (tzv. referenčního bodu) vůči centru elipsoidu (3 parametry) a nulový poledník (1 parametr).

Byly používány různé elipsoidy, ze známějších např. Clarke (1866), jehož rozměry v metrech byly získány výpočtem z rozměrů ve stopách (!) a na kterém byl zpracován severoamerický systém NAD 27. Evropa tradičně počítala na Besselově elipsoidu (např. také čs. S-JTSK), avšak západoevropská síť ED 50 a novější RET-rig (ED 79 a ED 87) byly počítány na tzv. mezinárodním elipsoidu (Hayford); ZST mají známý S-1942, počítaný na Krasovského elipsoidu.

Zcela nově byl definován a na zasedání IUGG v roce 1979 jako oficiální přijat tzv. Geodetic Reference System 1980 (GRS-80), na kterém byl zatím zpracován jediný systém a to severoamerický NAD 83. - Více o elipsoidech, zejména o GRS-80 viz [10, 11].

Jak je však známo, není volba referenčního elipsoidu rozhodující při definici geodetického systému, nýbrž je to určení polohy a orientace počátečního bodu

systému. V klasické geodézii se přesně měřily astronomické hodnoty v ref. bodě, zatímco výška bodu nad elipsoidem byla součtem výšky geoidu nad elipsoidem a výšky bodu na geoidem; tak byl definován počátek a výšky dalších bodů byly získány nivelací.

Všechny výše jmenované geodetické systémy mají takto definované počáteční body, pouze NAD 83 jako první je definován jakožto geocentrický národní referenční systém.

Při **klasické geometrické geodézii** jsou všechny měřené veličiny redukovány na plochu referenčního elipsoidu a na ní počítány ve formě dvourozměrných horizontálních souřadnic (označuje se jako "2-d"). Klasičtí geodeti, včetně Helmerta si byli velmi dobře vědomi toho, že geodézie (tzn. vyšší geodézie) se v zásadě může obejít bez referenčního elipsoidu a že všechny výpočty lze snadno realizovat v třírozměrném kartézském souřadnicovém systému. Avšak praktické důvody (podrobněji viz speciální publikace) vedly geodety k použití referenčního elipsoidu a k výpočtům typu "2-d".

Teprve kosmická geodézie umožnila praktické použití "3-d" kartézského systému, protože výsledky metod kosmické geodézie jsou vztaženy ke Geocentru (těžišti Země) a orientovány k "CIO" pólu. (Tak byl odvozen NAD 83.)

Výpočty a vyrovnání geodetických měření v 3-d geocentrickém systému jsou dnes již dokonale propracovány. Užívá se buď geocentrických rovnic oprav nebo jejich elegantnějšího ekvivalentu tzv. lokálního horizontálního systému. **Obojí výsledky jsou shodné, jde-li o čistě geometrické vyrovnání.**

Vyrovnání můžeme též zobecnit a kombinovat tzv. geometrická měření s fyzikálními geodetickými veličinami. Zvětší se počet neznámých pro jeden bod ze tří geometrických veličin (dX , dY , dZ) na 7, tj. o tížnicové odchylky (dB , dL), korekce k absolutnímu tíhovému potenciálu (dW) a intenzitu tíže (dg). Toto je velmi zhruba řečeno, podstata tzv. **integrované geodézie**, jejíž metody byly v poslední době mnoha autory důkladně propracovány.

Numerické testy však ukázaly, že poměrně složité postupy integrované geodézie přinesly prakticky stejné výsledky jako podstatně snadnější 3-d geometrické postupy a nebo dokonce klasické 2-d metody.

Zdá se tedy, že pokud jde o stávající geodetické systémy, budou v poměrně blízké budoucnosti změněny pouze jejich základní orientační prvky a uvedeny tak v soulad s celosvětovým geodetickým systémem (viz dále).

2.4. Družicová geodézie a nové pojetí geodetických základů

Global Positioning System (GPS) je již z literatury dostatečně znám. Dodávám pouze, že začátkem devadesátých let bude systém kompletní, tj. kolem Země bude létat 21 družic (18 + 3 rezervní) a bude možno v každém okamžiku a kdekoliv na Zemi zaměřit polohu bodu s fantastickou přesností.

Již dnes při neúplném systému bylo dosaženo vynikajících výsledků. Jako příklad uvádím Makrometer-Netz "Hessen" - viz [49]; jde o 6 bodů AGS (BRD), mezi nimiž bylo zaměřeno 12 prostorových vektorů, měření zpracována jako volná síť a porovnána s výsledky terestrických měření. Střední rozdíly byly $\pm 2,8 \cdot 10^{-6}$, rozdíly mezi výškami byly menší než 10cm. Délky vektorů od 20 do 97 km. Vyrovnání volné sítě dalo relativní střední opravu $0,8 \cdot 10^{-6}$. Očekává se, že při kompletním systému (18 družic) se přesnost 2 - 3 krát zvýší.

V další literatuře se všeobecně uvádí, že při vzdálenostech větších než 50 km se dosahuje přesnosti $0,5 - 1,0 \cdot 10^{-6}$.

Tyto výsledky a zejména prognózy pro nejbližší léta vedly v nedávné minulosti k euforickému tvrzení, že geodetické sítě nebudou vůbec zapotřebí. Dnešní vystřízlivění vedlo k realistickému pohledu, který lze (prozatím) shrnout do dvou bodů - viz též [5]:

1. **Struktura jednotlivých nezávislých podrobných bodů je zatím věcí vzdálené budoucnosti.**

2. **Geodetické sítě pravděpodobně nezmizí ze scény vůbec.**

Přirozeně nebude účelné budovat nové klasické triangulační sítě na národní nebo kontinentální úrovni. Jak ukazuje např. ADOS Campaign v Africe, je mnohem snažší a ekonomičtější určit relativní polohy řady fundamentálních bodů pomocí Transit-Doppler (už pomalu zaniká) nebo GPS (to je metoda nejbližší budoucnosti).

Je tedy zřejmé, že pro současné geodetické základy budou výsledky GPS využity zejména k určení polohy a orientace a také měřítka geodetických referenčních systémů - to vše na úrovni národní nebo kontinentální. Opakovaná měření těchto fundamentálních případně dalších bodů mohou rovněž sloužit ke sledování centních pohybů zemské kůry a dalším podobným účelům.

Výsledky GPS však nejsou omezeny pouze na horizontální složku. Ostatně primární výsledky GPS jsou v 3-d formě, tj. dX, dY, dZ. Tyto veličiny mohou být transformovány na dB, dL, ale také na dh s tím, že vzhledem k počátku GPS, tj. Geocentru, obsahují tyto hodnoty dh jak výšku nad geoidem, tak výšku geoidu nad

elipsoidem, orientovaným tak, že jeho střed je totožný s Geocentrem.

Tím se dostáváme k zatím nejméně přesné hodnotě a tou je zatím převýšení geoidu nad elipsoidem. V současné době je toto převýšení v geodeticky vyspělých zemích známo s přesností několika decimetrů. Aby bylo možno plně využít výsledků GPS také ve vertikální složce, bude zapotřebí znát geoid s centimetrovou přesností. Podle dosud známých výsledků z oblasti pokrytých hustou sítí přesných gravimetrických bodů, je dosažení centimetrové přesnosti možné. V současné době by to bylo možné v některých oblastech Evropy a Severní Ameriky.

2.5. Možnosti společného zpracování družicových a terestrických sítí

Vedle GPS byly vyvinuty ještě kosmické metody použitelné pro geodetické polohové a výškové sítě. Jde o známé metody **VLBI (Very Long Baseline Interferometry)** a **SLR (Satellite Laser Ranging)**. Obě tyto metody jsou již dnes schopny sledovat pohyb pólu a rotaci Země s přesností **nejméně o řád vyšší než dosavadní klasické astronomické metody**. Očekává se, že obě metody rozhodujícím způsobem přispějí k definici nového **CTRS (Conventional Terrestrial Reference System)**, který bude závazně přijat v souvislosti s novým **CCRS (Conventional Celestial Reference System)**.

Obě tyto metody zatím nelze bezprostředně využít pro zaměřování polohy jednotlivých bodů národních nebo kontinentálních sítí. Byly však realizovány některé univerzální projekty, jejichž cílem je především sledování dynamiky zemského povrchu. Pokud zůstaneme v Evropě, je zde známý mezinárodní projekt GINFEST (Geodetic Intercomparison Network For Evaluating Space Techniques), na němž se podílí Velká Británie, Holandsko, FRG, Francie, Belgie a Rakousko. Vedle dynamiky zemského povrchu má tento projekt sloužit ke zpřesnění RETrig (viz dále).

Výpočetní modely pro společné zpracování družicových a terestrických sítí byly zpracovány a publikovány na začátku osmdesátých let. Z nich patrně nejelegantnější a s nejbohatšími možnostmi aplikací je model Vincentyho [50], který může být aplikován jak ve 2-d tak v 3-d souřadnicovém systému.

V případě 2-d jsou vstupními daty terestrická pozorování (úhly, délky, azimuty), redukováná na místní nebo geocentrický referenční elipsoid a dále z kosmu získaná pozorování (např. Transit, GPS, SLR, VLBI), vyjádřená buď v absolutních (X, Y, Z) nebo relativních (dX, dY, dZ) geocentrických kartézských souřadnicích. Neznámé při 2-d řešení jsou (B, L) u všech bodů a h (převýšení nad ref. elips.)

pouze u bodů s družicovými observacemi. Dále bude mít každý "družicový bod" všechny nebo jen některé ze 7 neznámých Helmertových transformačních parametrů k redukci pozorování na přijatý referenční elipsoid. Zde nastanou vždy hlavní nesnáze a nepříjemnosti, protože vztahy mezi těmito parametry musíme modelovat s uvážením všech systematických a jiných rozdílů mezi terestrickými a družicovými pozorováními. Abychom se vyhnuli pravděpodobné labilitě při řešení systému rovnic, snažíme se určit některé parametry (měřítko, polohu a orientaci) pomocí jiných prostředků během výpočtu. Elegance zmíněného Vincentyho řešení spočívá mj. v tom, že se toto do značné míry subjektivní hodnocení, mající povahu "velitelského rozhodnutí", činí až téměř na konci výpočtů.

Poznámka: Jde o týž problém, který známe u našich kombinovaných geodetických sítí: poměr vah délek a úhlů prakticky nelze určit a např. při obnově trig. sítě, kde se do všeho plete ještě "místní měřítko", musíme v určité fázi výpočtů učinit ono "velitelské rozhodnutí". U kombinace terestrických a družicových sítí je to víc "nóbl": můžeme např. prohlásit výsledky VLBI za bezchybné a dát jim nekonečně velkou váhu.

Spojení terestrických a družicových sítí je v tuto chvíli velmi aktuální problém, ale přestože řada teoretických (i aplikačních) prací již byla publikována, budou ještě konkrétní aplikace v praxi vyžadovat mnoho práce geodetů různého zaměření.

Bude především zapotřebí oprostít se od zjednodušeného pohledu na transformační možnosti mezi terestrickými a družicovými sítěmi. Hlavním problémem při kombinaci prostorových složek družicových bodů s klasickými terestrickými sítěmi je skutečnost, že GPS - základové vektory a terestrické stanice mají rozdílné definiční prvky (datum).

Nejvážnějším bodem tohoto transformačního problému je požadavek znalosti relativních převýšení geoidu na všech stanicích, abychom mohli vypočítat elipsoidické souřadnice B , L a **ortometrické** výšky H . V důsledku zatím omezené přesnosti a často vůbec chybějících údajů geoidu a dalších údajů, zejména gravimetrických, je zapotřebí nejdříve teoreticky a zejména prakticky vyřešit zvláště tyto problémy.

Jestliže pak vyjdeme ze základních rovnic pozorování pro kartézské základnové vektory, musíme se nejprve rozhodnout pro zásadní strategii řešení. V [21] se tento problém řeší podrobněji a vychází se z těchto základních 5 strategických zaměření:

1. Určení B , L , h ze základnového vektoru. (h je elipsoidická výška.)
2. Určení pouze B , L ze základních vektorů s použitím vyrovnaných výšek.
3. Určení B , L , H a převýšení geoidu ze základnových vektorů za předpokladu, že jsou známy nebo zaměřeny ortometrické výšky.
4. Určení B , L ze základnových vektorů v kombinaci s gravimetrickými údaji užitím predikce MNC.
5. Určení B , L , H a převýšení geoidu ze základnových vektorů v kombinaci s gravimetrickými údaji užitím kolokace.

Poznámka: Kartézské základnové vektory (výsledek z GPS) jsou v principu čistě geometrické veličiny, které jsou definovány a priori např. ve WGS 72 (geocentrický světový referenční systém). Jestliže tedy transformujeme složky základnových vektorů do národních nebo jiných lokálních referenčních systémů (tři translační, tři rotační prvky a měřítko), snadno získáme difference v B , L a difference elipsoidických výšek. Avšak výšky v národních geodetických sítích jsou definovány fyzikálně jakožto ortometrické výšky H , vztažené ke geoidu jakožto referenční ploše. Proto je zapotřebí k jakémukoliv společnému zpracování, vyžadujícímu přesné a jednoznačné výsledky, znát velmi přesně převýšení geoidu.

Prvé dva body výše naznačené strategie řešení jsou vhodné pro ty uživatele, kteří sledují **pouze zdokonalení geodetických polohopisných základů** - a to je také jedním z našich cílů ať jde o síť národní nebo rozsáhlejší síť mezinárodní.

Třetí bod ukazuje možnost určit nebo zdokonalit geoid za předpokladu, že je k dispozici moderní a dostatečně hustá nivelační síť.

Čtvrtý a pátý bod zahrnující důležitou možnost určit nebo odhadnout horizontální souřadnice B , L jakož i ortometrické výšky H ze složek základnových vektorů v kombinaci s přesnými gravimetrickými údaji.

Poznámka 1: O tom, jaké problémy přináší principiálně rozdílná definice výšek, podává přehled a též názor na řešení literatura [38]: "GRS 80 - the new height system".

Poznámka 2: Některé souhrnné a novější informace o GPS a jeho užití podává [22]. Rozlišuje 3 bloky satelitů systému NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System):

I. blok satelitů: 11 satelitů, konstruovaných a vypouštěných v letech 1975-1985; v r. 1987 bylo aktivních ještě 7 z těchto satelitů (předpokládaná životnost je 5 let).

II. blok satelitů: Celkem 28 jich bylo vyrobeno, 21 z nich je nebo bude v

provozu v současné době. Výška 20 200 km, perioda 12 hodin.

III. blok satelitů: Tyto jsou ve vývoji a ve výrobě a mají postupně nahradit blok II. v letech devadesátých.

Poznámka 3: O rozsáhlých a všestranných možnostech nasazení GPS v geovědách a praktické geodézii podává přehled literatury [37]. Kromě mnoha pro praxi důležitých postřehů upozorňují autoři zejména na revoluční změnu v celkovém pojetí geodézie, která byla až dosud časově velmi náročná a některé i důležité projekty nemohly být z časových a technických příčin vůbec realizovány. Tato situace se nasazením GPS radikálně mění a již v současnosti se realizují projekty velkého rozsahu a vědeckého a praktického významu, na které nebylo možno před několika lety ani pomyslet.

Poznámka 4: Nestárnoucí Helmut Wolf podává v [54] přehled o různých formách definice datum-vektorů a rozebírá speciální metody pro určení geodetického referenčního systému (geodetic datum). Zabývá se zvláště GRS v Evropě, speciálně systémy Rauenberg-Datum, Potsdam-Datum a European-Datum.

Poznámka 5: Další účinnou metodou pro podstatné zpřesnění terestrických údajů jsou laserová pozorování (viz dřívější odstavce). V této souvislosti se chci krátce zmínit o zatím největším projektu tohoto druhu (omezíme-li se na Evropu a blízké okolí). V roce 1984 byla provedena první testovací měření pomocí vysoce mobilního "Laser ranging system" MTLRS 1 (Modular Transportable Laser Ranging System). Jde o společný výrobek Německé spolkové republiky a Holandska, určený především pro měření pohybů zemské kůry s centimetrovou přesností. V roce 1986 byla provedena v rámci projektu WEGENER-MEDLAS rozsáhlá měření v oblasti východní části Středozemního moře. Hlavním účelem tohoto projektu je pomocí opakovaných měření (v r. 1988, 1990 atd.) zkoumat kinematický model této oblasti a porozumět tak regionálnímu tektonickému mechanismu a fyzikálním procesům, které jsou toho příčinou. První výsledky ukazují, že očekávaná přesnost ± 1 cm prostorových vektorů není nerealistická. Výsledky této a dalších kampaní mohou posloužit k určení měřítka a prostorové orientace geodetických sítí s mimořádnou přesností. Podrobnosti a další literatura je v "Proceedings of the 7-th International Symposium on Geodetic Computations", Cracow, 1985, p. 511-533, Reinhart et al.

2.6. Vývoj a současný stav v Západní Evropě

Das Europäische Datum 1987 (ED 87) je zatím vyvrcholením snah přetvořit geodetické dědictví více než jednoho století a dát roztržštěným národním a zemským

klasickým triangulačním sítím modernější podobu a zachovat na delší dobu jejich "užitečnou hodnotu".

V ZST prodělaly triangulační sítě po 2. světové válce také svůj specifický vývoj a to v ČSSR ještě navíc zvláštní v tom, že se výsledky novějších měření (AGS a s tím spojené další práce) obrazily zatím pouze v různých variantách S-42, zatímco S-JTSK zůstal vůči veškerému pokroku zcela intaktní. To přirozeně nemohlo zůstat bez následků a uvážíme-li, že v minulém století nebylo ani GPS ani invarové dráty, není divu, že nezveřejňování parametrů jakosti S-JTSK se stalo celkem rozumnou nutností.

Nebude tedy na škodu podniknout krátkou exkurzi k sousedům a kriticky zvážit, co z jejich zkušeností převzít, neboť historický vývoj do let čtyřicátých byl navzájem velmi podobný.

Po 2. světové válce byla na území celé Evropy a severního pobřeží Afriky vytvořena síť, převážně z trojúhelníkových řetězců jednoduchých nebo zdvojených, která byla zpracována v tehdejší "Institut für Erdmessung Bamberg" a která nese označení ED 50. Hlavním účelem bylo co nejrychleji sjednotit dosavadní národní sítě a vytvořit jednotný podklad pro mapy středních měřítek. Tento z geodetického hlediska "slepenec" byl záhy podroben dosti ostré kritice a bylo rozhodnuto vybudovat solidní ED na základě dosavadních a nových měření. K tomu byla na valném shromáždění v Římě v roce 1954 ustavena "Permanentní komise pro nové vyrovnání evropské základní trigonometrické sítě" označené "RETrig" - "Réseaux Européennes Trigonométriques" nebo též "Readjustment of the European Trigonometric Networks".

Původní záměry komise Retrig byly:

- 1) Zlepšení struktury sítě,
- 2) Zpřesnění měřítka a orientace,
- 3) Spojení vzájemně vzdálených částí sítě tehdy novou metodou "SHORAN",
- 4) Přísný výběr pozorování a jejich exaktní redukci na výpočetní plochu,
- 5) Zevrubná analýza výsledků,
- 6) Použití přesného výpočetního postupu.

V důsledku různých okolností technického rázu a dalších bylo pro zpracování sítě použito Helmertovo rozdělení na bloky, což ve svých praktických důsledcích vedlo mj. k tomu, že každý stát mohl samostatně vyrovnávat síť na svém území a do mezinárodního výpočetního centra předávat pouze redukované rovnice a materiál z bodů na hranicích státu.

Kromě jiných nových měření, zejména měření délek, byly ještě zaměřeny dvě speciální Základny kosmické triangulace (ZKT) ve směru (zhruba) S-J (3 500 km) a V-Ž (1 400 km).

Poznámka: V podrobnostech odkazují na [20], na speciální publikace RETrig č. 1-16 a tam citovanou velmi bohatou další literaturu.

Zpracování RETrig bylo rozděleno do tří fází:

Fáze I: Pouze testovací čistě geometrické vyrovnání terestrických dat bez délek a azimutů, uzavřeno v roce 1977.

Fáze II: Vyrovnání s použitím měřených délek a azimutů, zatím vše bez družic. Uzavřeno v roce 1979 a nazváno ED 79.

Fáze III: Kombinace předchozích terestrických a dále mimoterestrických pozorování. Zevrubné analýzy přesnosti. Uzavřeno v roce 1987 jakožto ED 87 a předneseno na IUGG ve Vancouveru 1987.

Analýzy ukázaly, že v ED 79 existují ještě regionální rozpory a systematické rozdíly. Předpokládá se, že "Fáze III" a další výsledky kosmické geodézie významně přispějí k odstranění prakticky všech těchto nedostatků.

Aniž bychom zacházeli do podrobností, je zřejmé, že teprve výsledky kosmické geodézie umožnily vybudovat poměrně přesnou síť kontinentálního rozsahu. K tomu ještě dodávám, že u spojovacích bodů (ZEMĚ-KOSMOS) byly známy výšky s přesností podstatně horší než složky horizontální. Z toho důvodu bylo zvoleno jedno z Wolfových 2-d řešení, při kterém se (X, Y, Z) transformuje na (B, L, h) a poslední (h) se u spojovacích bodů eliminuje. Tím se zpracovatelé Fáze III vyhnuli nepřesnostem, které by jinak ovlivnily výsledky tím, že převýšení geoidu je známo v okrajových částech s přesností 2 - 3 metry.

První analýzy ukázaly jednak již dříve známou systematickou diferencí v délkách měřených telluometrem a geodimetrem velikosti 2 ppm ($2 \cdot 10^{-6}$). Rozdíly mezi jednotlivými bloky byly ještě větší: od - 2,3 do + 5,8 ppm, u azimutů od - 0",59 do 1",40.

Zatím tedy platí, že ED 87 již ve své dnešní podobě může sloužit jako nadřazená kontinentální síť pro všechny národní sítě.

Předpokládají se přirozeně další měření metodami kosmické geodézie (viz předcházející odstavce) pro vědecké a praktické účely. Není daleko doba, kdy bude možno ED 87 ještě více interně zpřesnit a zejména transformovat do celosvětového geocentrického referenčního systému.

Poznámka: O ED 87 a RETrigu existuje rozsáhlá literatura a oficiálním vyhlášením ED 87 ve Vancouveru v roce 1987 práce zdaleka nekončí. Sami autoři ED 87 (ale i další) konstatují, že dosud není jasno (viz např. [33]), jak zpracovat heterogenní materiál terestrických a družicových sítí v jeden homogenní celek. Zpracovatelé, tísňeni termínem 1987 předložili v podstatě polotovar, na kterém dále usilovně pracují. Mezitím se totiž geometrickou řadou množí družicové údaje, které zatím pro ED 87 nebyly využity a které mohou podstatně ovlivnit definitivní podobu ED, zejména zpevnit dosud slabá místa na okrajích ale i uvnitř sítě. Konečným cílem tedy je takové ED, jehož vnitřní i vnější přesnost by byla na úrovni současných možností a u něhož by byly známy parametry pro transformaci do CTS (CONVENTIONAL TERRESTRIAL SYSTEM).

Dalším neméně důležitým problémem je použití ED 87 (nebo jeho následovníka) pro běžnou geodetickou praxi. V tomto směru, jak jsem již upozornil, je problém obdobný s S-JTSK v ČSSR, neboť národní sítě vznikaly prakticky všechny na bázi klasické triangulace a novodobé měřické prostředky jsou co do přesnosti (zvláště délkové) zhruba o řád přesnější.

2.7. Vývoj, současný stav a perspektivy v ČSSR

Vývoj a současný stav geodetických polohových základů jsem již vícekrát popsal, např. též v [8, 9], kde jsem též naznačil nejbližší perspektivy a podal návrh na vybudování nového zpřesněného geodetického systému pro civilní praxi.

K vývoji a současnému stavu tedy pouze dvě poznámky:

1. Na konci roku 1987 zpracoval L. Zajíček studii [55], kde se odvolává na některé moje (i nepublikované) práce, které hodnotí globálně přesnost dosavadního S-JTSK. Dále píše (str. 6): "V rámci pře vyrovnání pro JAGS a z porovnávání měřených délek s délkami ze souřadnic se ukazují lokální rozdíly délek mnohem větší (podtrhl autor), i jiného znaménka, než plyne z globálně určených hodnot". - Jsem rád, že se v rámci nového zpracování sítě ukazují (a jistě se budou i nadále ukazovat) konkrétní a pádnější argumenty pro to, aby se nově zpracovala síť také pro civilní potřeby. To, co jsem se před mnoha lety odvážil tvrdit a co bylo všeobecně přijímáno velmi nevlídně, je dnes numericky dokázáno v mnohem rassantnější podobě, než jsem si já tehdy mohl v defenzivě dovolit napsat. Jsem rád, že z nového zpracování S-42/83 jako vedlejší produkt vyjde materiál, který rozhodujícím způsobem přispěje k argumentaci a posléze i k samotné tvorbě nového civilního systému. Neboť nemá např. smysl zabývat se úvahami o zvyšování přesnosti

bodů, když sám základ ponecháme vědomě v tak špatném stavu.

2. Také ZST a s nimi i ČSSR měly po 2. světové válce svoji geodetickou historii. Nelze nevidět jisté podobnosti s vývojem v Západní Evropě (viz předchozí odstavec), ale nelze též přehlédnout současné zaostávání, zvláště pak v civilní geodetické službě. Dále považuji za nutné upozornit, že některé práce v ČSSR (samostatné zpracování AGS po roce 1958, testovací vyrovnání po roce 1972 a další) byly realizovány dle původní čs. koncepce a bez zahraničních vzorů.

Pokud jde o perspektivy čs. geodetických polohových základů, je v [8 a 9] předložen návrh, který vycházel z předpokladu (ten se stal mezitím skutečností), že bude k dispozici kompletní bodové pole ČSSR, zpracované na Krasovského elipsoidu na bázi mezinárodně vyrovnané JAGS a vyrovnaných dalších řádů, a převedené dále transformací v případě části čtvrtého a pátého řádu a dalších polohově určených bodů - to vše, podotýkám znovu, na Krasovského elipsoidu v systému, který pro další text označím pracovním názvem "Systém A" nebo krátce "A".

Poznámka: Analogicky označím S-JTSK jako "B" a nově navrhovaný systém "C".

Návrh na výpočet C - viz [8, 9] byl dále dopracován až do stadia, kdy jsou odvozeny všechny vzorce a provedeny numerické testy na modelech.

2.8. Dílčí závěry

1. Dosud existují ve většině vyspělých zemí geodetické polohové základy, budované klasickou triangulací a dnes zpřesňované elektronickými dálkoměry a metodami kosmické geodézie. Příkladem je ED 87.

2. Postupné zavádění geocentrických systémů umožní 3-d řešení všech geodetických úloh, statických i dynamických. Předpokladem přechodu z 2-d na 3-d metody je znalost přesného převýšení geoidu.

3. Žádné další klasické AGS nebudou nadále budovány a jejich roli převezmou postupně body, určené metodami kosmické geodézie.

4. Všechny globální i lokální problémy dynamické geodézie, včetně recentních pohybů zemské kůry, budou řešeny metodami kosmické geodézie.

5. Čs. geodetické polohové základy, vycházející z klasické triangulace budou v nejbližší době dokonale zpracovány v systému A; je zapotřebí vytvořit ekvivalentní systém C pro civilní potřeby.

6. V současné době je v ČSSR z hlediska 3-d metod nejslabším článkem výška

resp. převýšení geoidu nad elipsoidem. Existují však reálné možnosti tento nedostatek napravit.

7. Pro ČSSR mohou výsledky kosmické geodézie přinést dvojí užitek:

- a) Zpřesnit relativní vztahy mezi body AGS a dalšími.
- b) Zajistit systému A i C přesnou orientaci v nově definovaném celosvětovém geodetickém systému CTRS (CONVENTIONAL TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM).

8. Využití moderních družicových sítí pro terestrické sítě dosavadní i nově vznikající se rychlým tempem vyvíjí. Přesto, že je publikováno již mnoho prací, problém dosud není jednoznačně vyřešen. Pro jakékoliv úvahy o případných aplikacích pro ČSSR případně pro ZST je zapotřebí respektovat celosvětový vývoj v celé jeho složitosti.

9. V Západní Evropě (ale i jinde) pracují na této problematice vysoce kvalifikované a poměrně početné týmy odborníků, kteří jsou navíc perfektně vybavení. Výsledky jejich práce jsou rychle zpracovávány ve formě výzkumných zpráv a zejména publikací, které jsou pak projednávány a hodnoceny. Doporučuji alespoň přibližně podobný postup pro nepatrnou hrstku odborníků v ČSSR.

3. Návrh transformace

3.1. Situace

1. Celá síť, tj. JAGS a síť I. až IV. řádu, je vyrovnána na elipsoidu Krassovského, další polohově určené body jsou na témže elipsoidu transformovány. Jsou tedy známy geodetické souřadnice (B, L) všech bodů a z nich odvozené veličiny. Jsou dále známy složky tížnicových odchylek ξ , η a převýšení kvazigeoidu ξ na všech trigonometrických bodech.

Pracovní název tohoto systému bude "systém A" nebo "A".

2. Na Besselově elipsoidu je známý systém S-JTSK, ve kterém jsou svými geodetickými souřadnicemi (B, L) určeny všechny body předchozího systému "A". Ze souřadnic (B, L) je možno známým způsobem vypočítat pravouhlé rovinné souřadnice (X, Y) známého Křovákova zobrazení a dále vypočítat měřítko zobrazení a meridiánovou konvergenci.

Pracovní název tohoto systému bude "systém B" nebo "B".

Vzájemný vztah mezi oběma systémy (A a B) je vztah vzájemně nesourodých souřadnic, způsobený:

- a) různými výchozími veličinami - systém A má navíc proti B zaměření AGS a

v ní nové úhly, délky a astronomické veličiny,

b) různým způsobem zpracování - systém A je zpracováván ve velkých celcích a to prakticky až do IV. řádu.

3. Vzhledem k důvodům uvedeným v [9], navrhuji vybudovat nový systém (pracovní označení "C") pro civilní účely s těmito základními vlastnostmi:

a) orientace na GRS-80 způsobem, popsaným dále,

b) vzájemné vztahy bodů určeny ze systému A transformací stejnorodých souřadnic způsobem, popsaným dále,

c) bude existovat vzájemná převoditelnost $C \leftrightarrow A$ a $C \leftrightarrow B$ metodou, popsanou dále.

3.2. Transformace modelu celostátní sítě

Při převodu z jednoho elipsoidu na druhý půjde v našem případě o transformaci stejnorodých souřadnic ze systému A do systému C, elipsoid Krasovského a GRS-80.

Podle [9] platí známá zásada: "Délky a úhly v trigonometrické síti jsou produktem měření prakticky nezávislým na volbě referenčního elipsoidu a nesmí se proto při převodu sítě na nový elipsoid zřetelně změnit."

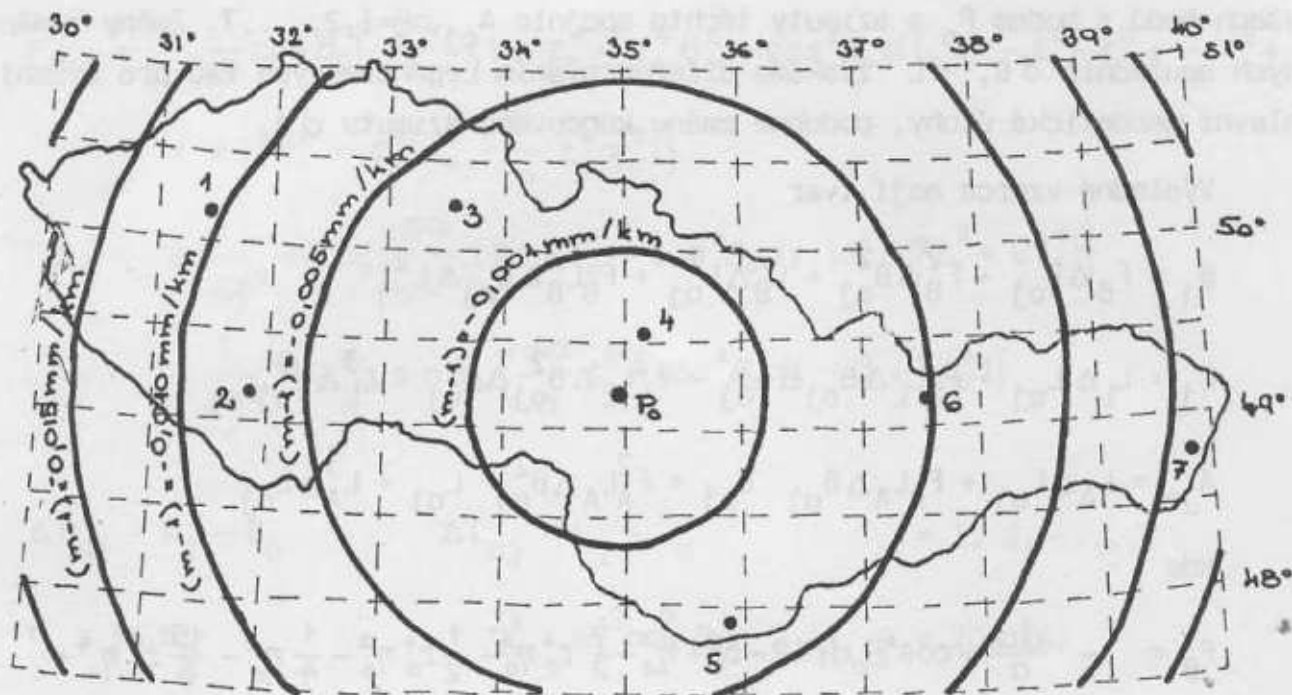
Proto např. podmínka zachování souřadnic (B, L) identických bodů na novém elipsoidu je nevhodná a vede k velké deformaci sítě.

Při převodu na nový elipsoid dojde tedy k tomu, že bod s geodetickými souřadnicemi (B, L) na původním elipsoidu dostane na novém elipsoidu obecně různé souřadnice ($B' \neq B$, $L' \neq L$) a spojnice dvou bodů bude mít obecně jiný azimut ($A' \neq A$). Avšak transformace má být taková, aby se co nejméně zkreslovaly délky spojníc dvou bodů a úhly mezi spojnícemi.

V dalším budou krátce uvedeny dva způsoby transformace osmi fiktivních bodů na území ČSSR mezi elipsoidem Krasovského (A) a elipsoidem GRS-80 (C).

3.2.1. Volba fiktivních bodů

Rozmístění zvolených fiktivních bodů je zřejmé z obr. 1.



obr. 1

Geodetické zeměpisné souřadnice bodů na původním elipsoidu (A):

Bod	B	L
P_0	$49^{\circ} 10' 18''$	$17^{\circ} 18' 38''$
1	50 09 15	13 42 30
2	49 12 05	14 11 25
3	50 13 26	15 51 12
4	49 30 18	17 33 10
5	47 53 49	18 10 54
6	49 07 36	19 52 30
7	48 48 19	22 08 15

3.2.2. Helmertova transformace elipsoidu na jiný elipsoid

Metoda je popsána např. v [31], [29] a [26], kde jsou také uvedeny výpočetní programy pro TI-59 a další podrobnosti.

V centrálním bodě P_0 mají body na obou elipsoidech $E(a, i)$ a $E'(a+da, i+di)$ společnou normálu. Při převodu na nový elipsoid se zachovávají délky spojnic

všech bodů s bodem P_0 a azimuty těchto spojnic A_{0j} , $j=1,2,\dots,7$. Změny zeměpisných souřadnic δB , δL získáme diferencováním Legendreových řad pro řešení I. hlavní geodetické úlohy, podobně změnu koncového azimutu δA .

Výsledné vzorce mají tvar

$$B_j = F_B \Delta B_{0j} + F_B^2 \Delta B_{0j}^2 + L_B^2 \Delta L_{0j}^2 + F_B L_B^2 \Delta B_{0j} \Delta L_{0j}^2$$

$$L_j = L_L \Delta L_{0j} + F_L L_L \Delta B_{0j} \Delta L_{0j} + F_L^2 L_L \Delta B_{0j}^2 \Delta L_{0j} + L_L^3 \Delta L_{0j}^3$$

$$A_{j0} = L_A \Delta L_{0j} + F_A L_A \Delta B_{0j} L_{0j} + F_A^2 L_A \Delta B_{0j}^2 L_{0j} + L_A^3 \Delta L_{0j}^3$$

kde

$$F_B = - \frac{da}{a} + \cos^2 B_0 di (2 - t_0^2 + \eta_0^2 - \frac{7}{2} t_0^2 \eta_0^2 - \frac{1}{2} t_0^4 \eta_0^2 - \frac{1}{4} \eta_0^4 - \frac{15}{8} t_0^2 \eta_0^4 + \\ + \frac{3}{2} t_0^4 \eta_0^4 - \frac{1}{8} t_0^6 \eta_0^4)$$

$$L_B^2 = \frac{1}{2\varrho} t_0 \cos^2 B_0 \left[\frac{da}{a} (1 + \eta_0^2) + di \sin B_0 \left(1 + \frac{1}{2} \eta_0^2 + \frac{1}{2} t_0^2 \eta_0^2 \right) \right]$$

$$F_B^2 = \frac{3}{2\varrho} t_0 \left[\frac{da}{a} \eta_0^2 - \cos^2 B_0 di (2 - 3\eta_0^2 + 2t_0^2 \eta_0^2) \right]$$

$$F_B L_B^2 = \frac{1}{3\varrho^2} \cos^2 B_0 \left[\frac{da}{a} + \cos^2 B_0 di (1 + 4t_0^2 - 9t_0^4) \right]$$

$$L_L = - \frac{da}{a} - \sin^2 B_0 di \left(1 - \frac{1}{2} \eta_0^2 + \frac{1}{2} t_0^2 \eta_0^2 + \frac{3}{8} \eta_0^4 - \frac{3}{4} t_0^2 \eta_0^4 - \frac{1}{8} t_0^4 \eta_0^4 \right)$$

$$F_L L_L = - \frac{1}{\varrho} t_0 \left[\frac{da}{a} (1 - \eta_0^2) + \sin^2 B_0 di \left(1 - \frac{3}{2} \eta_0^2 + \frac{1}{2} t_0^2 \eta_0^2 \right) \right]$$

$$F_L^2 L_L = - \frac{1}{3\varrho^2} (2 + 3t_0^2) \left(\frac{da}{a} + \sin^2 B_0 di \right)$$

$$L_L^3 = \frac{1}{6\varrho^2} \sin^2 B_0 \left(\frac{da}{a} + \sin^2 B_0 di \right)$$

$$L_A = - \sin B_0 \left[\frac{da}{a} + \sin^2 B_0 di \left(1 - \frac{1}{2} \eta_0^2 + \frac{1}{2} t_0^2 \eta_0^2 + \frac{3}{8} \eta_0^4 - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{3}{4} t_0^2 \eta_0^4 - \frac{1}{8} t_0^4 \eta_0^4 \right) \right]$$

$$F_{A L_A} = \frac{1}{\varrho} \cos B_0 \left[-\frac{d\alpha}{\alpha} (1 + t_0^2 - t_0^2 \eta_0^2) + \cos^2 B_0 di (1 - t_0^2 - t_0^4 + \frac{1}{2} \eta_0^2 + 2t_0^2 \eta_0^2 + t_0^4 \eta_0^2 - \frac{1}{2} t_0^6 \eta_0^2) \right]$$

$$F_{A L_A}^2 = -\frac{1}{6\varrho^2} \sin B_0 \left[\frac{d\alpha}{\alpha} (7 + 6t_0^2) + \cos^2 B_0 di (6 + 7t_0^2 + 6t_0^4) \right]$$

$$L_A^3 = \frac{1}{6\varrho^2} \cos^2 B_0 \sin B_0 \left[\frac{d\alpha}{\alpha} t_0^2 + \cos^2 B_0 di (3 + 7t_0^4) \right]$$

$$\Delta B_{0j} = B_j - B_0 \quad \Delta L_{0j} = L_j - L_0 \quad j = 1, 2, \dots, 7$$

$$t_0 = \operatorname{tg} B_0 \quad \eta_0^2 = e^{-2} \cos^2 B_0 \quad \varrho = 206\,265$$

Poznámky:

1. Vzorce, uvedené v [31], byly upraveny tak, aby změny centrálního bodu P_0 byly nulové.

2. Neuvažuje se změna azimutu spojnice dvou obecných bodů - pro tuto studii to není nezbytné.

3. V [31] byla chyba v koeficientu $F_B L_B^2$ (patří $1 + 4t_0^2 - 9t_0^4$ místo $1 - 5t_0^2$) opravena podle [29].

Číselné hodnoty koeficientů (pro $\Delta B_{0j} = \Delta B_{0j}'' \cdot 10^{-5}$ a podobně ΔL_{0j}) jsou (A \rightarrow C, podle [29]):

$F_B = 1,707\,14$	$L_L = 1,665\,74$	$L_A = 1,260\,42$
$F_B^2 = -0,038\,68$	$F_{L L} = 0,931\,96$	$F_{A L_A} = 1,239\,74$
$L_B^2 = -0,200\,33$	$F_{L L}^2 = 0,785\,45$	$F_{A L_A}^2 = 0,738\,80$
$F_B L_B^2 = -0,060\,63$	$L_L^3 = -0,037\,36$	$L_A^3 = -0,024\,69$

Číselné hodnoty změn zeměpisných souřadnic 7 fiktivních bodů (A \rightarrow C, podle [29]):

j	$\delta B_j''$	$\delta L_j''$	$\delta A_{j0}''$
1	0,0569	- 0,2203	- 0,1692
2	- 0,0007	- 0,1872	- 0,1417
3	0,0641	- 0,0893	- 0,0686

4	0,0205	0,0146	0,0111
5	- 0,0786	0,0509	0,0378
6	- 0,0045	0,1536	0,1162
7	- 0,0285	0,2871	0,2161

Délky spojnic s centrálním bodem P_0 zůstávají na novém elipsoidu zachovány, avšak délky spojnic dvou obecných bodů se transformací změň. Délkové zkreslení této Helmertovy transformace se měň s polohou bodu i s azimutem uvažovaného elementu. Narůstá se čtvercem vzdálenosti od bodu P_0 a lokálního maxima nabývá vždy ve směru kolmém na spojnici s bodem P_0 :

$$m = 1 + \frac{dR}{3R^3} s^2, \quad R = a, \quad dR = da = -108 \text{ m} \quad (A \rightarrow C)$$

Na obr. 1 je zkreslení znázorněno soustřednými kružnicemi opsanými kolem bodu P_0 . Ke zvolenému zkreslení byl vždy vypočten poloměr kružnice podle vzorce

$$s^2 = (m-1) \frac{3R^3}{dR}$$

$(m-1)_{\text{mm/km}}$	-0,001	-0,005	-0,010	-0,015	-0,020	-0,025	-0,030
s_{km}	85	190	268	329	380	424	465

Z předchozího je možno vyvodit dílčí závěry pro případné použití Helmertovy transformace:

1. Rozdíly mezi elipsoidem Krasovského a GRS-80 jsou poměrně malé a tedy také malé budou změny souřadnic:

$$\delta B = -0,08'' \div +0,06''$$

$$\delta L = -0,2'' \div +0,3''$$

$$\delta A = -0,2'' \div +0,2''$$

2. Rovněž délkové zkreslení je velmi malé a nepřesahuje hodnotu - 0,02 mm/km a dalo by se početní úpravou zmenšit na polovinu.

3. Poledníky a rovnoběžky elipsoidu E se zobrazují na elipsoidu E' jako křivky vyššího řádu. Vyjímkou je poledník bodu P_0 , který je osou symetrie pro změny δB a δL a sám se nezkrsluje.

3.2.3. Konformní převod elipsoidu na jiný elipsoid při požadavku co nejmenšího délkového zkreslení

Metoda je popsána např. v [27], [28] a [26], kde jsou také uvedeny výpočetní programy pro TI-59 a další podrobnosti.

V centrálním bodě P_0 mají body na obou elipsech E, E' společnou normálu a navíc při převodu $E \rightarrow E'$ měřítko $m=1$.

Podle [55] platí

$$\delta B = \cos B (1 - e^2 \sin^2 B) \left\{ \frac{A}{1 - e^2} + \frac{B - 1}{1 - e^2} q + \frac{C}{1 - e^2} q^2 - \frac{C}{1 - e^2} \Delta L^2 - \left[\frac{1}{2} \ln \frac{1 - e \sin B}{1 + e \sin B} - \frac{e \sin B}{1 - e^2 \sin^2 B} \right] \frac{de}{1 - e^2} + \frac{\sin B}{(1 - e^2 \sin^2 B)} \frac{(de)^2}{1 - e^2} \right\}$$

$$\delta L = (B + 2Cq - 1) \Delta L$$

$$\text{kde } q = \frac{1}{\text{Mod}} \log \text{tg} \left(\frac{B}{2} + 45^\circ \right) \left(\frac{1 - e \sin B}{1 + e \sin B} \right)^{\frac{e}{2}}$$

A, B, C jsou konstanty pro zvolené zobrazení:

$$A = -0,000\ 011\ 0129$$

$$B = 1,000\ 004\ 2630$$

$$C = 0,000\ 006\ 3022.$$

Číselné hodnoty změn zeměpisných souřadnic 7 fiktivních bodů pro $A \rightarrow C$ podle [29]:

j	$\delta B_j''$	$\delta L_j''$
1	0,0570	- 0,2203
2	- 0,0007	- 0,1872
3	0,0641	- 0,0893
4	0,0205	0,0146
5	- 0,0786	0,0509
6	- 0,0045	0,1536
7	- 0,0286	0,2873

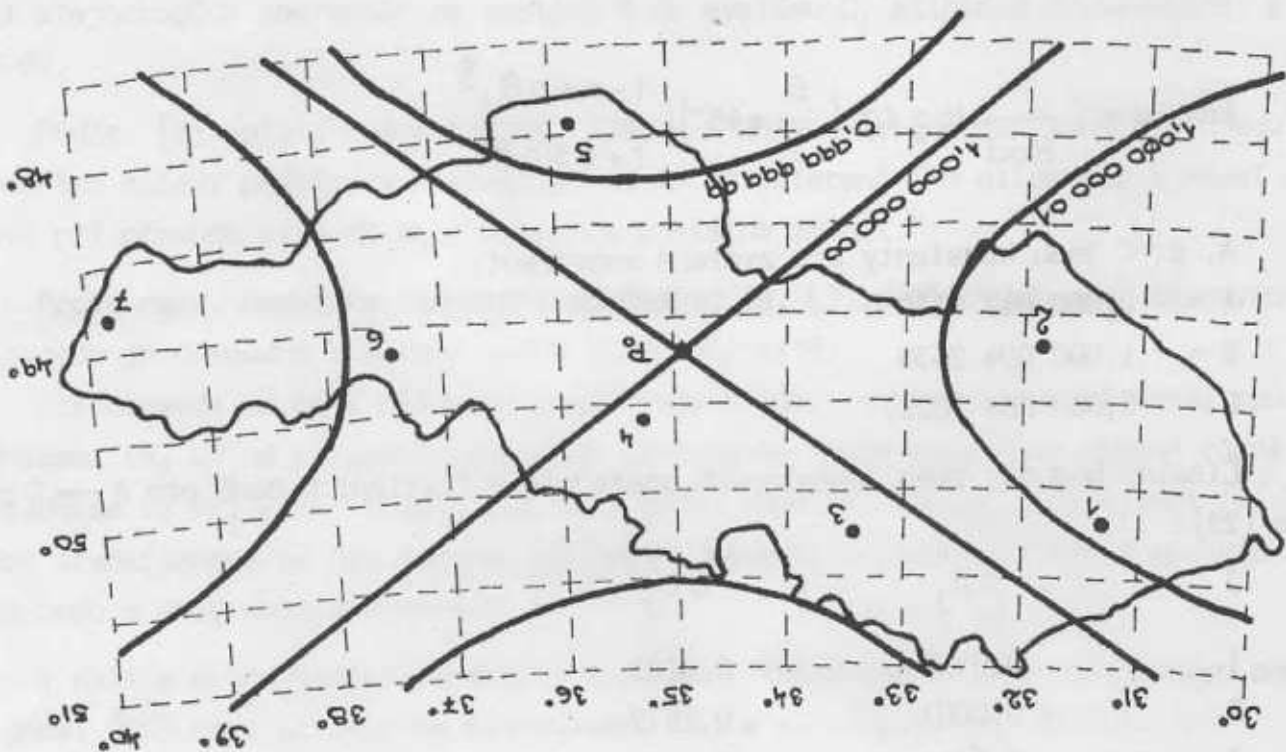
Délkové zkreslení se počítá podle [27] ze vzorce:

$$m = \frac{N' \cos B'}{N \cos B} \sqrt{B^2 + 4BCq + 4C^2(q^2 + L^2)}$$

a dosahuje u zvolených fiktivních bodů těchto hodnot (podle [26]):

j	m	(m-1) v mm/km
1	1,000 000 011	0,011
2	1,000 000 014	0,014
3	0,999 999 993	- 0,007
4	0,999 999 999	- 0,001
5	0,999 999 987	- 0,013
6	1,000 000 009	0,009
7	1,000 000 032	0,032

Izometrické křivky znázorňující přibližně průběh zkreslení 0 a $\pm 0,01$ mm/km jsou na obr. 2:



obr. 2

Z předchozího je možno vyvodit některé dílčí závěry pro případné použití konformního zobrazení:

1. Změny souřadnic jsou opět velmi malé, téměř se neliší od odpovídajících hodnot při Helmertově transformaci.

2. Rovněž délkové zkreslení je velmi malé a nepřesahuje hodnotu 0,03 mm/km a dalo by se početní úpravou ještě zmenšit.

3. Poledníky a rovnoběžky elipsoidu E se zobrazují na elipsoidu E' jako křivky vyššího řádu. Vyjímkou je poledník bodu P₀, který je osou symetrie pro změny δB a δL.

3.2.4. Změna převýšení kvazigeoidu

Ztotožněním normál v centrálním bodě jsme určili vzájemnou polohu obou elipsoidů E a E'. Se vzdáleností od centrálního bodu se zvětšuje vzdálenost d obou elipsoidických ploch podle známého vzorce:

$$d \doteq \frac{s^2}{2R^2} dR,$$

což pro meridiánový řez (s = 200 km) a příčný řez (s = 400 km) znamená při převodu A → C, pro B = 49°:

$$d_M = - \frac{200^2}{2 \cdot 6372^2} \cdot 108,8 \text{ m} = - 0,054 \text{ m}$$

$$d_N = - \frac{400^2}{2 \cdot 6390^2} \cdot 106,4 \text{ m} = - 0,208 \text{ m}$$

Maximální zkreslení v poledníku resp. v rovnoběžce bude

$$m_p = 1 + \frac{d_M}{M} = 1 - 0,000\,000\,008\,412 \dots = 0,0084 \text{ mm/km}$$

$$m_r = 1 + \frac{d_N}{N} = 1 - 0,000\,000\,032\,627 \dots = 0,0326 \text{ mm/km}$$

Převýšení kvazigeoidu bude tedy zapotřebí opravit o hodnoty d_M a d_N. Numerickou úpravou můžeme případně dosáhnout poloviční maximální hodnoty d_N, jestliže elipsoid GRS-80 posuneme po normále v bodě P₀ o hodnotu d_N:2.

4. System "C" na GRS-80 (či jiném elipsoidu)

Vyjdeme ze situace, uvedené v předchozích odstavcích: je mj. zřejmé, že můžeme volit kteroukoliv metodu převodu z elipsoidu E na elipsoid E', tedy také kromě zmíněných např. známou metodou promítání dle Krasovského a Fialy (viz učebnice VG).

Pro další uvažujeme Helmertovu transformaci s tím, že při transformaci prostorových pravouhlých souřadnic $(X, Y, Z)_A \leftrightarrow (X, Y, Z)_C$ se vyřeší vzájemná poloha obou elipsoidů tak, jak je naznačeno v odst. 3.2.4.

Další navrhované kroky jsou uvedeny zatím globálně; jejich konkrétní a zejména numerická podoba bude záviset na tom, která verze převodu bude přijata. K odvození analytických vzorců i numerických hodnot koeficientů a konstant bude též zapotřebí znát detailní (až do zhruba III.-IV. řádu) vztahy mezi systémem "A" a dosavadním S-JTSK.

Další navrhované kroky:

1. Odvodí se **přibližná verze** Křovákova zobrazení elipsoidu GRS-80. V tomto případě se vypočte pole rovnoměrně rozložených bodů (označíme pole $[P]$) tak, že budou k $(B, L)_C$ známy $(X, Y)_{C'}$.

2. Bodové pole $[P]$ se pomocí známé Helmertovy transformace převede na bodové pole $|P|$ v S-JTSK, přičemž si bodové pole $[P]$ ponechá svůj rozměr; body v S-JTSK budou tzv. "orientační".

Stav: $(X, Y)_{C'} \rightarrow (X, Y)_{C''}$ pomocí Helmertovy transformace $[P]$ na S-JTSK.

3. Odvodí se **definitivní verze** Křovákova zobrazení elipsoidu GRS-80 pomocí souřadnic $(X, Y)_{C''}$. Pro kontrolu se vypočte bodové pole $[P]$, tj. jeho definitivní souřadnice $(B, L)_C \rightarrow (X, Y)_C$ a porovnájí se s pomocnými souřadnicemi $(X, Y)_{C'}$, $(X, Y)_{C''}$ a (X, Y) v S-JTSK.

4. V rámci odvození definitivní verze Křovákova zobrazení se vypočtou nové konstanty a odvodí se nové vzorce pro výpočet různých hodnot, např. m , C atd.

Tím bude vytvořen systém "C" na GRS-80 a k němu vytvořena nová verze Křovákova zobrazení tak, aby rozdíly rovinných souřadnic C-B byly co nejmenší.

5. Odvodí se transformační rovnice mezi A a C:

$$C = f(A)$$

$$A = g(C).$$

Bude to **transformace stejnorodých souřadnic**. Půjde o vzájemné vztahy mezi geodetickými zeměpisnými souřadnicemi

$$(B, L)_A \leftrightarrow (B, L)_C,$$

mezi prostorovými pravouhlými souřadnicemi

$$(X, Y, Z)_A \leftrightarrow (X, Y, Z)_C.$$

6. Odvodí se vztahy pro vzájemné převody složek tížnicových odchylek a převýšení kvazigeoidu.

7. Vytvoří se vztah mezi B a C:

$$C = f_1(B)$$

$$B = f_2(C)$$

Bude to **transformace nestejnorodých souřadnic** a proto budou funkce f_1 resp. f_2 asi definovány hodnotami rohů čtverců 1×1 km, odvozené na počítači, zřejmě postupnou aproximací.

8. Vše se napřed odzkouší na modelech.

5. Modifikované Křovákovo zobrazení na GRS-80 či jiném elipsoidu

Systém "C" na GRS-80, jehož odvození bylo naznačeno v předchozí kapitole, je co do kvality zcela ekvivalentní systému "A" na Krasovského elipsoidu; systém "A" představuje v současné době to nejkvalitnější, co je v oblasti geodetických polohopisných základů v ČSSR k dispozici.

Navíc systém "C" má tu vlastnost, že se velmi málo liší ve svých rovinných souřadnicích od systému "B", tj. od dosud užívaného S-JTSK. Tedy také veškerá technologie výpočtů, formuláře a vše ostatní, co je spjato s J-TSK, by zůstalo zachováno.

Protože však je systém "C" tvarově i rozměrově poněkud odlišný od systému "B", dojde nutně v celém prostoru ČSSR k diferencím v souřadnicích a tyto difference mohou být více než metrové. To povede k posunu situace vůči sekčním čarám mapových listů map velkých měřítek.

Zmíněný nedostatek nelze vyřešit obvyklými prostředky a proto se pokusím sáhnout k prostředku poněkud neobvyklému. Očekávám, že diskuse mezi odborníky ukáže, zda je tento nebo podobný prostředek oprávněný a použitelný.

N á v r h :

Jakmile bude zpracován systém "A", bude možno snadno vypočítat přesné hodnoty deformací S-JTSK a to ve čtvercích 10×10 km nebo v nějakých jiných organizačních jednotkách. Tyto deformace budou charakterizovat lokální vztahy mezi "A" a "B" ve svém součtu pak vztahy mezi "A" a "B" vůbec. Protože však systém "C" převzal relativní vztahy z "A", platí hodnoty deformací také pro vztah mezi "B" a "C". Tento vztah, resp. tyto deformace můžeme vystihnout zčásti analyticky, tj. rovnicemi, platnými pro celé území ČSSR a zčásti lokálními korekcemi, které budou také vykazovat jistou zákonitost, budou se spojitě s místem měnit atd.

Tento vztah mezi "B" a "C" můžeme zabudovat do definice Křovákova zobrazení, takže převod (B,L) na (X,Y) bude doplněn o korekce (dX,dY). Jestliže dále upravíme vzorce pro měřítko zobrazení a meridiánovou konvergenci, upravíme tím současně vzorce pro délkové a směrové korekce ze zobrazení.

Výsledek: Systém "C", který bude:

1. Na elipsoidu zachovávat původní veličiny systému "C".
2. V rovině bude mít souřadnice (X,Y) modifikovaného Křovákova zobrazení, s upravenými rovnicemi pro výpočty korekcí.
3. Rovinné souřadnice (X,Y) tohoto modifikovaného Křovákova zobrazení na GRS-80 se budou lišit od týchž v S-JTSK pouze maximálně o 2 - 3 dm a tedy situace na sekčních čarách se prakticky nezmění.

Schematicky:

$$(B,L)_A \longrightarrow (B,L)_C \xrightarrow{(1)} (X,Y)_C'$$

(1) ... vybrané body, nově definované Křovákovo zobrazení na GRS-80

$$(X,Y)_C' \xrightarrow{(2)} (X,Y)_C''$$

(2) ... Helmertova transformace do S-JTSK, body v S-JTSK jako orientační

$$(B,L)_C \xrightarrow{(3)} (X,Y)_C$$

(3) ... definitivní verze Křovákova zobrazení na GRS-80

$$(X,Y)_C \xrightarrow{(4)} (X,Y)_B$$

(4) ... konfrontace, ze které se odvodí korekce dX, dY pro Křovákovo zobrazení a výpočty v tomto modifikovaném Křovákově zobrazení

$$(B,L)_C \xrightarrow{(5)} (X,Y)_C, \quad (X,Y)_C \approx (X,Y)_B$$

(5) ... modifikované Křovákovo zobrazení na GRS-80, rovinné souřadnice se velmi málo liší od odpovídajících souřadnic v S-JTSK.

Důsledky pro praxi:

1. Změní se výpočet $(B,L) \longleftrightarrow (X,Y)$, tzv. dlouhé promítání, které se realizuje téměř výhradně v GKP Praha a GÚ Bratislava.

2. Nepatrně se změní vzorce pro výpočet směrové a délkové korekce ze zobrazení.

3. Ostatní výpočty a další používaná technologie se nemění.

Dílčí závěr:

V tomto odstavci se stále uvažovalo o transformaci na nový elipsoid GRS-80. Chci na tomto místě znovu zdůraznit, že volba elipsoidu pro zpřesněný S-JTSK není podstatná a rozhodující. Dokonce se může ukázat, že některé další okolnosti by mohly komplikovat zavádění nového elipsoidu. Proto také v další kapitole uvažuji tu variantu, při které **je zachován Besselův elipsoid**. Jak by se tomto případě řešily transformační operace, uvedené výše, je zcela zřejmé a není účelné je na tomto místě podrobně vypisovat.

6. Zpřesnění geodetického systému S-JTSK

6.1. Úvodní poznámky

Podstata řešení byla v hrubých rysech vyložena již dříve. V této kapitole uvedu konkrétní podobu zobrazovacích a jiných vztahů a ukážu na modelech některé numerické a grafické hodnoty. Pokud bude použito více alternativ, je to proto, že definitivní výběr bude možno učinit až po analýze geodetického systému "A" a jeho konfrontaci se systémem "B".

6.2. Vlastní řešení

Podstata řešení: Systém A převedeme exaktně z elipsoidu Krasovského na elipsoid Besselův Helmertovou metodou. Tím dostaneme **na elipsoidu definitivní systém C**.

Převod systému C do roviny probíhá takto:

(B, L) převedeme do roviny Křovákova zobrazení. K rovinným souřadnicím (X, Y) přidáme korekce (dX, dY) podle vzorů, používaných mj. pro konformní transformaci (kvadratickou nebo kubickou) v úpravě podle Grossmanna a Fischera, jak je také uvádí M. Pick [42] na str. 49:

$$dX = K_1 + ax - by + c(x^2 - y^2) - 2dxy + ex(x^2 - 3y^2) - fy(3x^2 - y^2)$$

$$dY = K_2 + bx + ay + d(x^2 - y^2) + 2cxy + fx(x^2 - 3y^2) + ey(3x^2 - y^2)$$

Koeficienty $K_1, K_2, a, b, c, d, e, f$ se vypočtou takto:

1. Rovinné souřadnice (X, Y) systému C se převedou modifikovanou Helmertovou transformací (měřítko $q = 1$) do systému B - identické body systému B mají funkci bodů "opěrných". Získáme tak koeficienty K_1', K_2', a', b' .

Pozn.: Jde vlastně o tzv. shodnostní transformaci, neboť dojde pouze k posunu (v rovině) a k pootočení; měřítko zůstává původní, tedy měřítko zatím nedeformovaného systému C a tedy také systému A.

2. Transformované body znovu převedeme do systému B pomocí vzorců kvadratické nebo kubické konformní transformace (viz výše). Získáme tak koeficienty $K_1'', K_2'', a'', b'', c, d, e, f$.

Výsledné koeficienty pak jsou

$$K_1 = K_1' + K_1'', \quad K_2 = K_2' + K_2'', \quad a = a' + a'', \quad b = b' + b'', \quad c, d, e, f.$$

Pozn.: Koeficienty K_1, K_2, a, b bychom mohli samozřejmě počítat přímo, tj. bez mezikroku - modifikované Helmertovy transformace. Z mnoha důvodů však doporučuji "dvoustupňové" řešení, mj. proto, že absolutní členy "1" rovnic oprav (při výpočtu koeficientů vyrovnáním) nám poskytnou cenné a přehledné informace o konfrontaci systému B a C nebo též B a A. Dále nám hodnoty "1" pomohou rozhodnout, jaký stupeň volit při výpočtu souřadnicových přírůstků dX a dY . Jestliže a priori vyloučíme 4. stupeň, zbývá nám rozhodování mezi kvadratickou a kubickou transformací. K podobné situaci došlo již častokrát dříve v souvislosti s čs. geodetickými základy, i když tehdy šlo o problémy zásadně jiné. V našem případě jde o předem plánované přiblížení systému C k systému B tak, aby **numerické rozdíly** v souřadnicích byly co nejmenší. Přesto se jistě v budoucnu nalezne nějaký mladší vědecký aspirant, který bude kriticky hodnotit naše dnešní úmysly a činy.

Důsledky pro praxi - zatím jen orientačně:

1. Změní se (nepatrně) výpočet $(B, L) \leftrightarrow (X, Y)$, tzv. dlouhé promítání, které se realizuje téměř výhradně v Geodetickém a kartografickém podniku Praha a v Geodetickém ústavu Bratislava.

2. Nepatrně se doplní vzorce pro výpočet směrové a délkové korekce ze zobrazení (viz dále).

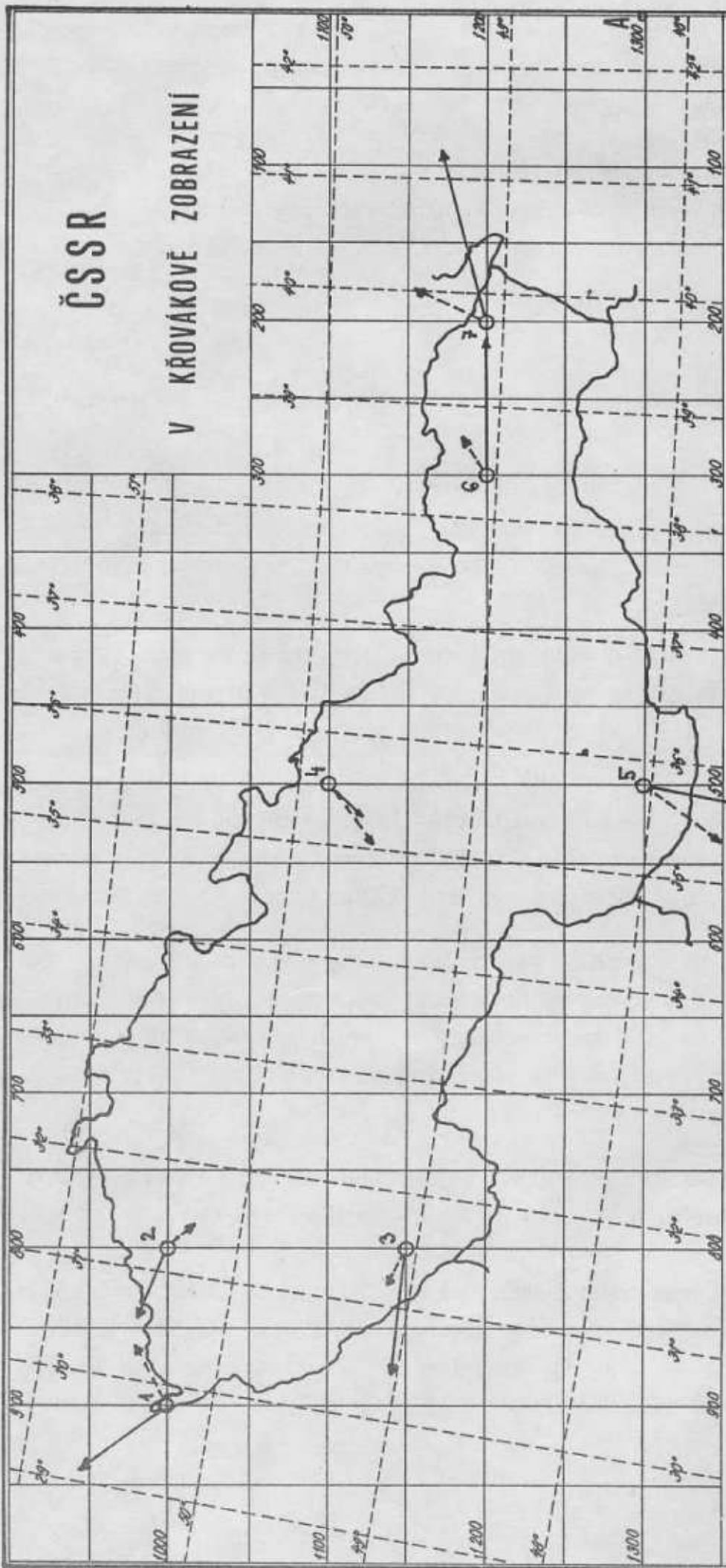
3. Ostatní výpočty a další používaná technologie se nezmění.

Pro předběžnou představu o průběhu korekcí a jejich velikosti uvádím některé grafické přehledy výsledků výpočtů na modelech.

Na obr. 3 jsou vektory V_{XY}' a V_{XY} u modelu o sedmi identických bodech: V_{XY}'

ČSSR

V KŘOVÁKOVÉ ZOBRAZENÍ



LEGENDA

- Geografická síť
- Kilometrová síť

SOUŘADNICE BODU A:

$\varphi = 48^{\circ}15'22.4230''$ v.F., $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 0$, $Y = 0$, $X = R_0$,
 $U = 48^{\circ}12'42.69689''$, $\Delta V = V - V_0 = 0$, $\delta_{max} = 0$, $m = 0.99999$,
 $S = 78^{\circ}30'$, $D = 0$, $R = R_0 = 1298.0390046$ m, $D : 0$.

0 — 1 — 2 — V_{XY} (HELM.)

0 — 1 — 2 — V_{XY} ($H_0, \rho = A$)

jsou zbytkové vektory po známé Helmertově lineární konformní transformaci systému C do B. Vektory V_{XY} jsou zbytkové vektory po modifikované Helmertově transformaci C do B při zachování původního měřítka systému C ($q = 1$).

Na obr. 4 jsou u 18 bodů vyneseny rozdíly $V_{XY} = C - B$, tj. rozdíly definitivními rovinnými souřadnicemi nového systému C a starými souřadnicemi systému B. Jde o model o 18 bodech, u kterého střední hodnota rozdílů souřadnic

$$\Delta X = X_C - X_B, \quad \Delta Y = Y_C - Y_B$$

činí 196 mm.

1. Pozn.: U obdobného modelu o 7 identických fiktivních bodech činí tato střední hodnota 167 mm.

2. Pozn.: V_{XY} a V'_{XY} na obr. 3 nejsou rozdíly mezi novým C a starým B. "V" jsou obvyklé tzv. zbytkové vektory po Helmertově lineární transformaci. U obr. 4 naopak jde o rozdíly $V = C - B$, tedy současně o kritérium vzájemného přiblížení (numerického) obou systémů.

3. Pozn.: U těchto studií na modelech (a bylo jich provedeno více) vychází střední hodnota rozdílů souřadnic menší než 0,2 m, což byl a priori odhadnutý požadavek na numerické přiblížení nového ke starému systému. Přitom bylo použito pouze jedné dvojice rovnic (pro dX a pro dY) pro celou republiku.

4. Pozn.: Výše uváděné střední hodnoty platily pro kubickou variantu korekcí dX a dY . U lineárních rovnic pro dX a dY byla střední hodnota rozdílu u sedmibodového modelu 773 mm, u kvadratické varianty 170 mm.

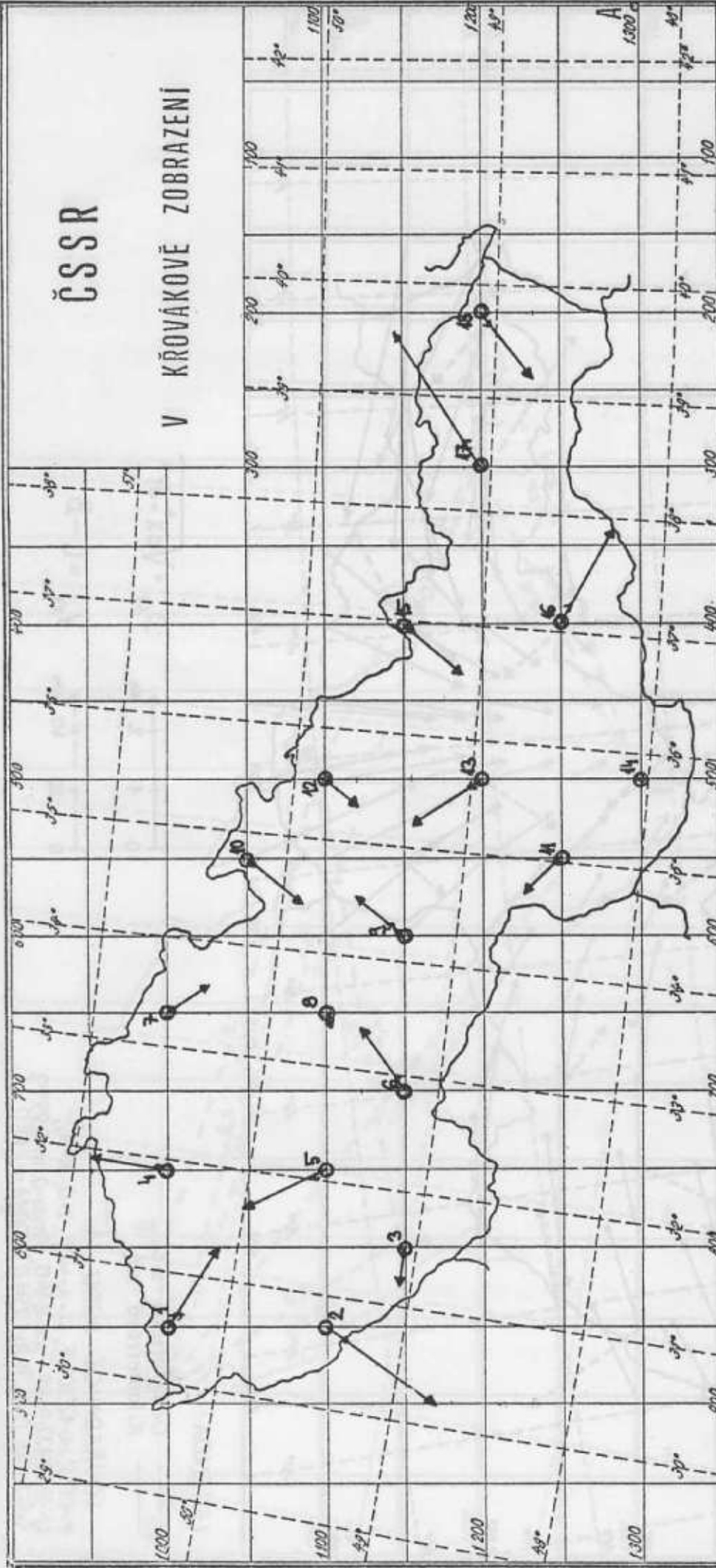
Na obr. 5 jsou u 18 bodů podobně jako na obr. 4 vyneseny rozdíly $V_{XY} = C - B$ a dále jsou (v jiném měřítku) vyneseny korekce D_{XY} , které jsou produktem druhé fáze výpočtu koeficientů kubické transformace, tj. jde o přírůstky až po lineární konformní transformaci se zachováním původního měřítka ($q = 1$). Tyto korekce jsou vypočteny a vyneseny pro všechny body sítě 50 x 50 km.

Pro orientaci ve vztazích systému B a C jsou ještě na obr. 6 uvedeny korekce vzdáleností mezi některými body (v mm/km) a korekce azimutů spojnic těchto bodů (v sekundách).

Poznámka: Dodatečně jsem nahlédl do VTO 1/84: "Perspektivní metody a postupy pro určování transformačních vztahů mezi geodetickými systémy, část II" (autoři D. Dušátko, P. Němeček, K. Raděj, V. Šilhan, M. Tůma). V odst. 2.3 je uveden poměr měřítek mezi S-JTSK a S-42 hodnotou $7,27 \cdot 10^{-6}$, což je o $1,5 \cdot 10^{-6}$

ČSSR

V KŘOVÁKOVÉ ZOBRAZENÍ



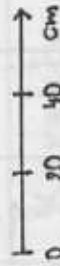
LEGENDA:

- Geografická síť
- Kilometrová síť

SOUŘADNICE BODU A:

$\varphi = 48^{\circ}15'$, $\lambda = 42^{\circ}30'$ v F , $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, $Y - 0$, $X - R_0$,
 $U = 48^{\circ}12'42,69689$, $\Delta V - V - 0$, $\delta_{max} = 0$, $m = 0,99999$,
 $S - \xi = 78'30"$, $D - 0$, $R - R_0 = 1298,039,0046$ m, $D = 0$.

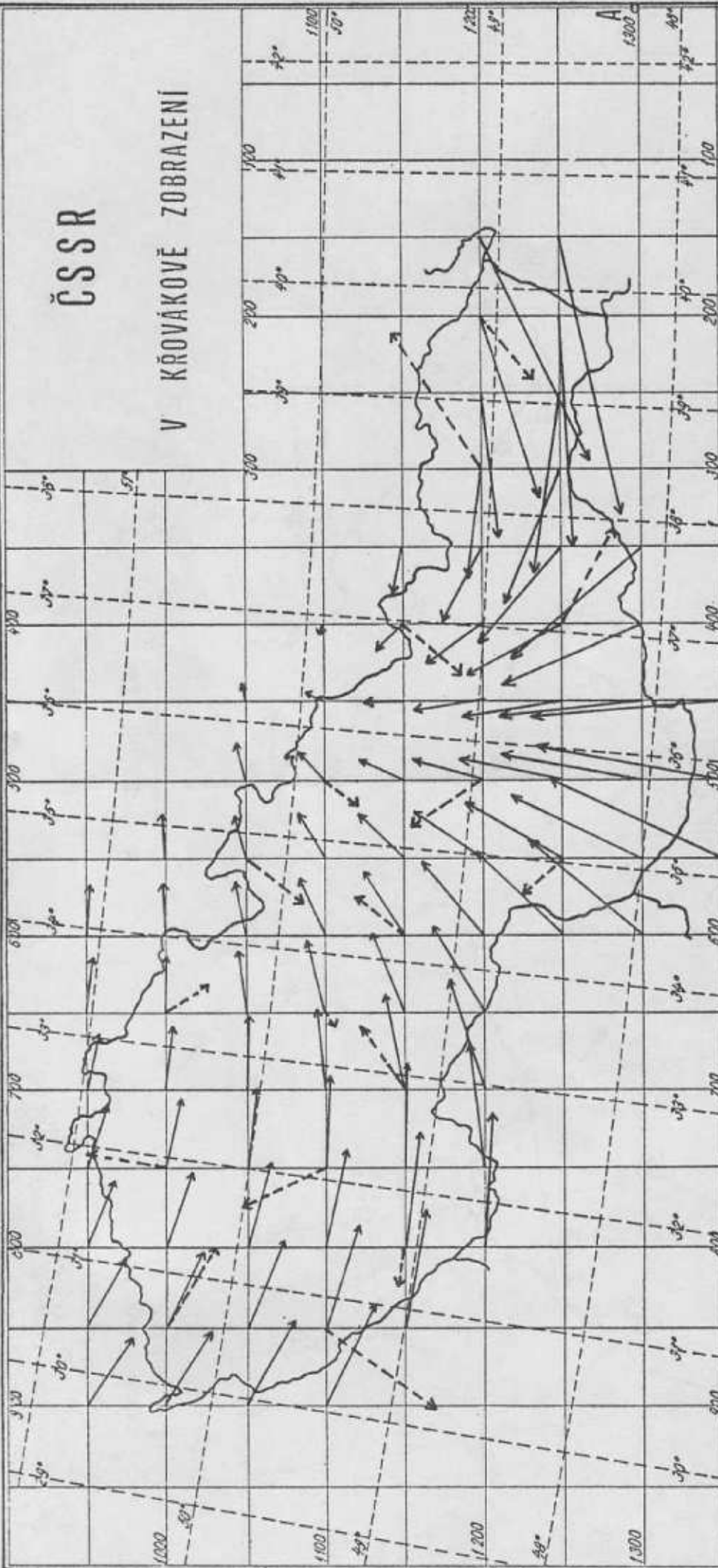
$V_{xy} = C - B$



obr. 4

ČSSR

V KŘOVÁKOVĚ ZOBRAZENÍ



LEGENDA:

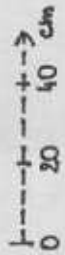
- Geografická síť
- Kilometrová síť

SOUŘADNICE BODU A:

$\varphi = 48^{\circ}15'$, $\lambda = 12^{\circ}30'$, $F, \Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 0$, $\gamma = 0$, $X = R_0$,
 $U = 4812'42,69689$, $\Delta V = V - V_0$, $\sigma_{\max} = 0$, $m = 0,99999$,
 $S = 78'30"$, $D = 0$, $R = R_0 = 1298039,0046$ m, $D = 0$.

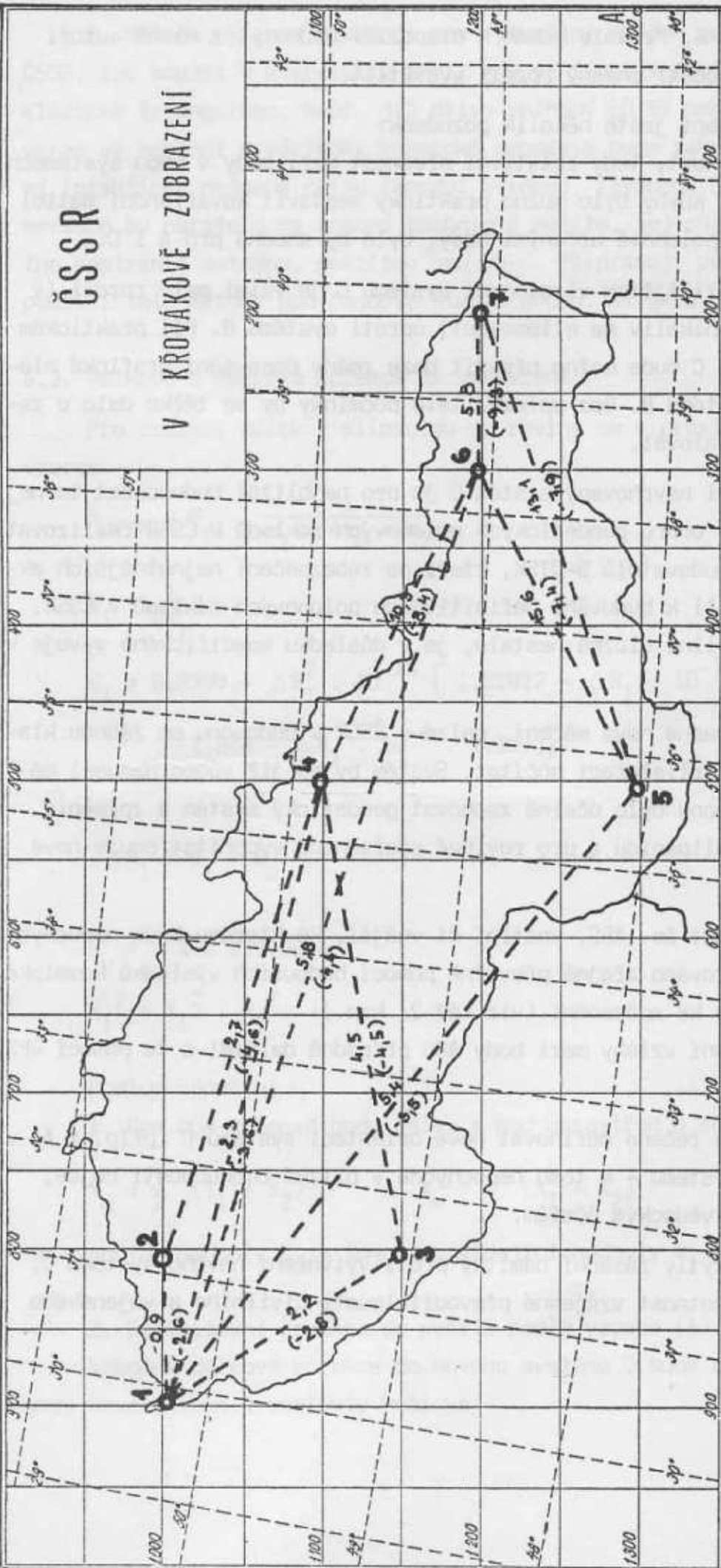
$$D_{xy} = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$V_{xy} = C - B$$



ČSSR

V KŘOVÁKOVÉ ZOBRAZENÍ



LEGENDA:

- Geografická síť
- - - Kilometrová síť

SOUŘADNICE BODU A:

$\varphi = 48^{\circ}15'$, $\lambda = 42^{\circ}30'$, $v.F.$, $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 0$, $Y - 0$, $X - R_0$,
 $U = 4812'42,69689$, $V - V_0 = 0$, $\sigma_{max} = 0$, $m = 0,99999$,
 $S = 5:78'30''$, $D = 0$, $R - R_0 = 1298039,0046$ m, $D:0$.

Korekce v mm/km
(Korekce v sekundách)

více, než vyplývá z obr. 6. Protože nemám k dispozici hodnoty, z nichž autoři vycházeli, nemohu tento dosti značný rozdíl vysvětlit.

K celému návrhu řešení ještě několik poznámek:

1. Pokud jde o přesnost, tedy relativní přesnost mezi body v obou systémech, je zcela shodná v A a C. Kdyby bylo možno prakticky sestavit kovarianční matici pro všechny vztahy mezi polohově určenými body, byla by shodná pro A i C.

2. Jednou z nejdůležitějších vlastností systému C je velmi malý rozdíl (v rovinných souřadnicích, nikoliv na elipsoidu!) oproti systému B. Při praktickém používání nového systému C bude možno převzít beze změny dosavadní grafické elaboráty, zpracované v systému B. Bez splnění této podmínky by se těžko dalo o zavedení nového systému uvažovat.

3. Systém A a tedy i navrhovaný systém C je pro nejbližší budoucnost to nej-
přesnější, co je možno v oboru geodetických polohových základů v ČSSR realizovat. Splní se tím mj. záměr budovatelů S-JTSK, kteří po zabezpečení nejnútnejších aktuálních potřeb přikročili k budování definitivních polohových základů v ČSSR. Že se tak až dosud v civilní službě nestalo, je v důsledku specifického vývoje v ČSSR.

4. Pokud jde o případná nová měření, nelze v ČSSR v budoucnu se žádnou klasickou triangulací nebo trilaterací počítat. Systém by se již vůbec nemusel měnit a pakliže by v budoucnu bylo účelné zachovat geodetický systém a zpřesnit jej, lze to provést na elipsoidu a pro rovinné souřadnice vypočítat pouze nové korekce dX , dY .

5. Případné zpřesnění čs. AGS, vnitřní či vnější, ke kterému bude nepochybně docházet, bude realizováno zřejmě převážně pomocí budoucích výsledků kosmické geodézie. Jsou dvě cesty ke zpřesnění (viz též 2. kap.):

a) Zpřesnit relativní vztahy mezi body AGS případně dalšími a to pomocí GPS apod.,

b) Změnit nebo lépe řečeno definovat nově orientaci systému C (příp. i A) v nějakém geocentrickém systému - k tomu nepochybně v blízké budoucnosti dojde, zpočátku přinejmenším k vědeckým účelům.

6. Pokud by se vyskytly zásadní námitky proti vytvoření nového systému C, upozorňuji na apriorní nutnost vzájemné převoditelnosti civilního a vojenského geodetického systému.

7. Metodu, kterou navrhuji pro vytvoření nového geodetického systému C pro ČSSR, lze použít v kterékoliv zemi, kde je fungující služba, vybudovaná pomocí klasické triangulace. Např. již dříve zmíněný ED 87 nebo jeho případná přesnější verze ve spojení s výsledky kosmické geodézie bude zahrnovat velmi rozsáhlé území (prakticky nejméně celou Západní Evropu). Zavedení ED 87 pro tzv. Landesvermessung by naráželo na značné technické potíže, jejichž značnou část by bylo možno odstranit metodou, použitou pro GS-C. Připravuji proto publikaci pro obecné použití této metody pro časopis *Studia geoph. et geod.*

6.3. Délkové a směrové korekce ze zobrazení

Pro redukci délek z elipsoidu do roviny se v praxi používají tyto známé vzorce

$$S_{JTSK} = S_{el} \cdot \frac{1}{m_1 + 4m_m + m_2}$$

$$m_i = \frac{1}{6K_i}$$

$$K_i = 0,9999 + \Delta R_i^2 \cdot 10^{-14} \left\{ 1,22822 - \Delta R_i \cdot 10^{-7} \cdot [3,154 - \Delta R_i \cdot 10^{-6} \cdot (1,848 - \Delta R_i \cdot 10^{-6} \cdot 1,15)] \right\}$$

kde

$$\Delta R_i = R_i - R_0$$

$$R_0 = 1\,298\,039,0046$$

$$R_i^2 = Y_i^2 + X_i^2$$

Postup výpočtu:

1. Pro oba koncové body délky a bod uprostřed o souřadnicích:

$$Y_m = \frac{1}{2} (Y_1 + Y_2), \quad X_m = \frac{1}{2} (X_1 + X_2)$$

se vypočtou hodnoty K_i a tomu odpovídající hodnoty m_i .

2. Definitivní redukce se počítá podle vzorce (1).

Výpočet délkové korekce do nového systému C bude odlišný při použití varianty kvadratické a varianty kubické.

6.3.1. Varianta kvadratická

Rovnice pro výpočet korekcí souřadnic budou

$$dX = K_1 + ax - by + c(x^2 - y^2) - 2 dxy$$

$$dY = K_2 + bx + ay + d(x^2 - y^2) + 2 cxy .$$

Číselné hodnoty pro použitý 18 bodový model jsou

$$K_1 = 0,252\ 547$$

$$K_2 = - 24,148\ 304$$

$$a = 21,473\ 027$$

$$b = 33,562\ 898$$

$$c = - 15,731\ 169$$

$$d = - 6,974\ 165$$

Korekce dX a dY této kvadratické varianty jsou graficky zaznamenány na obr. 7 a 8 (v metrech).

Měřítko této "konformní transformace" získáme pomocí parciálních derivací dle známých vztahů

$$m \doteq 1 + \frac{\delta(dX)}{\delta x} \doteq 1 + \frac{\delta(dY)}{\delta y}$$

tedy v našem případě $m = 1 + a + 2cx + 2dy$.

Délkové zkreslení bude při označení, použitém při výpočtech na počítači:

$$MT = m - 1 = a + 2cx - 2dy .$$

Hodnoty MT v mm/km jsou zakresleny na obr. 9. Jde o soustavu ekvidistantních přímk a z toho plynoucí způsob výpočtu délkové korekce:

Po výpočtu redukce do roviny S-JTSK podle vzorce (1) připojíme korekci:

$$\Delta S = S_{km} \cdot MT \quad , \quad \Delta S \dots \text{v milimetrech}$$

$$MT = a + 2cx_m - 2dy_m \quad , \quad (x_m, y_m) \dots \text{průměr souřadnic koncových bodů}$$

Směrové korekce, které označíme δ''_{12} , vypočteme ze vzorců (s použitím "počítačového označení")

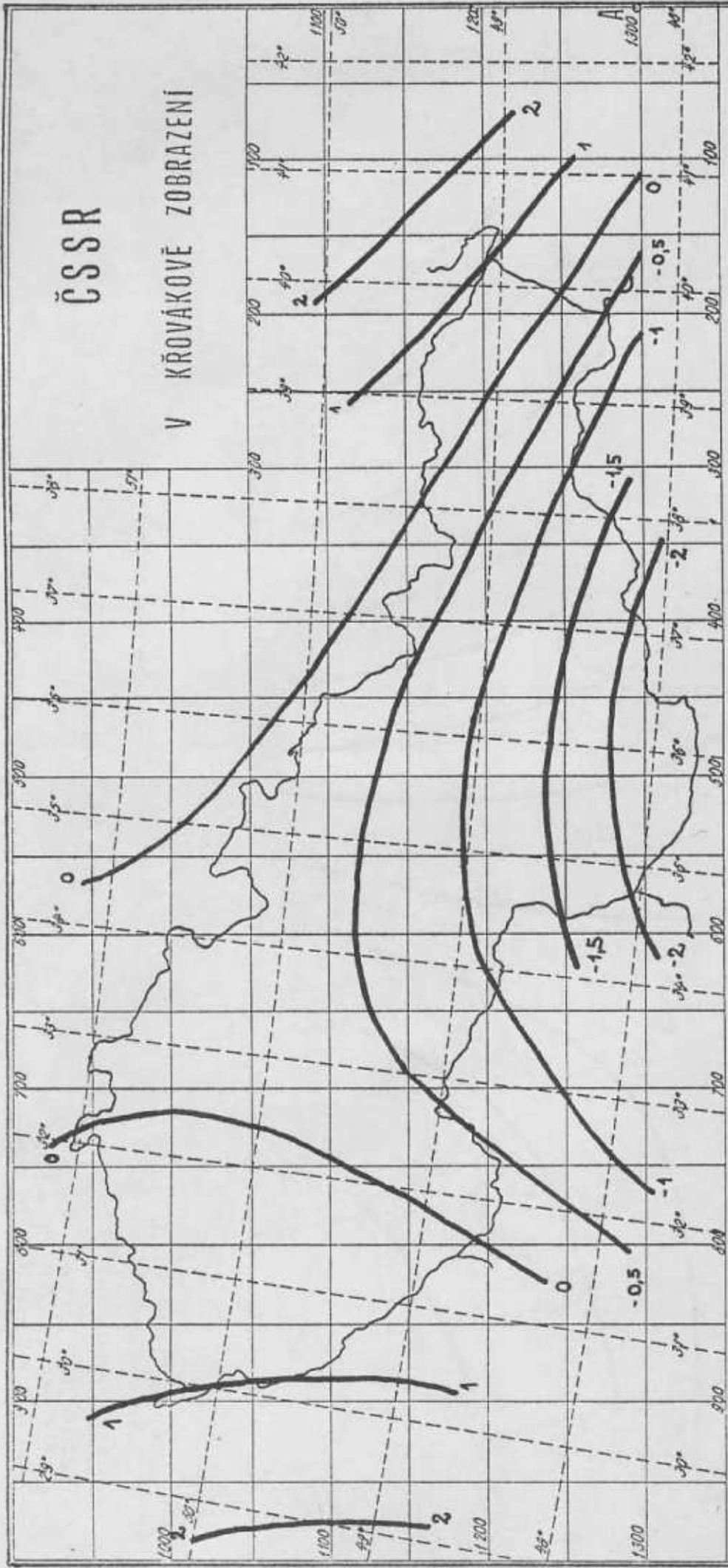
$$\delta''_{12} = 10^{-6} \varphi'' [DDx (y_2 - y_1)^2 + DDy (x_2 - x_1)^2] / s^2$$

kde

$$DDx = dX_2 - dX_1 \quad , \quad DDy = dY_2 - dY_1 .$$

ČSSR

V KŘOVÁKOVĚ ZOBRAZENÍ



LEGENDA:

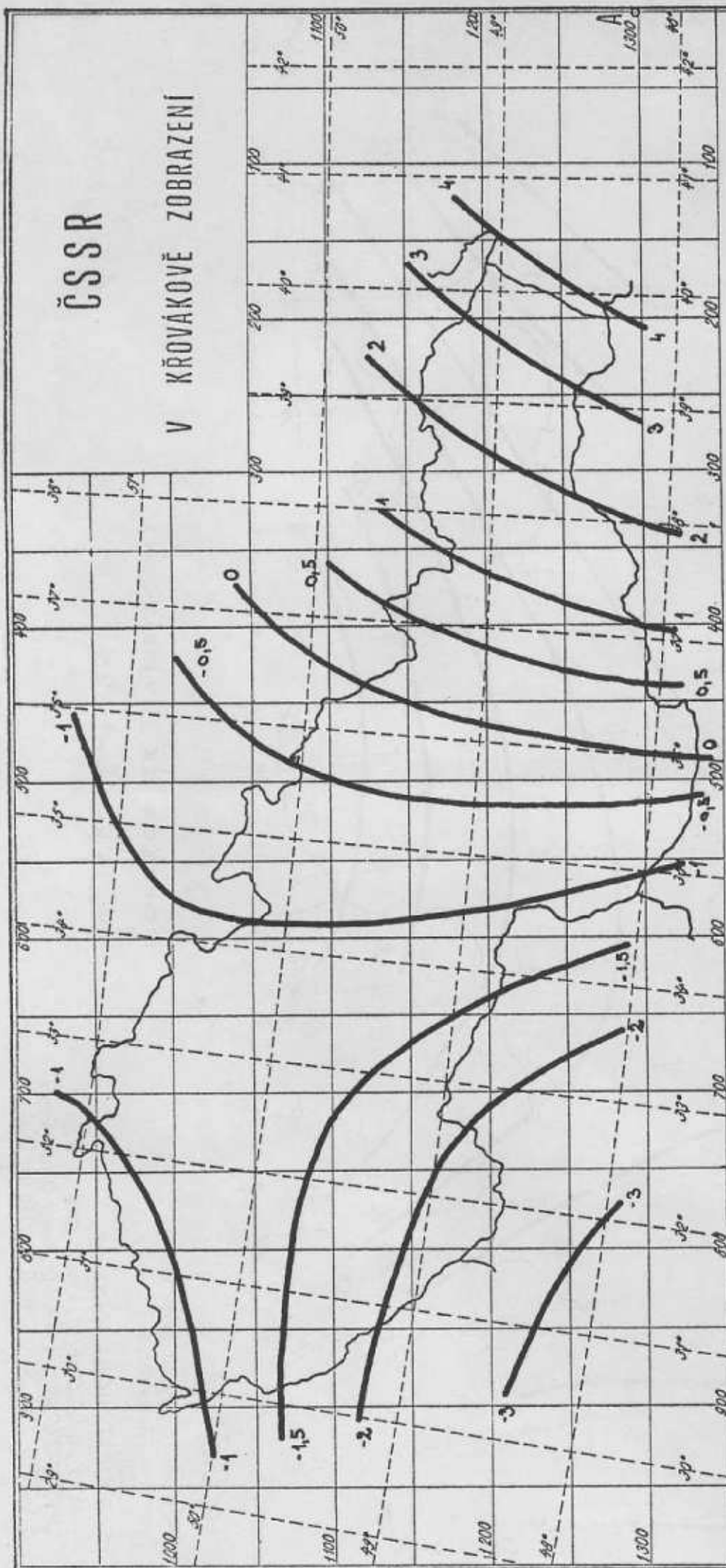
- Geografická síť
- Kilometrová síť

SOUŘADNICE BODU A:

$\varphi = 48^{\circ}15'$, $\lambda = 12^{\circ}30'$ v F, $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, $Y = 0$, $X = R_0$,
 $U = 48^{\circ}12'42.69689$, $\Delta V = V - V_0$, $\delta_{max} = 0$, $m = 0.99999$,
 $S = 57830$, $D = 0$, $R = R_0 = 1298039.0046$ m, $D = 0$.

Korekce dx (v metrech)
 var. 18 kvadratická

obr. 7



LEGENDA:

- Geografická síť
- Kilometrová síť

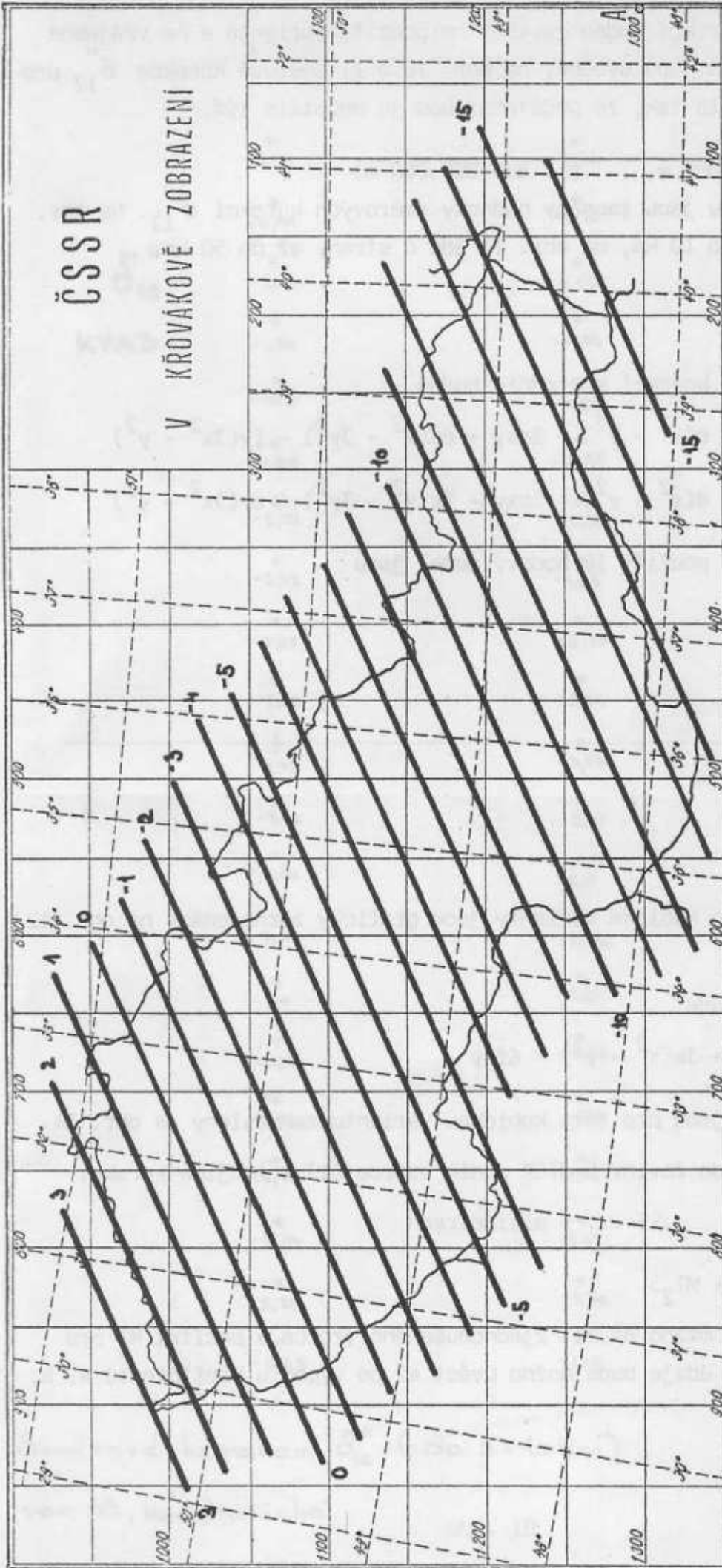
SOUŘADNICE BODU A:

$\varphi = 48^{\circ}15'$, $\lambda = 47^{\circ}30'$, $F_{\Delta\lambda} = \lambda - \lambda_0 = 0$, $Y - 0$, $X - R_0$,
 $U = 48^{\circ}12'47.69689$, $\Delta V - V_0 = 0$, $\delta_{\max} = 0$, $m = 0.99999$,
 $S - \tilde{S} = 78.30$, $D - 0$, $R - R_0 = 1298.0390046$ m, $D - 0$.

Korekce dy (v metrech)
 var. 1B kvadratická

ČSSR

V KŘOVÁKOVÉ ZOBRAZENÍ



Korekce délek MT (v mm/km)
var. 18, kvadratická

LEGENDA:

- Geografická síť
- Kilometrová síť

SOUŘADNICE BODU A:

$\varphi = 48^{\circ}15'$, $\lambda_2 = 42^{\circ}30'$, $F_{\Delta\lambda} = \lambda - \lambda_0 = 0$, $\gamma = 0$, $X = R_{\text{m}}^2$,
 $U = 48^{\circ}12'42,69689''$, $\Delta V = V - V_0$, $f_{\text{max}} = 0$, $m = 0,99999$,
 $S = 5^{\circ}78'30''$, $D = 0$, $R = R_0 = 1298039,0046 \text{ m}$, $D = 0$.

Hodnoty směrových korekcí budou záviset na použité variantě a na vzájemné poloze bodů. Jako příklad jsou uvedeny na obr. 10 a 11 směrové korekce δ''_{12} pro variantu kvadratickou a to tak, že počáteční bod je neustále týž.

$P_1 (x_1 = 1\ 200\ 000,000\ \text{m} , \quad y = 800\ 000,000\ \text{m})$
 a u polohy koncového bodu jsou zapsány hodnoty směrových korekcí δ''_{12} . Na obr. 10 jde o kratší strany do 10 km, na obr. 11 jde o strany až do 50 km.

6.3.2. Varianta kubická

Rovnice pro výpočet korekcí souřadnic budou

$$dX = K_1 + ax - by + c(x^2 - y^2) - 2dxy + ex(x^2 - 3y^2) - fy(3x^2 - y^2)$$

$$dY = K_2 + bx + ay + d(x^2 - y^2) + 2cxy + fx(x^2 - 3y^2) + ey(3x^2 - y^2)$$

Číselné hodnoty pro použitý 18 bodový model jsou

$$K_1 = - 26,059\ 516$$

$$K_2 = - 4,569\ 728$$

$$a = 57,335\ 020$$

$$b = - 33,278\ 619$$

$$c = - 18,644\ 154$$

$$d = 52,212\ 432$$

$$e = - 6,074\ 589$$

$$f = - 14,402\ 824$$

Korekce dX a dY této kubické varianty jsou graficky zaznamenány na obr. 12 a 13 (v metrech).

Délkové zkreslení bude

$$MT = a + 2cx - 2dy + 3e(x^2 - y^2) - 6fxy .$$

Hodnoty MT v mm/km jsou pro tuto kubickou variantu zakresleny na obr. 14.

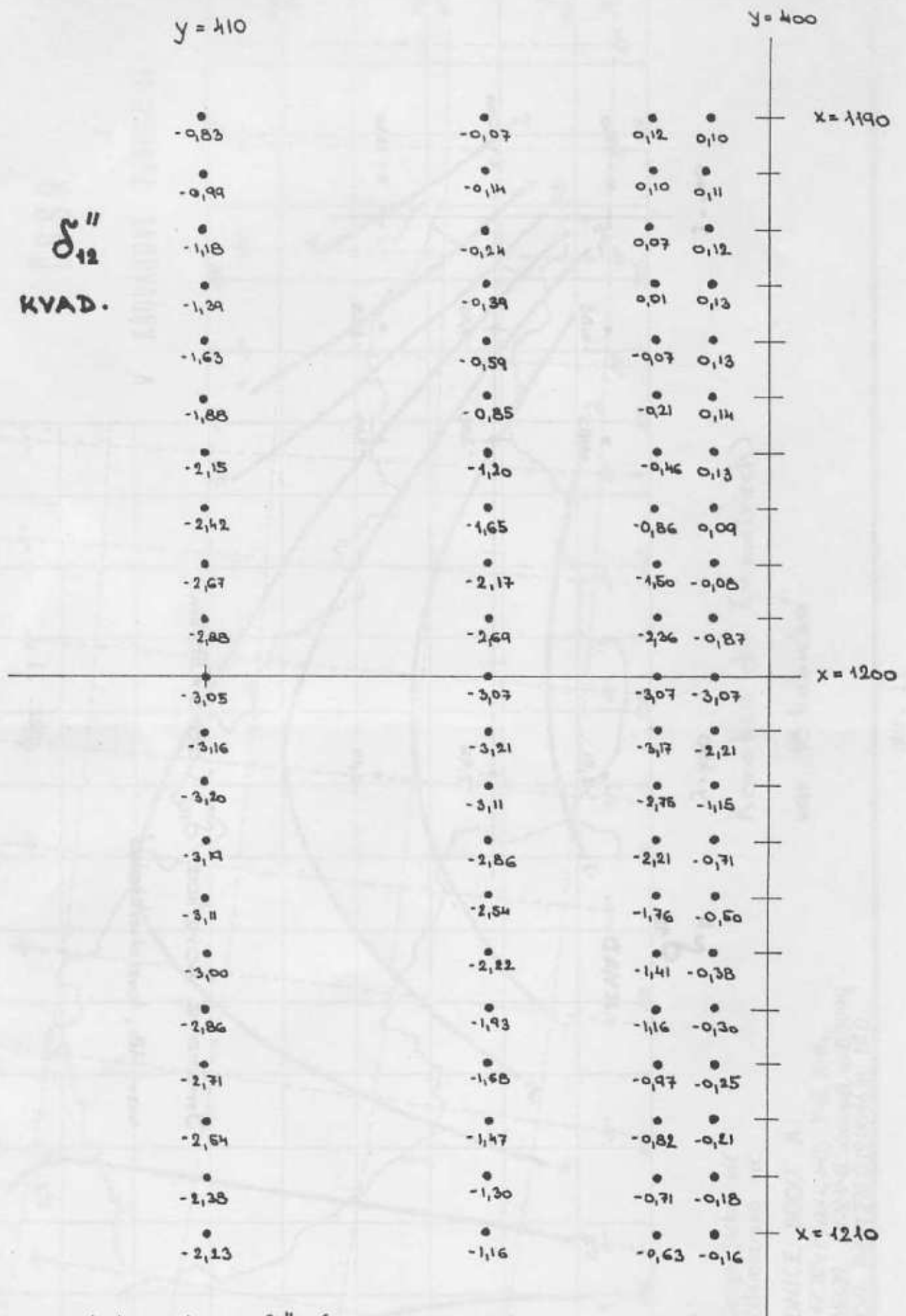
Po výpočtu redukce do roviny S-JTSK podle vzorce (1) připojíme korekci

$$\Delta S = S_{\text{km}} \cdot MT , \quad \Delta S \dots \text{v milimetrech}$$

$$MT = \frac{1}{6} (MT_1 + 4MT_m + MT_2)$$

Pro kratší délky je možno použít zjednodušeného vzorce a počítat MT pro střední bod. Podrobnější údaje bude možno uvést až po výpočtu koeficientů a, b,

δ_{12}''
KVAD.



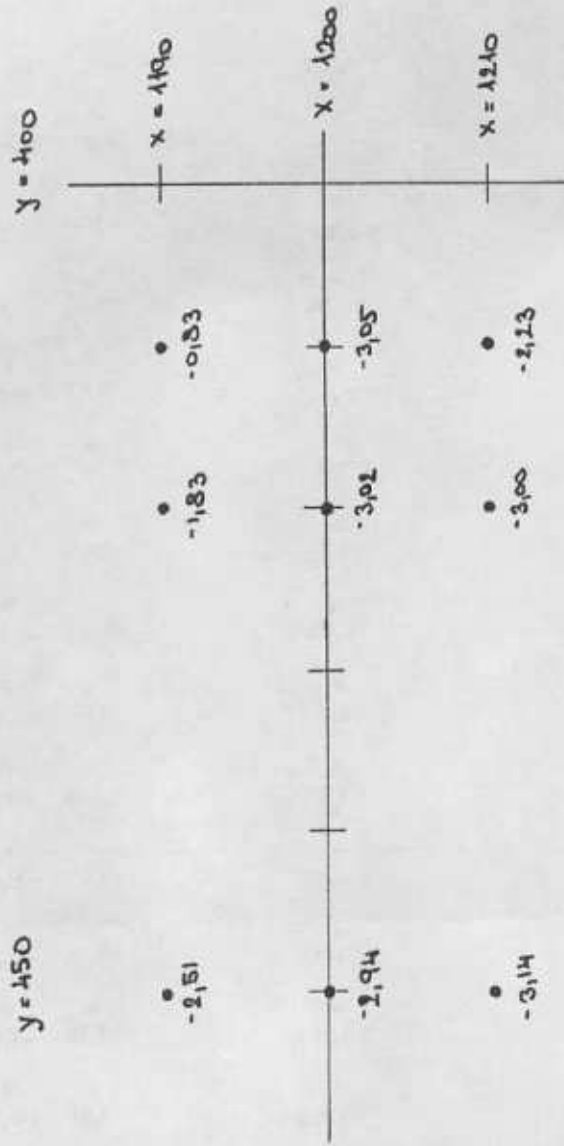
Směrová korekce δ_{12}'' (do $s=10$ km)

var. 18, kvadratická

obr. 10

δ_{12}^{II}

KVAD.

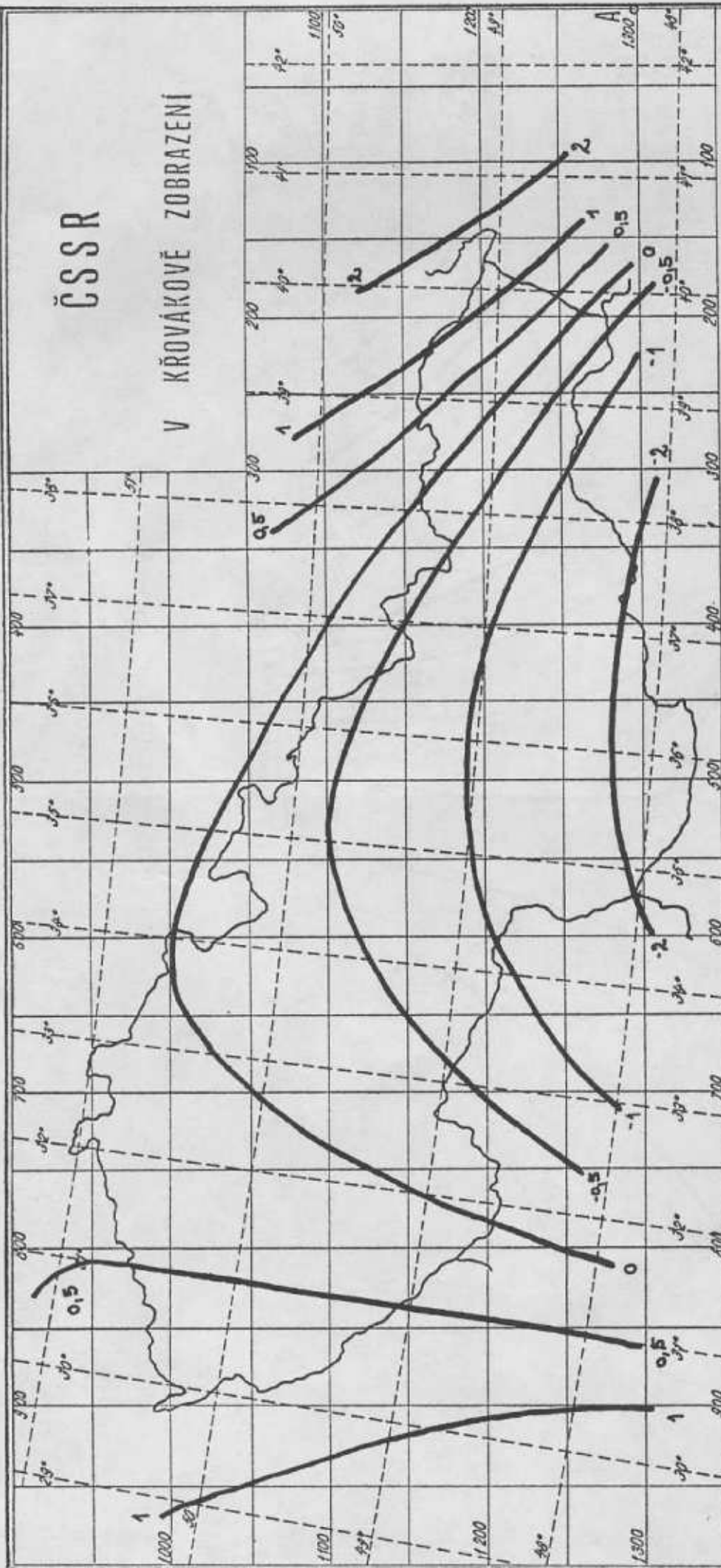


Směrové korekce δ_{12}^{II} (do $s=50$ km)
var. 18, kvadratická

obr. 11

ČSSR

V KŘOVÁKOVÉ ZOBRAZENÍ



LEGENDA:

- Geografická síť
- Kilometrová síť

SOUŘADNICE BODU A:

$\varphi = 48^{\circ}15'$, $\lambda = 42^{\circ}30'$ v.F., $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 0$, Y-0, X-R,
 $U = 4812'42,69689$, $\Delta V = V - V_0$, $\sigma_{\max} = 0$, m-0,9999,
 $S = 5,7830'$, D-0, R-R $_2$ 1 298 039,0046 m, D:0.

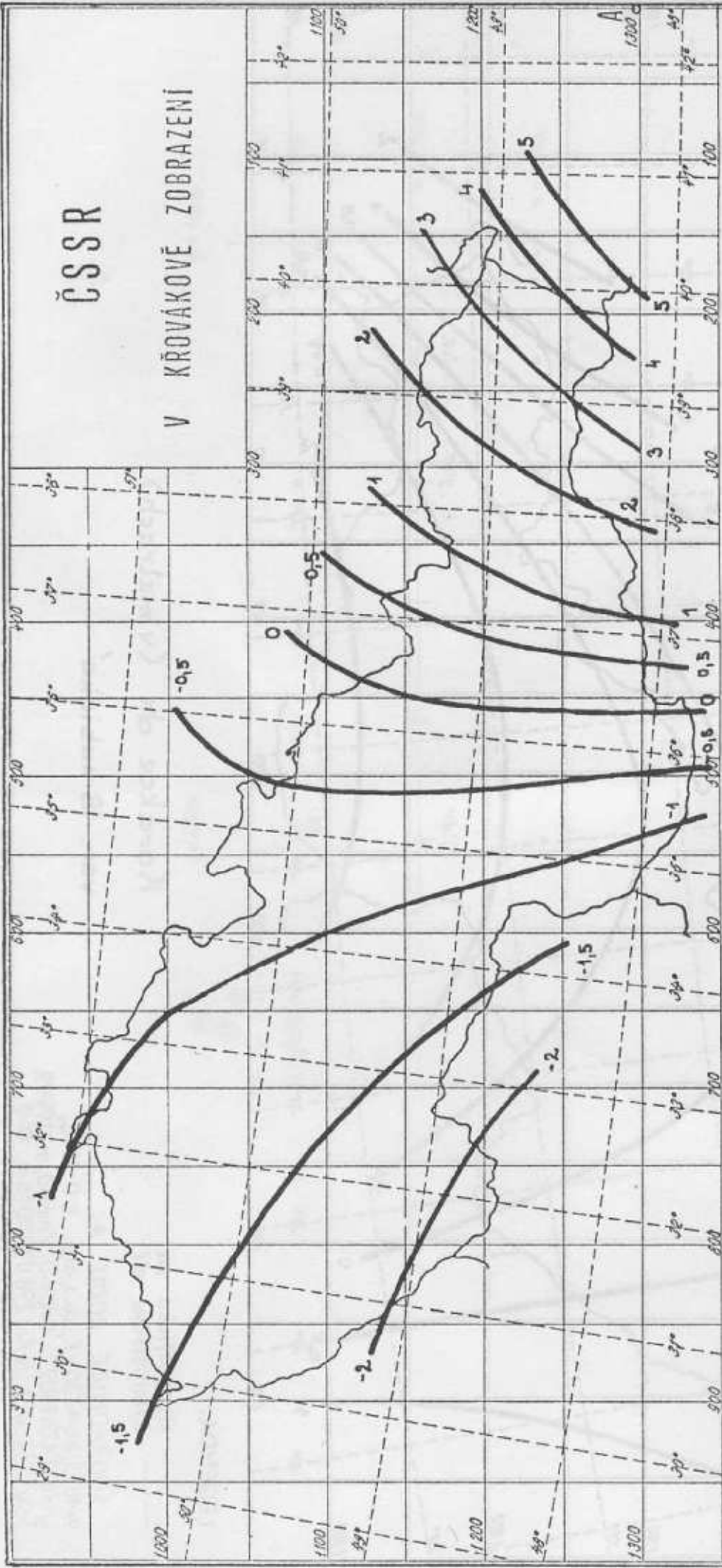
Korekce dx (v metrech)

var. 18 kubická

obr. 12

ČSSR

V KŘOVÁKOVÉ ZOBRAZENÍ



LEGENDA:

- - - Geografická síť
- Kilometrová síť

SOUŘADNICE BODU A:

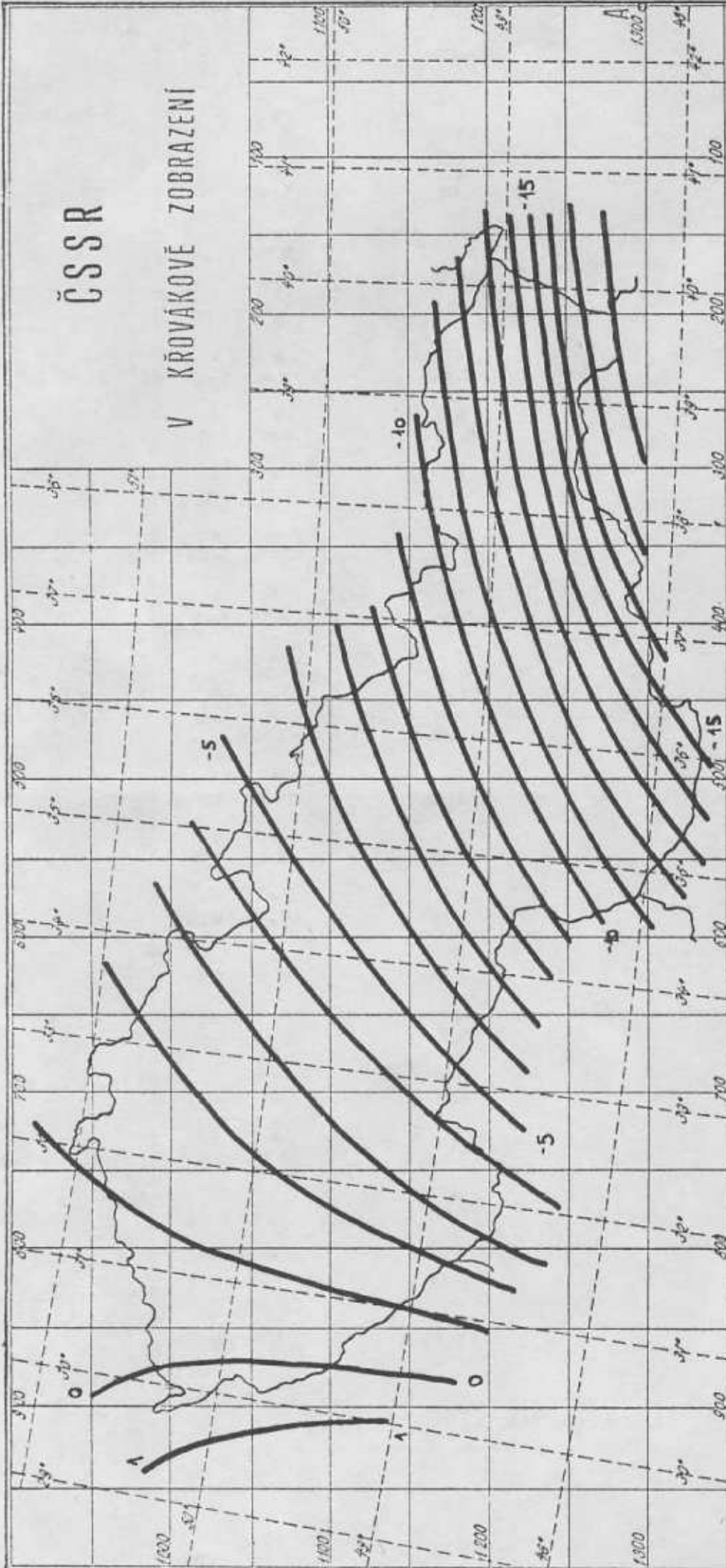
$\varphi = 48^{\circ}15'$, $\lambda = 42^{\circ}30'$ v.F., $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, $\gamma = 0$, $X \cdot R_0$,
 $U = 48^{\circ}12'42.69689$, $\Delta V = \gamma - \gamma_0$, $\delta_{max} = 0$, $m = 0.99999$,
 $S = 5.7830$, $D = 0$, $R = R_0 = 1298.0390046$ m, $D = 0$.

Korekce dy (v metrech)

var. 18 kubická

ČSSR

V KŘOVÁKOVÉ ZOBRAZENÍ



LEGENDA:

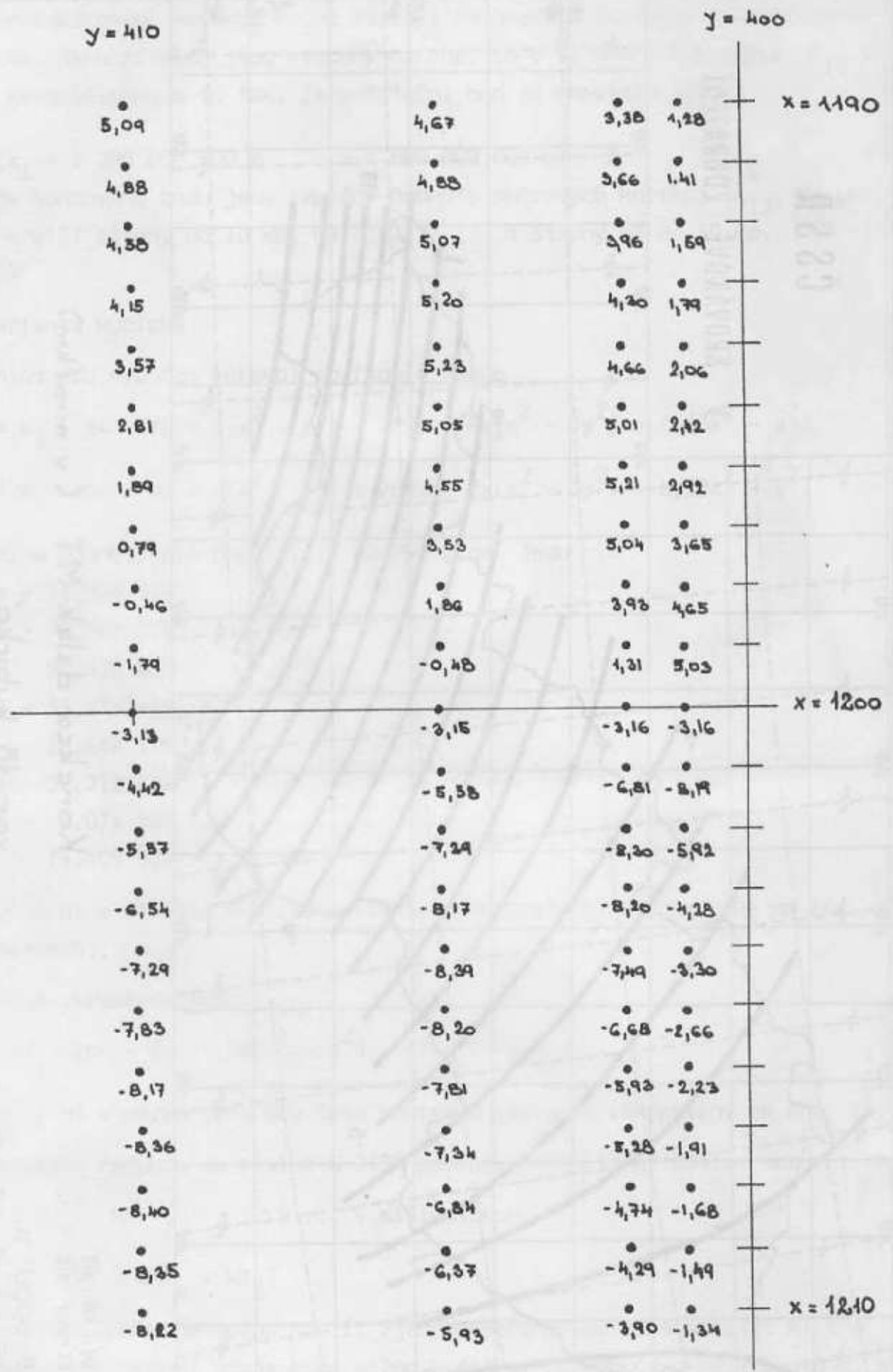
- Geografická síť
- Kilometrová síť

SOUŘADNICE BODU A:

$48^{\circ}15'32''$ $42^{\circ}30'V$, $\Delta\lambda = 2.20$, $Y-0$, $X-R_1$,
 $U = 4812'42.69689$, $\Delta V-V-0$, δ_{max-0} , $m \cdot 0.9999$,
 $S-S: 78'30''$, $D-0$, $R-R: 1298.039, 0046m$, $D-0$.

Korekce délek MT (v mm/km)
var. 18 kubická

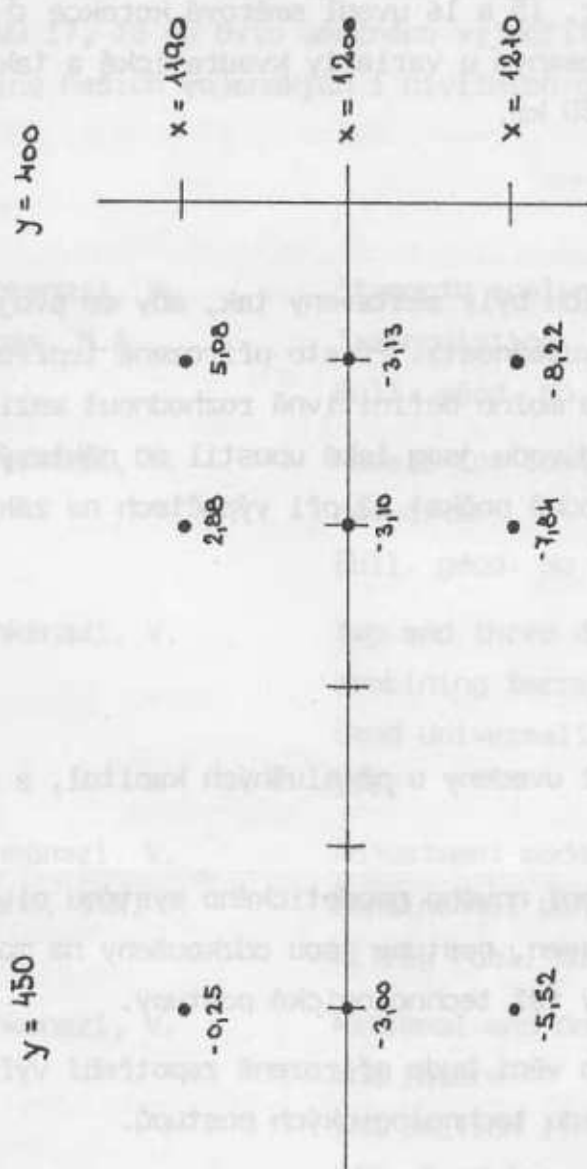
δ_{12}''
KUB.



Směrové korekce δ_{12}'' (do $s = 10$ km)
var. 18 kubická

obr. 15

δ_{12}''
KUB.



Směrová korakce δ_{12}'' (do $s=50$ km)
var. 1B, kubická

obr. 16

..., f.

Směrové korekce se u kubické varianty počítají stejně jako u varianty kvadratické, rozdíl je přirozeně ve výpočtu korekcí souřadnic dX_i , dY_i .

Jako příklad jsem opět na obr. 15 a 16 uvedl směrové korekce σ_{12}'' pro variantu kubickou a to způsobem, popsaným u varianty kvadratické a také pro strany do 10 km a dále pro strany do 50 km.

6.4. Závěrečné poznámky

Modely a číselné hodnoty v nich byly sestaveny tak, aby se svojí strukturou co nejvíce přiblížily očekávané skutečnosti. Přesto přirozeně teprve na základě skutečných numerických hodnot bude možno definitivně rozhodnout mezi jednotlivými navrženými variantami. Z toho důvodu jsem také upustil od některých detailnějších rozborů, na které bude vhodné počkat až při výpočtech na základě skutečných numerických hodnot.

7. Závěr

Některé dílčí závěry byly již uvedeny u příslušných kapitol, a proto jen stručný závěr:

Teoretický základ pro vytvoření nového geodetického systému civilního, kompatibilního s vojenským, je připraven, postupy jsou odzkoušeny na modelech a pokud to bylo možné, jsou připraveny též technologické postupy.

Po zásadním rozhodnutí o této věci bude přirozeně zapotřebí vyřešit řadu dalších úkolů výzkumné povahy a řadu technologických postupů.

Znovu při této příležitosti upozorňuji na velmi příznivou okolnost, že je totiž v současné době prakticky hotov systém A a že je možno pouhým výpočtem vytvořit nový civilní geodetický systém, podstatně přesnější než dosavadní, který by mohl sloužit geodetické praxi další desetiletí.

Než tento článek vyjde, přihodí se zajisté mnoho nového:

Ve světové geodézii dojde nepochybně k dalšímu pokroku ve vývoji teorie a k rozvoji aplikací a bude realizováno a zpracováno mnoho měření v rámci projektů, o nichž je řeč ve 2. kapitole, případně v rámci projektů nových. To se týká jak Západní Evropy, tak ZST a tedy také Československa.

O nejbližší budoucnosti čs. geodetických polohopisných základů bude již pa-

trně rámcově rozhodnuto a asi budou již realizovány první kroky dle těchto rozhodnutí.

Autor by rád při této příležitosti vyslovil dík redakci VTO a dalším pracovníkům FMNO 17, že mu bylo umožněno vyjádřit se v tomto a v předchozím článku k problematice našich vojenských i civilních geodetických základů.

Literatura:

- [1] Ashkenazi, V. Strength analysis of Block VI of the European
Gross, P.A. Triangulation
Bull. géod. No 103, 1972
- [2] Ashkenazi, V. Models for controlling national and continental
 networks
Bull. géod. No 55, 1981
- [3] Ashkenazi, V. Two and three dimensional adjustment models for
 combining terrestrial and space observations
Geod Universalis: Festschrift Karl Rinner, Graz,
1982
- [4] Ashkenazi, V. Adjustment models for combining space data with
Crane, S.A. continental control networks
RETrig Publ. No 15, Munich, 1985
- [5] Ashkenazi, V. National and continental networks: past, present
 and future
IAG Section I: Positioning - review paper
XIX. Gen. Ass. of the IUGG, Vancouver, 1987
- [6] Berichte zur XIX. Generalversammlung der IUGG - Assoziation für Geodäsie - im August 1987 in Vancouver
ZfV, 1988, Heft 5
- [7] Borutta, H. Discrete dynamic optimization of relative GPS -
 Positioning
Proceedings ... Cracow, 1985, p. 159
- [8] Cimbálník, M. Zdokonalení geodetických polohopisných základů
 ČSSR
VZ SPZV II-1-4/04, FS ČVUT Praha, 1985

- [9] Cimbálník, M. Zdokonalení geodetických polohopisných základů
ČSSR
Vojenský topografický obzor, FMNO Praha, 1986
- [10] Cimbálník, M. Derived geometrical constants of the Geodetic
Reference System 1980
Studia geoph. et geod. 31 (1987), 404-406, NČSAV
Praha
- [11] Cimbálník, M. Geometrické konstanty referenčních elipsoidů
GaKO, č. 8, 1987, SNTL Praha
- [12] Cimbálník, M. On the calculation and accuracy of the length of
a triangle chain with measured distances and an-
gles
Studia geoph. et geod. 11 (1967), 154-163, NČSAV
Praha
- [13] Cimbálník, M. Lokální síť Praha
GaKO, č. 6, 1976, SNTL Praha
- [14] Cimbálník, M. K přesnosti lokální sítě Praha
GaKO, č. 11, 1976, SNTL Praha
- [15] Cimbálník, M. Parametry jakosti základního polohového bodového
pole s ohledem na lokální deformace a ve vztahu
na bázi dat
VZ k RVT č. 1-04 a 2-10, FSt ČVUT, Praha 1986
- [16] Cimbálník, M. Geodetické systémy z hlediska vnější a vnitřní
přesnosti
VZ k RVT č. 1-04, FSt ČVUT, Praha 1987
- [17] Cimbálník, M. Transformation des Tschechoslowakischen Einheit-
snetzes in das Internationale System
Studia geoph. et geod. 4 (1960), 133-152, NČSAV,
Praha
- [18] Derylo-Stepniak, J. The readjustment of the polish primary horizon-
tal network
Gażdicki, J.
Proceedings ... Cracow, 1985, p. 657

- [19] Ehrnsberger, W. Computations for the final solution of RETrig XIX. IUGG, IAG, Vancouver, 1987
- [20] Ehrnsberger, W. Das Europäische Datum 1987 (ED 87) als Gebrauch
Hornik, H. chsnetz für die Landesvermessung
Kelm, R. ZfV, 112, Heft 3, 1987
Tremel, H.
- [21] Eissfeller, B. The processing of GPS baseline vectors in con-
Landau, H. ventional geodetic networks using gravity field
Hein, G.W. information and least squares collocation
Proceedings ... Cracow, 1985, p. 543
- [22] Eren, K. Geodetic network adjustment using GPS triple
difference observations and a priori stochas-
tic information
Inst. of. Geodesy Univ. of Stuttgart, Techni-
cal Report No. 1, 1987
- [23] Gaździcki, J. Least squares adjustment with a weight func-
tion
Proceedings ... Cracow, 1985, p. 299
- [24] Grafarend, E.W. Threedimensional operational adjustment of
Kremers, H. geodetic observations of terrestrial type in-
Lindlohr, W. cluding prior information of the unknowns
Proceedings ... Cracow, 1985, p. 207
- [25] Hein, G. A contribution to 3-d operational geodesy,
Landau, H. Part 3: OPERA - a multipurpose program for the
adjustment of geodetic observations of terre-
strial type
DGK Munich, 1983
- [26] Helmanová, H. Transformace trigonometrické sítě na jiné eli-
psoidy
Diplomová práce FS ČVUT Praha, 1985
- [27] Hojovec, V. Konformní převod elipsoidu na jiný elipsoid při
požadavku co nejmenšího délkového zkreslení
GaKO 1957, č. 4, str. 67-71 + přiložená mapka
republiky (autor J. Böhm)

- [28] Hojovec, V. Převod bodů téže transformace z elipsoidu na jiný elipsoid
Kandidátská disertační práce, ČVUT Praha, 1960
- [29] Hristow, W.K. Änderung der geographischen Koordinaten infolge Umorientierung eines geodätischen Netzes und "Übertragung zum anderen Referenzellipsoid
ZfV 1942, S. 132-140
- [30] Jindra, D. Ověření možnosti zpřesnění ČSTS novým zpracováním na bázi AGS
Práce ke kandidátskému minimu. Katedra vyšší geodézie FSt ČVUT, Praha 1988
- [31] Jordan, W. Handbuch der Vermessungskunde
Eggert, O. Band IV, Teil II, Stuttgart 1959, S. 1260-65
Kneissl, M.
- [32] Kelm, R. European Datum 1987: Aspects to the Final Report or the IAG - Subcommittee "Readjustment of the European Triangulation Network"
Submitted to IUGG General Assembly, Vancouver 1987
- [33] Kelm, R. Computational procedures in RETRIG phase III. Proceedings ... Cracow, 1985, p. 619
- [34] Kolektiv GÚ (GKP) Testovací vyrovnání AGS 1973
GÚ, Praha 1974
- [35] Kocina, Fr. Technická zpráva o obnově "Místní trigonometrické sítě Praha" - II. etapa
Provázek, J. GKP Praha, 1984
Cimbálník, M.
- [36] Landau, H. A stepwise approach for the integrated geodesy adjustment model
Hein, G.W. Proceedings ... Cracow, 1985, p. 357
Eissfeller, B.
- [37] Lelgemann, D. GPS - Einsatz in der geowissenschaftlichen Forschung und der Landesvermessung
Gehlich, U. ZfV, 1988, 9/10, p. 481

- [38] Nesbo, Y. GRS 80 - the new height system.
"ÖZfV, 1988, 2, p. 210
- [39] Pavlica, V. Příprava převodu čs. geodetických základů do
nového souřadnicového systému
Habilitationní práce VA-AZ Brno, 1979
- [40] Pellinen, L.P. Perspektívy rozvoja výzkumu v oblasti astrono-
mickej geodézie
Geod. a kart. obzor, 1987, č. 12, str. 327-330
- [41] Pesec, P. West-East European Doppler Observation Campaign
Rinner, K. WEDOC-2-Final Results
Mihály, Sz. Budapest, 1985
Alpár, Gy.
- [42] Pick, M. Transformace československé jednotné katastrální
sítě z elipsoidu Besselova do systému 1952 na
elipsoid Krasovského
Voj. topograf. obzor, zvl. výtisk, MNO, Praha
1956
- [43] Rapp, R.H. Report of Special Study Group No. 5.39 of IAG:
Fundamental Geodetic Constants
General Assembly of IUGG, Hamburg 1983
- [44] Report of Section I - Positioning. IAG - IUGG General Assembly Vancou-
ver, 1987
- [45] Report of IAG Special Study Group 5:100: Parameters of Common Relevance
of Astronomy, Geodesy, and Geodynamics
(Bernard H. Chovitz), XIX General Assembly of
IUGG, IAG, Vancouver 1987
- [46] Seeber, G. Beobachtung eines grossräumigen GPS-Netzes
Schuchardt, A. ZfV, 1987, Heft 8, S. 397-401
Wübbena, G.
- [47] Seeber, G. Die Rolle des NAVSTAR Global Positioning Sys-
tems für die Lösung geodätischer Aufgaben
ZfV, 1984, Heft 1, S. 1-11

- [48] Schnädelbach, K.
Sigl, R. Landesbericht der Bundesrepublik Deutschland über die in den Jahren 1983 bis 1987 ausgeführten geodätischen Arbeiten
XIX. Gen. Ass. IUGG, Vancouver 1987, DGK BAW, Reihe B, Heft Nr. 284, München 1987
- [49] Schwintzer, P.
Reigber, Ch.
Strauss, R. Macrometerbeobachtungen im Deutschen Hauptdreiecksnetz (Macrometer-Netz "Hessen") - Auswertung und Vergleich mit den terrestrisch bestimmten Punktkoordinaten
DGK BAW, B, Nr. 273, München 1985
- [50] Vincenty, T. Methods of adjusting space systems data and terrestrial measurements
Bull. géod. Vol. 56, No 3, 1982
- [51] Welsch, W.M.
Oswald, W. Accuracies in combined terrestrial and satellite networks
Proceedings of the 7-th International symposium on geodetic computations, Cracow, 1985, p. 125
- [52] Wolf, H. Alternate procedure on how to combine Doppler measurements with RETrig adjustment
Symp. RETrig Subcommittee, London, 1981
- [53] Wolf, H. Das Lage- und Höhenproblem in grossen geodätischen Netzen bei Einbeziehung von Satellitendopplermessungen
ZfV, 1985, Heft 5, S. 179-186
- [54] Wolf, H. Datums-Bestimmungen in Bereich des Deutschen Landesvermessung
ZfV, 1987, Heft 8, S. 406-413
- [55] Zajíček, L. Využití dat připravovaných pro převod geodetických polohových základů do JAGS pro zpřesnění S-JTSK
Studie, RVT 4-03, GKP Praha 1987

INFORMACE O DRUŽICOVÉM SYSTÉMU GEO-IK A JEHO PROGRAMU

1. Úvod

V květnu 1984 proběhla ve Varšavě pracovní porada k posouzení koncepce a technických parametrů obsažených v návrhu projektu "Systém GEO-IK" (Geodetická služba - INTERKOSMOS). Projekt byl připravován již delší období předem, k dispozici byly výsledky modelových výpočtů, analýzy funkční způsobilosti a předpokládané přesnosti systému, technická problematika, struktura jednotlivých pod-systémů i způsob operativního zpracování výsledků observací.

Na poradě byl schválen "Vědeckotechnický návrh projektu Systém GEO-IK" s výčtem řešení vědeckých problémů z oblasti geodézie, geodynamiky a fyzikálních polí v blízkém okolí Země, např. určování polohy bodů na zemském povrchu v geocentrickém souřadném systému, upřesnění některých harmonik geopotenciálu, studium změn parametrů rotace Země a elektrodynamických vlastností troposféry a j. [1].

V rámci kooperací mezi Geodetickými službami, Akademiemi věd socialistických zemí a INTERKOSMOSem probíhala další jednání k upřesnění projektu, zabezpečení dělby práce k jeho realizaci [2].

V květnu 1988 byla vypuštěna první experimentální družice Země GEO-IK. V průběhu následujících pracovních jednání předložila Geodetická služba (GS) SSSR cestou 4. komise GS národním komisím návrh na zřízení globální sítě stanic - observatoří GEO-IK spolu s výzvou a podmínkami účasti ostatních GS.

Uvedené skutečnosti znamenají ve svém důsledku závěr činnosti tzv. Provozní sítě kosmické triangulace, charakteristické pasivními fotografickými observacemi, které byly počátkem 80. let doplněny observacemi dálkoměrnými a dopplerovskými.

GS ČSSR stojí nyní před rozhodnutím, zda bude nadále pokračovat v tradici pasivních observací UZ v rámci systému, byť vyšší technické úrovně, anebo zda bude vedle toho využívat možností soudobé družicové geodézie i na vlastním území.

Článek uvádí podrobnější informace o úloze, struktuře a parametrech systému GEO-IK i o jeho podsystémech.

2. Kosmický geodetický komplex (KGK) GEO-IK a jeho podsystémy

KGK má tyto podsystémy:

- a) umělou družici Země (UDZ), nosič speciální aparatury "GEO-IK" (družicový podsystém),
- b) pozemní řídicí komplex (PŘK),
- c) pozemní observační komplex (POK).

Funkce jednotlivých podsystémů:

Družicový podsystém - UDZ GEO-IK je konstruována na principech navigačních družic. Má tvar symetrického mnohohranu s podélnou osou gravitačně orientovanou o hmotnosti cca 1000 kg. UDZ je umístěna na kruhové dráze o výšce 1500 km nad Zemí se sklonem roviny dráhy od 74° do 83° a periodou oběhu 116 min. Stabilizace je zajištěna podle binormály vzhledem k dráze, kde UDZ působí 12 měsíců, přičemž v závislosti na čerpání zdrojů energie budou k zabezpečení kontinuity funkcí KGK na dráze umístovány další rezervní UDZ.

V souladu s funkcemi KGK je UDZ vybavena těmito palubními prostředky:

- radiotechnickým dopplerovským systémem,
- systémem optické impulsní signalizace,
- optickými úhlovými odražeči,
- systémem synchronizace a údržby času.

Palubní prostředky UDZ plní tyto základní funkce:

- vysílání radiových signálů na dvou koherentních frekvencích (150 a 400 MHz) pro dopplerovské pozemní měření a předávání informací v libovolném režimu v trvání 12 hod. za 24 hod.,
- vyzařování světelných záblesků pro fotografické observace UDZ na hvězdném pozadí,
- odražení impulsů staničních laserových dálkoměrů pro měření okamžitých vzdáleností UDZ - stanic POK,
- vysílání zakódovaných znaků palubní časové stupnice (PČS),
- příjmu a paměťového záznamu observačních programů a efemerid UDZ využívaných stanicemi POK.

Relativní nestabilita systému synchronizace a udržování času PČS a frekvence dopplerovského přijímače je $5 \cdot 10^{-12}/24$ hod.

Světelné impulsy jsou vyzařovány vždy v seriích o devíti záblescích s frekvencí jejich následného opakování $1/3$ Hz o výkonu 800 - 1200 Joule. Energetický systém umožňuje 55 serií záblesků v průběhu 24 hodin.

Efektivní plocha úhlových odražečů je $0,024 \text{ m}^2$. Průběh dopplerovského vysílání a doba vysílání serií světelných záblesků v závislosti na čase je řízena palubním harmonogramem zpracovaným PŘK pro pět dní dopředu.

Pozemní řídicí podsystem tvoří:

- řídicí a výpočetní středisko,
- síť stacionárních a povelových stanic.

Tento PŘK zabezpečuje efemeridové výpočty drahových parametrů UDZ a jejich předání UDZ a POK, komplexní kontrolu provozuschopnosti palubní aparatury při všech režimech její činnosti, dodávání (injektáž) informací a programů nezbytných pro funkci na palubu UDZ, příjem a zpracování telemetrických informací s radiotechnickou kontrolou parametrů dráhy UDZ.

Pozemní observační podsystem sestává ze sítě stacionárních geodetických observatoří (SGO) vybavených třemi typy prostředků pro observaci UDZ, přístroji pro prvotní zpracování výsledků observací, dále výpočetního střediska se spojovacím uzlem k shromažďování a zpracování observovaných údajů, předaných středisku stanicemi POK.

Laserové a fotografické observace UDZ GEO-İK lze realizovat libovolnými typy existujících přístrojů, které splňují požadavky přesnosti.

Dopplerovské observace zabezpečuje speciální stacionární dopplerovský přijímací systém (DPS) zahrnující:

- dvě výsuvné antény s předzesilovači pro příjem signálů UDZ na obou frekvencích,
- dopplerovský přijímač,
- speciální mikropočítač,
- centrální pult řízení chodu podsystemu,
- rubidiový frekvenční standard,
- děrovač a tiskárnu.

DPS plní tyto funkce:

- dopplerovské observace (příjem bloku informací UDZ) v sekundových intervalech (střední chyba 1 - 3 cm/s) při vzdálenosti UDZ - přijímač do 4000 km a sklonu jejich spojnice ne menším než 10^0 ,
- příjmu časových sekundových značek přiřazovaných PČS na UDZ, jejich synchronizaci s místní časovou stupnicí (MČS, etalonem) a zápisu již syn-

- chronizovaných sekundových značek na vnější záznamovou periférii,
- přiřazení dopplerovských signálů v PČS k časovému standardu s přesností do 50 mikrosekund,
 - vytváření integrálních dopplerovských součtů (čísel N) v plynulých intervalech, stanovených operátorem v mezích 2, 10, 30 nebo 60 sekund s určením mezí intervalu integrace dopplerovských součtů a současným vylučováním anomálních měření v sekundových intervalech,
 - zápisu výsledků měření (jejich záznamu),
 - příjmu informací o programu observací, zakódovaných ve vysílaných signálech z UDZ, příjmu efemerid UDZ pro zabezpečení laserových a fotografických observací (podle vybavení stanice).

Pro fázi přípravy k provozu i pro průběh observací má DPS vestavěný systém autokontroly. Informační blok efemerid obsahuje pro každou stanici SGO polohu UDZ, polohu a čas vstupu UDZ a polohu subdružicového bodu, střední okamžiky záblesků s jím příslušnou polohou UDZ.

Přístrojové bloky DPS se rozmisťují na stolech, zdrojem energie je síť střídavého napětí 110, 127, 220 nebo 240 V, proud 50 nebo 60 Hz, spotřeba cca 500 W.

3. Popis činnosti KGK

Vzájemná součinnost prvků komplexu GEO-İK v normálním funkčním režimu probíhá podle následujícího schématu:

- a) PKŘ na základě výsledků radiotechnické kontroly dráhy UDZ zabezpečuje výpočet efemerid UDZ (prognózu pohybu UDZ), tuto informaci předává do výpočetního střediska zpracování informací v POK.
- b) Na základě této informace z PKR a přímých, observovaných údajů UDZ se ve středisku zpracování informací v POK vypočte:
 - observační program pro aparatury POK dopředu na 5 dní,
 - časový harmonogram (program činnosti) speciální aparatury UDZ, vycházející z prostorového rozložení i technického vybavení pozemních observačních stanic POK.

Harmonogram činnosti UDZ, předaný na PŘK se spolu s observačním programem a maximem povelové (programové) informace vysílá a ukládá (injektuje) do paměti palubního počítače UDZ v první den 7 denního cyklu činnosti KGK.

V prvních dvou dnech uvedeného cyklu se observační program předává z paměti UDZ v bloku vysílané dopplerovské informace na stanice sítě POK. V následujících 5 dnech cyklu probíhá již činnost KGK autonomně podle harmonogramu činnosti (programu) - zapínání a vypínání palubní aparatury UDZ v souladu s programem činnosti pozemních stanic POK.

c) Stanice POK shromažďuje v průběhu observací UDZ vlastní měřené informace a provádí jejich předběžné zpracování, jejich výsledky pak stanice předává spojovacími kanály do výpočetního střediska zpracování informací POK pro následné definitivní zpracování ve formě vhodné pro řešení geodetických a geodynamických úloh.

Předpokladem pro naplnění komplexní funkce observační stanice POK je tedy možnost příjmu a odesílání zabezpečovacích a předzpracovaných observačních informací, tj. existence dopplerovské stacionární aparatury a spojovacích kanálů na této stanici.

4. Geodetické úlohy řešené KGK GEO-IK

V SSSR jsou v předstihu zabezpečovány předpoklady pro vytvoření geocentrického prostorového geodetického systému, které zahrnují výstavbu:

- fundamentální astronomicko-geodetické sítě SSSR (F JAGS) nadřazené JAGS o stranách sítě cca 500 - 600 km,
- regionálních (kontinentálních) geodetických sítí na území Evropy, Asie a Antarktidy,
- Jednotné geodetické sítě socialistických a dalších zainteresovaných zemí.

Uvedené úlohy lze realizovat výhradně s využitím prostředků a metod družicového autonomního určování polohy. Program GEO-IK vychází plně z trendů současné geodézie, přičemž navazuje zároveň na 2. souborné vyrovnání JAGS. Jeho výsledkem bude prostorová geodetická konstrukce, do které budou jednotlivé geodetické služby vyrovnávat vlastní, v souladu s národními programy modernizované a zpřesněné geodetické sítě.

5. Závěr

V rámci programů rozvoje a zdokonalování geodetických podkladů vyvstávají před čs. geodetickou službou nové úkoly:

- účast na realizaci dlouhodobého programu družicové geodézie GEO-IK,
- naléhavost postupného zpřesňování a modernizace vlastních, národních geodetických základů.

Oba tyto úkoly mají v mezinárodním i národním měřítku komplexní charakter. Pro jejich realizaci je nezbytné včasné vytvoření projekčních a materiálně-technických předpokladů.

Literatura:

- [1] Protokol rabočego soveščanija po obsuždeniju "Naučno-techničeskich predloženíj" po projektu "Sistema GEO-İK"
Varšava, 1984
- [2] Informacija o kosmičeskom geodezičeskom komplekse "GEO-İK", GS SSSR
Moskva, 1988

Došlo: 20. 12. 1989

VYUŽITÍ TÍHOVÉHO POLE ZEMĚ PRO NAVIGACI V OKOLOZEMSKÉM PROSTORU

1. Úvod

Prostředky radiotechnické a inerciální navigace jsou řešeny úkoly (problémy) navigace letových prostředků na velké vzdálenosti řádově do 10 000 km. Navedení na cílovou plochu řádově v jednotkách km^2 představuje úlohu modifikace letové dráhy v závěrečné části letu. K tomu jsou využívány fenomény geofyzikálních polí, spjatých s daným vzorkem zemského prostoru nebo plochy Země v blízkém okolí cíle. Vedle přirozených charakteristik geofyzikálních polí jsou v dalším přiblížení využívány další typy fyzikálních polí i umělých.

K využívání těchto faktorů vede vysoká schopnost soudobých technických prostředků využívat fyzikálních principů, včetně jejich matematického popisu, které byly známy poměrně dlouhou dobu.

Fyzikální pole, využitelná pro navigaci lze rozdělit do dvou základních skupin [1]:

- a) prostorové (geomagnetické, gravitační),
- b) povrchové (terénní reliéf, tepelné a optické pole, koeficient odrazu radiových vln).

Využitelnost těchto polí pro korelační metodu navigace má tato kriteria:

- informativnost v sledovaných výškách,
- stálost v čase,
- nezávislost na meteorologických podmínkách a denní a roční době,
- odolnost vůči poruchám, šumům.

Ačkoli geomagnetické a gravitační pole Země mají ve srovnání s poli povrchovými nižší úroveň informativnosti, dalšími kritérii je vysoce převyšují. V kombinaci však jsou typické přednosti polí vhodně využívány již v současné době. Další rozvoj elektroniky, měřicí a výpočetní techniky spolu s technologiemi filtrace a neustálým zpřesňováním modelů geofyzikálních polí vytváří předpoklady pro jejich další využívání.

Článek pojednává o principech využití gravitačního pole Země pro navigaci letových prostředků.

2. Charakteristiky tíhového pole Země (TPZ) s ohledem na jejich využití pro navigaci

V prvním přiblížení lze TPZ aproximovat tíhovým polem normálního tělesa Země - vyvolaným tělesem blízkým rotačnímu elipsoidu optimálních geometrických parametrů, shodné hmotnosti a rychlosti rotace s tělesem skutečné Země.

Obecný vztah pro normální tíhové zrychlení na povrchu normální Země γ je

$$\gamma = \gamma_a \frac{1 + b\gamma_b - a\gamma_a \cdot \sin^2 \varphi}{a\gamma_b \sqrt{1 - \frac{a^2 - b^2}{a^2} \cdot \sin^2 \varphi}} \quad (1)$$

kde

γ_a, γ_b - hodnota normálního tíhového zrychlení na rovníku a na pólu normální Země,

a, b - geometrické parametry normální Země (velká i malá poloosa rotačního elipsoidu),

φ - zeměpisná šířka místa, proměnná veličina.

V okolozemském prostoru pak ve výšce h nad normální Zemí je γ_h rovno 2

$$\gamma_h = \gamma - \frac{2\gamma_a}{a} \left[1 + \alpha + m \left(-3\alpha + \frac{5}{2}m \right) \sin^2 \varphi \right] h + \frac{3\gamma_a}{a^2} h^2 \quad (2)$$

kde

α - geometrické zploštění rotačního elipsoidu,

m - poměr odstředivé síly na rovníku k hodnotě tíhového zrychlení pro normální Zemi.

Druhý a třetí člen (2) jsou výrazy pro vertikální gradient pole.

Tíhové zrychlení ve vnějším prostoru lze vyjádřit derivacemi vnějšího geopotenciálu [3]

$$g = \left[\left(\frac{\partial W}{\partial \rho} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2} \left(\frac{\partial W}{\partial \phi} \right)^2 + \frac{1}{\rho^2 \cos^2 \phi} \left(\frac{\partial W}{\partial \lambda} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

kde

W - vnější potenciál Země,

ρ - průvodič k bodu,

ϕ, λ - sférické zeměpisné souřadnice.

Další vysvětlení a podrobnosti viz [3].

Bez uvažování tíhových anomálií, které dosahují řádově hodnotu až $5 \cdot 10^{-3}$ celkové veličiny gravitačního pole na zemském povrchu však použití normálních hodnot γ z (2) i hodnot g z (3) nemá pro navigaci význam. Uplatní se však v balistice raket a orientaci umělých družic Země (UDZ) [8].

Anomální tíhové pole Země, které lze soudobými metodami a technologiemi získat

- a) povrchovými a leteckými gravimetrickými metodami s vysokou přesností (řádově 10^{-7} až 10^{-8} g) do výšek několika desítek km nad Zemí,
- b) družicovými metodami pro výšky cca 300 - 500 km nad Zemí s přesností cca $5 \cdot 10^{-5}$ až $1 \cdot 10^{-5}$ g,

poskytuje adekvátní řešení pro mnohem více variant různých aplikací v závislosti na výchozích datech.

Povrchové metody

Skutečné hodnoty tíhového zrychlení na povrchu Země představují vlastně modul, číselně rovný totálnímu vektoru intenzity tíhového pole Země.

Podle konstrukce navigačního systému a jeho čidel se uvažují jednak

- skutečné hodnoty tíhového zrychlení g , nebo
- složky g_x, g_y, g_z totálního vektoru g .

Pro malé, několikakilometrové výšky (až několik desítek km) nad Zemí h lze známou přesností určit hodnoty g prostřednictvím:

- vertikálního gradientu,
- Poissonova integrálního vzorce pro analytické pokračování harmonické funkce tíhové anomálie do vnějšího prostoru [2], praktická realizace v [4].

Schematicky vyjádřeno pro totální vektor g

$$g_h = g_{\text{povrch.}} + \frac{\partial g}{\partial h} h + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 g}{\partial h^2} h^2 + \dots \quad (4)$$

nebo

$$g_h \doteq g_{\text{povrch.}} + \frac{R^2}{4\pi r} \iint_{\sigma} \left(\frac{r^2 - R^2}{\ell^3} - \frac{1}{r} - \frac{3R}{r^2} \cos \psi \right) \Delta g d\sigma \quad (5)$$

kde

- $g_{\text{povrch.}}$ - tíhové zrychlení na povrchu Země (terénu),
 g_h - tíhové zrychlení nad Zemí ve výšce h ,
 R - poloměr koule, aproximující normální Zemi,
 ℓ - vzdálenost těžiště plošného integračního elementu k potenciálovému bodu v prostoru,
 $d\sigma$ - plošný integrační element povrchu náhradní koule,
 ψ - středový úhel mezi r a poloměrem R vedeným k těžišti integračního elementu,
 Δg - tíhové anomálie na povrchu Země, definovaná zjednodušeně jako

$$\Delta g = g_h - \gamma_h \quad (\text{bližší viz [2]}).$$

Pokud jsou v navigační úloze nezbytné složky tíhového zrychlení, platí

$$\begin{aligned} g_x &= \frac{\partial W}{\partial x} = g_r \cos \phi \cos \Lambda - \sin \phi \cos \Lambda g_\phi - \sin \Lambda g_\Lambda \\ g_y &= \frac{\partial W}{\partial y} = g_r \cos \phi \sin \Lambda - \sin \phi \sin \Lambda g_\phi + \cos \Lambda g_\Lambda \\ g_z &= \frac{\partial W}{\partial z} = g_r \sin \phi + \cos \phi g_\phi \end{aligned} \quad (6)$$

kde pro složky g v průvodiči r a sférických souřadnicích ϕ , Λ platí

$$g_r = \gamma_r + \delta g_r, \quad g_\phi = \gamma_\phi + \delta g_\phi, \quad g_\Lambda = \gamma_\Lambda + \delta g_\Lambda$$

přičemž normální hodnoty

$\gamma_r, \gamma_\phi, \gamma_\Lambda$ - složky γ v průvodiči r a souřadnicích ϕ , Λ ; určí se s využitím vztahu (5),

a

$\delta g_r, \delta g_\phi, \delta g_\Lambda$ - složky tíhové poruchy δg ve ϕ , Λ , r , které se získají aplikací vztahu (5) nebo derivacemi poruchového potenciálu T ($T = W - U$, kde U - normální potenciál).

Zároveň také platí

$$\begin{aligned}\delta g_r &= \Delta g + \frac{2\bar{\gamma}}{R} N \\ \delta g_\phi &= -\bar{\gamma} \xi \\ \delta g_\lambda &= -\bar{\gamma} \eta\end{aligned}\quad (7)$$

kde

$\bar{\gamma}$ - střední hodnota γ ,
 N - převýšení geoidu,
 ξ, η - složky tížnicové odchylky.

Těchto vztahů je využíváno v inerciální geodézii pro vyloučení vlivu tíhového pole obsaženého v měřených veličinách.

Družicové metody

Určení hodnot tíhového zrychlení v okolozemském prostoru se děje prostřednictvím metod dynamické družicové geodézie [5].

Určení potenciálu TPZ, parametrů dráhy UZ a souřadnic sledovacích stanic je již dnes klasickou úlohou družicové geodézie [6], [7].

Výraz pro vnější geopotenciál V je ve sférických funkcích dán [3]

$$V = \frac{\alpha M_0}{\rho} \left[1 + \sum_{n=2}^{\bar{n}} \sum_{k=0}^n \left(\frac{a_0}{\rho} \right)^n (J_n^{(k)} \cos k\lambda + S_n^{(k)} \sin k\lambda) \right] P_n^{(k)}(\sin \phi) \quad (8)$$

kde

α - gravitační konstanta,
 M_0 - hmotnost centrálního tělesa (Země),
 ρ - průvodič,
 n, k - stupeň a řád Legendreových polynomů,
 \bar{n} - maximální stupeň \bar{n} v řadách sférických funkcí,
 $P_n^{(k)}$ - Legendreova funkce stupně n a řádu k .

Další metody určování parametrů TPZ využívají zprostředkujících veličin, měřených akcelerometry umístěnými na palubě UZ o známé dráze nebo změn vzdálenosti dvou vzájemně si blízkých UZ při jejich pohybu na orbitě.

Astronomický ústav ČSAV má k dispozici aktuální modely TPZ do vysokých n, k [9]. Nadále však existují teoretické i praktické obtíže při realizaci úlohy spo-

jení povrchového a družicového TPZ s takovou mírou přesnosti, aby její funkce byla jednoznačná a spojitá. Eliminace rušivých vlivů na dráhu nízké družice Země je dodnes značně složitou úlohou.

3. Využití tíhového pole Země pro navigaci prostředků v malých výškách

Teorie navigace prostřednictvím TPZ je variantou tzv. extrémně-korelačních navigačních metod [1], [10], [11]. Lze uvést analogii navigace geomagnetického pole (GMP) nebo terénního reliéfu, kdy veličiny měřené na palubě letového prostředku jsou porovnávány s neseným digitálním modelem. Odchytky mezi veličinami měřenými a modelovými, které jsou zjišťovány v reálném čase, se fakticky odstraňují korekčním manévrem a návratem prostředku na předem vypočtenou dráhu. Určování zprostředkujících veličin TPZ moderními prostředky za pohybu uvádí prameny [12], [13] a další.

Kromě korelační metody se v kombinaci s dalšími metodami využívá vztahu pro poruchový potenciál T

$$T = W - U \quad (9)$$

kde

W, U - potenciál TPZ reálné a normální Země.

Známa tíhová porucha δg_r

$$\delta g_r = - \frac{\partial T}{\partial r} \quad (10)$$

vystupuje v pohybových rovnicích UZ v TPZ ve složkách $\delta g_x, \delta g_y, \delta g_z$ prostorových souřadnic X, Y, Z , jestliže je sférická Země nahrazena normální:

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} + \gamma M \frac{x}{r^3} &= \frac{\partial T}{\partial x} + \text{další složky poruchové funkce} \\ \frac{d^2y}{dt^2} + \gamma M \frac{y}{r^3} &= \frac{\partial T}{\partial y} + \dots \\ \frac{d^2z}{dt^2} + \gamma M \frac{z}{r^3} &= \frac{\partial T}{\partial z} + \dots \end{aligned} \quad (11)$$

4. Informace o TPZ, využitelné pro navigaci v malých výškách nad Zemí

Podklady, které lze upravit do digitálního tvaru, nezbytného pro ukládání informací do centrální datové báze jsou tyto:

- číselné výsledky gravimetrického mapování ve velkých a středních měřítkách (např. 1:25 000 a 1:200 000, tj. cca 5 bodů na 1 km² resp. 1 bod na 3-4 km²), uložené v registrech
- digitalizované gravimetrické mapy
- digitální modely anomálního TPZ, které obvykle korespondují se strukturou digitálního modelu reliefu.

V současné době má každý vyspělý stát provedeno velmi podrobné mapování tíhového pole Země, které má dnes velmi různé použití - od geofyzikální prospekce, geodetických aplikací v geodetických základech i pro příp. řešení navigačních úloh.

5. Závěr

V důsledku současných trendů rozvoje navigačních metod, jejich kombinací a využívání dalších principů dochází ke změně tradičních přístupů k informačnímu zabezpečení celé oblasti navigace a případně údajů pro autonomní určování polohy pozemních i letových prostředků. Topogeodetické a geofyzikální zabezpečení se vyvíjí v závislosti na modernizaci prostředků a zavádění nových technologií určování polohy do vojsk a letectva.

Tato perspektiva je součástí dlouhodobého vývoje prostředků navigace a autonomního určování polohy.

Literatura:

- | | | |
|-----|--|--|
| [1] | Beloglazov, J.N.
Džanžgava, G.J.
Čigin, G.P. | Osnovy navigacii po geofizičeskim poljam
Moskva, Nauka, 1985 |
| [2] | Heiskanen, W.A.
Moritz, H. | Physical Geodesy
W.H. Freeman a. C., S.F. a L., 1967 |
| [3] | Burša, M. | Družicové metody studia gravitačních polí
a tvaru nebeských těles, skripta UK Praha
SPN, Praha, 1979 |

- [4] Dušátko, D. Analytické pokračování harmonické funkce tíhového pole vzhůru, II. část KDP
Praha, GFÚ ČSAV, 1975
- [5] Burša, M. Kosmická geodézie, díl II.
Praha, MNO, 1970
- [6] Baranov, V.N. a kol. Kosmičeskaja geodezija
Moskva, Nedra, 1986
- [7] Urmajev, M.S. Orbitalnyje metody kosmičeskoj geodezii
Moskva, Nedra, 1981
- [8] Popov, V.J. Sistemy orientacii i stabilizacii kosmičeskich apparatov
Moskva, Mašinstrojenije, 1986
- [9] Klokočník, J. Pospíšilová, L. Banka modelů tíhového pole Země v ASÚ ČSAV v Ondřejově
Vědeckotechnická zpráva č. 24, ASÚ ČSAV, 1986
- [10] Dmitrijevskij, A.A. a kol. Ballistika i navigacija raket
Moskva, Mašinstrojenije, 1985
- [11] Pomykajev, J.J. Seleznev, V.P. Dmitročenko, L.A. Navigacionnyje pribory i sistemy
Moskva, Mašinstrojenije, 1983
- [12] Paik, H.J. Superconducting tensor gravity gradiometer for satellite geodesy and inertial navigation
The Journal of the Astronautical Science, 1981, No 1
- [13] Zenkov, V.S. a kol. Razrabotka i issledovanije graviinerciaľnojj apparatury
Moskva, Nauka, 1980
- [14] Vatrť, V. Digitální model TPZ - Bouguerovy anomálie, prováděcí projekt
VTOPI Dobruška, 1987
- [15] Bromberg, P.V. Teorija inerciaľnych sistem navigacii
Moskva, Nauka, 1979

- [16] Razrabotka i issledovaniye graviinercialnoj
 apparatury, sbornik
 Moskva, Nauka, 1980
- [17] Porfirjev, L.F. Analitičeskije ocenki točnosti avtonomnych
 a kol. metodov opredelenija orbit
 Moskva, Mašinstrojenije, 1987
- [18] Samotokin, B.B. Navigacionnyje pribory i sistemy
 a kol. Kijev, Višča škola, 1986
- [19] Maslov, I.A. Dinamičeskaja gravimetrija
 Moskva, Nauka, 1983
- [20] Gromov, G.N. Differencialno-geometričeskij metod navigacii
 Moskva, Radio i svjaz, 1986

Došlo: 10. 5. 1989

pplk. Ing. Drahomír DUŠÁTKO, CSc.

Ing. Vlastimil JONÁŠ

SOUČASNÉ PŘÍSTUPY K HODNOCENÍ, VÝBĚRU A POUŽITÍ TRANSFORMAČNÍCH METOD

1. Úvod

V současné době převratných změn v metodách určování polohy objektů s geodetickou přesností dochází zároveň k přehodnocování tradičních způsobů zhušťování bodových polí, vyrovnání měřených prvků a transformací souřadnic.

Družicové metody určování polohy spojují fyzikální a geometrické principy, přičemž řešení úlohy probíhá v podmínkách okolozemského prostoru.

Nástup inerciálních metod geodetického určování polohy do geodetické praxe si vynutil obdobný přístup, včetně respektování prostorového rozložení tíhového pole Země. Využití stávajících klasických geodetických údajů, plošných trigonometrických sítí je řešeno jejich převodem do prostorových konstrukcí, vytvářených kombinacemi družicových a základních povrchových geodetických údajů. Problematika navigačních úloh splývá s určováním souřadnic bodů relativně stálých bodových polí.

Za těchto podmínek se mění dříve obvyklé přístupy k metodám spojování nebo systémovým převodům bodových polí. Volba a jejich výběr přechází z oblasti statického geometrického nazírání do oblasti mnohem širší a různorodější - do podmínek dynamické fyzikální a prostorové geodézie.

Souhrnně lze konstatovat, že v nepříliš vzdálené perspektivě se metody topo-geodetického zabezpečení v poli budou vyznačovat rychlostí a operativností v určování souřadnic objektů a polohy prostředků a rychlosti v reálném čase.

2. Úlohy transformace geometrických a fyzikálních veličin v soudobých geodetických úlohách

V současné geodetické praxi přicházejí obecně v úvahu tyto úlohy nebo jejich varianty:

- využití lokálních sítí klasického typu, rozvíjených pro potřeby národního hospodářství k modernizaci, zhuštění nebo náhradě stávající geodetické sítě,

- aktualizace a doplňování souřadnicových bodových polí v civilním geodetickém systému a jejich převod do vojenského systému,
- kombinace klasických povrchových sítí s družicovými při rektifikacích těchto zastaralých klasických sítí,
- spojování geodetických sítí nebo geodetických systémů prostřednictvím systémových údajů na identických bodech,
- převody klasických geodetických systémů do geocentrického systému,
- převody výsledků radiotechnických družicových měření (souřadnic) do užívaného geodetického systému a naopak,
- transformace bodových polí složek tížnicových odchylek, výšek geoidu mezi různými geodetickými (i družicovými) systémy,
- transformace souřadnic bodů geodetických polohových polí při změně geodetického systému,
- transformace harmonických koeficientů rozvoje tíhového pole Země do jiné souřadnicové soustavy (např. referenční),
- převod drahových elementů UZ do jiné posunuté (příp. stočené) souřadné, např. přesnější kvazigeocentrické soustavy.

Význam, rozsah a gradace výše uvedených úloh až k těm nejsložitějším je dána účelem a velkou rozmanitostí současných prostředků určování polohy i charakteristik tíhového pole Země. Současná možná řešení již umožňují volbu různých přístupů také pro úlohy topogeodetického zabezpečení v době míru i za složitých podmínek.

3. Kriteria pro výběr typu transformace vzhledem k povaze řešených úloh

V současném období vzájemného prolínání družicových, inerciálních a klasických technologií určování polohy a navigace se transformační úlohy v zásadě dělí na:

- globální,
- kontinentální,
- lokální.

a) Univerzalita řešení

Rozsah území transformace je dán plošným rozměrem bodových polí, velikostí

jejich překrytu, existencí a možnostmi čistě geometrického řešení, nebo nutné vazby na charakteristiky tíhového pole, s uvažováním řádu vztažné plochy anebo prostoru, v němž bude transformace probíhat.

Čím více prvků ovlivnilo vznik bodového pole, tím více je žádoucí aby metoda transformací byla všestrannější. Takové případy nastávají při kombinaci povrchových astronomicko-geodetických a družicových geodeticko-geofyzikálních údajů.

b) Závislost na druhu souřadnic, vstupujících do transformace

Volba metody transformace závisí na druhu (typu) souřadnic, souřadné soustavě a použité vztažné ploše (prostoru), např.:

- zeměpisných geodetických souřadnic B, L, H,
- rovinných x, y souřadných nebo nesouřadných souřadných bodových polí,
- prostorové souřadnice X, Y, Z v různých soustavách.

Přestože lze provádět vzájemné převody různě vyjádřených souřadnic, má pro další operace velký význam zachování jejich prvotního tvaru. V určitých případech k tomu vedou i praktické důvody, spočívající např. v neznalosti doplňujících veličin.

c) Zachování vlastností bodového pole a jeho přesnosti (zachování geometrických vztahů)

V klasické podobě [1] bylo volbou transformační metody sledováno především zachování typických vlastností zobrazení bodových polí v rovině, jako úhlojevnosti, podobnosti nebo afinity. S těmito hledisky však úzce souvisí měřická kvalita bodových polí, kterou však co do přesnosti ani spolehlivosti žádná transformace neovlivní.

Zatímco se při transformacích ve velkém měřítku (globálních, kontinentálních) sleduje zdokonalení základních charakteristik daného geodetického systému, jako je:

- umístění základní konstrukce bodového pole vzhledem k vztažné ploše (příp. počátku systému a osám souřadnic),
- jeho orientaci,
- měřítko,

pak u lokálních sítí se spolu s požadavky na zachování vlastností bodových polí sleduje i přesnost transformace ve smyslu podmínky $[vv] = \min$ pro souřadnice obou systémů na identických bodech. Typickou charakteristikou výsledku transfor-

mace jsou pak izočáry rostoucího zkreslení, definované vzhledem k těžišti překrytové oblasti bodových polí obou systémů.

d) Jednoduchost a rychlost výpočtu transformace

Požadavky na rychlost a jednoduchost výpočtů v polních podmínkách splňují předem připravené metodiky a postupy, transformační klíče, tabulky a grafy.

Tyto pomůcky zároveň respektují míru uživateli požadované přesnosti s ohledem na rozsah zabezpečovaného území. Nelze předpokládat, že v polních podmínkách budou řešeny složité vztahy mezi vojenskými a národními systémy, ale především mezi systémy vojenskými. Proto zásadní úlohou je vytvoření pomůcek řešících jednoduše a rychle transformace mezi soudobými geodetickými systémy S-1942 a ED-50 (UTM).

e) Systémový přístup

Práce s geodetickými údaji vyžaduje komplexní a systémový přístup. Výchozí a neměnné jsou geodetické údaje na bodech vyšších řádů.

Zhušťování tohoto základního bodového pole, odvozování lokálních (územních) transformačních klíčů je centrálně řízený a kontrolovaný proces. Tím je zamezeno jakékoli svévoli a případným deformacím systému v průběhu různorodého i technologického využití geodetických základů.

Kriteria pro výběr metody transformace nemohou být tedy subjektivní, empiricky podložené odhady (druhu "ta či ona transformace dává přesnější výsledky"), ale všestranná analýza charakteru úlohy a míra adekvátnosti vybrané transformační metody.

V současné době, kdy do metod zdokonalování a modernizace geodetických základů i operativního určování polohy vstupují autonomní prostředky, zahrnuje volba transformačních metod nejenom problematiku pouze geometrickou, ale zároveň i fyzikální.

Tento přístup má zvláštní význam při vytváření soudobých homogenních systémových geodetických bodových polí prostřednictvím různorodých, heterogenních dat. Ve své podstatě představuje unitární metodu transformací geometrických a geofyzikálních dat.

4. Úloha prostorové podobnostní transformace v současné geodézii a v topografickém zabezpečení

Transformace souřadnic typu Burša-Wolf mezi geodetickými systémy A, B:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_B = \begin{bmatrix} \delta x_0 \\ \delta y_0 \\ \delta z_0 \end{bmatrix} + (1+m) \begin{bmatrix} 1 - \epsilon_z & \epsilon_y \\ \epsilon_z & 1 - \epsilon_x \\ -\epsilon_y & \epsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_A \quad (1)$$

kde

X, Y, Z - prostorové pravouhlé souřadnice (vektorově \bar{X});

$\delta x_0, \delta y_0, \delta z_0$ - složky vektoru $\bar{\delta r}_0$ mezi počátky souřadných systémů A, B (posuny, translační prvky);

m - měřítkový faktor pro systémy A, B;

$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ - úhly stočení mezi osami X, Y, Z obou systémů (rotační prvky) vytvářející matici rotací R_ϵ .

Vektorový zápis je

$$\bar{X}_B = \bar{\delta r}_0 + (1+m) R_\epsilon \bar{X}_A \quad (2)$$

Transformace zabezpečuje určování převodních vztahů, spojování a vytváření relativních i "absolutních" geodetických systémů kvazigeocentrického typu při uvažování geometrických i fyzikálních podmínek jejich vzniku.

Její využití v současné geodetické praxi:

- určení vztahu národních západoevropských geodetických systémů vzhledem k systému RETrig (EUROPEAN DATUM 1987, ED-87) a vztahu mezi geodetickými systémy - ED-50 a ED-87,
- diagnostické a definitivní transformace těchto systémů do geodetických systémů WGS-72, WGS-84 a dalších k ověření měřítka, orientace a polohy těchto klasických sítí vzhledem k homogenní konstrukci nadřazené sítě, jejich vzájemné kombinace k zabezpečení uvedených systémových charakteristik,
- operativní převody výsledků družicového určování polohy (TRANSIT, GPS NAV-

- STAR) do používaného geodetického systému - v reálném čase nebo dodatečně (v terénu, při souhrnném zpracování družicových kampaní),
- v navigačních technologiích,
 - v kombinacích s výsledky inerciálního určování polohy,
 - v transformacích potenciálu tíhového pole W na povrchu Země, v okolozemském prostoru V , poruchového potenciálu T , tíhových anomálií g , složek tížnicových odchylek ξ , η , převýšení geoidu mezi rozsáhlými, klasickými nebo kvazigeocentrickými systémy,
 - vytváření komplexních, homogenních geodetických systémů v rozvojových zemích nebo zapolárních oblastech s využitím různorodých geodetických a geofyzikálních dat.

Uvedený typ transformace se stal v současné světové geodetické praxi univerzálním. Zvláště s rozvojem technologií autonomního určování polohy, zvláště družicových které využívají systému TRANSIT, GPS (GLONASS). Vysoká přesnost relativního určování polohy prostřednictvím GPS (cca 10^{-6} i lépe) umožnila využívání této technologie při modernizaci geodetických základů, v inženýrské geodézii takže je nezbytná transformace do národních geodetických systémů typu (1). Nutno zdůraznit, že transformační koeficienty z (1) lze převádět jak souřadnice, složky tížnicových odchylek výšky geoidu tak i další charakteristiky tíhového pole Země. Využití v našich podmínkách viz v [5], [6], [7], [17].

5. Systémové převody charakteristik tíhového pole prostorovou podobnostní transformací

Spjatost geometrických a dynamických charakteristik tělesa Země vyniká při hledání a definování náhradního, referenčního tělesa s předem volitelnou mírou aproximace jeho tvaru a tíhového pole.

Za takový model, který v sobě zahrnuje jak geometrickou (tvar a rozměry), tak fyzikální (potenciál tíhového pole) podstatu je nejčastěji volen tzv. hladinový elipsoid [2].

Vztah pro potenciál skutečného tíhového pole Země v bodě P :

$$W_p = \frac{GM}{r} \left\{ 1 + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a_0}{r} \right)^n \left(J_n^{(m)} \cos m\lambda + S_n^{(m)} \sin m\lambda \right) P_n^{(m)}(\sin\phi) \right\} + O_p \quad (3)$$

kde

GM - geocentrická gravitační konstanta;

r; ϕ , λ - průvodič a geocentrické souřadnice potenciálového bodu;

a_0 - délkový parametr;

n, m - stupeň a řád Stokesových bezrozměrných parametrů (harmonických koeficientů) $J_n^{(m)}$, $S_n^{(m)}$;

$P_n^{(m)}(\sin\phi)$ - Legendreova přidružená funkce 1. druhu stupně n a řádu m.

Potenciál normálního tíhového pole Země U hladinového elipsoidu:

$$U_p = \frac{GM}{r} \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{a_0}{r} \right)^{2n} \left(J_{2n}^{(0)} \right)_E P_{2n}^{(0)}(\sin\phi) \right\} + O_p \quad (4)$$

kde O_p je potenciál odstředivé síly.

Rozdíl mezi skutečným (W) a normálním (modelovým) potenciálem hladinového elipsoidu (U) je tzv. poruchový potenciál tíhového pole

$$T = W - U \quad (5)$$

Prostřednictvím poruchového potenciálu již lze určovat další anomální charakteristiky tíhového pole Země používané v geodézii, především:

- tíhové anomálie,
- odlehlost geoidu od hladinového elipsoidu (výšky geoidu),
- složky tížnicových odchylek.

S poruchovým potenciálem jsou spojeny vztahem

$$\underline{a} = A(T) \quad (6)$$

kde

\underline{a} - jedna z výše uvedených anomálií;

A - jí odpovídající lineární operátor;

(T) - poruchový potenciál.

Např. pro výšku geoidu platí Brunsův teorém

$$N = \frac{1}{\gamma} \cdot T \quad (7)$$

Obecně platí, že libovolnou charakteristiku tíhového pole Země a lze vyjádřit funkční závislostí na parametrech fyzikální a geometrické povahy

$$a = f(p_1, p_2, \dots, p_n; q_1, q_2, q_3; r_1, r_2, \dots, r_{10}) \quad (8)$$

kde

- f - určitá vztahová funkce;
- p_1, p_2, \dots, p_n - parametry skutečného tíhového pole Země (Stokesovy parametry, úhlová rychlost rotace Země atd.);
- q_1, q_2, q_3 - souřadnice bodu ve kterém je anomální charakteristika určována;
- r_1, r_2, \dots, r_{10} - parametry normálního pole Země, přičemž r_1 až r_6 určují polohu hladinového elipsoidu vzhledem ke geocentrické souřadnicové soustavě (tři translační a tři rotační prvky), r_7 až r_{10} definují geometrické a fyzikální charakteristiky hladinového (normálního) elipsoidu.

Po tomto úvodu lze uvést typické vztahy pro transformace anomálních charakteristik používaných v soudobé geodézii:

- poruchového potenciálu T ,
- tíhových anomálií Δg ,
- složek tížnicových odchylek ξ, η ,
- výšek geoidu N ,

plynoucích ze změny vzájemné polohy tvaru a velikosti skutečného a normálního tělesa Země (ze změny parametrů r) a Stokesových konstant.

Transformační vztahy jsou odvozeny prostřednictvím klasické Taylorovy diferenciální formule při podržení pouze lineárních členů.

a) Transformace poruchového potenciálu a tíhových anomálií

Jejich definice

$$\begin{aligned} T(P) &= W(P) - U(P) \\ \Delta g(P) &= g(P) - \mathcal{J}(Q) \end{aligned} \quad (9)$$

kde

- $g(P)$ - skutečné tíhové zrychlení v bodu P na povrchu Země;
- $\mathcal{J}(Q)$ - normální tíhové zrychlení v bodě Q pro který platí $W(P) = U(Q)$, kde body P i Q leží na společné normále k elipsoidu.

Normální tíhové zrychlení \mathcal{J} je dáno normou gradientu normálního tíhového potenciálu

$$\mathcal{J} = \|\text{grad } U\| \quad (10)$$

Transformace veličin T , g na povrchu Země i v okolozemském prostoru mezi systémy A, B jsou pak dány vztahy

$$\delta T = - (\text{grad } U)_A^T \delta \bar{x} \quad (11)$$

$$\delta \Delta g = - \frac{1}{\lambda} (\text{grad } U)_A^T (\text{grad grad } U)_A \delta \bar{x}$$

kde

$\delta \bar{x}$ - vektor změny souřadnic x, y, z vyšetřovaného (potenciálového) bodu;

$\delta T = T_B - T_A$, $\delta \Delta g = \Delta g_B - \Delta g_A$ jsou systémové rozdíly veličin T a Δg .

S využitím základního vztahu (1) prostorové podobnostní transformace (6 prvků, Buršův model) bez uvažování změny měřítka lze psát vztahy (11) takto

$$\delta T = - (U_x, U_y, U_z)_A \begin{pmatrix} \delta x_0 - \varepsilon_z Y + \varepsilon_y Z \\ \delta y_0 + \varepsilon_z X - \varepsilon_x Z \\ \delta z_0 - \varepsilon_y X + \varepsilon_x Y \end{pmatrix}_A \quad (12)$$

$$\delta \Delta g = - \frac{1}{\lambda} (U_x, U_y, U_z)_A \begin{pmatrix} U_{xx} & U_{xy} & U_{xz} \\ U_{xy} & U_{yy} & U_{yz} \\ U_{xz} & U_{yz} & U_{zz} \end{pmatrix}_A \begin{pmatrix} \delta x_0 - \varepsilon_z Y + \varepsilon_y Z \\ \delta y_0 + \varepsilon_z X - \varepsilon_x Z \\ \delta z_0 - \varepsilon_y X + \varepsilon_x Y \end{pmatrix}_A$$

kde

$$U_x = \frac{\partial U}{\partial x} \quad U_{xy} = \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \quad \text{atd.}$$

jsou derivace normálního potenciálu, kde lze použít zjednodušené modely normálního pole oproti (4) až tíhové pole homogenní náhradní koule.

b) Transformace složek tížnicových odchylek a výšek geoidu mezi geodetickými systémy A, B

Vztahy pro složky jsou

$$\begin{aligned} \xi &= \varphi - B \\ \eta &= (\lambda - L) \cos \varphi \end{aligned} \quad (13)$$

Pro výšku geoidu N pak

$$N = H^{el} - H^{ort}$$

kde

φ, λ - astronomická šířka a délka;

B, L - geodetická šířka a délka;

H^{el} - elipsoidická (geodetická) výška bodu;

H^{ort} - ortometrická výška (vzhledem ke geoidu).

Vzhledem k tomu, že se v současné době používá běžně matematická plocha kvazigeoidu, pak jeho výška nad elipsoidem je

$$\zeta = H^{el} - H^q \quad (14)$$

kde

ζ - výška kvazigeoidu vzhledem k elipsoidu;

H^q - výška normální (Moloděnského).

Systémové rozdíly složek tížnicových odchylek a výšek kvazigeoidu jsou

$$\begin{aligned} \delta\xi &= \xi_B - \xi_A \\ \delta\eta &= \eta_B - \eta_A \\ \delta\zeta &= \zeta_B - \zeta_A \end{aligned} \quad (15)$$

Obdobně (11) jsou transformační vztahy

$$\begin{pmatrix} \delta\xi \\ \delta\eta \\ \delta\zeta \end{pmatrix} = \left[\frac{\partial(\xi; \eta; \zeta)}{\partial(X, Y, Z)} \right]_A \delta\bar{X} \quad (16)$$

Prvky Jacobiho matice $\frac{\partial(\xi, \eta; \zeta)}{\partial(X, Y, Z)}$ se získají z (13), (14) a ze vztahů mezi pravouhlými X, Y, Z a zeměpisnými souřadnicemi B, L, H^{el} [8]. Vektor $\delta\bar{x}$ má stejný význam jako v (11).

Po dosazení a úpravách s využitím měřítkového faktoru m jsou výsledné transformační vztahy pro určení systémových rozdílů:

$$\begin{aligned} (M + H^{el})_A \delta\xi &= \delta x_0 \sin B_A \cos L_A + \delta y_0 \sin B_A \sin L_A - \delta z_0 \cos B + \\ &+ \left(\frac{a^2}{N} + H^{el} \right)_A (\varepsilon_y \cos L_A - \varepsilon_x \sin L_A) + m e^2 N_A \sin B_A \cos B_A ; \\ (N + H^{el})_A \delta\eta &= \delta x_0 \sin L_A - \delta y_0 \cos L_A + (N + H^{el} - e^2 N)_A (\varepsilon_x \cos L_A + \varepsilon_y \sin L_A) \sin B_A - \\ &- \varepsilon_z (N + H^{el})_A \cos B_A \end{aligned}$$

$$\delta \zeta = \delta x_0 \cos B_A \cos L_A + \delta y_0 \cos B_A \sin L_A + \delta z_0 \sin B_A + \\ + e^2 N_A (\varepsilon_x \sin L_A - \varepsilon_y \cos L_A) \sin B_A \cos B_A + m \left(\frac{a^2}{N} + H^{el} \right)_A$$

kde

a - velká poloosa referenčního elipsoidu (náhradního tělesa);

e^2 - jeho první excentricita;

M, N - meridiánový a příčný poloměr křivosti [8].

c) Transformace Stokesových parametrů

Stokesovy bezrozměrné parametry (koeficienty v rozvoji tíhového potenciálu do řady kulových funkcí (3)) $J_n^{(m)}$, $S_n^{(m)}$ stupně n a řádu m jsou definovány

$$\left. \begin{matrix} J_n^{(m)} \\ S_n^{(m)} \end{matrix} \right\} = \frac{1}{M a_0^n} (2 - \delta_{m0}) \frac{(n-m)!}{(n+m)!} \int_M r^n P_n^{(m)}(\sin \phi) \frac{\cos m \lambda}{\sin m \lambda} dM$$

kde

M - hmotnost Země;

a_0 - délkový parametr

ϕ, λ, r - geocentrické souřadnice a průvodič hmotného elementu dM ;

$P_n^{(m)}(\sin \phi)$ - přidružená Legendreova funkce 1. druhu, stupně n a řádu m ;

$\delta_{m0} = \begin{cases} 1 & \text{při } m = 0 \\ 0 & \text{pro } m > 0. \end{cases}$

Prostřednictvím Stokesových parametrů se vyjadřuje příslušný stupeň rozvoje vnějšího potenciálu (3) tíhového pole Země a jeho anomálních charakteristik, používaných v soudobé geodézii, při určování parametrů drah umělých družic Země (UDZ) a j. Globální popis těchto anomálních charakteristik, daný použitým maximálním stupněm vede ke zjednodušení, které neumožňuje výpočet bodových hodnot s přesností, obvyklou na povrchu Země.

Při transformaci anomálních charakteristik, určených prostřednictvím Stokesových parametrů lze namísto vztahů (11), (16) použít přímo transformaci Stokesových parametrů, aniž by se měnil obecný tvar funkce f v (8).

S využitím vlastností kulových funkcí [9], [10] byly v [16] odvozeny vztahy pro transformaci Stokesových parametrů při změně polohy geocentra (translaci souřadné soustavy X, Y, Z o složky $\delta x_0, \delta y_0, \delta z_0$):

$$a_0 [(J_n^{(0)})_B - (J_n^{(0)})_A] = n [\delta Z_0 J_{n-1}^{(0)} - \frac{1}{2} (n-1) (\delta x_0 J_{n-1}^{(1)} + \delta y_0 S_{n-1}^{(1)})]_A ;$$

$$2a_0 [(J_n^{(m)})_B - (J_n^{(m)})_A] = [(1 + \delta m_1) (J_{n-1}^{(m-1)} - (n-m)(n-m-1) J_{n-1}^{(m+1)})]_A \delta x_0 -$$

$$- [(1 + \delta m_1) (S_{n-1}^{(m-1)} + (n-m)(n-m-1) S_{n-1}^{(m+1)})]_A \delta y_0 +$$

$$+ (n-m) (J_{n-1}^{(m)})_A \delta Z_0 ; \quad m > 0$$

$$2a_0 [(S_n^{(m)})_B - (S_n^{(m)})_A] = [(1 + \delta m_1) (S_{n-1}^{(m-1)} - (n-m)(n-m-1) S_{n-1}^{(m+1)})]_A \delta x_0 +$$

$$+ [(1 + \delta m_1) (J_{n-1}^{(m-1)} + (n-m)(n-m-1) J_{n-1}^{(m+1)})]_A \delta y_0 +$$

$$+ (n-m) (S_{n-1}^{(m)})_A \delta Z_0 ; \quad m > 0$$

$$\delta_{m_1} = \begin{cases} 1 & \text{pro } m = 1 \\ 0 & \text{pro } m > 1 \end{cases}$$

Transformační vztahy při rotaci souřadnicové soustavy jsou uvedeny např. v [11].

6. Transformace v dynamické družicové geodézii (DDG)

Jedním z odvětví soudobé geodézie, na kterém je možno ukázat šíři transformačních úloh je DDG, uvažující tyto hlavní souřadnicové systémy:

- 1) Geocentrický inerciální (kvaziinerciální), v němž jsou řešeny pohybové rovnice UDZ (určovány souřadnice a složky rychlosti družice).
- 2) Geocentrický greenwichský, v kterém jsou udávány souřadnice pozorovacích stanic a určovány souřadnice nových bodů technologiemi družicového určování polohy.
- 3) Referenční (kvazigeocentrický), v kterém jsou souřadnice bodů národních nebo koaličních geodetických systémů.
- 4) Topocentrický, v němž probíhá observace UDZ na sledovacích stanicích družicových sítí.

Transformační úlohy v DDG zahrnují:

- transformace souřadnic a složek rychlosti družice z geocentrického inerciálního do geocentrického greenwichského systému a naopak,

- transformace výsledků pozorování z topocentrického do geocentrického inerciálního souřadnicového systému,
- transformace Keplerových elementů družice mezi geocentrickými inerciálními systémy vztahenými k různým epochám,
- transformace souřadnic bodů z geocentrického greenwichského do referenčního systému a naopak.

Uvedený výčet není samozřejmě úplný a nepostihuje další úlohy, spjaté s provozováním a zabezpečováním funkcí kombinovaných družicových a povrchových systémů autonomního určování polohy, rychlosti objektů a parametrů tíhového pole Země.

7. Závěr

Požadavky současné a perspektivní praxe vyžadují komplexní přístup k hodnocení a výběru transformačních metod. Problematika tzv. přesnosti transformace je dílčím kritériem volby transformační metody, nikoli rozhodujícím.

Zpracování výsledků autonomních metod určování souřadnic a jejich kombinace s klasickými geodetickými údaji vyžaduje respektování jak geometrických, tak dynamických faktorů, vyvolávaných fyzikální podstatou tělesa Země.

Systémový přístup a plošný rozsah zpracovávaných údajů, společnými parametry jsou dalšími podmínkami, plynoucími z celistvého pojetí geodetického zabezpečení.

Literatura:

- | | | |
|-----|-------------------------------|--|
| [1] | Pellinen, L. P. | Vysšaja geodezija
Nedra, Moskva 1978 |
| [2] | Heiskanen, W.A.
Moritz, H. | Physical Geodesy
Freeman, S. F. London 1967 |
| [3] | Moritz, H. | Advanced Physical Geodesy
Wichman, Karlsruhe, překlad do ruštiny
Nedra, Moskva 1983 |
| [4] | Burša, M. | Družicové metody studia gravitačních polí
a tvaru nebeských těles
UK-FMF SPN, Praha 1979 |

- [5] Zeman, A. Geofyzika (Geofyzika a geodynamika)
ČVUT - FS Praha, 1988
- [6] Pick, M. Vybrané kapitoly z gravimetrie
UK-PF, Praha 1987
- [7] Ádám, J. On the determination of similarity coordinate
transformation parameters
Bolletino di geodesiae scienze affini, 1982,
č. 3
- [8] Mašimov, M.M. Planetarnyje teoríi geodezii
Nedra, Moskva 1982
- [9] Hobson, E. W. The Theory of Spherical and Ellipsoidal Har-
monics
Cambridge Univ. Press, překlad do ruštiny
Moskva 1952
- [10] Hotine, M. Mathematical Geodesy
ESSA Monograph, Washington 1969
- [11] Burša, M. Dynamika a tíhové pole Země
Pěč, K. Academia, Praha 1988
- [12] Prachař, J. Kosmická geodézie
VA AZ, Brno 1984, skripta
- [13] Dušátko, D. Perspektivní metody a postupy při určování
Němeček, P. transformačních vztahů mezi geodetickými sys-
Raděj, K. témy
Šilhan, V. Sborník TS-MNO, 1. část 1/83, 2. část 1/84
Tůma, M.
- [14] Němeček, P. Programová dokumentace 7. prvkové prostorové
podobnostní transformace podle Mašimova
VTOPÚ Dobruška, 1984
- [15] Šimek, J. Programová dokumentace 7. prvkové prostorové
podobnostní transformace (PROTRA), model Burša-
Wolf
VÚGTK Zdiby, 1987

- [16] Jonáš, V. Odvození transformace Stokesových parametrů
při změně souřadné soustavy
Úkol RVT TS-ČSLA č. 71222, 1989
- [17] Dušátko, D. Návrh na vytvoření pracovního systému S-JTS
VTOPÚ Dobruška, 1986

Došlo: 28. 12. 1989

ROZBOR PŘESNOSTI TVORBY DIGITÁLNÍHO MODELU RELIÉFU 2. GENERACE

1. Úvod

Současné požadavky druhů vojsk na topograficko-geodetické zabezpečení již nezahrnují pouze grafické a písemné podklady a katalogizované číselné soubory (souřadnice apod.), ale ve stále větší míře též speciální datové báze, ukládané na médiích pro automatizované počítačové zpracování. Takovéto datové báze jsou schopny, při začlenění do automatizovaných technologií při využití moderních interaktivních výpočetních systémů s grafickými výstupy, podstatně zrychlit tok informací potřebných pro velitele a štáby. V TS ČSLA se proto cílevědomě vytvářejí již řadu let zejména geodetické a geofyzikální databáze a databáze topografických prvků obsahu mapy ukládané do tzv. bank kartografických dat (BKD). Budované BKD by měly vést k postupnému vytváření digitálního modelu území, resp. terénu (DMÚ, DMT). Velmi významnou a v současné době vojsky nejžádanější součástí těchto perspektivních digitálních modelů je digitální model reliéfu 2. generace (DMR-2). Jeho vojenské využití je velmi rozsáhlé a významné a je přehledně zdokumentováno, např. v [1] i s podrobným zdůvodněním potřeby této databáze.

Prvními aplikačními oblastmi DMR-2 pro potřeby TS ČSLA v nejbližším období je předpokládáno využití pro eliminaci vlivu reliéfu při digitálním jednosnímkovém zpracování a vytváření třírozměrných pohledů na terén. Programové zabezpečení různých typů třírozměrných grafických pohledů na terén (3DP) je připravováno od roku 1988 ve VTOPÚ Dobruška ve spolupráci s Ústavem geologie a geotechniky (ÚGG) ČSAV.

Digitální model reliéfu DMR-2 byl zpočátku od roku 1978 budován v TS ČSLA pomocí kartometrických odečtů nadmořských výšek v síti uzlových bodů proměnné hustoty v závislosti na charakteru reliéfu. V rovinnatém území byla volena délka stran čtvercové sítě 500 m, v pahorkatinách 200 m a v ostatních typech reliéfu 100 m. Takto budovaný model byl vytvořen v příhraniční části NSR a ČSSR až po 18⁰30' v.d. v rozsahu 340 mapových listů 1:25 000 s přesností charakterizovanou střední výškovou chybou $m_v < \pm 5$ m. Potom však byly práce přerušeny a bylo pro území ČSSR zahájeno přebírání údajů DMR od n.p. Geofyzika Brno vytvářených jinou, modernější technologií pro geofyzikální účely. Hodnoty výšek v uzlových bo-

dech jsou v rámci této technologie určovány ve čtvercové síti 100 x 100 m a sice interpolací z dat získaných digitalizací vrstevnic se základním intervalem 10 m z topografických map 1:10 000. Předávání dat pro naplnění databáze DMR-2 z celého území ČSSR bude ukončeno ještě v roce 1988. Vzhledem k tomu, že v databázi byly zjištěny již i hrubé chyby, bylo ve VTOPÚ Dobruška zahájeno prověření její správnosti porovnáním hodnot výšek v uzlových bodech s odečty z topografických map 1:50 000 s hustotou 1 bod na 4 km². Celkem by tedy mělo být takto porovnáno asi 32 000 hodnot výšek s tím, že mapové listy, v nichž budou zjištěny hrubé chyby budou péčí Geofyziky n.p. zpracovány znovu.

V roce 1987 bylo v TS ČSLA rozhodnuto o způsobu další výstavby DMR-2 v zahraniční části zájmového území (ZZÚ). Způsob vytváření i hustota uzlových bodů bude mít obdobný charakter jako v případě zabezpečení datové báze na území ČSSR. Digitalizace dat bude probíhat u jednotlivých PPÚZ pomocí snímacích zařízení Digipos 1208 systémů AKS Digikart i digitalizačních zařízení s volným kurzorem (Aristogrid, Digitizer, DG-1), připojených k AKS nebo k mikropočítačovým systémům. Převod digitalizovaných souborů dat na hodnoty výšek v uzlových bodech s ukládáním do přesně strukturované databáze bude zabezpečovat VTOPÚ Dobruška, který je správcem DMR-2.

Vzhledem k tomu, že se jedná o značně rozsáhlý úkol s velkým objemem prací a s vynaložením velkého množství lidské práce i strojového času a navíc spojený s nákupem nové speciální techniky z tuzemska ale i z NSZ, bylo nutné předem důkladně analyzovat přesnost výsledných hodnot výšek v uzlových bodech v závislosti na použitých podkladech i technologii digitalizace vrstevnic včetně redakční přípravy i přesnosti interpolačních programů. Tato databáze musí být totiž budována s perspektivou nejméně 15 - 20 let, tj. s dostatečnou přesností, která bude vyhovovat nejen požadavkům vojsk, ale i samotné TS ČSLA ještě po roce 2000. Posouzena byla též otázka hustoty vytváření uzlových bodů, která bezprostředně souvisí s přesností určení výšek v libovolném bodě terénního reliéfu. Přesnost určení výšek i potřebná hustota uzlových bodů byly analyzovány jak pro ZZÚ, tak i pro území ČSSR a vyvozeny příslušné závěry. Podrobná analýza včetně popisu současných i perspektivních technologických postupů výstavby DMR-2 je uvedena v [2].

2. Základní technologické postupy vytváření DMR-2 s využitím AKS DIGIKART

Pro lepší představu o hlavních zdrojích chyb výsledného DMR na ZZÚ bude účelné uvést hlavní technologické prvky jeho výstavby. Jako základní technický prostředek pro sběr prvotních dat digitalizací vrstevnic je používán AKS DIGI-

KART. Technologii tvorby DMR-2 lze rozdělit do dvou technologických bloků, označovaných TB1 a TB2, z nichž první zahrnuje postupy související s pořizováním dat a druhý s převodem těchto dat do čtvercové sítě 100 x 100 m a jejich uložením do databanky.

a) TB1 - je založen na využití programového aparátu databankové technologie vodstvo s úpravami pro specifické požadavky DMR-2. Je možno ho rozčlenit do osmi technologických kroků:

- redakční příprava,
- digitalizace,
- výpočetní kontrola,
- vizuální kontrola,
- kontrolní kresba,
- opravy dat,
- vytvoření výstupního souboru,
- kompletace.

Digitalizace vrstevnic se provádí na zařízení DIGIPOS 1208, výpočetní zpracování na ADT 4100 a kontrolní kresba na DIGIGRAFu 1208. Základní krok digitalizace byl stanoven 2,0 mm pro mapové podklady měřítek 1:25 000 a 1,0 mm pro měřítko 1:50 000.

Výrobce zařízení DIGIPOS 1208 udává střední chybu nastavení na bod $\pm 0,03$ mm. Při technické převímce zařízení byla testem VS 090 určena přesnost, charakterizující přesnost v režimu vlastní digitalizace $\pm 0,09$ mm. Jedná se ovšem o charakteristiky polohové přesnosti, které je třeba převést v závislosti na úhlu sklonu a měřítku mapy na výškovou přesnost v metrech. Kromě toho je třeba vzít v úvahu i přesnost mapového podkladu.

b) TB2:

- výstupní soubor převzatý z TB1 se konvertuje z kódu ASCII do kódu EBCDIC,
- kontroluje se formální správnost zápisu nomenklatury, kódu podkladu a formální správnost kódu prvků digitalizace,
- transformují se digitalizované (stolové) souřadnice bodů do S-1942,
- předzpracovává se struktura výstupního souboru z TB1 do struktury využitelné pro interpolaci hodnot výšek v uzlových bodech,
- provádí se interpolace hodnot výšek v uzlových bodech,
- získané hodnoty výšek v uzlových bodech se ukládají po tzv. základních ukládacích jednotkách (ZUJ) do datové báze DMR-2.

Bližší podrobnosti o obou technologických postupech jsou uvedeny v příslušných prováděcích projektech.

3. Rozbor přesnosti výšek v uzlových bodech DMR-2 určených s využitím topografických podkladů z území ČSSR

Celková přesnost určení výšek v uzlových bodech je výsledkem celé řady vlivů, které působí často společně a jednotlivé zdroje chyb nelze exaktně a jednoznačně separovat. Tomuto předpokladu byla uzpůsobena i zvolená metodika analýzy přesnosti, která je založena na:

- porovnání hodnot výšek v uzlových bodech, určených analytickou interpolací dat získaných digitalizacemi vrstevnic s výškami určenými přímými kartometrickými odečty,
- porovnání hodnot výšek v uzlových bodech, určených analytickou interpolací dat získávaných digitalizacemi vrstevnic s výškami určenými fotogrammetricky,
- porovnání hodnot identických výšek odečtených kartometricky z topografických map ČSLA ZZÚ a původních zahraničních topografických map zobrazujících stejné území.

Za hlavní výsledky rozborů lze považovat porovnání přesnosti:

- určení výšek v uzlových bodech získaných z digitalizace topografických podkladů různých měřítek,
- určení výšek v uzlových bodech při různých intervalech digitalizace vrstevnic,
- určení výšek v uzlových bodech získaných z digitalizace topografických podkladů zobrazujících typy reliéfů a zástavby,
- určení výšek v uzlových bodech při použití různých podkladů pro digitalizaci vrstevnic,
- zhodnocení přesnosti digitalizace vrstevnic na tiscích topografických map.

Jako základní a nejprůkaznější porovnání hodnot výšek určených z digitalizace vrstevnic byla volena porovnání s hodnotami určenými fotogrammetricky, neboť se jedná o nejpřesnější dostupnou metodu určení hodnot výšek. Vzhledem k tomu, že v zahraničním zájmovém území jsou k dispozici vhodné letecké měřické snímky jen z jedné lokality, byly kromě rozborů v této lokalitě provedeny další rozborů touto metodou ve vybraných lokalitách na území ČSSR. Lokality pro rozborů

přesnosti byly voleny v rozměrech 2200 x 1300 m, tj. o 286 bodech (22x13). Rozdíly identických hodnot výšek v navzájem porovnávaných souborech s příslušnými středními chybami ale i histogramy četnosti byly vypočteny na mikropočítači SA-PI-1, verze ZPS 3 s tím, že po výpočtu středních chyb byly vyloučeny odlehlé hodnoty přesahující trojnásobek střední chyby a výpočet charakteristik přesnosti zopakován bez těchto odlehlých hodnot.

Podrobný popis cílů jednotlivých rozborů, zvolených metodických postupů i použitých podkladů je uveden v [2]. V tomto článku se omezíme na uvedení dosažených výsledků a z nich vyvozených závěrů pro další postup prací a možné aplikační využití.

a) Porovnání přesnosti určení výšek z topografických map různých měřítek

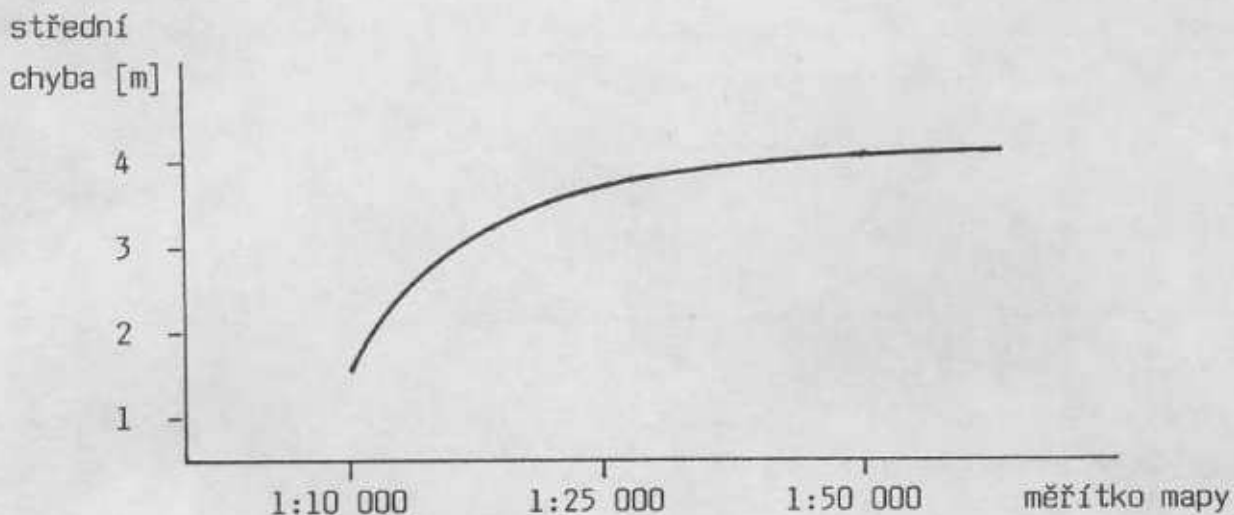
Výpočet středních chyb byl proveden z rozdílů výšek mezi soubory dat získanými z kartometrických odečtů na topografických mapách měřítek 1:10 000, 1:25 000 a 1:50 000 a datovým souborem výšek určených ve stejných uzlových bodech fotogrammetricky.

Přehledně jsou výsledné střední chyby uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 - Střední chyby rozdílů výšek odečtených fotogrammetricky z LMS a kartometricky z topografických map

Měřítko mapy	Střední chyba určená ze všech rozdílů výšek [m]	Střední chyba získaná po vyloučení odlehlých hodnot [m]
1 : 10 000	1,4	1,1
1 : 25 000	4,0	3,4
1 : 50 000	4,0	3,8

Z tabulky 1 je zřejmá podstatně vyšší přesnost výškopisu topografických map 1:10 000 oproti topografickým mapám 1:25 000 a 1:50 000 mezi nimiž je naopak velmi malý rozdíl. Při vynesení grafické závislosti střední chyby na měřítku mapy získáme lepší představu z obrázku 1.



Obr. 1 - Grafická závislost výškové přesnosti na měřítku mapy

Při hodnocení získaných výsledků je třeba vzít v úvahu, že ani fotogrammetricky odečtené výšky nejsou bezchybné. Podle tabulky uvedené v [6] by pro použité měřítko snímků 1:14 000 měly být při fotogrammetrickém vyhodnocení určeny výšky v závislosti na sklonu terénu α se střední chybou $(0,64 + 1,0 \operatorname{tg}\alpha)$ m. Při bodovém odečítání výšek bude tato přesnost ještě vyšší, lze předpokládat, že nepřesáhne 0,4 - 0,5 m. Při uvážení všech faktorů ovlivňujících výslednou přesnost určení výšek lze hodnotit přesnost kartometrických odečtů z topografických map 1:10 000 pro daný účel jako velmi vysokou a z topografických map 1:25 000 a 1:50 000 jako uspokojivou.

b) Porovnání přesnosti určení výšek v různých typech reliéfu a zástavby

Cílem rozboru bylo porovnání určení výšek:

- v rovinném, členitém a velmi členitém terénu,
- ve volném málo zastavěném terénu a ve větším sídle městského typu situovaném v členitém terénu.

Dosažené výsledky porovnání přesnosti určení výšek v různých typech reliéfu za jinak stejných respektive podobných podmínek jsou patrné z tabulky 2. Data porovnávaná vůči datům, určeným fotogrammetricky byla získána digitalizací vrstevnic na kartolitografických originálech (KLO) nebo tiskových podkladech (TP) výškopisu měřítko 1:50 000 a následnou interpolací hodnot výšek v uzlových bodech.

Tabulka 2 - Porovnání přesnosti určení výšek v rovinnatém, členitém (vrchovina, pahorkatina) a velehorském terénu

Typ terénu	Měřítko digitalizace	Střední chyba ze všech rozdílů výšek [m]	Střední chyba po vyloučení odlehlých hodnot [m]
rovinnatý	1:50 000	1,8	1,7
členitý	1:50 000	4,8	4,7
velehorský	1:25 000	10,6	7,9

Z porovnání výsledků je zřejmé, že za jinak prakticky stejných podmínek budou v rovinnatém území získány hodnoty výšek s přesností podstatně vyšší než v členitém terénu. V tomto konkrétním případě byla dosažena přesnost 2,8 x vyšší. Naopak ve velehorském terénu byla přesnost 1,7 x nižší přesto, že bylo použito lepších podkladů pro digitalizaci vrstevnic a to KLO 1:25 000 a byla provedena velmi pečlivá redakční příprava. Bez ní by byla výsledná přesnost zřejmě ještě podstatně nižší, neboť ve vybrané lokalitě je několik oblastí bez vrstevnic (skalní srázy). V těchto případech je pro dosažení přiměřené přesnosti (do 10 m) nutné vyznačit co nejlépe předpokládaný průběh vrstevnic v rámci redakční přípravy zkušeným redaktorem.

Přesnost určení výšek ve větším sídle městského typu, situovaném v členitém terénu (dvě lokality - I a II) byla porovnána v několika kombinacích souborů dat určených z digitalizovaných vrstevnic, kartografickými odečty a fotogrammetricky. Výsledné střední chyby rozdílů těchto souborů dat po vyloučení odlehlých hodnot jsou přehledně uvedeny v tabulce 3. V závorkách jsou uvedeny střední chyby vyčíslené bez vyloučení odlehlých hodnot. Pro porovnání se střední chybou určenou z rozdílů výšek získaných z digitalizace KLO 1:50 000 a fotogrammetricky v málo zastavěném členitém terénu uvedme, že tato střední chyba činila 4,7 m.

Tabulka 3 - Porovnání přesnosti rozdílů výšek různě získaných souborů dat ve dvou lokalitách sídla městského typu v členitém terénu

Porovnání souborů dat získaných: D, FaK	Měřítko topografic- kého podkladu	Střední chyba [m]	
		Lokalita I	Lokalita II
D - K	1 : 25 000	2,4 (2,9)	2,2 (2,9)
F - K	1 : 25 000	9,5 (9,6)	12,0 (12,4)
D - F	1 : 25 000	9,1 (9,1)	11,7 (12,1)
D - K	1 : 50 000	3,7 (3,8)	3,4 (3,9)
D - F	1 : 50 000	9,0 (9,3)	12,0 (12,4)

Legenda: D ... soubor získán z digitalizovaných dat
F ... soubor získán z fotogrammetrických odečtů výšek
K ... soubor získán z kartometrických odečtů výšek.

Z analýzy výsledků jsou nápadné velké rozdíly mezi středními chybami získanými porovnáním různých datových souborů, které značně překračují předpokládané hodnoty. Přitom se v žádném souboru nevyskytly hrubé chyby, ale jen odlehlé hodnoty odpovídající náhodnému rozdělení chyb.

Při analýze příčin velkých rozdílů středních chyb bylo zjištěno, že v příslušných nomenklaturách mapových listů je zobrazen výškopis oproti skutečnosti dosti nepřesně. Příčinou je zejména hustá zástavba se současně výrazně členitým terénem, kde je fotogrammetrické vyhodnocení výškopisu dosti obtížné a při tvorbě výškopisného základu těchto mapových listů nebylo provedeno s potřebnou pečlivostí. I když takovéto prostory nejsou v podmínkách budování databáze na zájmovém území příliš časté, je třeba počítat v těchto lokalitách se středními chybami výšek uzlových bodů v hodnotách kolem 10 m. Vliv porostů v rámci této analýzy zkoumán nebyl, ale lze předpokládat v některých případech podobné účinky na přesnost určení výšek jako vlivem zástavby.

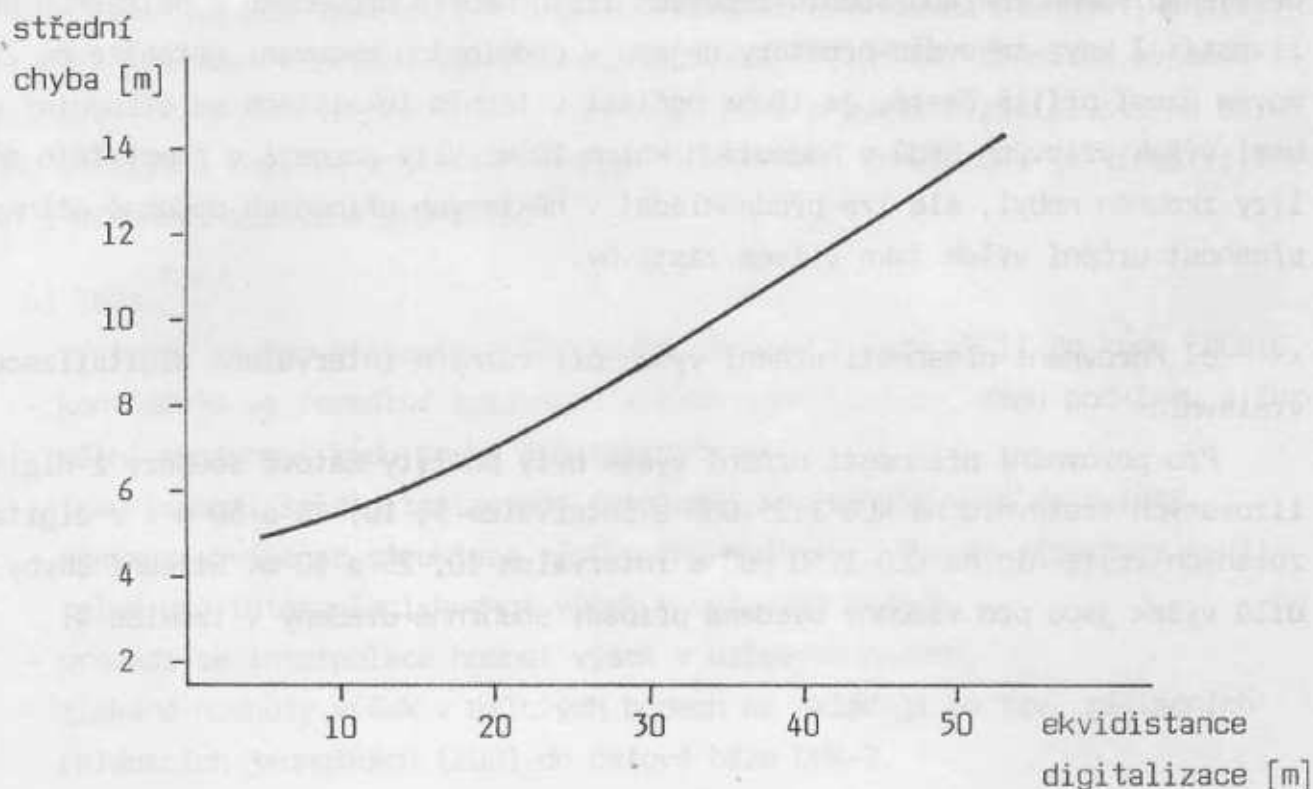
c) Porovnání přesnosti určení výšek při různých intervalech digitalizace vrstevnic

Pro porovnání přesnosti určení výšek byly použity datové soubory z digitalizovaných vrstevnic na KLO 1:25 000 s intervalem 5, 10, 25 a 50 m a z digitalizovaných vrstevnic na KLO 1:50 000 s intervalem 10, 25 a 50 m. Střední chyby rozdílů výšek jsou pro všechny uvedené případy souhrnně uvedeny v tabulce 4.

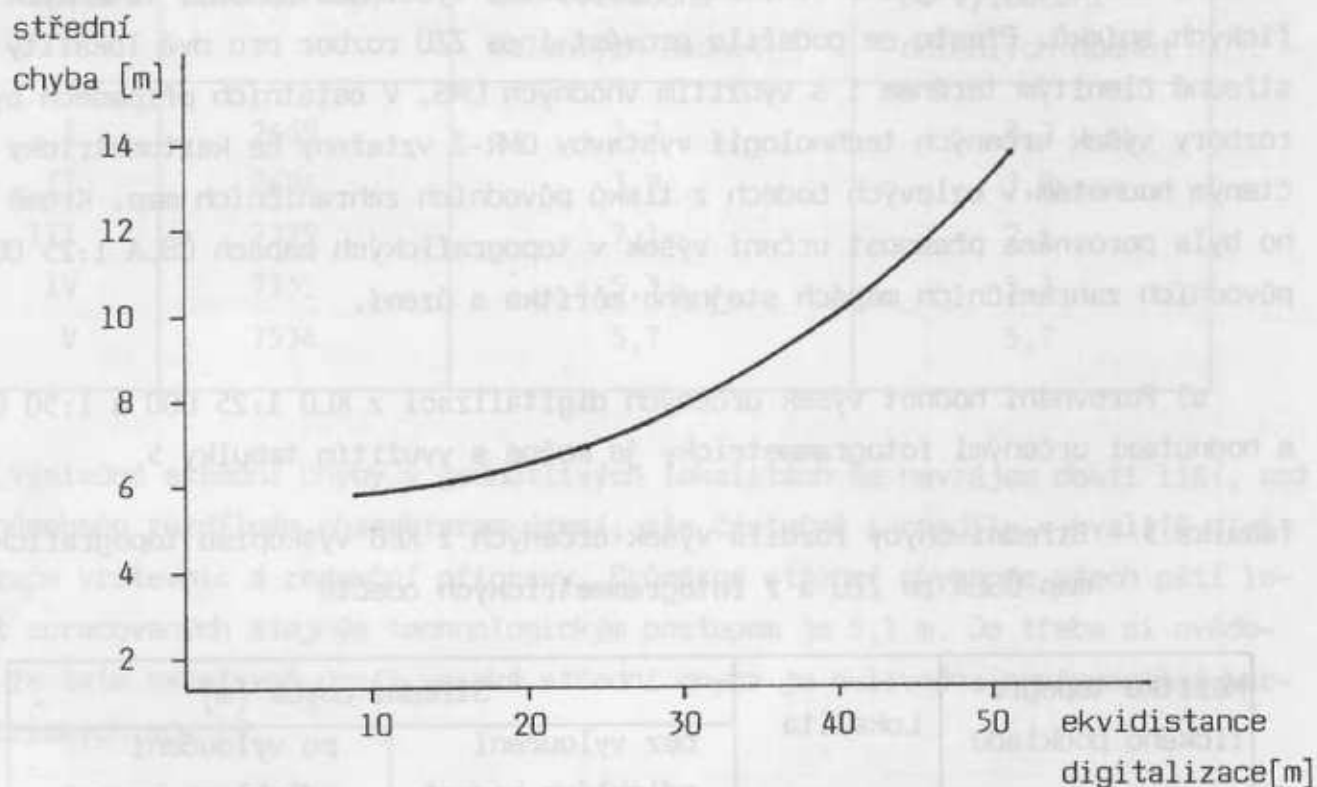
Tabulka 4 - Střední chyby rozdílů výšek určených fotogrammetricky a digitalizací vrstevnic z KLO 1:25 000 a 1:50 000 s různým intervalem (ekvidistan-
cí) digitalizace

Měřítko mapy	1 : 25 000					1 : 50 000			
Ekvidistance digitalizace [m]	5 (RP)	5	10	25	50	10 (RP)	10	25	50
Střední chyba [m] bez vyloučení odlehlých hodnot	3,4	3,7	4,7	7,8	14,9	4,8	5,3	7,0	13,0
Střední chyba [m] s vyloučením odlehlých hodnot	3,3	3,7	4,3	7,3	13,7	4,8	4,8	6,0	13,0

Grafická závislost přesnosti určení výšek uzlových bodů na intervalu (ekvidistanci) digitalizace vrstevnic je pro měřítka topografických map 1:25 000 a 1:50 000 velmi dobře zřejmá z obrázků 2 a 3.



Obr. 2 - Grafická závislost přesnosti určení výšek na ekvidistanci digitalizace vrstevnic z KLO 1:25 000



Obr. 3 - Grafická závislost přesnosti určení výšek na ekvidistanci digitalizace vrstevnic z KLO 1:50 000

Z uvedených grafů je patrný jasný růst přesnosti určení výšek uzlových bodů se zmenšujícím se intervalem digitalizace vrstevnic. Ekvidistanci digitalizace je třeba volit s ohledem na použitý mapový podklad a požadovanou výslednou přesnost určení výšek. Pro dosažení přesnosti budování DMR-2 vyšší než 5 m, která je z hlediska perspektivních potřeb ČSLA žádoucí, je nutné digitalizovat vrstevnice s krokem alespoň 10 m. Přitom se současně doporučuje v rámci redakční přípravy předepsat k digitalizaci ještě navíc vybrané terénní čáry a body vyjadřující charakter reliéfu v místech lokálních maxim a minim terénních tvarů (vrcholy, jámy, hřbetnice, údolnice, sedla apod.) a místa diskontinuit (strže, převisy, výkopy, násypy apod.). Z tabulky 4 je zřejmé, že digitalizací i těchto prvků reliéfu může dojít k dalšímu zvýšení přesnosti výsledné databáze. Údaje o přesnosti pro tyto případy jsou uvedeny ve sloupcích označených za hodnotou ekvidistance digitalizace symbolem RP.

4. Rozbor přesnosti výšek v uzlových bodech DMR-2 určených s využitím topografických podkladů ze zahraničního území

Dosud popsané rozborů byly provedeny s využitím mapových a snímkových podkladů z území ČSSR zejména vzhledem k podstatně vyšší dostupnosti leteckých měřických snímků. Přesto se podařilo provést i na ZZÚ rozbor pro dvě lokality se středně členitým terénem i s využitím vhodných LMS. V ostatních případech byly rozborů výšek určených technologií výstavby DMR-2 vztaženy ke kartometricky odečteným hodnotám v uzlových bodech z tisků původních zahraničních map. Kromě toho byla porovnána přesnost určení výšek v topografických mapách ČSLA 1:25 000 a původních zahraničních mapách stejného měřítko a území.

a) Porovnání hodnot výšek určených digitalizací z KLO 1:25 000 a 1:50 000 s hodnotami určenými fotogrammetricky je možné s využitím tabulky 5

Tabulka 5 - Střední chyby rozdílů výšek určených z KLO výškopisu topografických map ČSLA ze ZZÚ a z fotogrammetrických odečtů

Měřítko topografického podkladu	Lokalita	Střední chyba [m]	
		bez vyloučení odlehlých hodnot	po vyloučení odlehlých hodnot
1 : 25 000	I	3,1	2,7
1 : 25 000	II	3,7	3,3
1 : 50 000	I	4,3	4,3
1 : 50 000	II	4,7	4,7

Získané výsledky jsou plně srovnatelné s výsledky získanými z topografických podkladů ČSLA zobrazujících území ČSSR, což nasvědčuje, že podklady z celého ZÚ TS ČSLA by mohly být z hlediska výškopisné přesnosti homogenní.

b) Porovnání hodnot výšek určených s využitím dat digitalizovaných z KLO 1:50 000 a získaných z kartometrických odečtů na tiscích původních map 1:25 000.

Získané střední chyby jsou přehledně uspořádány v tabulce 6.

Tabulka 6 – Porovnání souborů výšek určených z digitalizace a kartometricky

Lokalita	Nomenklatura původní mapy	Střední chyba [m]	
		bez vyloučení odlehklých hodnot	po vyloučení odlehklých hodnot
I	2669	3,7	3,7
II	2686	3,9	3,8
III	7329	7,1	7,1
IV	7331	5,3	5,3
V	7534	5,7	5,7

Výsledné střední chyby v jednotlivých lokalitách se navzájem dosti liší, což je způsobeno rozdílným charakterem území, ale částečně i rozdíly v kvalitě digitalizace vrstevnic a redakční přípravy. Průměrná střední chyba ze všech pěti lokalit zpracovaných stejným technologickým postupem je 5,1 m. Je třeba si uvědomit, že tato relativně dosti vysoká střední chyba je ovlivněna nepřesnostmi kartometrických odečtů.

c) Porovnání přesnosti určení výšek v topografických mapách 1:25 000 vydaných TS ČSLA a v původních zahraničních mapách

Střední chyba rozdílů z kartometricky získaných odečtů v obou druzích podkladů činí 1,7 m ze všech hodnot a po vyloučení odlehklých hodnot dokonce 0,5 m, což svědčí o velmi vysoké přesnosti přenesení výškopisného podkladu původních zahraničních map do topografických podkladů vydávaných TS ČSLA. Z toho vyplývá důležitý závěr o spolehlivé použitelnosti topografických podkladů TS ČSLA, zejména KLO výškopisu pro digitalizaci vrstevnic při budování databáze DMR-2.

5. Posouzení přesnosti databáze DMR-2 z území ČSSR

Doposud uvedené výsledky rozborů byly vztaženy k technologii vyvinuté v TS ČSLA pro určování hodnot výšek uzlových bodů na ZZÚ s využitím zařízení AKS DIGI-KART. V některých lokalitách použitých pro testování přesnosti určení výšek technologiemi TS ČSLA bylo možné provést srovnání takto určených hodnot výšek uzlových bodů s výškami vygenerovanými pro stejné uzlové body z databáze DMR-2 budované pro území ČSSR péčí n.p. Geofyzika. Porovnání výsledků získaných pro různé

typy reliéfů a zástavby technologií TS ČSLA a Geofyziky Brno je možné pomocí tabulky 7. Hodnoty výšek určených oběma technologiemi byly vztaženy k hodnotám zjištěným fotogrammetricky.

Tabulka 7 - Porovnání středních chyb určení výšek uzlových bodů z databáze DMR-2 a technologií TS ČSLA

Druh terénu	Střední chyba z databáze DMR-2 [m]	Střední chyba hodnot určených technologií TS ČSLA [m]
rovinatý	4,0	3,3
členitý	2,1	1,7
velehorský	11,2	8,7
členitý a zastavěný (lokalita I)	9,4	9,1
členitý a zastavěný (lokalita II)	11,5	11,7

Z porovnání výsledků je zřejmá jejich plná srovnatelnost, přičemž výsledky, získané v rámci testování přesnosti ve VTOPÚ Dobruška jsou o něco lepší, ale současně pro různé typy reliéfu a zástavby jen málo odlišné, čímž se potvrdila správnost získaných výsledků i následně vyvozených závěrů.

6. Zhodnocení přesnosti programového aparátu pro interpolaci hodnot výšek mimo uzlové body

Zvolená metodika:

- z tisku topografické mapy 1:10 000 byly nejprve celkem pro 400 bodů kartometricky určeny hodnoty výšek uzlových bodů v čtvercové síti 100x100 m,
- kromě toho byly kartometricky určeny ze stejné topografické mapy hodnoty výšek pro středy čtverců sítě uzlových bodů, kde by měla být teoreticky nejvyšší chyba výpočetní interpolace hodnot výšek,
- s využitím kartometricky odečtených hodnot výšek uzlových bodů byly pomocí interpolačního programu používaného ve VTOPÚ Dobruška pro interpolaci a kresbu izochar v obecném bodovém poli vypočteny hodnoty výšek ve stře-

dech čtverců sítě uzlových bodů,

- takto vyinterpolované hodnoty výšek byly porovnány s kartometricky odečtenými, vyčísleny rozdíly na identických bodech a jejich střední chyba, která činila 3,2 m;
- k souboru kartometricky odečtených hodnot výšek v rámci celého listu topografické mapy 1:10 000 byly pomocí interpolačního programu vykresleny na Digigrafu izočáry (vrstevnice) s ekvidistancí 2 a 10 m, část kresby s ekvidistancí 2 m je uvedena na obr. 4,
- tímto způsobem vykreslené vrstevnice s ekvidistancí 10 m byly porovnány s vrstevnicemi překreslenými pro stejnou nomenklaturu z tisku topografické mapy 1:10 000 (viz obr. 5).

Vzhledem k poměrně členitému reliéfu, pro který byl rozbor proveden, ukazuje střední chyba 3,2 m na dosti vysokou přesnost výšek uzlových bodů DMR-2 při interpolaci hodnot v libovolných bodech terénu.

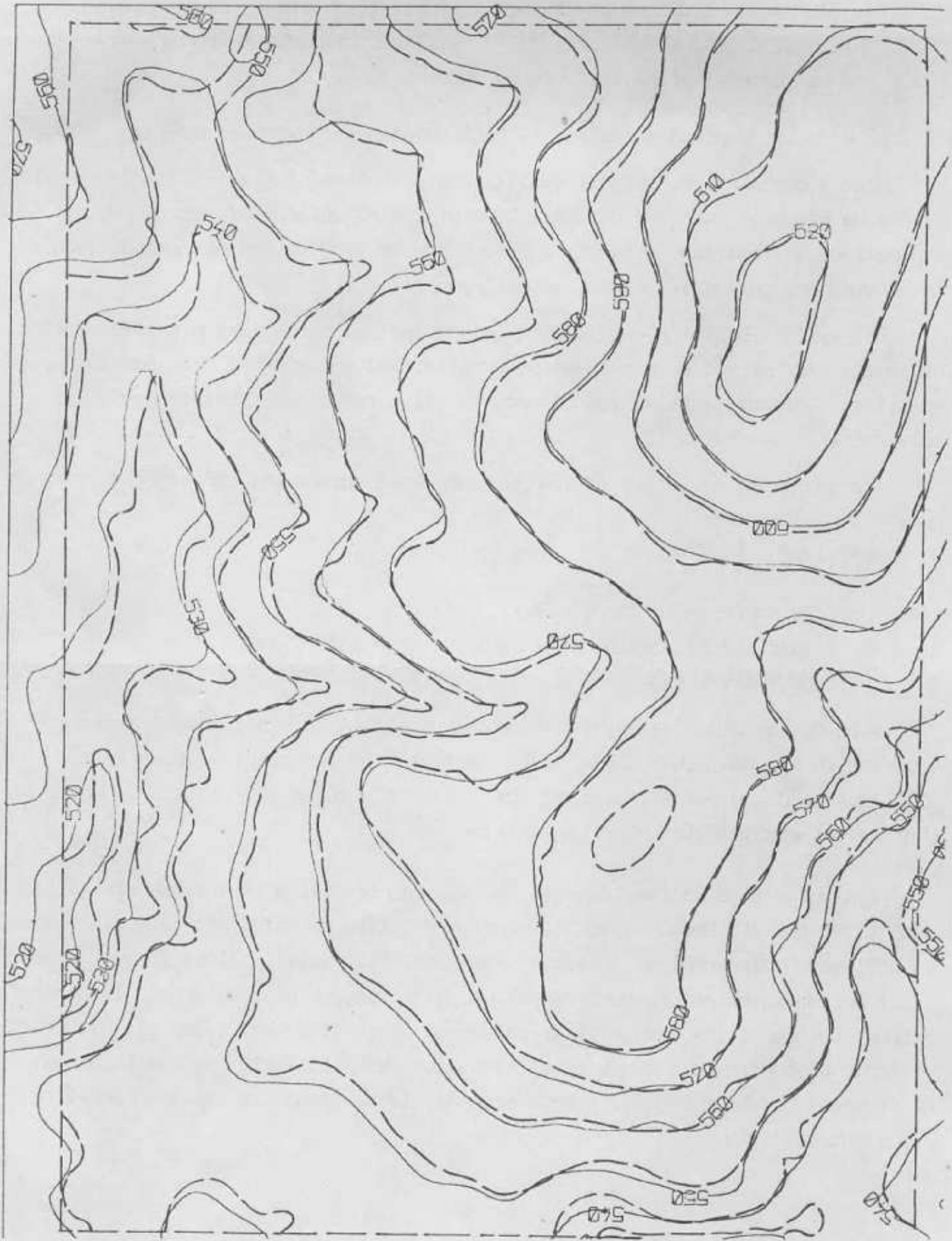
7. Závěry pro výstavbu DMR-2

a) Možnosti uspokojení požadavků vojsk na přesnost databáze DMR 2

Z provedených rozborů vyplývá, že při dodržení předepsaných technologických postupů výstavby DMR-2 a při použití KLO nebo TP výškopisu 1:25 000 a 1:50 000:

- je možné v rovinném a mírně zvlněném terénu splnit i nejnáročnější souboré požadavky vojsk na přesnost DMR-2, tj. s předpokladem určení výšky libovolného bodu terénu s přesností do 5 m,
- ve výrazněji členitém terénu (pahorkatina, vrchovina) bude možné dosáhnout přesnosti interpolace kteréhokoliv bodu terénu s přesností do 5 m za předpokladu využití KLO 1:25 000 s ekvidistancí digitalizace 5 m a přesností určení výšek uzlových bodů do 3,5 - 4,0 m. Při použití KLO 1:50 000 je v tomto typu terénu možno očekávat výslednou dosažitelnou přesnost o něco nižší, a to do 6 m,
- vzhledem k tomu, že KLO a TP výškopisu jsou ze ZZÚ k dispozici pouze v rozsahu 32,5 % mapových listů předepsaných k digitalizaci a vyhotovení zbylých podkladů v měřítku 1:25 000 jen pro tento účel by bylo ekonomicky neúnosné, je třeba ve výrazněji členitém terénu reálně počítat s určením výšek libovolného bodu s přesností do 6 m. Přitom přesnost určení výšek v uzlových bodech je třeba i v tomto případě zabezpečit do 5 m,





- vysokohorský a velehorský terén se ve vymezené části ZZÚ nevyskytuje,
- v členitém a současně zastavěném terénu větších sídel lze předpokládat přesnost určení výšek kolem 9 - 12 m. Těmto případům je třeba věnovat v rámci redakční přípravy zvýšenou pozornost.

b) Možnosti uspokojení potřeb TS ČSLA na přesnost databáze DMR

Hlavní perspektivní oblastí využití DMR pro plnění úkolů TS ČSLA s velkými nároky na přesnost budované databáze bude digitální zpracování obrazových dat pro potřeby automatizované tvorby a obnovy topografických map na základě jedno-snímkového zpracování leteckých a kosmických snímků.

Při využití současně používaných velkoformátových kosmických snímků měřítek kolem 1 : 280 000 můžeme považovat přesnost určení výšek DMR-2 pro jednosnímkové analytické zpracování se zaváděním oprav z vlivu reliéfu za dostatečnou. Bližší zdůvodnění je uvedeno v [2].

Pro posouzení vlivu reliéfu na jednosnímkové zpracování LMS vyjdeme ze vzta-hu:

$$\Delta r' = \Delta z \cdot \frac{r'}{h}, \quad (1)$$

kde Δz je nepřesnost určení výšky,

r' je radiální vzdálenost snímkového bodu vůči hlavnímu bodu

h je výška letu.

Uvedená závislost je přehledně vyčíslena v tabulce 8 pro posuny způsobené v rovinných pravouhlých souřadnicích (v metrech) nepřesnostmi v určení výšek 1 až 5 m pro radiální vzdálenosti 50, 100 a 150 mm a různé typy snímacích kamer s ohniskovými vzdálenostmi 90, 150 a 300 mm.

Z tabulky 8 je patrné, že větší nároky na přesnost určení výšek pro elimi-naci vlivu reliéfu budou u jednosnímkových digitálních metod při zpracování snímků pořízených širokouhlými leteckými kamerami. Při využití celého formátu snímků a při požadavku na polohovou přesnost určení rovinných pravouhlých souřadnic se střední chybou do 1 - 2 m je třeba požadovat přesnost určení výšek uzlových bodů v těchto případech do 1 m a u normálních kamer do 2 m. Takto náročné požadavky na přesnost databáze DMR již nemůže technologie navržená pro výstavbu DMR-2 na ZZÚ zabezpečit.

Tabulka 8 - Velikosti polohových chyb způsobených nepřesnostmi v určení výšek z DMR při jednosnímkovém zpracování

f [mm]	r' [mm]	Δz [m]				
		1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
300	50	0,17	0,33	0,50	0,67	0,83
	100	0,33	0,67	1,00	1,33	1,67
	150	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
150	50	0,33	0,67	1,00	1,33	1,67
	100	0,67	1,33	2,00	2,67	3,33
	150	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
90	50	0,56	1,11	1,67	2,22	2,78
	100	1,11	2,22	3,33	4,44	5,56
	150	1,67	3,33	5,00	6,67	8,33

Pro zabezpečení potřeb jednosnímkového zpracování LMS pro automatizovanou tvorbu a obnovu map je třeba pro území ČSSR perspektivně uvažovat o budování databáze DMR 3. generace na bázi fotogrammetrického určování výšek uzlových bodů s přesností do 1 - 2 m a s hustotou:

- 50 x 50 m v rovinném a mírně zvlněném území,
- 25 x 25 m ve středně členitém terénu (pahorkatina, vrchovina),
- 10 x 10 m ve velmi členitém horském a velehorském terénu,

nebo s jednotnou hustotou 25 x 25 m.

Databáze DMR přibližně s touto přesností a hustotou se s využitím fotogrammetrie budují ve většině vyspělých zemí.

MOŽNOSTI TECHNOLOGICKÉHO ZABEZPEČENÍ VÝSTAVBY DIGITÁLNÍHO MODELU ÚZEMÍ

1. Úvod

Pod pojmem digitální model území (DMÚ) je možné si podle současného pojetí představit soubor uspořádaných číselných informací o zájmovém území, doplněný pravidly pro jeho využívání a zobrazování. Jeho základem je digitální mapa, což je ve smyslu slovníku geodetického a kartografického názvosloví "latentní mapa s číselným záznamem svého obsahu, který je možno prostřednictvím výpočetní techniky a počítačové grafiky zpětně graficky znázornit a jinak účelově využít"; záznam se pořizuje buď počitním zpracováním měřických údajů nebo digitalizací mapy a je trvale uložen na vhodném paměťovém médiu počítače. Rozdíl mezi takto definovanou digitální mapou, představující statické uspořádání souborů topografických prvků obsahu mapy na paměťových médiích a digitálním modelem území spočívá v tom, že DMÚ navíc poskytuje:

- pravidla pro vytváření DMÚ na základě digitální mapy podle potřeb a požadavků uživatele,
- aplikační programový soubor, umožňující využít DMÚ pro tvorbu různých účelových výstupů (např. třírozměrných pohledů na terén).

2. Význam DMÚ pro soudobé topograficko-geodetické zabezpečení

Vybudování DMÚ by znamenalo výrazný přínos pro zdokonalení topograficko-geodetického zabezpečení tím, že by podle [9] umožnilo řešení zejména těchto vševojskových úloh:

- a) Při plánování obranných operací:
 - vytypování pravděpodobných směrů útoku protivníka
 - vyhodnocení terénu pro stanovení jednotlivých postavení pásem obrany a směrů protiúderů,
 - vyhodnocení úseku obrany z hlediska možností manévru.
- b) Při plánování přechodu z obranné do útočné operace:
 - zhodnocení terénu pro stanovení směru hlavního úderu,

- vytypování prostorů vhodných pro soustředění vojsk protivníka, terénních čar vhodných pro zaujetí obrany a vedení protiúderů,
- vyhodnocení možných směrů průletu, vysazení a vedení boje vzdušných výsadek,
- plánování násilného přechodu vodní překážky.

c) Ostatní aplikace:

- plánování přesunů, vyhodnocení vhodných přísunových a odsunových komunikací,
- vyhodnocení terénu pro výběr prostorů rozmístění vojsk, míst velení a pozorovatelů,
- zjištění možností pro zabezpečení pozemních prací v určených prostorech,
- zhodnocení průchodnosti terénu,
- zjištění možností přímého výstřelu protitankových prostředků,
- zjištění možností přímého ozařování osob a techniky pro použití elektronických prostředků,
- zjištění možných směrů a sektorů pozorování,
- ohodnocení ochranných vlastností terénu proti ZHN.

Požadavky jednotlivých druhů vojsk na výstavbu DMÚ jsou podle provedených průzkumů velmi rozmanité. Nejčastěji se vyskytují požadavky na zabezpečení digitálního modelu reliéfu (DMR), doplněného o prvky: porosty, zástavba, vodstvo a komunikace. Tyto prvky byly oponentním řízením k příslušnému výzkumnému úkolu v roce 1989 přijaty za základ výstavby DMÚ. Podle [7] a dalšího průzkumu prováděného u VzÚ GŠ ČSLA lze přehled hlavních požadavků vojsk specifikovat následovně:

Operační správa - nosnost mostů, charakteristiky vodních toků, údaje o kapacitách silničních a železničních komunikací, údaje o průchodnosti terénu;

Velitelství letectva - výškové překážky, zástavba, porostv. vodní nádrže a vodní toky;

Správa ženijního vojska - porosty, zástavba, druhy půd, druhy letišť, údaje o terénních překážkách, vodní toky a vodní díla, údaje o komunikacích a objektech na nich, státní hranice;

Správa chemického vojska - porosty, zástavba, vodní toky, komunikace, druhy půd, druhy letišť;

Správa raketového vojska a dělostřelectva - porosty, zástavba, údaje o komunikacích, vodstvu, půdě a letištích;

Správa vojska PVO - porosty, zástavba;

Oddělení radioelektronického boje - porosty, zástavba, výškové překážky, údaje o komunikacích a únosnosti mostů;

Správa spojovacího vojska - porosty, zástavba, výškové překážky;

Velitelství PVOS - porosty, zástavba, výškové překážky, údaje o komunikacích, vodstvo, koridory civilního leteckého provozu, prostory zakázaného leteckého provozu, státní hranice, údaje o letištích.

Uvedené požadavky vojsk bude zřejmě možné uspokojit pouze zčásti a navíc postupně, v závislosti na kapacitních možnostech i technických prostředcích TS ČSLA a jednotlivých druhů vojsk. Proto je třeba již od počátku uvažovat o modulárním naplňování databáze DMÚ tak, aby mohla být podle potřeby rozšířena a samozřejmě aktualizována.

V současné době v souvislosti se zaváděním nové interaktivní počítačové a zobrazovací techniky, automatizovaných zbraňových systémů a systémů automatizovaného řízení a velení začíná výrazně narůstat potřeba digitálních databází, z nichž DMÚ patří z hlediska potřeb vojsk mezi nejpotřebnější. Měla by zabezpečovat vysokou flexibilitu, s možností výběru pouze potřebných prvků i doplňování topografické situace nadstavbovými vojskovými prvky, jako je rozmístění prvků bojových sestav pásma plnění bojových úkolů apod. Význam databáze bude zásadní i jako součást budování automatizovaných informačních systémů o území (AISÚ).

To bude klást velké nároky zejména na výpočetní prostředky TS ČSLA, které by měly zabezpečit efektivní sběr, zpracování, ukládání, správu i aktualizaci potřebných prvků DMÚ v centrální databázi pro celou ČSLA. Značný rozsah zabezpečovaného zájmového území bude vyžadovat velkou potřebu paměťových médií pro ukládání datových souborů. Technické a technologické zabezpečení úkolu, jak bude v dalším popsáno, je natolik náročné, že ho nelze efektivně řešit pouze silami TS ČSLA, ale je potřebné spojit a koordinovat úsilí i s jinými složkami ČSLA, případně i s jinými institucemi v rámci připravovaného společného řešení automatizované tvorby map středních měřítek.

3. Současné možnosti výstavby DMÚ v TS ČSLA

Z uvedených topografických prvků, předpokládaných k zařazení do databáze DMÚ je zatím zabezpečena pouze výstavba digitálního modelu reliéfu 2. generace (DMR-2). Jedná se o soubor hodnot výšek v pravidelné síti uzlových bodů

100 x 100 m, vztažených ke 3. zobrazovacímu pásu Gauss-Krügerova zobrazení. Databáze je zatím kompletně naplněna daty z území ČSSR a od roku 1989 bylo zahájeno naplňování dat ze zahraniční části zájmového území (ZZÚ). Přesnost určení výšek je proměnná v závislosti na charakteru terénu a ve většině případů se pohybuje v rozmezí ± 4 až ± 8 m. Podrobný rozbor je uveden v [6]. Technologie sběru výškových dat ze ZZÚ je založena na digitalizaci vrstevnic s využitím AKS Digikart. Jako podklad pro digitalizaci se používají v převážné míře kartolitografické originály nebo tiskové podklady výškopisu 1:50 000, ve vybraných lokalitách ve výrazně členitém terénu a ve větších městech 1:25 000. Převod digitalizovaných dat do databáze DMR-2 je zabezpečován pomocí počítače EC-1033.

AKS Digikart se ukázal být pro výstavbu DMR-2 vhodný, i když ne optimální. Perspektivně se uvažuje o využití interaktivní počítačové techniky PC/AT typu CAD, která by měla umožnit výrazné zrychlení procesu digitalizace a předzpracování dat. Nejefektivnější způsob z hlediska rychlosti, ale i zpřesnění databáze je rastrová digitalizace vrstevnic z výškopisné předlohy s převodem do pravidelné sítě uzlových bodů DMR. Tento postup je však analyticky značně složitý a jeho řešení je v ČSSR zatím pouze ve stádiu ideového záměru u st. p. Geofyzika Brno. Pro výstavbu DMR na ZZÚ jsou použitelná i data získávaná pomocí kosmického systému SPOT, u nichž je dosažitelná výškopisná přesnost $\pm 6,5$ m. Na území ČSSR lze podstatně data zpřesnit s využitím fotogrammetrických postupů. Oba přístupy jsou však velmi nákladné a proto nejsou prozatím pro výstavbu DMR-2 navrhovány, uvedeny jsou pouze pro úplnost.

Pro naplňování polohopisných prvků obsahu databáze DMÚ není systém AKS Digikart příliš vhodný (viz [1]), zejména pro velkou chybovost, malou efektivnost a proto, že takto zpracované databázové technologie neumožňují interaktivní aktualizaci. Je proto nutné volit zásadně nové přístupy, které odstraní tyto nedostatky. Zkušenosti nejvyspělejších zemí ukazují, že reálná cesta vede přes využití nové generace interaktivních výpočetních a zobrazovacích systémů, založených na získávání rastrových dat, aktualizovaných pomocí fotogrammetrického vyhodnocení.

4. Návrh ideového řešení výstavby DMÚ

a) výchozí předpoklady řešení

Ve vyspělých zemích jsou v současné době řešeny dva hlavní problémy mapování:

- obnova stávajících map,
- přechod od tradiční kartografie k databázovým technologiím s využitím geografických informačních systémů (GIS).

Zpravidla se řeší oba problémy společně s tím, že v procesu obnovy vznikají současně prvotní banky kartografických dat nebo se provádí jejich aktualizace. Vytváření BKD nezávisle na obnově map s využitím pouze kartografických (mapových) podkladů by nezabezpečovalo efektivní aktualizaci s využitím leteckých a kosmických snímků. Proces obnovy by měl být organizován tak, aby byl zabezpečen postupný převod dat z grafické do digitální formy a aby jedním z jeho hlavních produktů byl i DMÚ. Z hlediska požadavků na polohovou přesnost i rozsah vytvářených digitálních databází doporučuji budovat dvě různé úrovně databáze DMÚ:

- databázi DMÚ získávanou sběrem dat v měřítku základní operační mapy 1:100 000, jejíž obsahová náplň i polohová přesnost je dostatečným podkladem pro tvorbu DMÚ,
- databázi AISÚ získávanou sběrem dat v měřítku obnovované topografické mapy 1:25 000, s větší podrobností i polohovou přesností.

Takový přístup je v souladu s návrhy, uvedenými v [3], kde se rovněž předpokládá budování BKD dvou různých měřítek. Hlavní výhody tohoto řešení jsou:

- možnost nezávislého vytváření obou úrovní databází v závislosti především na technických prostředcích pro realizaci technologického řešení, kdy z hlediska zpracovávaných objemů dat bude možné zřejmě v 1. etapě vytvářet pouze databázi malého měřítko (DMÚ) a v další fázi i velkoměřítkovou databázi s takovým technologickým postupem, aby při její výstavbě byla řešena i aktualizace databáze DMÚ,
- nebude nutné řešit generalizaci prvků v celé měřítkové řadě, ale pouze měřítkovou úpravou zabezpečovat výstupy téhož obsahu buď v měřítkách 1:25 000 a 1:50 000 nebo měřítkách 1:100 000 a 1:200 000.

Zkušenosti TS ČSLA ale i zkušenosti v nejvyspělejších zemích potvrdily, že ruční vektorová digitalizace je značně časově náročná a zejména že způsobuje velké množství chyb a proto je pro daný účel nevhodná. Jediný efektivní a v současné době i reálný přístup je pořizování a zpracování rastrových dat skenerovým rozkladem mapových podkladů, aktualizovaných vyhodnocením leteckých nebo kosmických snímků. Excerptce topografických prvků z rastrových obrazů leteckých nebo kosmických snímků, případně z rastrových obrazů, získávaných skenerováním přímo

z palub letounů nebo družic není zatím pro požadovaný účel bez podpory kartografických podkladů nebo databází vyřešena ani v nejvyspělejších zemích. Rastrových dat se používá masově v analytických fotogrammetrických vyhodnocovacích strojích i v nejmodernějších automatizovaných kartografických systémech, tzv. digitálních stanicích (viz [2]) reálně nasazovaných až od roku 1987. Všechny tyto systémy jsou založeny na superimpozici obnovované mapy a rastrového obrazu snímku. Superimpozice v okulárech fotogrammetrických vyhodnocovacích strojů se však používá pouze pro velkoměřítkové mapování. Pro střední a malá měřítká není vhodná vzhledem k vysoké hustotě topografických prvků a velkému stupni symbolizace topografických značek.

b) základní technologické schéma

Prvky obsahu topografické mapy lze rozdělit na dvě hlavní skupiny:

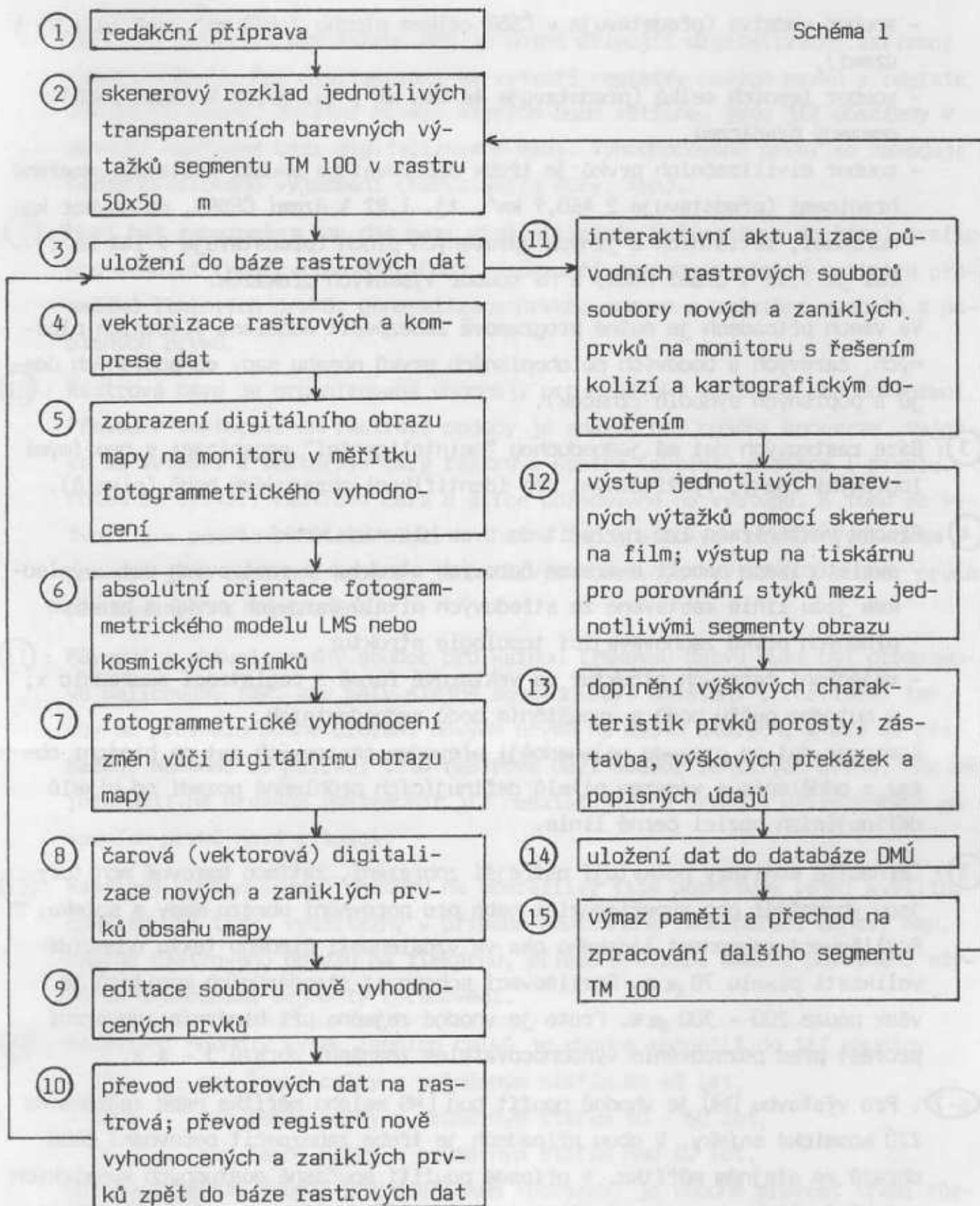
- morfologické a hydrografické informace,
- civilizační a vegetační informace.

První skupina má cyklus zastarávání mnohem delší a navíc umožňuje snadnější strukturování a organizační uspořádání do databáze.

Základní technologické schéma výstavby DMÚ lze rozdělit do technologických kroků, znázorněných na schématu 1.

c) komentář k jednotlivým technologickým blokům

- ①: Vyberou a připraví se potřebné podklady, vymezí se hranice segmentů zpracování.
- ②: Hlavní problém rastrového uložení spočívá ve velkém objemu získávaných skenerových dat. Pro celou plochu mapy 1:100 000 při rozkladu v elementu 50x50 m (odpovídá ploše 5x5 m v terénu) to bude činit při použití monochromatického skeneru objem dat asi 52 MB. Při použití barevného skeneru dokonce ještě 3x více. Přitom hrubší rastr již nelze z hlediska dalšího zpracování, tj. převodů rastrových na vektorová data a naopak připustit. Efektivní zpracování rastrových dat je vhodné realizovat z hlediska potřeb interakce pouze nejvýše v rozsahu velikosti obrazové paměti. Rastrový rozklad je vhodné provádět ze stejného segmentu pro jednotlivé barevné výtažky obsahu mapy, které rozdělíme na:
 - soubor reliéfu v případě, že v daném prostoru není vytvořen DMR nebo ho chceme zhustit a zpřesnit,



- soubor vodstva (představuje v ČSSR celkem plochu 2 490 km², což je 1,95 % území),
- soubor lesních celků (představuje 46 030 km², tj. 35,99 % území ČSSR) omezený hranicemi,
- soubor civilizačních prvků je třeba separovat na soubor zástavby, omezený hranicemi (představuje 2 460,9 km², tj. 1,92 % území ČSSR), na soubor komunikací, letištních a jiných upravených ploch (představuje 9 144 km², což je 7,15 % území ČSSR) a na soubor výškových překážek.

Ve všech případech je nutné programově zabezpečit oddělení vlastních plošných, čarových a bodových polohopisných prvků obsahu mapy od popisných údajů a popisných symbolů (značek).

- ③: Báze rastrových dat má jednoduchou "neinteligentní" organizaci s nepřímými logickými znaky, využitelnými pro identifikaci obrazových bodů (pixelů).
- ④: Proces vektorizace lze rozložit do dvou hlavních kroků:
 - skeletonizace neboli extrakce čarových struktur z rastrových dat; výsledkem jsou linie sestavené ze středových pixelů čarových prvků a hranice plošných prvků zachovávající topologie struktur,
 - vyjádření čarových struktur ve vektorové formě s registrací souřadnic x, y nutného počtu bodů a vypuštěním bodů redundantních.
 Kompresí dat se provede nejjednodušší převodem rastrových dat na binární obraz s oddělením a výmazem pixelů definujících průhledné pozadí od pixelů definujících pozici černé linie.
- ⑤: Černobílé monitory poskytují ostřejší zobrazení, zatímco barevné monitory jsou vhodnější pro superimpozici nebo pro porovnání obrazu mapy a snímku. Rozlišovací schopnost lidského oka ve vzdálenosti čteného textu odpovídá velikosti pixelu 70 μm. Rozlišovací schopnost standardních monitorů je však pouze 200 - 300 μm. Proto je vhodné zejména při binárním zobrazení provést před pozorováním vyhodnocovatelem zmenšení obrazu 3 - 4 x.
- ⑥-7: Pro výstavbu DMÚ je vhodné použít buď LMS malého měřítka nebo zejména na ZZÚ kosmické snímky. V obou případech je třeba zabezpečit porovnání obou obrazů ve stejném měřítku. V případě použití současně dostupných kosmických snímků je třeba programově eliminovat fyzikální vlivy, zejména vliv distorse.
- ⑧: K fotogrammetrickým vyhodnocovacím strojům (STEREOMETROGRAF, TOPOKART, KAR-

TOFLEX), použitým pro tvorbu DMÚ je nutné připojit digitalizační zařízení (např. ZNK-2). Při digitalizaci se vytvoří registry nových prvků a registry zaniklých prvků. Ostatní prvky, kterých bude většina, jsou již obsaženy v původní rastrové bázi digitalizované mapy. Vyhodnocované prvky se zakódují podle grafického vyjádření (barva, síla čáry, typ).

- ⑨: Musí být zabezpečen tok dat mezi digitalizačním zařízením a editační grafickou stanicí (např. typu AIP 2000). Zabezpečí se jednoznačnost definice průsečíků liniových prvků, generalizace prvků, posuny a umístění symbolů a popisných prvků.
- ⑩: Rastrová báze je organizovaná vhodněji pro grafický výstup i pro dotvoření. Převod z vektorové do rastrové podoby je snazší než opačná konverze. Nejprve se vytvoří z vektorové čáry rastrová kostra (skelet) o šířce 1 pixelu. Potom se vytvoří rastrová čára o šířce požadované na výstupu. K tomu se vytvoří a v paměti počítače uloží knihovna topografických prvků. Výsledkem procesu jsou rastrové soubory jednotlivých barevných výtažků a soubor prvků předepsaných k odstranění.
- ⑪: Původní i aktualizovaný soubor pro každou tiskovou barvu musí být programově nalícovány tak, aby měly stejné souřadnicové umístění i rozlišení tak, aby se provedlo pouhé uložení nových prvků na místo starých, která se přemažou. Nakonec se přiřadí této rastrové bázi soubor zaniklých prvků, kdy se interaktivně provede odstranění již neexistujících prvků a přizpůsobení původních prvků nové situaci.
- ⑫: Rastrový výstup pomocí skeneru na nesrážlivý film poskytuje velmi kvalitní podklad pro tisk, využitelný v případě současného zabezpečení obnovy map. Výstup rastrového obrazu na tiskárnu, případně kresba umožní porovnání styků se sousedními segmenty zpracování.
- ⑬: Relativní hodnoty výšek lesních celků je vhodné rozdělit do tří skupin:
- 15 m ... pro lesní celky s průměrným stářím do 40 let,
 - 20 m ... pro lesní celky s průměrným stářím 40 - 60 let,
 - 25 m ... pro lesní celky s průměrným stářím nad 60 let.
- Odlišení těchto skupin při grafickém zobrazení je vhodné provést třemi různými odstíny zelené barvy.
- Relativní hodnoty výšek zastavěných částí lze podle [8] rozdělit též do tří hlavních skupin:
- 10 m ... venkovská sídla a vilové čtvrti měst,

- 15 m ... centra menších měst a střediskových obcí,
- 20 m ... centra velkých měst.

Odlišení při grafickém znázornění je možné provést např. třemi různými odstíny červené barvy. Vyhodnocení hranic jednotlivých skupin plošných prvků lze provést při fotogrammetrickém vyhodnocení stejně jako vyhodnocení poloh a výšek výškových překážek.

- ⑭ : Databázi DMÚ je vhodné organizovat po jednotlivých prvcích obsahu mapy tak, aby byla snadněji zabezpečena jejich nezávislá aktualizace s ohledem na rychlost zastarávání jednotlivých prvků i operativní výběr prvků podle požadavků jednotlivých uživatelů. Hodnoty výšek je možné přiřazovat polohopisným prvkům interpolací z databáze DMR.

d) technická realizace a technicko-ekonomický rozbor

Technická realizace navržené technologie musí vycházet z reálně dostupných technických prostředků. Již v současné době jsou v TS ČSLA s výjimkou skeneru pro digitalizaci a zpětnou vizualizaci mapových a snímkových podkladů k dispozici všechny ostatní potřebné komponenty. Technický systém výstavby DMÚ lze realizovat nejvhodněji podle schématu 2, ve kterém je kromě návrhu použití jednotlivých technických prostředků znázorněn šipkami i tok dat mezi propojenými prvky systému.

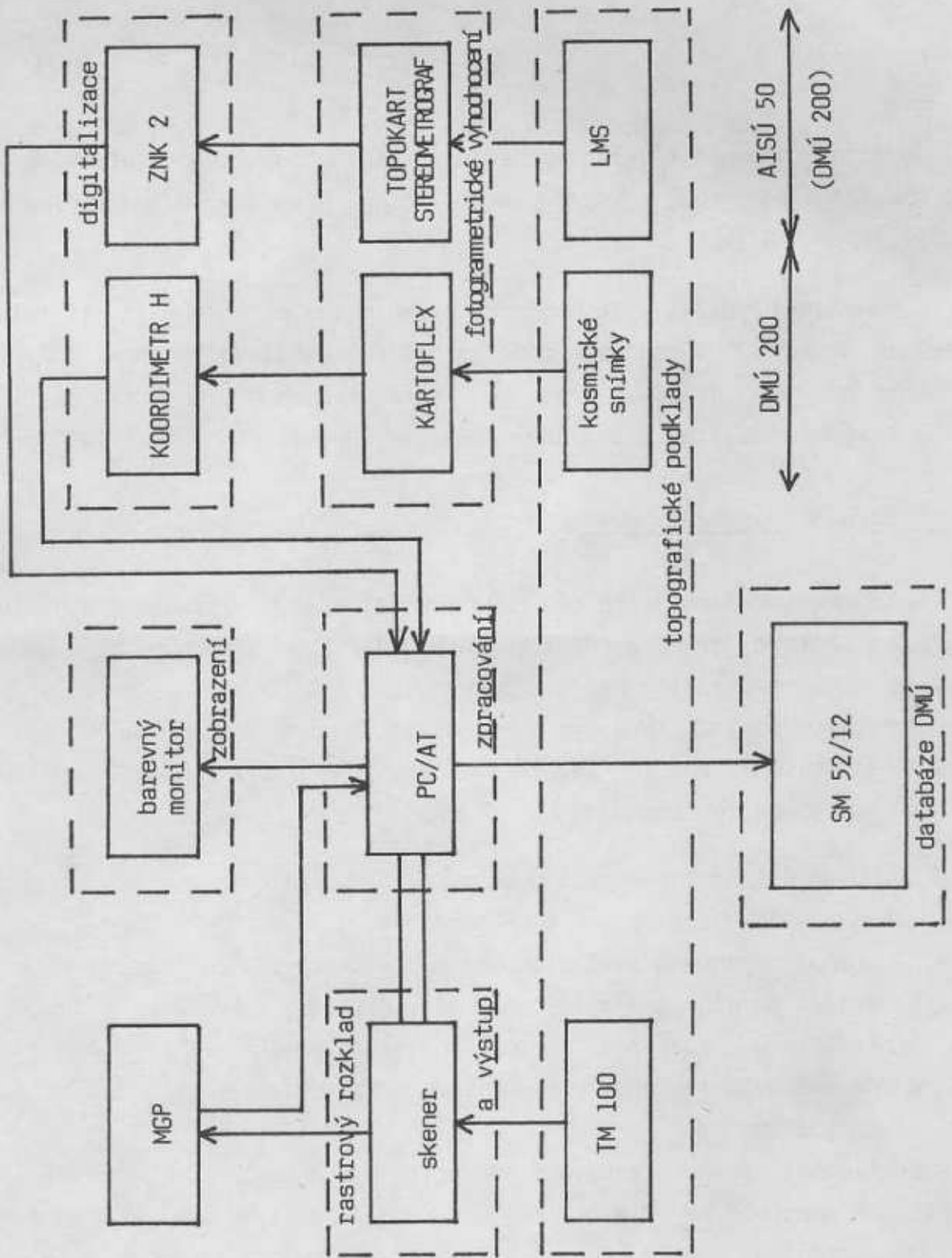
Ve funkci osobního počítače typu PC/AT lze využít např. sestavy A3, eventuálně A2 firmy Leanord, získané v roce 1989 v rámci programu AIP 2000 nebo 32-bitový osobní počítač OSBORN v případě jeho nákupu pro zabezpečení výstavby DMR-2.

Skenerů použitelných pro zabezpečení úkolu se vyrábí ve světě celá řada. Jejich výčet s uvedením TTD však přesahuje rámec tohoto článku. Perspektivně je třeba kromě rastrového rozkladu mapových a snímkových podkladů uvažovat i o využití digitálních obrazových dat, získávaných pomocí kosmických průzkumných prostředků operativního sběru dat.

5. Závěr

Potřeby vojsk vyžadují kromě klasických mapových podkladů ve stále větší míře digitální informace o území pro využití ve zbraňových systémech a v systémech ASVŘ. Potřeba těchto informací v současné době výrazně roste především v souvislosti s rychlým rozvojem mikropočítačové a zobrazovací techniky.

Schéma 2



PŘÍSPĚVEK K NOVELIZACI KONCEPCE TVORBY A OBNOVY
SPECIÁLNÍCH MAP A VOJENSKOGEOGRAFICKÝCH PODKLADŮ

1. Úvod

Současná koncepce rozvoje speciálních map a vojenskogeografických podkladů byla přijata v roce 1982 a vydaná formou technických pokynů náčelníka topografické služby ČSLA [4].

Z časového hlediska byla koncepce orientována na období 7. pětiletky s výhledem do roku 1990. V současné době je potřeba dosavadní koncepci novelizovat pro závěr 80. let a přípravu plánu vědeckotechnického rozvoje topografické služby ČSLA na 9. pětiletku s výhledem na další období.

2. Přístupy k novelizaci koncepce

Novelizace koncepce je řešena jako součást dílčího výzkumového úkolu H4-VV-RE-23.2.1. "Rozvoj druhů a forem vojenskogeografických informací o území a tvorby vojenských speciálních map pro potřeby štábů a vojsk." Zákonitě vychází z koncepce dosud platné [4] a výsledků dosažených při její postupné realizaci, z analýzy stavu využívání speciálních map a vojenskogeografických podkladů a z rozboru potřeb jejich rozvoje [1].

V úvahu je přitom třeba brát dosavadní postup prací v tvorbě národních speciálních map vyžadující přijmout některá nezbytná opatření. Ta se týkají:

- plánování celkového záměru tvorby a obnovy speciálních map vzhledem ke kapacitám a možnostem celé topografické služby ČSLA,
- konkretizace a zpřesnění postupu realizace navrhované koncepce,
- stanovení priorit zejména v sortimentu národních speciálních map pro následující období,
- rozčlenění prostoru vydávání některých druhů map podle důležitosti.

Přijatá opatření by měla přispět k dynamičtější realizaci koncepce.

Rozsah prací u jednotných speciálních map (spojenecky unifikovaných) vyplývá zejména z plánu společných prací, který bude v dalším období přijat, resp. upřesněn. Pozornost je třeba věnovat především těm mapám, za jejichž zpracování z určeného prostoru odpovídá topografická služba ČSLA. Jde

především o:

- Mapu geodetických údajů měř. 1:50 000,
- Gravimetrickou mapu měř. 1:200 000.

Vyhodnocení účelu a měřítek jednotlivých map, posouzení jejich obsahu i analýza jejich předpokládaného, resp. skutečného využívání umožňuje v rámci národních speciálních map navrhnout tyto skupiny priorit:

Priorita	Mapa
I	Letecká orientační mapa 1:200 000 Letecká orientační mapa 1:500 000
II	Mapa průchodnosti terénu 1:200 000 Automapa 1:400 000 Mapa navigační situace 1:500 000
III	Dopravní mapa 1:200 000 Nástěnná vojenskogeo- grafická mapa 1:500 000 Mapa deklinačních údajů 1:1 000 000
IV	Politická mapa světa 1:15 000 000 Mapa průběhu kvazigeoidu 1:500 000 Železniční mapa 1:200 000

Z hlediska významu území pro ČSLA vyplývající z obranné doktríny členských států Varšavské smlouvy, se zvážením otázek tvorby a využívání mapového díla, lze navrhnout rámcově následující prostorové členění:

- a) západní část území ČSSR,
- b) východní část území ČSSR,
- c) příhraniční prostor,
- d) další prostory zájmového území.

Předpokládá se, že uvedené návrhy budou zohledněny při bilancování úkolů vzhledem ke kapacitním možnostem a tvorbě plánu odborných úkolů celé topografické služby ČSLA.

Vojenskogeografická vyhodnocení území (VGV) by měla mít následující priority:

Priorita	VGV
I	Stručné VGV celého možného zájmového prostoru
II	VGV ČSSR VGV příhraničních území
III	VGV jiných států

Realizaci základních záměrů tvorby a obnovy speciálních map a vojenskogeografických podkladů může rovněž napomoci:

- zjednodušená forma kartografického znázornění speciálního obsahu některých speciálních map,
- sdružení obsahové náplně vybraných speciálních map do jednoho druhu mapy,
- nekartografické grafické či alfanumerické vyjádření obsahových prvků.

Pro další období je potřebné zkoumat a zvážit opatření k dalšímu rozvoji již existujících a v současnosti využívaných podkladů.

Úvahy by měly zahrnout zejména tyto druhy materiálů a podkladů:

- a) Speciální mapy s obsahovými prvky geodeticko-geofyzikálního charakteru
 - . zpřesňování údajů speciálního obsahu zejména u Mapy geodetických údajů měř. 1:50 000,
- b) Letecká orientační mapa
 - . zvážit rozpracování mapy ze zahraničních území,
- c) Mapa průchodnosti terénu
 - . rozvoj a zkvalitnění současné mapy v měřítku 1:200 000 za účasti orgánů operačních správ (oddělení) a ženijního vojska
 - . zpracování tohoto druhu mapy ve větším měřítku se začleněním dalších obsahových prvků; topografická služba ČSLA však nemůže být garantem její tvorby, ale jen jedna z důležitých složek podílejících se na vý-

voji a zpracování mapy,

d) Seznam zeměpisných názvů

- . vytvoření seznamu názvů z území ČSSR.

Tvorba reliéfních stolů bude vyžadovat:

- řešení možností úprav povrchu reliéfních stolů z plastů,
- vývoj vhodných prostředků pro jejich popisování a znázornění prvků operačního (taktického) obsahu,
- dořešení mobilní konstrukce jako podkladu pro sestavení reliéfních stolů,
- řešení organizačních otázek začlenění souprav reliéfních stolů pro činnost v poli u polních odřadů, resp. pro práci štábů.

Tvorbu a obnovu plánů měst lze řešit následujícím způsobem:

a) postup realizace na území ČSSR

- nezpracovávat další nové plány,
- celkový počet zredukovat na plány měst, které mají více jak 50 000 obyvatel,
- obnovu plánů měst měřítko 1:10 000 provádět zejména opravou tiskových podkladů,
- ponechat původní značkový klíč plánů měst,
- opravy zúžit jen na nejdůležitější změny obsahu,
- u značně zastaralých plánů měst s velkým množstvím změn využít vydávané obnovené topografické mapy měř. 1:25 000 k vydání plánu města téhož měřítko, tj. 1:25 000,

b) postup realizace na zahraničním území

- nezpracovávat další nové plány měst,
- pro obnovu využít existující tiskové podklady,
- ponechat původní značkový klíč plánů měst,
- obnovu provádět jen po získání skutečně aktuálních materiálů,
- z území, kde se zpracovává (obnovuje) topografická mapa měř. 1:25 000, využít jako podkladu této mapy.

Pro mírové potřeby ČSLA lze zabezpečit nezbytný počet výtisků plánů měst z civilní produkce.

I v období po roce 1990 zůstanou pro vojenskou geografii základem podklady a materiály začleněné v dosud platné koncepci [4]. Je však žádoucí sledovat podmínky činnosti štábů, rozvoj metod jejich práce, systému velení a řízení i zavádění a využívání nových technických prostředků. Na základě zdůvodněných poznat-

ků je pak třeba zvažovat vydávání podkladů v jiné než kartografické či popisné formě, rozpracovávat řešení i kvalitativně nových podkladů v odpovídajících formách, např. i pro potřeby výchovy a výcviku. V neposlední řadě racionalizovat i vlastní činnost topografické služby v tomto oboru působnosti.

Jako náměty lze uvést a zvažovat:

- nahrazování kartografických forem vyjádření obsahu formami digitálními,
- trojrozměrné znázornění terénu pomocí počítačové grafiky,
- samostatné znázornění skupin prvků speciálního obsahu vojenskogeografických podkladů, speciálních map,
- vydávání listů speciálních map se "sdruženým obsahem" (např. sdružit speciální obsah několika map do jednoho druhu speciální mapy),
- řešení rychlých metod presentace a poskytování vojenskogeografických informací,
- mikrodocumentace speciálních map a vojenskogeografických podkladů,
- vytvoření "cvičného území" pro řešení vojenskogeografických podkladů a metodiky jejich využití (digitální model území, speciální mapy a digitální soubory informací).

Návrhy podepřené zdůvodněnou společenskou objednávkou bude třeba posoudit nejprve z hlediska výzkumu a vývoje. Dosažené výsledky řešení vývoje vybraných problémů, v případě disponibilních kapacit, budou posouzeny spolu s kádrovými možnostmi a teprve potom určena oprávněnost jejich realizace v praxi.

3. Závěr

Novelizovaná koncepce tvorby a obnovy speciálních map, vojenskogeografických vyhodnocení i dalších druhů a forem vojenskogeografických informací, která bude základem rozvoje vojenskogeografické oblasti zahrne tyto obsahové problémy:

- I a) speciální mapy
 - položení důrazu na uvedení takových podkladů, které by umožnily zpřesnit a reálně naplnit záměry koncepce pro další období,
- b) reliéfní stoly a mapy;
- II plány měst;
- III vojenskogeografická vyhodnocení území;
- IV vojenskogeografické podklady a metodické pomůcky;
- V digitální model terénu
 - digitální model reliéfu,

reálný postup prací při budování digitálního modelu terénu v odpovědnosti topografické služby,
potřebné aplikace pro vlastní práci topografické služby;

VI návrhy opatření k zabezpečení koncepce.

Pro formulaci reálné koncepce rozvoje vojenské geografie bude nutno zvažovat možnosti a potřeby z hlediska celé topografické služby a její odpovědnosti. Z tohoto pohledu je potřebné také přijmout a realizovat nutná opatření zajišťující plnění úkolu, i když po určitých dílčích krocích a ne najednou a v plném rozsahu.

Literatura:

- [1] Janský, P. Rozbor potřeb a stavu využívání vojenskogeografických podkladů a speciálních map, návrh opatření pro jejich rozvoj
(Výzkumná zpráva), Praha, VS 090 1987
- [2] Lauer mann, L. Učebnice vojenské geografie
(v tisku)
- [3] Pracovní překlad nového sovětského předpisu pro topogeodetické zabezpečení
- [4] Technické pokyny č. 0105/1982, Praha, MNO - topografická služba 1982

Došlo: 22. 5. 1988

MOŽNOSTI ZVÝŠENIA AKTUÁLNOŠTI TOPOGRAFICKÝCH MÁP CESTOU ZJEDNODUŠENIA ICH OBSAHU

1. Úvod

Výsledky činnosti vojsk pri výcviku a v boji sú závislé na množstve faktorov, ktoré do procesu bojovej činnosti vstupujú. Jedným z dôležitých prvkov ovplyvňujúcich rýchlosť a objektívnu správnosť rozhodovania veliteľov a činnosti štábov i vojsk sú informačné podklady o priestore bojovej činnosti, o rozmiestnení vlastných síl aj síl protivníka.

Podstatnú časť týchto informácií v etape plánovania bojovej operácie, ale aj v jej priebehu poskytujú topografické mapy.

V dôsledku prudkého rozvoja vedeckotechnickej revolúcie a uplatnenia jej výsledkov vo vojenstve sa v posledných rokoch menia mnohé zásady operačného umenia, stratégie a taktiky boja. Zmeny, ku ktorým sústavne dochádza, sa premietajú do skracovania časových intervalov vo všetkých etapách bojovej činnosti, proces rozhodovania nevynímajúc.

Uvedené skutočnosti kladú nové nároky aj na topografické mapy, ktoré sú najdôležitejším plánovacím dokumentom na všetkých stupňoch velenia. Do popredia sa dostávajú požiadavky na aktuálnosť, čitateľnosť a prehľadnosť máp. Pre rýchle a správne rozhodovanie je potrebné, aby topografické mapy poskytovali pravdivé informácie a aby neboli preťažené detailami pre bojovú činnosť menej dôležitými, alebo až nepodstatnými.

Pred obnovou topografických máp a pred zložkami ČSĽA, ktoré sa touto činnosťou zaoberajú, stojí dvojjediná úloha, ktorá sa bude stále intenzívnejšie dožadovať svojho riešenia. Ide o zaistenie vyššej aktuálnosti topografických máp s využitím jestvujúcich síl a prostriedkov a súčasne reagovať na zmeny v taktike boja, rešpektovať nové požiadavky veliteľov a štábov a na základe ich poznania prehodnotiť náplň topografických máp.

2. Možnosti zvýšenia aktuálnosti topografických máp

Problematikou aktualizácie topografických máp, zvýšenia ich užitočnej hodnoty a predĺženia životnosti sa už zaoberalo niekoľko autorov.

Veľmi podrobné šetrenie výrobného procesu 3. obnovy /5/, v ktorom boli rešpektované dostupné sily a prostriedky pre výrobný proces, vyúsťuje do záveru, že v súčasných podmienkach, súčasnou technológiou a súčasnými prostriedkami a kapacitami je možné celé topografické mapové dielo z územia ČSSR obnoviť v najkratšej dobe 8,61 rokov.

To je však z hľadiska súčasných požiadavkov na aktuálnosť topografických máp príliš dlhá doba. Niektoré obsahové prvky (sídla, komunikácie atd.) zastarávajú podstatne rýchlejšie a spôsobujú často, že topografická mapa stráca svoju užitočnú hodnotu oveľa skôr, najmä v mestských a priemyselných aglomeráciách.

V blízkej budúcnosti za predpokladu používania súčasnej technológie obnovy nemožno očakávať podstatné skrátenie periódy obnovy, ani zvýšenie aktuálnosti topografických máp touto cestou. Ani využitie výpočtovej techniky, hoci sľubuje možnosti dielčích zlepšení, sa v blízkej budúcnosti na zvýšení aktuálnosti topografických máp nebude výraznejšie podieľať.

Je preto potrebné hľadať ďalšie možnosti zabezpečenia vysokej aktuálnosti topografických máp.

K zvýšeniu aktuálnosti obsahu topografických máp, ako vyplýva z /3/, vedú objektívne tri cesty:

1. zvýšenie aktuálnosti skrátením periódy obnovy,
2. zvýšenie aktuálnosti skrátením doby trvania výrobného cyklu,
3. zvýšenie aktuálnosti predĺžením aktuálnosti obsahu.

Prvá možnosť by priniesla kladné výsledky v prípade zvýšenia výrobných kapacít alebo ich výkonnosti masovým nasadením výpočtovej techniky samozrejme so software a hardware umožňujúcim podstatne skrátiť periódu obnovy. V súčasných podmienkach, kedy ešte výpočtová technika neumožňuje riešiť problematiku tvorby a obnovy topografických máp komplexne, by využitie tejto prvej cesty malo kvantitatívny charakter a preto je táto možnosť ťažko schodná, resp. vyžaduje zvýšené náklady a skutočný efekt je možné očakávať až za dlhší čas.

Lepšie výsledky z hľadiska efektívnosti zvyšovania aktuálnosti topografických máp umožňuje druhá cesta. Podľa /6/ sa obnovená topografická mapa dostáva k užívateľovi najskôr po troch rokoch od dátumu leteckého meračského snímkovania, čo je doba dosť dlhá na to, aby niektoré obsahové prvky už po uplynutí troch rokov stratili svoju aktuálnosť. Analýzou technológie tretej obnovy /4/ sa dospelo k záveru, že časové straty výrobného cyklu, t.j. doba, počas ktorej sa na liste

nepracuje, činí až 92 % celkového času. Autor v tejto práci poukazuje súčasne na príčiny tohoto stavu, ale uvádza aj možnosti a rezervy, ktoré spočívajú v organizácii práce a sú pri efektívnom a racionálnom plánovaní využiteľné.

Pre zlepšenie aktuálnosti topografických máp bude prospešné, ak bude možnosť skrátenia doby trvania výrobného cyklu v praxi dôslednejšie využívaná.

Pomerne širokú škálu možností zvýšenia aktuálnosti topografických máp, pričom sa nebude vyžadovať žiadne zvýšenie nákladov, poskytuje tretia naznačená cesta. Ponúka možnosť racionálne zasiahnuť do obsahu topografickej mapy a súčasne rešpektovať jednak nové požiadavky užívateľov, vyplývajúce z dôvodov uvedených už v úvode tohoto príspevku, jednak akceptovať možnosti a problémy technológie obnovy.

3. Zlepšenie aktuálnosti topografických máp cestou zjednodušenia ich obsahu

Na základe porovnania vojenských topografických máp so základnými mapami používanými v národnom hospodárstve, ale aj s topografickými mapami vyspelých západoeurópskych štátov, možno konštatovať, že naše topografické mapy sú veľmi podrobné. Mapy mierok 1:25 000 obsahujú takmer všetky detaily vyskytujúce sa na zemskom povrchu a tesne pod ním. Prechodom na menšie mierky sa síce účelne generalizujú, ale stále sú veľmi bohaté na obsah. V dôsledku častých zmien v teréne u prvkov, ktoré nie sú až tak dôležité pre užívateľov, topografická mapa, ktorá je preplnená prílišnými podrobnosťami, stráca oveľa skôr svoju aktuálnosť a tým aj užitočnú hodnotu, ako keby niektoré z týchto prvkov nezobrazovala.

Vhodné, citlivé a racionálne zjednodušenie obsahu topografických máp poskytuje možnosť riešiť súčasne niekoľko problémov:

1. Znížením počtu obsahových prvkov topografickej mapy sa zmenšia súčasne dimenzie objektu ďalšej nasledujúcej obnovy. Tým budú vytvorené predpoklady pre úsporu času a výrobných kapacít, ktoré môžu byť využité účelnejšie na inom mieste.
2. Pokiaľ budú za objekt rozhodovania o vypustení z mapy zvolené tie obsahové prvky, u ktorých je známe, že sa veľmi často menia (vznikajú a zanikajú), bude vytvorená reálna možnosť pre podstatné predĺženie životnosti topografickej mapy.

Táto otázka je však mimoriadne závažná; dôležitosť každého obsahového prvku bude treba veľmi zodpovedne posúdiť pričom je bezpodmienečne nutné reš-

pektovať nové požiadavky užívateľov a súčasne brať do úvahy aj charakter zobrazovaného územia.

3. Zjednodušením topografických máp pri súčasnom zachovaní, alebo len nepatrnom znížení užitočnej hodnoty bude možné danými kapacitami kladne ovplyvniť aj ich aktuálnosť.

Zodpovedné posúdenie obsahu našich súčasných topografických máp a vypracovanie návrhu na účelnú (efektívnu) redukciu ich obsahu si bude vyžadovať vykonanie rozsiahlych štatistických šetrení. Potrebné bude najmä:

1. Získať od užívateľov topografických máp ich požiadavky na mapy ako na pracovný dokument. Na základe dostatočne reprezentatívneho štatistického šetrenia u zvolených druhov vojsk stanoviť celkové poradie významu (dôležitosti) jednotlivých obsahových prvkov topografických máp.
2. Na základe porovnania revízných originálov z tretej obnovy a revízných originálov z predchádzajúcich etáp obnovy zistiť premenlivosť jednotlivých obsahových prvkov. Výsledky tohoto šetrenia spracovať a stanoviť poradie obsahových prvkov podľa časovej premenlivosti.
3. Od pracovníkov vykonávajúcich jednotlivé pracovné úkony v procese obnovy zhromaždiť informácie o pracnosti pri aktualizácii jednotlivých obsahových prvkov a štatistickým spracovaním získaných údajov stanoviť poradie obsahových prvkov podľa pracnosti.

Po získaní, zhromaždení a spracovaní uvedených údajov bude možné pristúpiť k stanoveniu množiny obsahových prvkov, ktoré budú mať nasledovné vlastnosti:

- pre užívateľov sú menej dôležité,
- často sa menia,
- pracnosť na ich aktualizáciu je veľká.

Zobrazenie obsahových prvkov s uvedenými vlastnosťami je zrejme málo efektívne. Pri tvorbe tejto množiny bude možné prirodzene použiť rôzny koeficient prísnosti výberu podľa predom určeného kritéria. Takto stanovená množina obsahových prvkov nebude do topografickej mapy zobrazená.

4. Porovnanie značkového kľúča TOPO-4-3 so značkovým používaným u topografických máp NSR

Výsledky porovnávania obsahu našich topografických máp s obsahom topografických máp uvedených západoeurópskych štátov nie je síce možné považovať za rozho-

dujúci argument pri zjednodušovaní (prípadne akejkoľvek inej úprave) ich obsahu, avšak nebolo by správne tieto skutočnosti neuvažovať.

Z podrobného rozboru /2/ vyplýva poznatok, že značkový kľúč používaný u topografických máp NSR 1:25 000 je v porovnaní s TOPO-4-3 podstatne jednoduchší.

Naznačuje tomu už jednoduché porovnanie počtu značiek. 425 vybraným značkám z TOPO-4-3 zodpovedá 265 mapových značiek v značkovom kľúči NSR. Nemožno jednoznačne tvrdiť, že značkový kľúč NSR pre topografické mapy mierky 1:25 000 je jednoduchší po formálnej stránke, naopak časť mapových značiek je graficky náročnejšia; členenie niektorých obsahových prvkov je podrobnejšie, z vojenského hľadiska až neúčelné (pozemné komunikácie, rozhlasové a televízne vysielacie, horárne, cintoríny apod.). Naopak zas niektoré objekty, ktoré TOPO-4-3 rozlišuje (vodovod, plynovod, ropovod, produktovod) sú v mapách NSR zakreslené jedinou značkou, bez rozlíšenia účelu daného potrubia.

Pre názornosť uvádzam mapové značky vybrané z TOPO-4-3, ktoré v značkovom kľúči NSR pre topografické mapy 1:25 000 nemajú svoj ekvivalent:

č. značky	názov
100	astronomické a La Placeove body
102	trigonometr. body na mohylách
103-1	trigonometr. body na budovách v mierke
104	zhusťovacie body
105	zhusťovacie body na mohylách
400-b	hraničné koly
203-b	pevnosti a opevnenia v mierke
207	mešity
208	salaše
211	zničené a polozničené bloky
305-a	transformátory značkou
311-a	haldy a odvaly značkou
313	ropné a plynové vrty
314	sklady horľavín a plynojemy
317-1	televízne vysielacie a prevadzače
317-2	rozhlasové a televízne stožiare
318	telefónne a telegrafné stanice a úrady
319	meteorologické stanice
557	telekomunikačné vedenia

558	plynovody	558
559-1	ropovody nadzemné	559
559-2	ropovody podzemné	559
560	produktovody	560
558, 559-1	tlakové a prečerpávacie stanice ply-	558
560	novodov, ropovodov a produktovodov	560
561	elektrické vedenia na stípoch	561
405	historické hradby	405
507-b	žel. stanice všetkých tried so staničnou budovou uprostred	507
507-c	žel. stanice všetkých tried so stanič. neznámo umiestnenou	507
509	nakladacie a vykladacie plochy	509
511-536	stúpanie na železniciach a vozovkách	511
516	zemné teleso znesených tratí	516
519	úzkorozchodné železnice v stavbe	519
520	jednokoľajové dráhy	520
523-b	podzemné dráhy	523
523-a	stanice podzemných dráh	523
524-1c	lávka cez železnicu	524
524-2	točna	524
529	ťažko zjazdne úseky ciest 2. a 3. kat.	529
531	vzletové a pristávacie dráhy na vozovkách	531
532-1	zúžené miesta na vozovkách	532
533	smerový oblúk o R 25 m	533
534	ľahké cestné stavby	534
543	rozhranie druhov materiálov krytu vozovky	543
546	ťažko zjazdne úseky spevnených ciest	546
548	karavanne cesty	548
550	zimné cesty	550
553	hate	553
554	úseky ciest na umelých rímsach	554
556	sklzy	556
562-1	dvojpodlažné murované, železobet. a kovové mosty	562
562-2	dtto ale v mierke mapy	562
562-5	reťazové a lanové mosty v mierke	562
562-7	zdvihacie a sklápacie mosty	562
565, 512	mosty cez malé prekážky, priepustky	565

567	akvadukty
603	zaplavované územia
612-1	útesy pod vodnou hladinou
612-2	útesy pod vodnou hladinou v dobe odlivu
613	vodné rastliny
614-1	smer prílivu
614-2	smer odlivu
617-a	morské kanály značkou
617-b	morské kanály v mierke
707	hlavný priesmyk
709-a	osamelé skaly 10 m
709-b	osamelé skaly 5 m, 10 m
710	osamelé balvany
711	skupiny balvanov
716	krátery sopiek
726	riečne náľadie
728-1	firnové polia, večný sneh
728-8	hranica firnových polí
800-2	hranice porastov a kultúr vo vnútri a na okraji sídel
805-1	osamelé orientačne dôležité ihlič. lesíky
805-2	osamelé orientačne dôležité list. lesíky
812-1	riedky les vysoký
812-2	riedky les zakrslý
813	polomy
814	vyrúbaný les
815	vyhorený les, suchý les
816-b	prieseky v mierke
818	trnité kroviny
822	sady bobuľovitých rastlín
825-1	ryžové polia
825-2	ryžové polia trvale pokryté vodou
826-1	plantáže technických plodín
826-2	dtto kerovitého vzrastu
827-2	vysokotrávny porast
829	machový a lišajníkový porast
830	stepný porast

832-1	slaniská nepriechodné
832-2	slaniská priechodné
833	šípka pri hĺbke močiarov
835	kopčekovitý povrch
845	vyrúbaný les s podrastom
846	riedky les s podrastom
848	lúčny porast na kopčekovitom povrchu
850	vysokotrávny porast s krovinami
604-2	zrázne brehy s plážou
605	pobrežné a brehové valy
712	rebrá
718	lávové prúdy
721-a	ryhy
722	pôdne zosuvy
727	pieskovcové skaly.

Z ďalšej analýzy, vykonanej porovnaním značkových kľúčov Belgicka, Francúzska a NSR uvedených v /1/ so značkovým kľúčom TOPO-4-3 možno konštatovať tieto závery:

1. počet mapových značiek je v značkových kľúčoch uvedených štátov podstatne nižší,
2. niektoré topografické objekty bežne zakresľované do našich topografických máp nemajú v topografických mapách uvedených štátov svoj ekvivalent.
Sú to tieto prvky:
 - La Placeove body
 - pevnosti a opevnenia
 - stúpanie železníc 20 %
 - rozlíšenie trakcií
 - točny
 - sklzy na spúšťanie dreva
 - úseky dialnic ako vzletové a pristávacie dráhy
 - zúžené miesta na vozovkách
 - elektrárne
 - odvaly a haldy značkou
 - telegrafné a telefónne stanice
 - telekomunikačné vedenia
 - rašelinište.

5. Záver

Užitočná hodnota topografických máp spočíva v účelnej bohatosti ich obsahu, aktuálnosti, čitateľnosti a prehľadnosti. Požiadavky užívateľov budú aj v budúcnosti orientované najmä týmto smerom.

Keďže jestvujúce kapacity, ktorými TS ČSĽA pri obnove topografických máp disponuje, sú v súčasných podmienkach a pri používaní súčasných technológií vyčerpané, je potrebné hľadať nové, intenzívne možnosti zvyšovania užitočnej hodnoty topografických máp.

Za predpokladu zhromaždenia, spracovania a využitia dostatočného množstva vstupných údajov od užívateľov topografických máp sa možnosť zvýšenia aktuálnosti obsahu a tým aj užitočnej hodnoty cestou zjednodušenia obsahu javí ako sľubná a perspektívna.

Literatúra:

- /1/ TOPO 59-1 Topografické mapy západoeurópskych štátov
Praha, MNO 1975, 331 s.
- /2/ Bertanová, J. Prevodový kľúč mapových značiek pre digitalizáciu topografických máp NSR 1:25 000
Harmanec, VKÚ 1979
- /3/ Miklošík, F. Časová podmienenosť kvality a efektívnosti práce ve vojenskej kartografii
Zborník TS MNO, 1988, zvláštne číslo, 68 s.
- /4/ Miklošík, F. Rozbor technicko-ekonomických charakteristík 4. obnovy topografických máp a návrh organizácie výrobného cyklu
Dielčia výskumná správa č. T1-VV-RE-05.1, VAAZ, K-304, Brno
- /5/ Kánský, J. a kol. Návrh technológie kartoreprodukčnej časti obnovy topografických máp opravou stávajúcich podkladů
Dielčia výskumná správa č. T1-VV-RE-05.1, VS 090, Praha
- /6/ Technické pokyny č. 0305/1988 - Projekt 4. obnovy topografických máp z územia ČSSR, Praha, TS MNO 1988, 41 s.

Došlo: 25. 1. 1990

Poznámky recenzenta:

1. Dosavadní obsah vojenských topografických map vychází z ustanovení vydaných Štábem spojených ozbrojených sil států Varšavské smlouvy v roce 1975. To však nebrání tomu, aby návrh autora článku na **posouzení** obsahu těchto map byl uskutečněn co nejdříve. Současně s tím by bylo vhodné také posoudit a navrhnout možné změny **vyjádření** obsahu topografických map.
2. Při čtení článku je třeba vzít v úvahu, že podklady, ze kterých autor vycházel, jsou dnes již poněkud zastaralé a že také změny probíhající v naší společnosti vytvářejí i pro obnovu topografických map nové podmínky.

RÁDIOVÁ INTERFEROMETRIE Z VELMI DLOUHÝCH ZÁKLADEN (VLBI) A JEJÍ VYUŽITÍ V GEODÉZII

1. Úvod

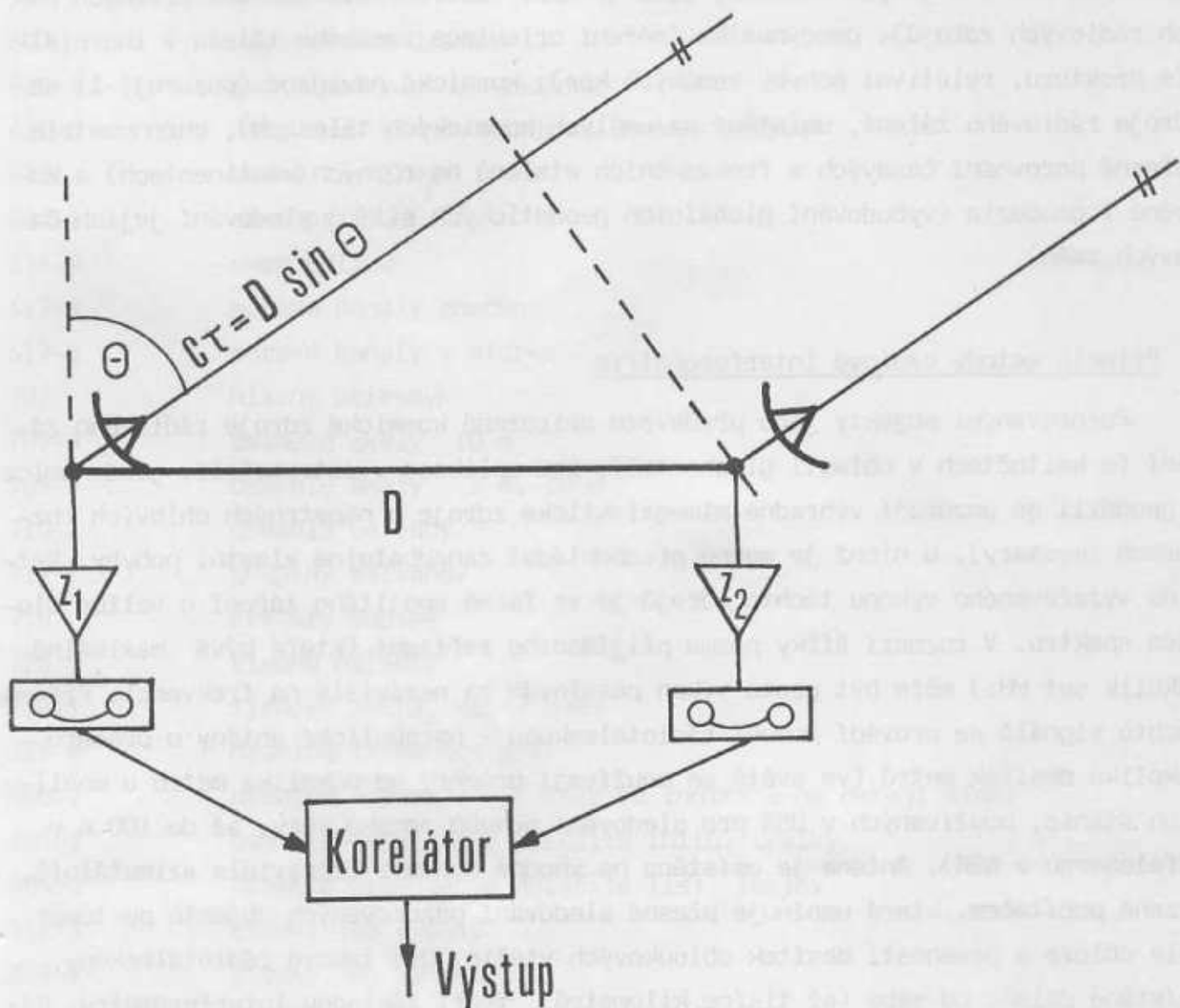
Rozvoj moderních kosmických pozorovacích technik, charakteristický pro poslední dvě až tři desetiletí, přinesl řadu nových možností při budování globálních geodetických sítí. První možnosti byly dány již vypuštěním umělých družic Země a přesným fotografickým pozorováním jejich topocentrických poloh, které umožnily určit (spolu s parametry tíhového pole Země) též pravouhlé geocentrické souřadnice pozorovacích stanic s přesností desítek až jednotek metrů. Dopplerovská pozorování umělých družic Země, vyvinutá v šedesátých letech, pomohla tuto přesnost dále zvýšit do oblasti metrů až decimetrů. V sedmdesátých letech byla vyvinuta metoda laserového pozorování družic, opatřených speciálními koutovými odražeči. Postupné zkracování délky laserového pulsu, zvyšování vyzařovaného výkonu a kadenace pulsů spolu se zvyšováním citlivosti přijímací aparatury přineslo postupné zpřesňování těchto měření od metrů (lasery první generace) přes decimetry až do oblasti centimetrů pro lasery třetí generace. Podobnou přesnost dosahuje i laserové měření vzdálenosti Měsíce. Všechny tyto metody lze charakterizovat jako dynamické, při kterých je nutné určovat, společně s geocentrickými souřadnicemi stanic, též elementy drah pozorovaných objektů a parametry tíhového pole Země. Mezi množinami neznámých nevyhnutelně existují korelace, což mj. znamená to, že chyby v přijatých modelech potenciálu zemského tělesa se promítají do chyb v odvozených souřadnicích pozorovacích stanic.

Rádiová interferometrie z velmi dlouhých základů (často označovaná anglickou zkratkou VLBI) tento základní nedostatek družicových metod nemá; jde o techniku geometrickou v tom smyslu, že pozorování jsou naprosto nezávislá na gravitačním poli Země. Její další nespornou výhodou je ta okolnost, že přivedla přesnost úhlových měření na úroveň přesnosti měření délkových. Metoda byla původně vyvinuta pro zvýšení úhlové rozlišovací schopnosti při studiu struktur přirozených zdrojů rádiového záření ve vesmíru. Rozvoj této techniky začal po roce 1967, kdy byl proveden první úspěšný experiment na základně mezi Kanadou a USA na vlnových délkách 75,5 a 18 cm. Záhy poté se ukázalo, že tato technika skýtá řadu mož-

ných aplikací i v jiných oborech, jako je např. astrometrie (určení přesných poloh rádiových zdrojů), geodynamika (měření orientace zemského tělesa v inerciálním prostoru, relativní pohyby zemských ker), kosmická navigace (pozorují-li se zdroje rádiového záření, umístěné na umělých kosmických tělesech), chronometrie (přesné porovnání časových a frekvenčních etalonů na různých kontinentech) a konečně i geodézie (vybudování globálních geodetických sítí a sledování jejich časových změn).

2. Princip metody rádiové interferometrie

Pozorovanými objekty jsou především přirozené kosmické zdroje rádiového záření (o kmitočtech v oblasti gigahertzů); pro aplikace v astrometrii, geodynamice a geodézii se pozorují výhradně mimogalaktické zdroje o nepatrných úhlových rozměrech (kvasary), u nichž je možno předpokládat zanedbatelné vlastní pohyby. Většina vyzařovaného výkonu těchto zdrojů je ve formě spojitého záření o velice plochém spektru. V rozmezí šířky pásma přijímacího zařízení (které bývá maximálně několik set MHz) může být proto výkon považován za nezávislý na frekvenci. Příjem těchto signálů se provádí pomocí rádioteleskopu - parabolické antény o průměru několika desítek metrů (ve světě se používají průměry od několika metrů u mobilních stanic, používaných v USA pro sledování pohybů zemské kůry, až do 100 m v Effelsbergu v NSR). Anténa je umístěna na vhodné montáži (zpravidla azimutální), řízené počítačem, která umožňuje přesné sledování pozorovaných objektů po téměř celé obloze s přesností desítek obloukových vteřin. Dva takové rádioteleskopy, umístěné daleko od sebe (až tisíce kilometrů), tvoří základnu interferometru. Rádiový signál dopadá na oba konce základny s určitým časovým posuvem a je dále zpracováván v korelátoru buďto přímo v reálném čase (jde-li o základnu kratší, s oběma konci přímo elektricky propojenými), nebo po určitém odstupu (jde-li o velmi dlouhé základny, kdy se oba přijímané signály po určitém předzpracování zaznamenávají na magnetické pásky, které se převezou na jedno místo a zpracují společně). Úkolem korelátoru je odvodit veličiny, které bývají označovány jako veličiny pozorované a které slouží při dalším zpracování k odvození hledaných veličin (nako např. souřadnic pozorovaných objektů, složek základny, parametrů zemské rotace, struktury pozorovaného objektu a pod.). Především jde o tzv. časové zpoždění τ , tj. časový rozdíl mezi dopadem téže vlnové fronty na první a druhou anténu interferometru a interferometrickou frekvenci F , tzn. dlouhoperiodickou složku výstupu interferometru.



Obr. 1 - Princip rádiového interferometru

Schématicky si můžeme korelátor představit jako zařízení, ve kterém jsou signály z obou antén vynásobeny a výsledek vhodným filtrem vyhlazen tak, aby byla odstraněna vysokofrekvenční složka. Označíme-li signál zdroje v čase t jako $V(t)$, bude výstup z korelátoru úměrný výrazu

$$r(\tau) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T V(t)V(t-\tau) dt, \quad (1)$$

kde $2T$ je časová konstanta integrátoru, který zde působí jako filtr (v podstatě průměruje násobek obou přijímaných signálů po dobu $2T$). Tato časová konstanta mu-

sí být volena dostatečně veliká, aby několikanásobně převyšovala převrácenou hodnotu šířky přijímaného pásma. Veličina $r(\tau)$ má charakter autokorelační funkce obou signálů. V případě, že signál má tvar jednoduché sinusovky o frekvenci f ($V = a \sin 2\pi ft$) a označíme-li délku základny jako D , úhel mezi směrem k bodovému zdroji a kolmicí k základně interferometru jako θ a rychlost světla jako c (viz Obr. 1), bude platit

$$r(\tau) = (a^2/2) \cos 2\pi ft, \quad (2)$$

kde časové zpoždění $\tau = (D/c) \sin \theta$. Odezva interferometru na takovýto jednoduchý signál je tedy opět sinusovka o konstantní amplitudě, avšak o podstatně nižší frekvenci, rovné výrazu $f d\tau/dt$; závisí tedy přímo na délce základny a časové změně úhlu θ . V případě příjmu signálu v pásmu frekvencí od $f_0 - \Delta f/2$ do $f_0 + \Delta f/2$ a za předpokladu konstantní spektrální hustoty bude odezva interferometru mít tvar

$$r(f_0, \tau) = \frac{1}{\Delta f} \int_{f_0 - \Delta f/2}^{f_0 + \Delta f/2} r(f, \tau) df = \frac{a^2}{2\pi \Delta f \tau} \sin \pi \Delta f \tau \cos 2\pi f_0 \tau. \quad (3)$$

V tomto případě jde opět o sinusovou odezvu o nízké interferenční frekvenci $F = f_0 d\tau/dt$, avšak amplitudově omezenou obalovou funkcí o tvaru $x^{-1} \sin x$. V obecném případě platí, že výstup interferometru je dán Fourierovou transformací přijímaného signálu, frekvenčně omezeného přijímací aparaturou. Vzhledem k rotaci Země, na jejímž povrchu je interferometr umístěn, se s časem mění úhel θ a tím i hodnota časového zpoždění τ a odezvy interferometru r . Interferenční frekvence je přímo úměrná výrazu Df_0/c a nezávisí tedy na šířce přijímaného pásma Δf ; naproti tomu šířka výstupního obrazu závisí nepřímo na délce základny D a šířce přijímaného pásma Δf . Časové zpoždění τ se určí tak, že se hledá maximum autokorelační funkce r ; je tedy určeno tím přesněji, čím užší bude šířka výstupního obrazu korelátoru. Přesnost určení veličiny τ proto roste s rostoucí délkou základny a šířkou přijímaného pásma. Další dvě možné určované veličiny jsou fáze časového zpoždění pro frekvenci f_0 a amplituda. První z nich by dávala potenciální možnost dalšího zvyšování přesnosti, prozatím ovšem připadá v úvahu pouze u interferometrů se spojenými elementy, tedy v případě relativně krátkých základen. V případě velmi dlouhých základen, u kterých jsou časové a frekvenční etalony obou stanic vzájemně nezávislé a rovněž fázové posuvy v atmosféře jsou pro obě stanice zcela různé, nelze prozatím odstranit nejednoznačnost přiřazení celého počtu period. Měření amplitudy má význam pouze při astrofyzikálních aplikacích

a nebudeme se jím proto v této úvaze blíže zabývat.

Obě pozorované veličiny jsou jistými funkcemi polohy pozorovaného zdroje, okamžité orientace zemského tělesa v inerciálním prostoru a vektoru základny interferometru v terestrické souřadnicové soustavě, ale také rozdílu stavu a chodu obou časových normálů. V principu je tedy možné, při vhodně organizovaném postupu pozorování, tyto neznámé z pozorovaných veličin vypočítat. Pokusme se nejprve na zjednodušeném modelu zjistit podmínky, za kterých jsou tyto parametry určitelné. Zanedbáme prozatím řadu malých vlivů a zapíšeme vztahy mezi polohou zdroje \underline{S} , vektorem základny \underline{D} , rozdílem stavu hodin τ_C a měřenými veličinami τ , F ve tvaru

$$\begin{aligned}\tau &= t_2 - t_1 = - \underline{D} \cdot \underline{S} / c = \\ &= \tau_C - D [\sin \delta_B \sin \delta_S + \cos \delta_B \cos \delta_S \cos(H_S - H_B)] / c\end{aligned}\quad (4)$$

$$F = f_0 [d\tau_C/dt + D\Omega \cos \delta_B \cos \delta_S \sin(H_S - H_B)/c],$$

kde δ_B , δ_S , H_B , H_S značí deklinaci a hodinový úhel základny (B) a zdroje (S), Ω je rychlost rotace Země a c značí rychlost světla. Protože rovnice (4) je napsána v terestrické rotující soustavě, je hodinový úhel zdroje H_S časově proměnný a lze jej aproximovat lineárním vztahem $H_S = \Omega t - \alpha_S$, kde α_S je rektascenze zdroje a t je místní hvězdný čas. Předpokládáme-li dále lineární průběh rozdílu stavů hodin na obou stanicích, tj. $\tau_C = A_1 + A_2 t$, je možné rovnice (4) přepsat do tvaru

$$\tau = C_1 + A_2 t + C_2 \cos(\Omega t - \psi)\quad (5)$$

$$F = A_2 f_0 + F_0 \sin(\Omega t - \psi),$$

kde $C_1 = A_1 - (D/c) \sin \delta_B \sin \delta_S$

$$C_2 = -(D/c) \cos \delta_B \cos \delta_S$$

$$\psi = H_B + \alpha_S$$

$$F_0 = f_0 (D\Omega/c) \cos \delta_B \cos \delta_S$$

jsou konstanty, závislé na celkem 6 neznámých (A_1 , D , H_B , δ_B , δ_S , α_S).

Podívejme se nejprve podrobněji na první z rovnic (5). Ta obsahuje na pravé straně 4 konstanty (C_1 , A_2 , C_2 , ψ), které jsou určitými funkcemi 7 neznámých

($A_1, A_2, D, H_B, \delta_B, \alpha_S, \delta_S$). Časový průběh veličiny τ pro jeden pozorovaný zdroj je sinusovka o konstantní amplitudě a jednodenní periodě plus lineární trend. Pozorujeme-li tedy v průběhu jednoho dne tentýž zdroj nejméně čtyřikrát, můžeme určit numerické hodnoty všech těchto čtyř konstant. K tomu musíme do pozorovacího programu přibrat nejméně dva další zdroje; s každým z nich přibudou další tři určitelné konstanty (C_1, C_2 a ψ ; konstanta A_2 je chod hodin a proto je nezávislá na poloze zdroje) a počet určených konstant tak vzroste na 10. Ty jsou funkcemi celkem 11 neznámých, protože s každým novým zdrojem přibudou jeho dvě souřadnice. Počátek odečítání rektascenzí nelze touto metodou určit (jarní bod nelze pozorovat) a je třeba jej libovolným způsobem zvolit - např. tak, že zvolíme rektascenzi jednoho ze zdrojů.

Podstatně menší je využitelnost druhé pozorované veličiny, interferenční frekvence F . Ta je totiž naprosto necitlivá na polární složku základny (rovnoběžnou s osou rotace Země), protože rovnice pro F ve druhé z rovnic (5) neobsahuje výraz $D \sin \delta_B$. Kromě toho je zde značné omezení v určení deklinace pozorovaného zdroje, protože interferenční frekvence závisí pouze na $\cos \delta_S$ - v blízkosti rovníku proto chyba v určení deklinace neúměrně vzrůstá. Konečně pak nelze vzájemně oddělit rovníkovou složku základny od deklinace zdroje. Z těchto důvodů se zpravidla užívá pouze časové zpoždění τ , a pokud se při analýze využívá též interferenční frekvence F , pak pouze v kombinaci s τ . V dalších úvahách se proto budeme zabývat výhradně využitím měřeného časového zpoždění.

3. Teoretický výpočet časového zpoždění

Jak již bylo naznačeno v předchozí kapitole, při skutečné redukci pozorování je třeba do výpočtu zahrnout, při požadované certimetrové přesnosti, celou řadu dalších vlivů. Základem je vždy výpočet teoretického časového zpoždění τ_V , které se srovnává s měřeným τ_M a z analýzy rozdílů $\tau_V - \tau_M$ se určují vyrovnané hodnoty hledaných neznámých. Celkové časové zpoždění je možno rozdělit do řady dílčích zpoždění, způsobených různými vlivy. Jsou to:

a) **Geometrické zpoždění**, které je dominantní složkou a o kterém jsme již hovořili v předchozí kapitole. Je způsobeno polohou interferometru vůči zdroji; pro pozemský interferometr může dosahovat až 0,02 s a rychle se mění (až o 1,5 μ s/s) vlivem rotace Země.

b) **Zpoždění hodin** je další významnou složkou, o které jsme se již zmínili. Chyba v synchronizaci hodin na obou koncích základny bývá v nejlepším případě řá-

du mikrosekund a rozdíl jejich chodu kolem 10^{-12} .

c) **Zpoždění v troposféře** závisí do značné míry na obsahu vodních par a roste se zenitovou vzdáleností. Při pozorování v zenitu činí cca 7 nanosekund.

d) **Zpoždění v ionosféře** je způsobeno vrstvou plazmy ve výšce cca 350 km a závisí na frekvenci přijímaného signálu - čím vyšší frekvence, tím menší zpoždění. Pro $f = 8,4$ GHz činí v zenitu 0,1 až 2 nanosekundy, podle okamžitého stavu ionosféry.

e) **Instrumentální zpoždění**, ke kterému dochází mezi okamžikem dopadu vlnové fronty na anténu a registrací zpracovaného signálu na magnetickou pásku.

3.1. Výpočet geometrického zpoždění

Tento výpočet je nejdůležitější částí celé redukce pozorování. Především je třeba pravouhlé souřadnice obou antén v soustavě spojené s rotující Zemí opravit o známé lokální změny. Z nich nejvýraznější jsou vlivy slapové, které dosahují až několika decimetrů a mění se s polodenními a jednodenními periodami, v závislosti na postavení Měsíce a Slunce vzhledem ke stanicím. Nezanedbatelný není ani vliv sekundárního zatížení zemské kůry vlivem slapového přesunu vod oceánů (i pro stanice dosti vzdálené od pobřeží tento vliv dosahuje až 3 dm) a vlivem změn atmosférického tlaku v okolí stanice (zhruba 3 cm při změně tlaku o 100 hektopascalů). Nevýrazný vliv (1-2 cm) má i deformace zemského tělesa při změnách polohy osy rotace Země v tělese.

Opravené souřadnice obou koncových bodů interferometru je dále třeba přetransformovat do nerotující soustavy, vázané na těžiště sluneční soustavy. V prvním kroku požadované transformace je třeba přejít od rotující geocentrické soustavy k nebeské (nerotující) soustavě, vázané rovněž na těžiště Země a to otočením kolem počátku. Jestliže označíme polohový vektor stanice v rotující soustavě jako \underline{r}_t a tentýž vektor po transformaci do nerotující soustavy jako \underline{r}_c , je možné požadovanou transformaci vyjádřit pomocí součinu transformačních matic ve tvaru

$$\underline{r}_c = \text{PNUXY } \underline{r}_t, \quad (6)$$

kde **P** značí precesní matici

N " nutační matici

U " matici vlastní rotace Země

XY " matici pohybu pólu.

Součin posledních tří matic lze, při zanedbání malých členů druhého řádu, napsat ve tvaru

$$\mathbf{UXY} = \begin{bmatrix} \cos H & -\sin H & -(\odot_x \cos H + \odot_y \sin H) \\ \sin H & \cos H & -\odot_x \sin H + \odot_y \cos H \\ \odot_x & -\odot_y & 1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

kde H je hodinový úhel jarního bodu (tzn. místní hvězdný čas) na nultém poledníku a \odot_x , \odot_y jsou souřadnice okamžitého pólu rotace vzhledem k pólu přijatého terestrického souřadnicového systému.

Precesní a nutační matice \mathbf{P} , \mathbf{N} představují otočení souřadnicové soustavy kolem počátku z polohy vázané na okamžitou osu rotace Země a okamžitý jarní bod do polohy dané střední polohou osy rotace a jarního bodu pro vybranou standardní epochu, např. J2000,0. Prvky obou matic jsou funkcemi precesních a nutačních úhlů, z nichž první jsou jistými kubickými a druhé periodickými funkcemi času. Pro poměrnou složitost jejich zápisu a množství členů je zde nebudeme uvádět.

Dále je zapotřebí transformovat polohy obou antén z geocentrické (nerotující) soustavy do nebeské soustavy, která se nepohybuje vzhledem k těžišti sluneční soustavy, čehož dosáhneme translací. V této soustavě provedeme výpočet geometrického zpoždění a potom vypočtený časový interval přetransformujeme zpět do původní soustavy, ve které je časové zpoždění ve skutečnosti měřeno. K oběma transformacím použijeme Lorentzovu transformaci, která automaticky zajistí i opravy, vyplývající ze speciální teorie relativity (tento výpočet je ekvivalentem výpočtu roční aberace, běžně zaváděné při redukcích optických astrometrických pozorování). Při výpočtu časového zpoždění v barycentrické soustavě vezmeme rovněž v úvahu vzájemný pohyb obou antén, způsobený rotací Země, což je opět ekvivalent výpočtu denní aberace. Pro jednoduchost budeme v následujících úvahách měřit vzdálenosti v časových jednotkách; jednotkou délky tedy bude vzdálenost, kterou světlo urazí za jednu sekundu. Nechť rychlost geocentrické soustavy vůči barycentru sluneční soustavy je \underline{V} a rychlost stanice 2 vůči stanici 1 v barycentrické soustavě je \underline{V}_2 . Poloha zdroje v téže soustavě nechť je dána jednotkovým vektorem \underline{S} . Jestliže předpokládáme, že známe polohy obou stanic v geocentrické nebeské soustavě, kterou označíme čárkou, v čase t_1' (v okamžiku dopadu vlnové fronty na stanici 1), tj. $\underline{r}_1(t_1')$, $\underline{r}_2(t_1')$, můžeme vektor základny interferometru v této soustavě vyjádřit jako $\underline{D} = \underline{r}_2(t_1') - \underline{r}_1(t_1')$. Po transformaci do soustavy bary-

centrické bude tento vektor v čase t_1 roven

$$\underline{D} = \underline{D}' + (\gamma - 1) (\underline{D}' \cdot \underline{V}) \underline{V} / V^2 - \gamma (\underline{D}' \cdot \underline{V}_2) \underline{V}, \quad (8)$$

kde $\gamma = (1 - V^2)^{-1/2}$, a pro rovinnou vlnovou frontu bude v téže soustavě časové zpoždění dáno výrazem

$$\tau = \underline{S} \cdot \underline{D} / (1 + \underline{S} \cdot \underline{V}_2). \quad (9)$$

Zpětnou transformací tohoto zpoždění do geocentrické soustavy potom dojdeme k výrazu

$$\tau' = \gamma (1 - \underline{V} \cdot \underline{V}_2) \tau - \gamma \underline{V} \cdot \underline{D}, \quad (10)$$

který je již přímo srovnatelný s měřeným časovým zpožděním. Pokud se pozoruje rádiový zdroj natolik blízký, že vlnovou frontu nelze již považovat za rovinnou, je nutné čas τ opravit o vliv jejího zakřivení. Při délce základny 5000 km může tato oprava přesáhnout i cm u zdroje bližšího nežli 10^{14} km, tj. 10^4 astronomických jednotek. Při pozorování objektů blízkých sluneční soustavě tuto opravu proto nelze zanedbat. Podobně se vlnová fronta deformuje v blízkosti velkých těles sluneční soustavy; rádiové záření se při průchodu kolem hmotného tělesa zakřivuje a dochází tak k jeho zpoždění, což je důsledkem obecné teorie relativity. Tento efekt je nutné započítat nejenom při pozorování objektů v malé úhlové vzdálenosti od Slunce, ale i od hmotnějších planet jako např. Jupitera či Saturna.

3.2. Výpočet zpoždění hodin

I když jsou na obou bodech základny instalovány vodíkové masery, jejichž stabilita je řádově 10^{-14} , nelze zajistit dokonalou časovou synchronizaci; současná přesnost pozorování VLBI širokopásmovým příjmem systému Mark III se pohybuje ve zlomcích nanosekund, zatímco srovnání hodin mezi kontinenty je v současné době zajišťováno na mikrosekundy pokud jde o okamžitý stav a 10^{-12} pokud jde o vzájemný chod. Dostatečná stabilita obou hodin však umožňuje rozdíl modelovat jednoduchou funkcí času, zpravidla lineární nebo kvadratickou, jak již bylo naznačeno v kapitole 1. Zpravidla tedy modelujeme časový rozdíl hodin na obou stanicích jako

$$\Delta \tau_n = \Delta \tau_0 + \Delta \tau_1 (t - t_0) + \Delta \tau_2 (t - t_0)^2, \quad (11)$$

kde t_0 je libovolně zvolený počátek času. Pokud jsou konstanty $\Delta\tau_1$ apriorně alespoň přibližně známé, opraví se o ně vypočtené časové zpoždění a při vyrovnání se určují pouze malé opravy k těmto hodnotám.

3.3. Výpočet zpoždění v troposféře

Před dopadem na obě antény prochází rádiová vlnová fronta atmosférou, která se dělí na dvě části: neutrální atmosféru a ionosféru. Neutrální atmosféra se skládá ze dvou hlavních složek - suché a vlhké. Suchá část (obsahující převážně kyslík a dusík) je v přibližně hydrostatické rovnováze a její vliv může být dostatečně přesně odhadnut z měřeného atmosférického tlaku. Až na malé výjimky zde vyhovuje azimutálně symetrický model, založený na měřeném barometrickém tlaku na povrchu Země. Na druhé straně činí značné potíže vlhká složka atmosféry (vodní páry i kondensovaná voda ve formě mraků). Experimentálně je prokázáno, že tato složka není azimutálně symetrická a je značně nepravidelná; její zanedbání způsobuje několikadecimetrové chyby. V ideálním případě je proto nutné určit obsah vodních par podél každé záměry speciálním přístrojem, radiometrem. Na většině stanic VLBI zatím tyto přístroje nejsou v běžné výbavě a tak je možné vliv neutrální atmosféry pouze modelovat na základě předpokladu sférické vrstvy, sestávající ze suché a vlhké složky. Parametry tohoto modelu se pak určují z vyrovnání jako neznámé veličiny. Kompletní oprava z troposféry je dána jako rozdíl oprav pro obě stanice

$$\Delta\tau_t = \Delta\tau_2 - \Delta\tau_1, \quad (12)$$

kde každou z oprav můžeme vyjádřit jako součet obou složek:

$$\Delta\tau_i = \varrho_s R_s(E) + \varrho_v R_v(E).$$

ϕ zde značí zpoždění v zenitu (s pro suchou a v pro vlhkou složku) a R je určitá funkce výšky nad obzorem E, která nabývá v zenitu hodnoty 1. Nejjednodušším tvarem funkce R je tzv. Chaova mapovací funkce (Chao mapping function)

$$R = 1/\sin E + A/(\tan E + B), \quad (13)$$

kde pro suchou složku platí $A = 0,00143$, $B = 0,0445$ a pro vlhkou složku $A = 0,00035$, $B = 0,017$; existují však i modely složitější. Z vyrovnání je potom možné odhadnout neznámé veličiny ϱ_s a ϱ_v .

3.4. Zpoždění v ionosféře

Zpoždění elektromagnetických vln v ionosféře je silně závislé na frekvenci - závislost je přibližně nepřímo úměrná druhé mocnině frekvence daného záření a velice se mění s časem. Vliv ionosféry se proto s výhodou vyloučí při současném pozorování na dvou výrazně odlišných frekvencích. Označíme-li je jako f_1 a f_2 , lze jim odpovídající měřené zpoždění aproximovat vztahy

$$\begin{aligned}\Delta\mathcal{T}_1 &= \Delta\mathcal{T} + q/f_1^2 \\ \Delta\mathcal{T}_2 &= \Delta\mathcal{T} + q/f_2^2,\end{aligned}\tag{14}$$

kde $\Delta\mathcal{T}$ je časové zpoždění, neovlivněné ionosférou a q je neznámá konstanta. Řešením rovnic (14) získáme pro výpočet hledané hodnoty $\Delta\mathcal{T}$ výraz

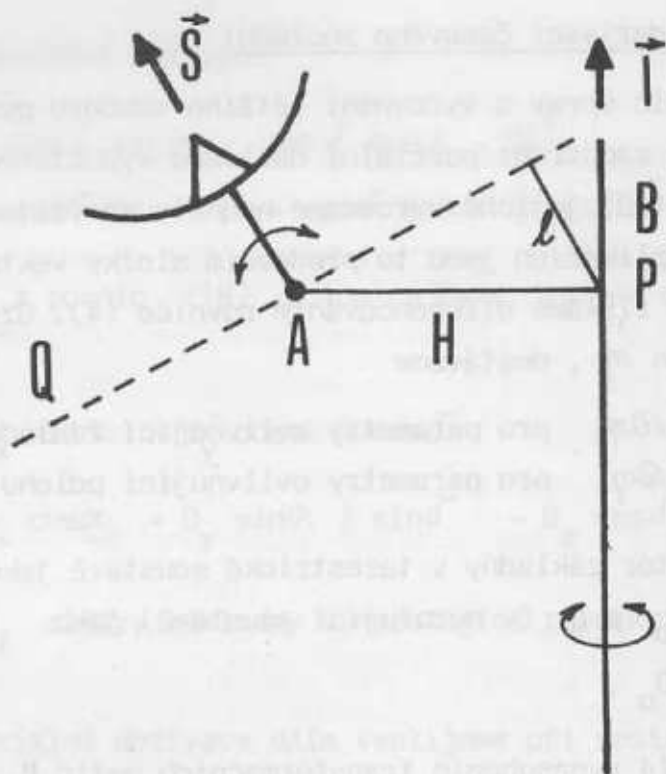
$$\Delta\mathcal{T} = (f_2^2 \Delta\mathcal{T}_2 - f_1^2 \Delta\mathcal{T}_1) / (f_2^2 - f_1^2).\tag{15}$$

Pokud není k dispozici měření na dvou frekvencích, je třeba se uchýlit k modelování ionosféry na základě obsahu elektronů, získaného měření jinými prostředky.

3.5. Instrumentální zpoždění

K dodatečnému zpoždění dochází rovněž při průchodu signálu od antény až po registraci. Pokud je toto zpoždění nezávislé na orientaci antény, je prakticky nerozlišitelné od zpoždění hodin a lze jej tedy určit pouze jako část této neznámé. Je-li ovšem toto zpoždění od rozdílu hodin nutné oddělit (např. mají-li být tato pozorování využita k přesnému srovnání časových škál mezi kontinenty), je nutné provést přesnou kalibraci elektrických cest na obou stanicích.

Jiným problémem je ta skutečnost, že anténní systém sám se nechová jako bod pevně spojený se Zemí. Relativní pohyby antény vůči Zemi zpravidla způsobují dodatečné časové zpoždění, neboť jenom málokdy je splněna podmínka, aby osa symetrie parabolického zrcadla a obě točné osy montáže se protínaly v jediném bodě. Pouze v takovém případě totiž nevzniká časové zpoždění, závislé na okamžité orientaci antény. Vyjděme z toho, že libovolná rovina, kolmá k ose symetrie antény, koinciduje za všech okolností s vlnovou frontou, přicházející od pozorovaného zdroje (viz Obr. 2).



Obr. 2 - Schématické znázornění geometrie montáže antény

Ze všech možných takových rovin vybereme tu, která obsahuje točnou osu A (vodorovnou) a označíme ji Q. Za referenční bod antény P, ke kterému budeme redukce vztahovat, zvolíme ten bod na druhé ose montáže B (svislé v případě azimutální montáže, polární v případě montáže paralaktické), který leží v rovině obsahující osu A kolmé k ose B. Vzdálenost tohoto bodu od osy A nechť je rovna H. Jestliže jednotkový vektor ve směru pozorovaného zdroje je $\underline{\underline{S}}$ a podobně jednotkový vektor ve směru osy montáže B (směrem od Země) je $\underline{\underline{I}}$, bude vzdálenost referenčního bodu od roviny Q rovna

$$\ell = H \sqrt{1 - (\underline{\underline{S}} \cdot \underline{\underline{I}})^2} . \quad (16)$$

H počítáme kladně tehdy, je-li anténa blíže ke zdroji nežli druhá točná osa montáže; ℓ je dráha, kterou musí signál urazit z roviny Q do referenčního bodu antény P. Vzorec (16) je zcela obecný a platí pro libovolný typ montáže. Pro případ montáže azimutální odtud plyne, že $\ell = H \cos E$, pro paralaktickou montáž platí $\ell = H \cos \sigma$, kde E a σ je výška zdroje nad obzorem a jeho deklinace. Časové zpoždění na dané stanici vlivem geometrie antény je potom rovno

$$\Delta \tau_a = \ell / c . \quad (17)$$

4. Výpočet parciálních derivací časového zpoždění

Pro sestavení rovnic oprav a vyrovnání většího souboru pozorování metodou nejmenších čtverců jsou zapotřebí parciální derivace vypočteného časového zpoždění podle všech parametrů, jejichž vyrovnané hodnoty zamýšlíme z vyrovnání získat. Při geodetických aplikacích jsou to především složky vektoru základny. S přesností na 4 cifry je získáme diferencováním rovnice (4). Označíme-li libovolný neznámý parametr jako η , dostáváme

$$\begin{aligned} \partial \tau / \partial \eta &= - \underline{\underline{S}} \cdot \partial \underline{\underline{D}} / \partial \eta && \text{pro parametry ovlivňující základnu} \\ \text{a } \partial \tau / \partial \eta &= - \underline{\underline{D}} \cdot \partial \underline{\underline{S}} / \partial \eta && \text{pro parametry ovlivňující polohu zdroje.} \end{aligned} \quad (18)$$

Pokud označíme vektor základny v terestrické soustavě jako $\underline{\underline{D}}_0$, je potom možné napsat vztah mezi $\underline{\underline{D}}_0$ a $\underline{\underline{D}}$ (v nerotující soustavě) jako

$$\underline{\underline{D}} = \mathbf{PNUXY} \underline{\underline{D}}_0 = \mathbf{Q} \underline{\underline{D}}_0, \quad (19)$$

kde \mathbf{Q} je matice, vzniklá vynásobením transformačních matic \mathbf{P} , \mathbf{N} a \mathbf{UXY} dle rovnic (6). Odtud vyplývají vztahy pro výpočet parciálních derivací časového zpoždění podle složek základny v terestrické soustavě:

$$\partial \tau / \partial \eta = - \mathbf{Q} \underline{\underline{S}} \cdot \partial \underline{\underline{D}}_0 / \partial \eta, \quad (20)$$

tedy např. podle pravouhých souřadnic vektoru základny

$$\partial \tau / \partial x = - \mathbf{Q} \underline{\underline{S}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \partial \tau / \partial y = - \mathbf{Q} \underline{\underline{S}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \partial \tau / \partial z = - \mathbf{Q} \underline{\underline{S}} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Podobně je možné spočítat i derivace podle dalších hledaných neznámých, které ovlivňují vektor základny v inerciální soustavě, jako jsou např. Loveova elastická čísla, nutační úhly, poloha okamžitého rotačního pólu či nepravidelnosti rychlosti rotace Země.

Pokud jde o polohu pozorovaného zdroje rádiového záření, ta může být vyjádřena např. rovníkovými souřadnicemi α , δ ; tedy

$$\underline{\underline{S}} = (\cos \delta \cos \alpha, \cos \delta \sin \alpha, \sin \delta)^T,$$

odkud vyplývají parciální derivace

$$\begin{aligned}\partial \underline{S} / \partial \alpha &= (-\cos \delta \sin \alpha, \cos \delta \cos \alpha, 0)^T \\ \partial \underline{S} / \partial \delta &= (-\sin \delta \cos \alpha, -\sin \delta \sin \alpha, \cos \delta)^T.\end{aligned}$$

Dosazením do druhé z rovnic (18) potom najdeme hledané parciální derivace $\partial \tau / \partial \alpha$, $\partial \tau / \partial \delta$:

$$\begin{aligned}\partial \tau / \partial \alpha &= (D_x \sin \alpha - D_y \cos \alpha) \cos \delta \\ \partial \tau / \partial \delta &= (D_x \cos \alpha + D_y \sin \alpha) \sin \delta - D_z \cos \delta,\end{aligned}\quad (21)$$

značí-li D_x , D_y , D_z složky základny v nerotující rovňkové souřadnicové soustavě.

Vypočtené parciální derivace dále využijeme při sestavení rovnic oprav ve tvaru

$$v = \sum_{i=1}^n \partial \tau / \partial \eta_i \cdot \Delta \eta_i + \tau_v - \tau_m, \quad (22)$$

kde $\Delta \eta_i$ jsou hledané opravy k vybraným parametrům, které ovlivňují měřené časové zpoždění. Jejich odhad je možné potom provést například klasickou metodou nejmenších čtverců standardními a běžně známými postupy. Přitom je ovšem třeba si uvědomit, že při této metodě existuje několik stupňů volnosti, podle toho, které parametry jsou zařazeny do vyrovnání. Již v první kapitole jsme hovořili o tom že počátek rektascenzí je nutné volit. Při vyrovnání více základů najednou může však těchto stupňů volnosti být obecně až 9; definice terestrického systému jich vyžaduje 6 (3 pro definici počátku, protože metoda VLBI nemá přístup k těžišti Země a 3 pro orientaci celého systému) a definice nebeského systému souřadnic 3 (pouze orientace v prostoru). V důsledku toho je matice normálních rovnic singulární a její hodnota může být až o 9 nižší nežli její řád. Situaci je možné řešit v podstatě dvěma způsoby, které zde budou pouze naznačeny.

a) Zjistíme skutečný počet stupňů volnosti daného systému normálních rovnic a doplníme jej stejným počtem vynucených podmínek, jejichž splnění požadujeme současně s požadavkem minimalizace součtu čtverců oprav. Tím převedeme problém na standardní řešení vyrovnání zprostředkujících pozorování s podmínkami.

b) Aniž bychom se starali o skutečný počet stupňů volnosti, použijeme pro výpočet vyrovnaných neznámých namísto matice inverzní k matici normálních rovnic tzv. pseudoinverzní matici. Ta má tu vlastnost, že v případě nesingulární matice je totožná s inverzní maticí a dává navíc jednoznačné řešení i v případě, kdy je matice soustavy singulární. Je-li soustava normálních rovnic

$$\underline{N}\underline{X} = \underline{L} ,$$

kde \underline{N} je matice normálních rovnic a \underline{X} , \underline{L} vektory neznámých a pravých stran, je řešení pro \underline{X} dáno výrazem

$$\underline{X} = \underline{N}^T \underline{L} ,$$

kde \underline{N}^T je pseudoinverzní matice k matici \underline{N} . Dané řešení má potom tu vlastnost, že suma čtverců neznámých je minimální. Pro výpočet pseudoinverzní matice existují standardní algoritmy.

5. Současný stav metody ve světě

Metoda VLBI je svou podstatou předurčena pro vybudování globální terestrické sítě, jejíž strany jsou tvořeny základnami jednotlivých interferometrů. Protože, jak již bylo shora ukázáno, nelze tento problém oddělit od sledování parametrů rotace Země a současného vytváření nebeského inerciálního systému, jsou stanice využívány pro všechny tyto účely současně, a často jsou tytéž radioteleskopy využívány též pro astrofyzikální výzkumy.

Nejprve se však stručně zmiňme o systémech záznamu signálu, které se ve světě používají. V každém případě je nutné původní signál převést z oblasti gigahertzů do podstatně nižších kmitočtů, které jsme technicky schopni zaznamenat. Jediným používaným záznamovým médiem, které se dnes používá, je magnetická páska, na kterou je možné zaznamenat v nejlepším případě signál o kmitočtu několika megahertzů. Proto se původní signál po zesílení směšuje s vysoce stabilním kmitočtem. Rozdíl obou kmitočtů se dále zesiluje a zaznamenává spolu s časovou informací buďto analogově (kanadský systém) nebo digitálně (americký systém, který je postupně přijímán v celém světě jako standard) na magnetickou pásku. Sám systém záznamu se postupně vyvíjel, jak stoupaly nároky na přesnost a tím i na šířku zaznamenávaného pásma.

V současné době se již většinou používá systém Mark III, který je zatím nej-

dokonalejším systémem záznamu. Využívá se speciální 28-stopý magnetofon Honeywell-96 s rychlostí posuvu až 6 m/s. Původní signál se rozděluje do 28 kanálů, každý o šířce pásma 0-2 MHz, které se zaznamenávají paralelně. Celková šířka pásma je tak rovna 56 MHz.

Aktivita experimentů VLBI postupně přechází od jednotlivých krátkodobých observačních kampaní na osamocených základnách k systematickým pozorováním v rozsáhlejších sítích. V dalším se budeme věnovat pouze sítím se specializací na astrometrii a sledování parametrů zemské rotace, které současně plní i řadu geodetických aplikací. Především jde o sítě, které tvoří od počátku r. 1988, spolu se sítěmi stanic laserového pozorování Měsíce a umělých družic Země, novou Mezinárodní službu rotace Země (IERS).

Nejrozsáhlejší z nich je síť nazývaná IRIS (International Radio Interferometric Surveying), jejíž tzv. atlantická část pravidelně pozoruje od r. 1984 (některé stanice dokonce již od r. 1980). Celý projekt je koordinován v USA (National Geodetic Survey) a v současné době zahrnuje 14 stanic, vesměs vybavených záznamovým zařízením Mark III. Jejich seznam spolu s pravouhlými souřadnicemi referenčních bodů antén, odvozenými ze všech pozorování až do ledna 1988, je uveden v Tabulce 1.

Tabulka 1 - Stanice sítě IRIS - A a jejich souřadnice

	X m	Y m	Z m	SX m	SY m	SZ m
OWENS VALLEY	-2409600.583	-4478349.451	3838603.446	.003	.008	.009
GOLDSTONE	-2356170.843	-4646755.780	3668470.833	.003	.014	.016
FORT DAVIS	-1324210.830	-5332023.025	3232118.569	.002	.005	.006
GREENBANK	882880.174	-4924482.166	3944130.697	.002	.007	.006
RICHMOND	961258.209	-5674089.934	2740533.783	.002	.004	.003
MARYLAND POINT	1106629.600	-4882907.034	3938086.959	.005	.020	.016
HAYSTACK	1492206.923	-4458130.340	4296015.490	.010	.010	.010
HAYSTACK	1492405.068	-4457266.374	4296881.746	.001	.003	.003
ONSALA	3370606.448	711917.597	5349830.449	.006	.004	.010
CHILBOLTON	4008310.439	-100650.707	4943794.438	.012	.006	.016
EFFELSBERG	4033947.824	486990.561	4900430.388	.014	.008	.021
WETTZELL	4075540.310	931735.337	4801629.022	.007	.004	.011
BOLOGNE	4461370.423	919596.875	4449558.816	.011	.006	.015
JOHANNESBURG	5085442.656	2668263.457	-2768697.703	.026	.014	.017

V tabulce jsou rovněž uvedeny formální střední chyby v určení souřadnic (SX, SY, SZ). Většina stanic se nachází v USA (Owens Valley a Goldstone v Kalifornii, Fort Davis v Texasu, Greenbank v Západní Virginii, Richmond na Floridě, Maryland Point v Marylandu, Haystack v Massachussets), po jedné stanici ve Švédsku (Onsala), v Anglii (Chilbolton), v Itálii (Bologne) a v JAR (Johannesburg) a dvě v NSR (Effelsberg a Wettzell).

Od r. 1976 používá NASA techniku VLBI v projektu sledování tektonických pohybů zemské kůry (CDP). Projekt zahrnuje kromě sítě opěrných stanic s velkými anténami též stanice mobilní. Tato pozorování spolu s pozorováními v rámci projektu IRIS byla v Goddard Space Flight Center použita k odvození souřadnic 28 stanic, které jsou uvedeny v Tabulce 2.

Tabulka 2 - Stanice sítě GSFC a jejich souřadnice

	X m	Y m	Z m	SX	SY	SZ
ALGONQUIN	918036.723	-4346133.066	4561971.561	.002	.006	.007
CHILBOLTON	4008312.009	-100651.879	4943794.796	.009	.005	.012
EFFELSBERG	4033949.409	486989.385	4900430.754	.008	.005	.013
FAIRBANKS	-2281545.170	-1453645.805	5756993.684	.003	.005	.010
GOLDSTONE	-2351127.274	-4655477.930	3660957.507	.008	.015	.013
JOHANNESBURG	5085444.328	2668262.049	-2768697.257	.026	.017	.017
HAT CREEK	-2523968.042	-4123507.192	4147753.186	.002	.006	.008
HAYSTACK	1492406.691	-4457267.330	4296882.102	.001	.001	.001
FORT DAVIS	-1324209.126	-5332023.968	3232118.942	.002	.005	.005
KASHIMA	-3997890.433	3276580.390	3724118.715	.011	.007	.020
KAUAI	-5543844.213	-2054565.546	2387814.078	.007	.010	.015
KWAJALEIN ATOLL	-6143534.953	1363995.752	1034707.618	.015	.013	.020
MARYLAND POINT	1106631.226	-4882907.983	3938087.339	.004	.011	.009
BOLOGNE	4461371.968	919595.660	4449559.136	.009	.005	.013
GOLDSTONE	-2356169.122	-4646756.731	3668471.197	.001	.005	.007
GREENBANK	882881.815	-4924483.116	3944131.063	.001	.005	.005
ONSALA	3370608.017	711916.419	5349830.741	.005	.004	.010
OWENS VALLEY	-2409598.868	-4478350.390	3838603.796	.001	.005	.007
PENTICTON	-2058838.556	-3621287.265	4814421.387	.005	.010	.013
PLATTEVILLE	-1240706.242	-4720455.146	4094482.175	.002	.008	.008
RICHMOND	961259.855	-5674090.884	2740534.192	.002	.004	.003
MADRID	4849247.098	-360279.338	4114884.533	.045	.014	.040
SHANGHAI	-2831684.418	4675732.822	3275327.682	.086	.083	.096
SHANGHAI	-2847695.758	4659871.645	3283958.812	.128	.110	.102
SOUTH VANDENBERG	-2678092.771	-4525451.947	3597410.498	.002	.006	.008
HAYSTACK	1492208.546	-4458131.313	4296015.858	.001	.002	.002
WETTZELL	4075541.876	931734.136	4801629.343	.006	.004	.011
YELLOWKNIFE	-1224122.542	-2689531.382	5633555.746	.006	.012	.025

Souřadná soustava je vázána na přijaté souřadnice 37 m antény observatoře Haystack. Na této síti je zajímavé, že zde poprvé vystupují stanice VLBI v Japonsku (Kashima) a v ČLR (Shanghai).

Třetí významnou skupinu tvoří Jet Propulsion Laboratory (JPL), která využívá nepravidelných pozorování na stanicích Deep Space Network (DSN), tj. sítě, rozmístěné v USA, Španělsku a Austrálii a určené pro navigaci kosmických letů. Na každé stanici pracuje několik antén o různých průměrech od 26 do 64 m. Síť je známá pod zkratkou TEMPO (Time and Earth Motion Precision Observations). Do roku 1981 byla používána šířka pásma 30 MHz (rozdělená do 8 kanálů), po tomto datu 40 MHz (rozdělená do 6 kanálů). Protože prvotním úkolem sítě je především získávání údajů o orientaci Země v prostoru, nejsou počítány souřadnice jednotlivých antén, ale složky jednotlivých jejich spojnic (čísla antén, umístěných v Kalifornii, začínají cifrou 1, v Austrálii 4 a ve Španělsku 6). Uvedeny jsou v Tabulce 3. Přesnost lze charakterizovat středními chybami od jednoho do tří decimetrů.

Tabulka 3 - Složky základen mezi anténami DSN

	X (km)	Y (km)	Z (km)
12/43	-2110.45052	7334.34242	-7340.37996
13/43	-2109.76517	7337.83854	-7335.70586
14/42	-2107.35950	7323.75501	-7351.63483
14/43	-2107.27308	7323.70304	-7351.80134
15/42	-2107.44194	7324.06299	-7351.25253
15/43	-2107.35551	7324.01101	-7351.41904
14/61	7202.86640	4281.06297	437.83225
12/63	7199.53639	4291.79997	449.47828
13/63	7200.22174	4295.29610	454.15238
14/63	7202.71383	4281.16059	438.05691
15/63	7202.63140	4281.46857	438.43920
63/43	-9309.98691	3042.54245	-7789.85824
42/63	9310.07333	-3042.59442	7789.69173

Z uvedeného je zřejmé, že naprostý nedostatek stanic je na jižní polokouli - pouze v Jižní Africe a Austrálii je po jedné stanici. Žádná stanice není umístěna v zemích RVHP a protože ani ostatní moderní kosmické techniky nejsou dostatečně rozvinuty (v nové Mezinárodní službě rotace Země a tedy i v globálním terestrickém systému, je zařazena pouze jediná stanice - laserový dálkoměr druhé generace v Postupimi), jsou v jistém ohledu socialistické země naprosto závislé na Západě, pokud jde o orientaci zemského tělesa v prostoru i pokud jde o návaz-

nost na globální terestrický souřadnicový systém. Je zřejmé, že nastalá situace vyžaduje urychlený vývoj moderních kosmických technik, aby bylo zpoždění vyrovnáno a aby se země RVHP opět staly rovnoprávným partnerem na mezinárodním fóru. Pokud jde o rádiovou interferometrii z velmi dlouhých základen, byl již v roce 1980 v Akademii věd SSSR vypracován projekt POLIGAM, který předpokládal výstavbu tří velkých antén o průměru 64-70 m, propojených přes geostacionární družice tak, aby byl zajištěn jednotný časový a frekvenční normál pro všechny stanice. Ve druhé etapě měl být systém doplněn minimálně sedmi menšími radioteleskopy o průměru 25 - 30 m a značně širším přijímaném pásmu (50 - 100 MHz) tak, aby bylo pokryto celé území SSSR fázostabilní VLBI. Z různých důvodů nebyl projekt realizován a namísto něj byl nedávno vypracován a vládou schválen projekt KVAZAR, který z projektu POLIGAM vychází a poněkud jej modifikuje. Do r. 1995 se předpokládá vybudování 6 stanic jednotně vybavených anténami o průměru 32 m a několika menšími anténami (pro spojení přes družice, interferometrii družic atd.). Celá síť bude vybavena záznamovým zařízením, kompatibilním se systémem Mark III, aby bylo ulehčeno její propojení do globální celosvětové sítě. Pro zlepšení konfigurace celé sítě se uvažuje o umístění jedné ze stanic mimo území SSSR. Síť KVAZAR bude využívána k pravidelným pozorováním v rámci Mezinárodní služby rotace Země, v oblasti geodynamiky a radioastrometrie a rovněž k astrofyzikálnímu výzkumu.

6. Závěr

Metoda rádiové interferometrie z velmi dlouhých základen je vysoce perspektivní v řadě oborů včetně geodézie. Její nezávislost na tíhovém poli Země a na počasí do značné míry omezuje možnost vzniku systematických chyb a umožňuje prakticky nepřetržitě pozorování. Na druhé straně jde o projekt vysoce náročný technicky i finančně (předpokládaná cena jedné kompletní stanice sítě KVAZAR je cca 16 milionu rublů). Patrně nejschůdnější cesta jak získat stanici VLBI do ČSSR je účast na projektu AV SSSR KVAZAR, např. vývojem a výrobou některých částí pro všechny stanice u nás.

Literatura:

- [1] Gubanov, V.S. Uveděnije v radioastrometriju
- Finkelštejn, A.M. Nauka, Moskva 1983
- Fridman, P.A.

- [2] Thompson, A.R. Interferometry and synthesis in Radio Astronomy,
Moran, J.M. J. Wiley and Sons
Swenson, G.W.J. New York, 1986
- [3] Campbell, J. VLBI for Geodesy and Geophysics, Status and Pros-
pects, Internat
Conf. on VLBI Techniques, Toulouse 1982
- [4] Campbell, J. Proceedings of the 5th Working Meeting on Euro-
Shuh, H. (Eds) pean VLBI for Geodesy and Astrometry, Mitt.
Geod. Inst. Bonn, 1987
- [5] Sovers, O.J. Observation Model and Parameter Partialis for the
Fanselow, J.L. JPL VLBI Parameter Estimation Software "MASTER-
FIT" - 1986
JPL Publ. 83-39, Rev. 2, Pasadena 1986
- [6] Vondrák, J. Rádiová interferometrie z velmi dlouhých základen
Tlamicha, A. a možnost její aplikace v Československu (úvodní
studie)
Vědeckotechnická zpráva č. 48, ASÚ ČSAV Ondřejov,
1988
- [7] Bureau International de l'Heure: Annual Report for 1987, Paris et Sev-
res, 1988
- [8] Alekseev, V.A. Projekt "POLIGAM", Soobščeniya Specialnoj astro-
et al. fizičeskoy observatorii, vyp. 27-30, 1980
- [9] Jackiv, Ja.S. Radiointerferometričeskij kompleks "KVAZAR" - os-
novnyje zadači; koncepcija, parametry i ožidaje-
myje rezultaty
6th Internat Symp. Geodesy and Physics of the
Earth, Potsdam 1988

Došlo: 10. 9. 1988

K MOŽNOSTEM VYUŽITÍ RŮZNÝCH DRUHŮ TRANSFORMACÍ PRAVOÚHLÝCH ROVINNÝCH SOUŘADNIC

1. Úvod

Poměrně rozsáhlá oblast, zahrnující problematiku transformací pravoúhlých rovinných souřadnic, se dosud v praktických aplikacích značně zužovala hlavně na transformaci konformní, obvykle pouze prvního nebo druhého stupně. Použití jiného druhu transformace bylo v běžné geodetické praxi donedávna zcela vyjíméčné. Požadavek dosáhnout přijatelně malé odchylky na identických bodech se obvykle řešil stejně jako v dobách ručních výpočtů na mechanických kalkulačních strojích, tj. zmenšováním plochy jednotlivých oblastí pro výpočet transformačního klíče a nikoliv výběrem optimálního druhu a stupně transformace. Takto zjednodušený postup se stal v praxi jakousi osvědčenou univerzální metodou a byl s oblibou používán (bez ohledu na nové možnosti počítačů) jak pro transformace homogenních, tak i nehomogenních souřadnic.

Jaké konkrétní výsledky jsou dosažitelné v současné době při využití moderní výpočetní techniky u transformací na velkých částech zemského povrchu bylo ukázáno v [3]. I když zde byly ověřovány různé postupy v soustavě křivočarých souřadnic na elipsoidu a v soustavě pravoúhlých prostorových souřadnic, lze některé poznatky aplikovat i na mnohem častěji používané transformace v soustavě pravoúhlých rovinných souřadnic, kde - jak bude ukázáno - se rovněž nabízí řada nových, dosud nevyužívaných možností.

2. Použitelné postupy transformací homogenních souřadnic

Pojem transformace homogenních (stejnorodých) souřadnic vymezil prof. Böhm v [1] pro všechny úlohy, které řeší převod souřadnic mezi dvěma soustavami, v nichž byly vzájemné polohy jednotlivých bodů souřadnicově určeny z téhož vyrovnání trigonometrické sítě. Pro všechny konkrétně řešené případy bude proto typické, že přímá transformace pravoúhlých rovinných souřadnic nebude zahrnovat obtížně aproximovatelný vliv různého vyrovnání. Omezí se pouze na eliminaci rozdílů v relativních polohách bodů, způsobených použitím jiného kartografického zobrazení,

různých referenčních ploch, případně i vlivy různé polohy, měřítko a orientace téže trigonometrické sítě v obou vzájemně transformovaných soustavách.

Již z takto formulované podstaty transformace homogenních souřadnic je zřejmé, že použití pouze lineární, případně kvadratické konformní transformace nebude v řadě případů účelné. Největší nevýhodou těchto značně zjednodušených postupů je nesporně skutečnost, že se bude případ od případu měnit velikost plochy, pro kterou vyhoví tyto nejjednodušší transformace stanovenému požadavku, např. centimetrové přesnosti v souřadnicích.

Pro zcela rozdílně definovaná zobrazení (např. Gaussovo a Lambertovo) bude nezbytné při použití konformní kvadratické transformace počítat transformační klíče pro čtverce, jejichž strana nepřekročí délku cca 25 kilometrů. Bude-li však v obou vzájemně transformovaných soustavách použito stejné zobrazení (např. Gaussovo se shodně volenými poledníkovými pásy), vyhoví témuž požadavku centimetrové přesnosti plochy nesrovnatelně větších rozměrů, o stranách až několik stovek kilometrů dlouhých.

Dalším nepříznivým důsledkem jakéhokoliv dělení transformačních oblastí na plochy menších či větších rozměrů je narušení homogenity původního bodového pole. To se projeví nejvíce právě v blízkém okolí styků zmíněných ploch, kde jsou pro transformaci vzájemně blízkých bodů použity různé transformační klíče.

Nicméně za současného stavu, kdy při využití výkonné výpočetní techniky není rozhodující počet určovaných neznámých, ztrácejí dosud přežívající snahy použít co nejnižší stupeň transformace zcela své opodstatnění. Pro dosažení přijatelně malých odchylek v souřadnicích identických bodů bude proto nesporně vhodnější zvolit vyšší stupeň transformace a ten použít pro převod souřadnic všech bodů v celé transformační oblasti, bez jakéhokoliv jejího dělení.

Zmíněné zvýšení stupně transformace však v žádném případě nevyžaduje použití tradičně preferovanou transformaci konformní. Naopak (v souladu s poznatky ověřenými v [3]) větší počet určovaných koeficientů u transformace obecné umožní dosáhnout lepší výsledky než u stejného stupně transformace konformní.

Ověřovací výpočty prokázaly, že ve všech konkrétně vymezených transformačních oblastech bude možno použít obecnou transformaci druhého až čtvrtého stupně. U zcela rozdílně definovaných zobrazení plně postačí čtvrtý stupeň transformace i pro tak rozlehlou oblast, která je ohraničena např. ve směru východ-západ šířkou Gaussova šestistupňového pásu, tj. cca 450 km a ve směru sever-jih šířkou

zony Lambertova zobrazení, tj. cca 300 km. Patrně jedinou výjimkou, kde transformace čtvrtého stupně nebude pro požadavek centimetrové přesnosti v souřadnicích postačující, je přímý převod rovinných souřadnic na území ČSSR mezi Gaussovým a Křovákovým zobrazením.

Pokud bychom např. chtěli exaktně převést nové vyrovnání trigonometrické sítě na našem území zpět z Gaussova zobrazení do zobrazení Křovákova (pro dodatečné zkvalitnění původní JTSK), bylo by účelné použít pro přímý převod rovinných souřadnic obecnou transformaci 6. stupně.

Pro názornou představu, jak účinné je zvyšování stupně transformace u homogenních souřadnic, jsou v tabulce 1 shrnuty dosažené výsledky ověřovacích výpočtů a to pro nejnepříznivější případ Gaussova a Křovákova zobrazení. Jako kritérium použitelnosti příslušného stupně transformace, jak konformní tak i obecné, byly použity střední hodnoty zbytkových odchylek v souřadnicích identických bodů, které budou v dalším označovány symboly m_x a m_y .

Druh transformace	Západní část ČSSR ve 3.šestistupňovém poledníkovém pásu		Východní část ČSSR ve 4.šestistupňovém poledníkovém pásu	
	m_x	m_y	m_x	m_y
Konformní 2.stupně	13.65	13.60	5.94	7.37
Obecná 2. stupně	11.12	11.49	5.10	3.96
Konformní 3.stupně	0.56	0.50	0.19	0.21
Obecná 3. stupně	0.41	0.39	0.09	0.12
Konformní 4.stupně	0.043	0.053	0.016	0.013
Obecná 4. stupně	0.034	0.029	0.006	0.006
Obecná 6. stupně	0.003	0.003	0.002	0.002

Tabulka 1 - Střední hodnoty zbytkových odchylek na identických bodech

Údaje uvedené v tabulce 1 však nelze v plném rozsahu zobecňovat. Jde o výsledky zcela konkrétního vztahu mezi Křovákovým a Gaussovým zobrazením v šestistupňových poledníkových pásech, jimiž je celé území ČSSR rozděleno na dvě ověř-

řované transformační oblasti. U jiných konkrétních případů rozdílných zobrazení, s odlišně vymezenými plochami transformačních oblastí, lze očekávat hodnoty m_x a m_y poněkud nižší. Jejich výrazný pokles při zvýšení stupně transformace (zhruba o jeden řád) však zůstane zachován.

Naopak při shodné definici zobrazení v obou vzájemně transformovaných soustavách lze očekávat nesrovnatelně nižší hodnoty m_x a m_y než v tabulce 1. Proto také bude pro centimetrovou přesnost v souřadnicích ve velké většině případů postačující transformace 2. stupně a to i pro značně velké plochy transformačních oblastí.

Za jediný zcela obecný poznatek lze při transformacích homogenních souřadnic považovat plně potvrzené zjištění, že použití vyššího stupně transformace se vždy projeví výrazným snížením hodnot odchylek na identických bodech. Proto také bude možné ve všech konkrétních případech považovat každé zvýšení stupně transformace za plně oprávněné, pokud bude potřebné pro dosažení požadované přesnosti.

Při použití transformace homogenních souřadnic v praxi však půjde převážně o převody pravoúhlých rovinných souřadnic mezi systémy, jejichž vzájemný vztah byl již vyřešen v soustavě zeměpisných souřadnic, včetně eventuálního přechodu na jiný elipsoid. Na základě výsledků uskutečněných testů lze pro všechny praktické aplikace transformací homogenních souřadnic doporučit důsledné dodržování těchto zásad:

1. Pro výpočet koeficientů a konstant transformačních rovnic zásadně nedělit transformační oblasti na menší části.
2. Pro každou transformační oblast vybrat dostatečný počet identických bodů, které jí souvisle a rovnoměrně na celé ploše pokryjí. V případě použití různých zobrazení u vzájemně transformovaných soustav bude třeba čtyřiceti až padesáti identických bodů, u shodného zobrazení jich postačí deset až patnáct.
3. Pro všechny zvolené identické body pak bude nezbytné vypočítat (přes souřadnice zeměpisné a po jejich eventuální transformaci na elipsoidu) dostatečně přesné hodnoty pravoúhlých rovinných souřadnic v obou soustavách.
4. S použitím takto získaných dvojic souřadnic identických bodů empiricky ověřit nejnižší použitelný stupeň transformace (nejčastěji obecné, vyjimečně i konformní), který vyhoví požadované přesnosti.

5. Ověřeným optimálním druhem a stupněm transformace uskutečnit hromadný převod pravoúhlých rovinných souřadnic všech bodů z původní soustavy do nové.

3. Použitelné postupy transformací nehomogenních souřadnic

Pokud se budeme zabývat převodem souřadnic mezi dvěma soustavami, v nichž byly určeny polohy bodů z různých triangulací nebo z různých vyrovnání trigonometrických sítí, půjde vždy o tzv. transformace nehomogenních (nestejnorodých) souřadnic. Pro všechny konkrétně řešené případy bude proto typické, že cílem transformace pravoúhlých rovinných souřadnic bude odstranění nebo alespoň patrné snížení obtížně aproximovatelných vlivů různého vyrovnání. Nelze tedy očekávat, že by byl pro splnění tohoto cíle použitelný stejný postup jako u homogenních souřadnic, tj. zvyšování stupně transformace na velké ploše území. Naopak, zmenšování ploch oblastí pro převod souřadnic pomocí téhož transformačního klíče bude v tomto případě (i přes veškeré nevýhody nespojitých lokalit) nesporně účinnější:

Pro získání představ, jak lze postihnout separovaný vliv různého vyrovnání trigonometrické sítě různými druhy transformací, byla uskutečněna řada ověřovacích výpočtů. Jako ukázka může dobře posloužit příloha 1, zahrnující ověřovanou lokalitu A (oblast I), souvisle pokrytou 262 trigonometrickými body prvního až čtvrtého řádu na ploše 50 x 50 km. Jejich dvojí souřadnice pocházejí z různých vyrovnání uskutečněných na různých elipsoidech. Pro převod zeměpisných souřadnic na rovinné však byly v obou případech použity shodné rovnice Gaussova zobrazení. Do jaké míry lze snižovat střední hodnoty zbytkových odchylek na identických bodech postupným zmenšováním lokality A (nejprve na plochu 30 x 30 km a konečně na plochu 10 x 10 km) je zřejmé z příloh 2 a 3.

Pozn.: Kromě již definovaných charakteristik m_x a m_y jsou v přílohách uváděny i střední hodnoty odchylek polohových

$$m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}.$$

Poněvadž v obou vzájemně transformovaných soustavách bylo použito stejné zobrazení, charakterizují hodnoty m_x , m_y a m_p přesnost, s jakou lze ověřovanými druhy transformací postihnout na plochách různých rozměrů právě sledovaný vliv různého vyrovnání.

I když tyto charakteristiky zřejmě budou v různých lokalitách dosahovat poněkud jiných hodnot, nelze očekávat, že budou výrazně odlišné. Další ověřovaná lokalita B s 312 identickými body rovněž na ploše 50 x 50 km (stejným postupem zmenšovaná na 119 bodů na ploše 30 x 30 km a 11 bodů na ploše 10 x 10 km) dala prakticky shodné hodnoty m_x , m_y a m_p jako v přílohách 1 až 3.

Výsledky všech ověřovaných lokalit různých velikostí jednoznačně prokázaly, že konformní transformace jsou zvláště pro nehomogenní souřadnice zcela nevhodné. Mnohem menší hodnoty charakteristik m_x , m_y a m_p lze dosáhnout při použití transformací obecných a na čtvercových plochách do 2500 km² dokonce i u transformace projektivní. Údaje uvedené v přílohách 1 až 3 navíc plně potvrzují předchozí závěr, že pro eliminaci vlivu různého vyrovnání trigonometrické sítě je nesporně účinnější zmenšování ploch transformačních oblastí než zvyšování stupně transformace.

I přes tuto skutečnost by však nebylo plně oprávněné se spokojit s faktem, že např. obecná nelineární transformace dává u nehomogenních souřadnic na ploše 10 x 10 km přijatelné výsledky a výhradně tento postup v praxi prosazovat.

U nejčastějších praktických aplikací půjde většinou o využití transformací k hromadnému převodu souřadnic trigonometrických bodů nejnižších řádů do nově vyrovnané sítě vyšších řádů. A právě zde by bylo žádoucí, aby spojitost nového vyrovnání nebyla narušena sebemenšími zlomy, které nutně vznikají na okrajích čtverců, v nichž jsou použity různé transformační klíče.

Jedním z použitelných postupů, u něhož k těmto zlomům a nespojitostem nedochází, je transformace Jungova. Ta, jak známo, přisuzuje jednotlivých transformovaných bodům posuny souřadnic ΔX a ΔY , které jsou vypočteny váženým aritmetickým průměrem z hodnot posunů na okolních identických bodech. Váhy se obecně přisuzují nepřímo úměrně k-tým mocninám vzdáleností transformovaného bodu od příslušného bodu identického.

Na rozdíl od obvykle užívané volby

$$1 \leq k \leq 2$$

byly výsledky testů ve dvou ověřovaných lokalitách zásadně jiné. Na plochách 30x30 km (s překrytem na okrajích 10 km) se při hustotě trigonometrických bodů 4.řádu ukázala jako optimální volba

$$4 \leq k \leq 5,$$

u níž střední hodnoty skutečných chyb v souřadnicích (vypočtené v obou případech

z více než 100 bodů) dosahovaly minima, tj. 0,010 m až 0,011 m.

Nicméně Jungova transformace není jedinou cestou, kterou je možné se přiblížit k hodnotám vyrovnaných souřadnic bez jakýchkoliv zlomů a nespojitostí v transformované síti. Z výsledků testů shrnutých v přílohách 1 až 3 je zřejmé, že u všech ověřovaných druhů transformací klesají hodnoty m_x , m_y , m_p v závislosti na postupně zmenšovaném počtu použitých okolních identických bodů. Takže, budeme-li postupně jejich počet dále redukovat a platnost vypočteného transformačního klíče omezíme pouze na jediný bod, dospějeme k pojmu tzv. "lokálních transformací". A právě tyto lokální transformace, v nichž pro převod každého jednotlivého bodu se použije pouze optimální počet nejbližších okolních identických bodů, by měly dát výsledky srovnatelné s transformací Jungovou.

Tato úvaha byla podnětem pro uskutečnění dalších ověřovacích výpočtů. Jejich dílem bylo empiricky určit (ve dvou různých lokalitách nově vyrovnané trigonometrické sítě do 4. řádu) optimální počet okolních identických bodů pro lokální použití některých nekonformních druhů transformací, které se v přílohách 1 až 3 ukazovaly jako apriorně vhodné.

Výsledkem těchto testů bylo zjištění, že střední hodnoty skutečných chyb v souřadnicích \bar{m}_x , \bar{m}_y (i z nich vypočtená \bar{m}_p) dosáhnou v obou ověřovaných oblastech minima, pokud bude použitý počet nejbližších identických bodů o 50 až 70 procent větší, než je počet nezbytný. Konkrétní dosažené výsledky jsou shrnuty v tabulce 2, kde u ověřovaných druhů transformací je symbolem m označen minimální (nezbytný) počet nejbližších identických bodů a symbolem n počet optimální.

Druh transformace	Počet identických bodů	
	m	n
Afinní	3	5
Projektivní	4	6
Obecná 2. stupně	6	10
Obecná 3. stupně	10	16
Obecná 4. stupně	15	25

Tabulka 2 - Minimální a optimální počet identických bodů

Jistou představu o tom, jaká přesnost je dosažitelná u ověřovaných pěti druhů lokálních transformací i u transformace Jungovy, dávají střední hodnoty sku-

tečných chyb \bar{m}_x , \bar{m}_y , \bar{m}_p uvedené pro oblast I (lokalitu A) v příloze 4. Pro toto vzájemné porovnání byl použit u všech lokálních transformací optimální počet n nejblížejších identických bodů. U Jungovy transformace jsou kromě optimální hodnoty exponentu $k = 4$ uvedeny výsledky i pro volbu $k = 2$ a $k = 1$. Vzhledem k tomu, že kritéria přesnosti \bar{m}_x , \bar{m}_y a \bar{m}_p jsou nesporně průkaznější a nabývají vyšších hodnot než charakteristiky m_x , m_y , m_p (použité v přílohách 1 až 3), je možné považovat dosažené výsledky lokálních transformací za velmi příznivé.

I když v různých lokalitách dosáhnou střední hodnoty skutečných chyb \bar{m}_x , \bar{m}_y , \bar{m}_p poněkud jiných hodnot, nelze očekávat, že budou výrazně odlišné. Další ověřovaná oblast II (se 119 body rovněž na ploše 30 x 30 km) dala prakticky shodné výsledky jako příloha 4. Proto je možné považovat v podstatě všechny ověřované druhy lokálních transformací za plně použitelné v praxi, pokud budou suplovat převod souřadnic do bodového pole srovnatelné hustoty, tzn. do nově vyrovnané trigonometrické sítě prvního až čtvrtého řádu.

4. Závěr

Netradiční pohledy na problematiku transformací v soustavě pravoúhlých rovinných souřadnic a s nimi související nové poznatky, získané z ověřovacích výpočtů, by neměly zůstat jen na papíře. Nesporným přínosem současné geodetické praxi v oblasti převodů homogenních souřadnic by bylo zpracování výpočetního programu pro obecné transformace s možností volby alespoň druhého, třetího a čtvrtého stupně. Dále by bylo třeba programově připravit minimálně dvě z ověřovaných lokálních transformací a to s volitelným počtem nejblížejších okolních identických bodů. Pro nehomogenní souřadnice v tomtéž kartografickém zobrazení (konkrétně pro převod do pole trigonometrických bodů prvního až čtvrtého řádu) by byla zřejmě nejvhodnější lokální projektivní transformace. Naopak pro přímý převod nehomogenních souřadnic mezi soustavami s různým kartografickým zobrazením by za jistých předpokladů byla optimální lokální obecná transformace 2. stupně.

Po zkušenostech získaných z poměrně rozsáhlých ověřovacích výpočtů lze pro zpracování zmíněných výpočetních programů zcela jednoznačně doporučit počítač SM 4-20. Ten dává programátorovi možnost plně využívat režim dialogu s uživatelem, např. mu nabídnout, aby během výpočtu podle potřeby sám volil případně měnil stupeň transformace, aby zadal čísla identických bodů, které požaduje vyloučit, aby se rozhodl pro formu výstupu (na obrazovku případně i na tiskárnu) apod. I když se na první pohled zdá, že kapacita paměti počítače SM 4-20 (64 kB pro jednu úlo-

hu) je poněkud malá, je pro programy z oblasti převodů souřadnic plně postačující. Praktické zkušenosti prokázaly, že složitější druhy ověřovaných transformací lze programově vyřešit pro 300 identických bodů, jednodušší dokonce pro 500 až 700 identických bodů.

Literatura:

- [1] Böhm, J. Transformace souřadnic v geodesii
Praha 1948
- [2] Nevosád, Z. Základní souřadnicové výpočty v geodézii
II. díl, Brno 1974
- [3] Prachař, J. K možnostem transformací souřadnic v družicových
sítích
In: Vojenský topografický obzor, 1987, č. 2

Došlo: 8. 3. 1989

OBLAST I 262 IDENTICKÝCH BODŮ NA PLOŠE 50 X 50 KM

L I N E Á R N Í T R A N S F O R M A C E

D r u h	m_x	m_y	m_p
Podobnostní	0.052	0.046	0.069
Afinní	0.045	0.038	0.059
Projektivní	0.033	0.024	0.041

K O N F O R M N Í N E L I N E Á R N Í T R A N S F O R M A C E

D r u h	m_x	m_y	m_p
2.stupně	0.034	0.041	0.053
3.stupně	0.032	0.040	0.051
4.stupně	0.032	0.039	0.050

O B E Č N Á N E L I N E Á R N Í T R A N S F O R M A C E

D r u h	m_x	m_y	m_p
2.stupně	0.017	0.020	0.026
3.stupně	0.015	0.018	0.023
4.stupně	0.013	0.015	0.020
6.stupně	0.011	0.012	0.016

OBLAST 1 107 IDENTICKÝCH BODŮ NA PLOŠE 30 X 30 KM

L I N E Á R N Í T R A N S F O R M A C E

D r u h	m_x	m_y	m_p
Podobnostní	0.027	0.027	0.038
Afinní	0.022	0.021	0.030
Projektivní	0.015	0.017	0.023

L I N E Á R N Í N E L I N E Á R N Í T R A N S F O R M A C E

D r u h	m_x	m_y	m_p
2.stupně	0.021	0.026	0.033
3.stupně	0.019	0.027	0.033
4.stupně	0.019	0.027	0.033

O B E Č N Á N E L I N E Á R N Í T R A N S F O R M A C E

D r u h	m_x	m_y	m_p
2.stupně	0.014	0.017	0.022
3.stupně	0.012	0.013	0.018
4.stupně	0.010	0.011	0.015
6.stupně	0.008	0.010	0.013

OBLAST 1 15 IDENTICKÝCH BODŮ NA PLOŠE 10 X 10 KM

L I N E Á R N Í T R A N S F O R M A C E

D r u h	m_x	m_y	m_p
Podobnostní	0.019	0.018	0.026
Afinní	0.009	0.009	0.013
Projektivní	0.008	0.010	0.013

K O N F O R M N Í N E L I N E Á R N Í T R A N S F O R M A C E

D r u h	m_x	m_y	m_p
2.stupně	0.018	0.018	0.025
3.stupně	0.018	0.017	0.025
4.stupně	0.017	0.017	0.024

O B E C N Á N E L I N E Á R N Í T R A N S F O R M A C E

D r u h	m_x	m_y	m_p
2.stupně	0.005	0.006	0.008
3.stupně	0.003	0.005	0.006

OBLAST I 107 OVĚŘOVANÝCH BODŮ NA PLOŠE 30 x 30 KM

L O K Á L N Í T R A N S F O R M A C E

D r u h	Střední hodnoty skutečných chyb		
	\bar{m}_x	\bar{m}_y	\bar{m}_p
Projektivní n = 6	0.008	0.009	0.012
Obecná 2.stupně n = 10	0.008	0.010	0.013
Obecná 3.stupně n = 16	0.009	0.010	0.013
Obecná 4.stupně n = 25	0.008	0.010	0.013
A f i n n í n = 5	0.009	0.011	0.014
J u n g o v a			
k = 4	0.010	0.011	0.015
k = 2	0.011	0.013	0.017
k = 1	0.013	0.014	0.019

AUTOMATIZACE INŽENÝRSKÝCH PRACÍ V KARTOGRAFII

1. Úvod

Proces elektronizace vytváří základ pro intenzifikaci československého národního hospodářství a zasáhne ve svých důsledcích všechny oblasti společenského i hospodářského života. Zavádění mikroprocesové techniky a její začlenění do vyšších řídicích systémů přináší nové požadavky na zpracování a manipulaci s digitálními informacemi. Tato skutečnost vyvolává potřebu budování nových informačních sítí. "Primární služby" zabývající se sběrem a distribucí informací jsou zcela přirozeně nuceny připravovat informační báze s perspektivním obsahem na další desítky let. Sběr informací a jejich aktualizace je proces dlouhodobý, nepřetržitý a ekonomicky náročný. Přesto řešení této problematiky nelze odkládat. Právě naopak. Ukazuje se, že úspěšné nasazení prostředků počítačové informatiky v hospodářství je limitováno především nedostatkem národních informačníchází. Zaostávání za potřebami společnosti má přímý vliv na intenzifikační procesy v hospodářství a může mít za následek další prohloubení nerovnováhy za vyspělými státy.

Požadavek na rychlejší a kvalitnější uspokojování potřeb uživatelů kartografických produktů nezbytně vyvolává hledání a vývoj nových technologií, prostředků a metod pro práci s kartografickými informacemi. Úkol dosáhnout vyšší efektivity výroby klasických mapových děl i vysoké technické úrovně kvalitativně nových druhů kartografických produktů vyžaduje systémový přístup ke zkvalitnění celého výrobního procesu a k vytváření zcela nových technologií s vysokým stupněm automatizovaných operací.

Splnění stanovených cílů předpokládá zvýšení produktivity práce tvůrčích pracovníků především v oblasti výzkumu, vývoje a v předvýrobních projekčních etapách. Perspektivní technické vybavení výzkumných pracovišť je základem pro rychlé projektování, ověřování nových technologických postupů pro praxi. Právě slabá vybavenost moderními technickými prostředky, zejména výpočetní technikou a prostředky počítačové grafiky, je příčinou pomalejšího růstu produktivity práce výzkumných pracovníků, projektantů a technologů v technické přípravě výroby. O vážnosti

této problematiky v Československu svědčí i vysoká pozornost státní politiky technickému rozvoji právě citovaných pracovišť.

Cílem příspěvku je seznámit příslušníky topografické služby s projektem automatizace inženýrských prací do roku 2000 a s předpokládanými etapami jeho praktické realizace v národním hospodářství, jakož i nastínit význam a přínos zaváděných mikropočítačových interaktivních grafických stanic pro výzkum a vývoj nových technologií v kartografii.

2. Rozvoj automatizace inženýrských prací v československém národním hospodářství

K překonání nepříznivého stavu v celkovém uplatňování vědecko-technického pokroku v československém národním hospodářství uložila vláda ČSSR svým usnesením 170/86 státní komisi pro vědecko-technický a investiční rozvoj (SK VTRI) zajišťovat státní cílový program 08 "Rozvoj materiálně technické základny pro elektronizaci národního hospodářství".

Celý program elektronizace v 8. pětiletce byl rozdělen do pěti oblastí:

- 1) automatizace řízení výrobních a technologických procesů,
- 2) automatizace konstrukčních, projektových a programovacích prací,
- 3) automatizace funkcí jednotlivých strojů, přístrojů a zařízení určených pro výrobu, měření, kontrolu a diagnostiku,
- 4) automatizace řízení organizací a nevýrobních procesů,
- 5) uplatnění elektroniky ve výrobcích a zařízeních určených pro osobní potřebu.

Nasazování počítačů do procesu navrhování, konstrukce a prakticky do všech předvýrobních oblastí je v současné době jedna z nejprogresivněji se rozvíjejících aplikací moderních prostředků výpočetní techniky. Komplexní program automatizace konstrukčních; projektových a programových prací, dále jen automatizace inženýrských prací (AIP) si klade za cíl odstranění nežádoucí nerovnováhy mezi požadavky výroby a praxe a mezi produktivitou práce v předvýrobních projekčních etapách. Cíle programu bude dosaženo mimo jiné i komplexní elektronizací a automatizací předvýrobních pracovišť. Předpokládá se zavedení automatizace u 40-60 % projektových, výzkumných a technologických organizací. Již v 8. pětiletce budou především dovozovou technikou zabezpečeny školící zařízení k přípravě kádrů a ty oblasti, kde uplatnění lokálních systémů počítačové grafiky přinese co nejrychleji nejvyšší společenské efekty.

Perspektivní a jednotný postup při zabezpečování rozvoje automatizace inženýrských prací v čs. národním hospodářství je zajištěn praktickou realizací z jediného místa (Ústav pro využití výpočetní techniky v Praze) a cílevědomým řízením státní komisí pro vědecko-technický a investiční rozvoj.

Program zajišťuje jednotnou technickou politiku. Vytvořením 3-úrovňové hierarchie mikropočítačových systémů A1, A2 a A3 (základní technické parametry jsou uvedeny v tabulce), bude zabezpečena technická slučitelnost systémů. Plošným nasazením lokálních mikropočítačových stanic dojde k lepšímu využití výpočetní techniky a k postupnému budování počítačových sítí. Jednotlivé systémy budou budovány na principu typových konfigurací důsledně kompatibilních s výrobky firmy IBM, což vytvoří podmínky pro rozšiřitelnost základních konfigurací podle potřeb uživatele, přenositelnost programového vybavení, přispěje ke zjednodušení obchodně-technických služeb, servisu a pod.

Konfigurace	CPU	Vnitřní paměť	Vnější paměť	Monitor	Další zařízení
A1	8086 (8087) 16 bit.	512 kB	FD 360 kB HD 20 MB	EGA, 14" (640x350)	Tiskárna
A2	80286(80287) 16 bit.	2 MB	FD 1,2 MB HD 40 MB	SUPEREGA 14" (800x600)	Tiskárna, myš, plošný zapisovač A3
A3	80286(80287) 16 bit.	2 MB	FD 1,2 MB HD 40 MB	HERCULES + 14" ARTIST 10 20" (1280x1024)	Tiskárna, tablet, plošný zapisovač

Poznámka: Sestavy C0, C1 a C2 budou představovány 32 bitovými počítači typů APO-LLD, SMEP a JSEP. Základní konfigurace lze rozšířit o další vnější a vnitřní paměti, plošné skenery, laserové tiskárny, modem apod.

Pro komplexní řešení a provoz rozsáhlých problémů v oblasti informatiky a automatizovaných systémů řízení jsou určeny konfigurace C0, C1 a C2. Představují vysoce výkonnou techniku umožňující práci s operačním systémem UNIX a implementací GKS. Postupně dojde k propojování obou skupin počítačů a budování rozsáhlých systémů zpracování informací.

Významné jsou rovněž záměry v oblasti zabezpečení programového vybavení. Základní programové vybavení systémů A1, A2 a A3 bude představovat operační systém MS DOS verze 3.2 a vyšší, pro typové konfigurace C0, C1 a C2 je nutné se orientovat na implementaci operačního systému typu UNIX. Z překladačů by mělo být využíváno produktů vyhovujících mezinárodním normám převážně od jediné firmy (např. Microsoft). Základ by měly tvořit překladače FORTRAN, PASCAL, C, MACROASSEMBLER, TURBO PASCAL a další. Programové vybavení pro grafiku bude vycházet z normy GKS. Systémy řízení báze dat, textové procesory, speciální programovací nástroje bude možné omezit na minimum pro jednotlivé třídy konfigurací.

Jednotná politika v oblasti technických prostředků a operačních systémů významně ovlivní využití a vývoj aplikačního programového vybavení (APV).

Provoz dovozového programového vybavení umožní překlenutí počátečního nedostatku vlastního APV. Předpokládá se zavádění projektů určených pro koncové uživatele. Jedná se především o integrované projekty zaměřené na zpracování personalistiky, materiálového hospodářství a administrativy (Open Access II, Framework II, IBM Assistent a pod.), grafické procesory tzv. ACADY, databázové a tabulkové systémy (dBASE III, LOTUS 1-2-3, Symphony ...) a další. Vlastní programové vybavení bude řešeno nad jednotným operačním systémem. Bude zabezpečena přenositelnost programů, což podstatně zvýší užitnou hodnotu projektů a sníží celospolečenské náklady na vývoj APV.

Program AIP předpokládá jednotné řízení vývoje a distribuce programového vybavení s cílem zamezit duplicitám v řešení úkolů a zabezpečit koncentraci sil do rozhodujících oblastí čs. národního hospodářství.

Program automatizace inženýrských prací bude uskutečněný ve dvou časových a věcných horizontech. Prvním rozhodujícím krokem je do roku 1990 vybudovat v čs. národním hospodářství 2000 pracovišť AIP a to ve třech následujících etapách.



První etapa (nasazení 100 mikropočítačových pracovišť do konce roku 1987), představovala výchozí etapu přechodu na jednotnou technickou a programovou bázi. Jejím účelem bylo vybavit ty organizace, které se spolupodílí na rychlém rozvoji AIP.

Druhá etapa (nasazení 400 mikropočítačových pracovišť do konce roku 1988), představovala prvou fázi plošného nasazení prostředků AIP. Jejím cílem bylo vytvoření školících a vzorových pracovišť pro posouzení a výzkum programového vybavení.

Třetí etapa (nasazení 1500 mikropočítačových pracovišť do 12/89), bude mít charakter plošného nasazení pracovišť v působnosti celé ČSSR. Cílem etapy je zabezpečit technikou rozhodující oblasti národního hospodářství, především výzkumné a projektové organizace.

Realizací uvedených etap budou vytvořeny příznivé podmínky především v oblasti přípravy APV a kádrů pro komplexní využití výpočetních prostředků a pro budování informačních sítí v Československu. Plné naplnění cílů programu AIP pak bude pokračovat do roku 2000. Celkem se předpokládá zavedení cca 30 000 automatizovaných pracovišť.

Do současné doby proběhla I. a II. etapa uvedeného programu. Obě etapy ukázaly správnost vytýčených cílů a potvrdily reálnost programu AIP a prováděcích projektů jednotlivých etap. Využívání mikropočítačových stanic v Československu je v počátcích a přináší první zkušenosti. Za hlavní přínos je považována koncepčnost, cílevědomost a vysoká úroveň řízení a realizace celé akce. Vlastní technické prostředky dosud přivezené vykazují vysokou kvalitu, spolehlivost a plnou kompatibilitu s výrobky firmy IBM. Řada organizací provedla zkoušky techniky ve svých provozech se zahraničním programovým vybavením. Jsou získány zkušenosti s propojením na současně využívanou výpočetní techniku (SMEP, JSEP) a sestaveny první lokální mikropočítačové sítě (např. ČKD Praha). Hodnocení zasílaná na Ústav pro využití výpočetní techniky v Praze jsou vysoce pozitivní a jsou dokladem toho, že využití této techniky je perspektivní ve všech oblastech národního hospodářství.

3. Význam technických a programových prostředků pro kartografii

K hlavním úkolům topografické služby patří tvorba a obnova topografických a speciálních map a zabezpečení štábů a vojsk aktuálními informacemi o území státu. V důsledku pronikání vědecko-technického rozvoje do vojenství vzrůstají informační potřeby uživatelů. Vznikají kvalitativně nové požadavky na obsah a formu poskytování informací o topografické realitě. Významnými se stávají i ty informace, které nejsou obsahem topografických map. Tato skutečnost již vedla ke zpracování a rozšíření velkého rozsahu speciálních map. Udržování obsahové správnosti a aktuálnosti rozsáhlého mapového fondu je velmi pracné a ekonomicky náročné. Narůstající požadavky na poskytování digitálních kartografických informací vyvolávají potřebu budování automatizovaných technologií a systémů.

Projektování topografických a speciálních map je v topografické službě zabezpečováno převážně konvenčními postupy. K vlastní výrobě geodetických, kartografických a geografických produktů jsou využívány účelové automatizované technologie s minimálními předpoklady pro další racionalizaci a pronikavější zvýšení produktivity práce i kvality map.

Východiskem a řešením uvedeného problému je automatizovaná tvorba map a uplatnění automatizace ve zpracování kartografických a geografických informací. Především databankové technologie se jeví jako vysoce perspektivní. Banka dat je nástrojem umožňujícím víceúčelové a vícenásobné využití optimálně organizovaného datového fondu.

Informačně naplněná banka kartografických dat společně s technickoprogramovým zabezpečením sběru a výstupu dat zásadně ovlivní dosavadní přístupy ke kartografickým informacím a umožní vznik nových technologií tvorby map. Přínos je třeba spatřovat rovněž ve vzniku nových možností velení a řízení vojskům při využití digitálních ekvivalentů map. Počítačově zpracované kartografické informace budou využívány nejen k řízení speciální techniky, ale zkvalitní i řízení operací velitelů. Banka kartografických dat umožní vložení informací, které dosud nebyly zobrazeny na mapách, nebo byly možná nesprávně generalizovány. Budou zpřístupněny požadované koncentrované informace důležité pro přijetí rozhodnutí. Perspektivní pohledy na území z různých stanovíšť a směrů umožní komplexní studium terénu a vyhodnocení bojové situace.

Zvláštní význam bude mít systém automatizovaného zpracování kartografických a geografických informací pro tvorbu a obnovu map středních měřítek. Informační fond bude průběžně udržován z dostupných podkladů, především leteckých a kosmických snímků. Grafické výstupy (tiskové podklady) budou vytvářeny na základě automatizované registrace změn, nebo podle požadavků uživatele.

Prvotní naplnění banky kartografických dat informacemi bude ekonomicky náročné. Významné ekonomické efekty lze očekávat teprve v oblasti využití a aplikací. Efektivnost automatizovaných technologií se promítne především do aktuálnosti, přesnosti a kvality poskytovaných informací a ve svých důsledcích výrazně zvýší užitnou hodnotu a společenskou prospěšnost produkce topografické služby.

Zabezpečení technických prostředků pro oblast automatizace zpracování kartografických a geografických informací je v podmínkách dosaženého vědecko-technického rozvoje zatím limitující podmínkou. Právě nedostatek vhodné techniky a především prostředků interaktivní počítačové grafiky výrazně přispěl k tomu, že

vývoj technologií, ať již v oblasti automatizovaného získávání kartografických informací a jejich ukládání do banky dat, tak v oblasti aplikací zaostává za současnými potřebami. V československém národním hospodářství zaváděné mikro a mini-počítačové interaktivní grafické systémy pod hlavičkou programu automatizace inženýrských prací budou mít pro další vývoj vojenské kartografie mimořádný význam.

Zahraniční technika zaváděná již do roku 1990 bude mít zásadní přínos především pro výzkum a vývoj nových technologií sběru, zpracování a výstupů informací. Budou zpřístupněny dosud nedostatkové systémy počítačové grafiky s barevným rastrovým digitálním zobrazením, s vysokou rozlišovací schopností a s grafickou interakcí. Tyto umožní výzkum a vývoj metod digitálního zpracování kartografického obrazu. Výrazně efektní jsou technologie grafických vstupů z rastrových dat. Umožňují využívání prvků umělé inteligence, analýzu a rozpoznání obrazu. Technologie grafických výstupů využívají výstupní zařízení počítačové polygrafie, kde lze elektronickým zpracováním získat vysoce kvalitní barevné originály, nebo barevné výtahy, či přímo zhotovit tiskové podklady pro ofsetový tisk.

Technické a programové vybavení zahraničních firem umožňuje okamžité nasazení v oblasti podnikové personalistiky a materiálové evidence.

Program automatizace inženýrských prací vytváří vnější podmínky pro rozvoj kartografie. Svým rozsahem zabezpečí plošné nasazení slučitelných výpočetních prostředků v rámci ČSSR, což umožní organizovanou výměnu programových produktů a především informačních fondů, vývoj a využití standardních technologií. Vlastní technické prostředky představují světový standard, který respektují nejen uživatelé výpočetní techniky, ale i výrobci dalších přídavných zařízení (tiskárny, skenery, plottery, systémy počítačové polygrafie a pod.). Technická slučitelnost těchto prostředků je základem pro budování vyšších uživatelských systémů.

Zaváděné 16-ti a 32 bitové mikropočítače s výkonnými přídavnými zařízeními a s vysokou podporou firemního a základního programového vybavení jsou zárodkem pro rychlý vývoj automatizovaného kartografického systému.

4. Závěr

Program automatizace inženýrských prací zajišťovaný státní komisí pro vědecko-technický a investiční rozvoj vytyčuje cílový stav a stal se jedním ze základních nástrojů intenzifikace hospodářství. Především jednotná technická koncepce umožňuje budování a rozšíření komunikačních sítí a vede k perspektivnímu využití

informatiky v praxi. Využívání grafické výpočetní techniky a informačních sítí je v ČSSR na samém počátku. Intenzivní zavádění a využívání nové techniky si vynucuje objektivní potřeba společnosti.

Je proto nutné urychlit výchovu a přípravu budoucích uživatelů a vytvořit podmínky pro rychlý rozvoj zcela nových technologií i ve vojenské kartografii a geografii.

Literatura:

- Urban, I. Rozvoj automatizace inženýrských prací v čs. hospodářství
Zpráva, ÚVVTR Praha, 1988
- Moravec, D. Modelování automatizované tvorby topografických map
Doktorská disertační práce, VS 090, Praha 1986
- Sborník 8. kartografické konference
listopad 1987, Pardubice
- Koncepce automatizovaného zpracování kartografických a geografických informací
FMNO Praha, 1988

Došlo: 4. 10. 1988; autorské korektury: 12. 1. 1990

LASEROVÝ DRUŽICOVÝ DÁLKOMĚR LD-3

1. Úvod

V současných sítích kosmické triangulace je třeba znát kromě měřených směrů, určených fotografickými observačními metodami také délky základen. Jejich určování klasickým měřením pomocí pozemních elektrooptických dálkoměrů je však značně pracné, zdlouhavé a nákladné. Proto se prakticky již od roku 1960, kdy se podařilo realizovat kvantový generátor světla s krystalem rubínu jako aktivní látkou, intenzivně vyvíjí úsilí ve vývoji laserových družicových dálkoměrů pro přímá délková měření stanice-družice.

Předmětem měření je přímá topocentrická vzdálenost k UZ, která se určuje zprostředkovaně z tzv. tranzitních časů mezi vysláním a příjmem úzce směřovaných krátkých laserových pulsů, které se pomocí známé rychlosti světla ($c = 299\,792\,458 \pm 1,2 \text{ ms}^{-1}$) a fyzikálních korekcí převedou na potřebnou centrovanou délku.

2. Družice vhodné pro laserové observace

Pro měření topocentrických vzdáleností k UZ jsou vhodné pouze speciální družice, vybavené koutovými odražeči, zabezpečujícími dostatečně účinný a směřovaný odraz laserového záření. Úspěšnost měření závisí podstatnou měrou na velikosti přijatého signálu od UZ. K vyjádření energetické kalkulace mezi energií vyslaného a přijatého laserového pulsu se používá klasický Plotkinův vzorec

$$\bar{E} = E \cdot \frac{P_d \cdot P_p}{\Omega_e \cdot \Omega_d \cdot R^4} \cdot k^2 \cdot K \quad (1)$$

anebo po úpravě

$$\bar{E} = E \cdot \frac{D_d^2 \cdot D_p^2}{\omega_e^2 \cdot \omega_d^2 \cdot R^4} \cdot k^2 \cdot K, \quad (2)$$

přičemž jednotlivé symboly značí:

\bar{E} - energii přijatou laserovým přijímačem,

E - energii vyzářenou laserovým vysílačem,

- R - topocentrickou vzdálenost družice,
- P_d - efektivní plochu odražečů na družici,
- P_p - efektivní plochu přijímače,
- D_d - efektivní průměr odražečů na družici,
- D_p - efektivní průměr přijímače,
- Ω_e - prostorový úhel vyzařovaného svazku,
- Ω_d - prostorový úhel odraženého svazku,
- ω_e - divergenci vyzařovaného svazku,
- ω_d - divergenci odraženého svazku,
- k - koeficient atmosférické propustnosti,
- K - korekční koeficient.

Přitom P_d a P_p jsou efektivní hodnoty s uvážením ztrát v optických systémech.

Z (2) lze vyjádřit počet přijatých fotoelektronů:

$$N = \frac{1}{2\pi} \cdot \eta_b \cdot \frac{E \cdot D_p^2 \cdot \eta_c}{\omega_e^2 \cdot h \cdot \rho} \cdot \frac{\sigma \cdot k}{R^4}, \quad (3)$$

kde kromě již uvedených veličin dále značí:

- η_b - účinnost fotonásobiče,
- η_c - celkovou účinnost systému,
- σ - tzv. radarový příčný rozptylový řez (závislý na orientaci UDZ v prostoru),
- h - Planckovu konstantu,
- ρ - frekvenci laserového záření.

Důležitou neznámou v této rovnici je hodnota σ , jejíž relativní velikosti, dělené čtvrtou mocninou vzdálenosti k UDZ, jsou sestaveny pro některé v minulosti nebo dosud používané UDZ v tabulce 1, kde je navíc uveden též parametr P_d/Ω_d některých odrazných reflektorů.

U družice GEOS C je dána vzrůstající úroveň signálu směrem k větším zenitovým vzdálenostem umístěním koutových odražečů na plášti kuželové plochy s vrcholovým úhlem kolem 45° .

Koeficient atmosférické propustnosti lze vyjádřit v závislosti na zenitové vzdálenosti z vztahem:

$$k = e^{(-\tau \cdot \cos z)}, \quad (4)$$

$$\text{kde } \tau = 0,0090 \cdot \lambda^{-4} + 0,223 \quad (5)$$

a kde λ je vlnová délka v mikrometrech.

Tabulka 1

	orbitální výška [m . 10 ⁶]	relativní úroveň signálu σ/R^4 [m ² . 10 ⁻¹⁸]		P_d / Ω_d [m ² sr ⁻¹]
		Zenit	45 ⁰	
BEACON B	1,13	2,92	0,92	2,9.10 ⁶
BEACON C	1,00	4,60	1,47	2,9.10 ⁶
GEOS A	1,95	3,96	0,026	1,3.10 ⁷
GEOS B	1,53	18,2	0,127	1,3.10 ⁷
GEOS C	0,93	4,01	10,0	
LAGEOS	5,90	0,00891	0,00473	6,2.10 ⁶
STARLET	0,92	0,767	0,24	

V případě rubínového laseru můžeme vzorec zjednodušit pro $\alpha = 0,6943$ m takto:

$$k = e^{(-0,262 \cos z)}, \quad (6)$$

přičemž zenitovou vzdálenost lze spočíst ze známého vztahu

$$\cos z = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos (\alpha - \Theta), \quad (7)$$

který po úpravě pro konkrétní stanoviště LD-3 přejde ve vztah

$$\cos z = 0,769 \cdot \sin \delta + 0,639 \cdot \cos \delta \cdot \cos H, \quad (8)$$

kde

δ - deklinace UDZ,

H - hodinový úhel.

3. Hlavní takticko-technické parametry a popis LD-3

Laserový družicový dálkoměr LD-3 je určen k měření topocentrických vzdáleností k UDZ, vybaveným koutovými odražeči a osvětleným sluncem v noční době a to k takovým, které se pohybují úhlovými rychlostmi od 0,08⁰/s do 1,8⁰/s ve výškách nad 30⁰ od horizontu. Sledované družice musí být současně viditelné v pointačním dalekohledu. Uváděný dosah dálkoměru je 3 500 km při umístění koutových odražečů na ploše nejméně 0,03 m² a koeficientu odrazu alespoň 0,9 kolmo k dráze laserové-

ho záření. Délka pulsu, důležitá pro dosažení požadované přesnosti měření je 40-50 ns, frekvence pulsů 0,5 Hz.

Aktivním prostředím laserového generátoru je krystal syntetického rubínu, tyčinka tvaru válce o rozměrech 8x120 mm. Chemicky se jedná o krystal korundu Al_2O_3 , kde část - obvykle 0,05 % atomů hliníku je nahrazena atomy chromu. Po ozáření krystalu intenzivním světlem xenonové výbojky přechází ionty Cr^{+3} ze stavu 1 do stavu 3 a potom nezářivým přechodem na metastabilní hladinu 2. Pravděpodobnosti spontánních přechodů jsou $p_{31} = 10^5 \text{s}^{-1}$, $p_{32} = 2 \cdot 10^9 \text{s}^{-1}$, $p_{21} = 3 \cdot 10^2 \text{s}^{-1}$. Při dostatečně intenzivním čerpání lze dosáhnout mezi hladinami 2 a 1 inverzního obsazení a je možná stimulovaná emise obvykle na čáře R 694,3 nm.

Maximální možná energie dosažitelná v jednom laserovém pulsu je omezena množstvím energie, kterou lze nahromadit v plně vybuzeném aktivním materiálu. Pro rubínový krystal je to energie rovná $\frac{1}{2} h \cdot \nu \cdot n_0$, tedy 2,33 J/cm³. Ve skutečnosti jsou však hodnoty emitované energie podstatně nižší. V našem konkrétním případě laserového družicového dálkoměru LD-3 je to hodnota 0,3 J oproti teoretické a v praxi nedosažitelné hodnotě 31,2 J. Výkon generátoru pulsů činí v krátkém časovém okamžiku 40-50 ns asi 6-7,5 MW. K hromadění energie dochází v rezonační dutině regulací tzv. činitele jakosti Q. Z řady způsobů, používaných v optoelektronice je zde využito klíčování a regulace stimulované emise pomocí rotujícího hranolu a polopropustného zrcadla, tvořících soustavu Fabry-Perrotova rezonátoru. Divergenci výstupního svazku laserového pulsu lze zúžit kolimátorem až na 50", což je hodnota, která zabezpečuje i při relativně nízkém výkonu generátoru potřebnou hustotu energie i dosah LD-3. Je třeba však podotknout, že za cenu nutnosti velmi dobré justáže a precizního navedení na UDZ.

Přijímací systém tvoří dvě stejné optické soustavy pro nezávislý příjem a srovnání přijatých signálů - typu CASSEGRAIN s průměry primárních sférických zrcadel 0,34 m a fotonásobiči FEU-84.

Naváděcí montáž dálkoměru je čtyřosá s elektromechanickým pohonem kolem 3. točné osy. Úhlovou rychlost pohybu lze regulovat pomocí tří potenciometrů, na kterých se nastavují a během observace UDZ jemně dolaďují koeficienty a, b, c vyjadřující závislost změny úhlové rychlosti podle vztahu

$$\omega = a + b \cdot \sin 2\varphi + c \cdot \cos 2\varphi, \quad (9)$$

kde φ je úhel sklonu 3. osy od bodu kulminace UDZ.

Pro úspěšnou observaci UDZ je nezbytná dobrá viditelnost sledované družice. Tomuto účelu slouží pointační dalekohled přístroje. Jeho hlavní uváděné parametry, tj. zvětšení 42x a zorné pole $2,2^{\circ}$ jsou zdánlivě zárukou velmi dobré rozlišovací schopnosti, která je uváděna až do 12^m . Tato hodnota však vzhledem k optickým a konstrukčním vadám, zejména vadě koma neodpovídá skutečnosti. Proto byl dalekohled nahrazen novým pointačním dalekohledem vyrobeným ve spolupráci s ASÚ ČSAV.

Získaný tranzitní čas se měří pomocí čítače s rozlišovací schopností 1 ns, přičemž registrace se děje na úzkou tiskárnu s přesností danou zaokrouhlením na nejbližší pětinaosekundovou hodnotu.

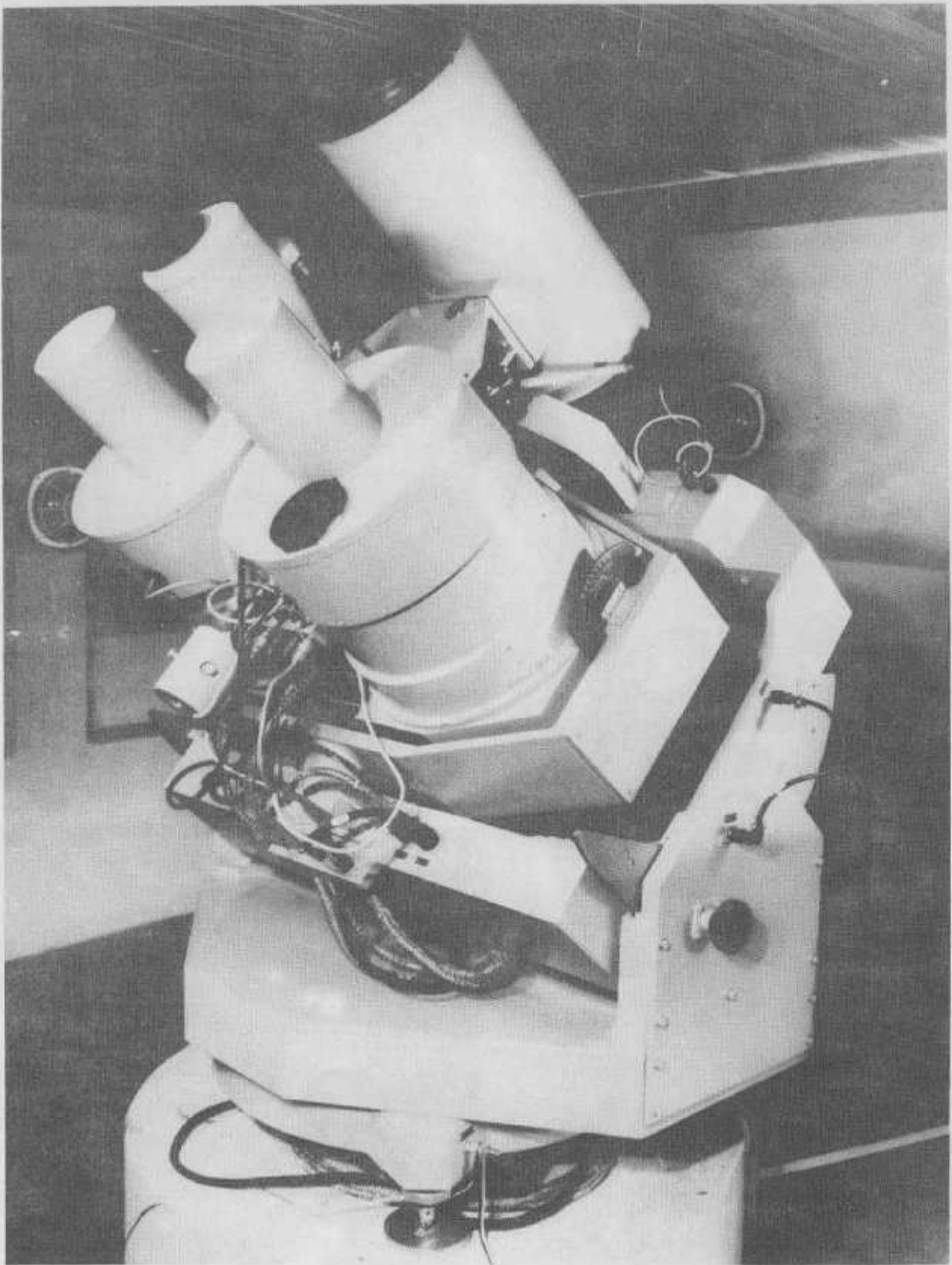
Přiřazení světového času k měřeným hodnotám je zabezpečeno časovým etalonem AČES-3 čs. výroby, jehož oscilátor se průběžně dolaďuje na signál vysílače OMA-50 s přesností asi 1 ms.

Pro zvýšení pravděpodobnosti příjmu správných signálů je systém vybaven zpoždovacími členy tzv. dálkové brány, která otevírá obvody fotonásobičů až krátce před očekávaným návratem odraženého laserového záření od UDZ. Tímto způsobem se sníží pravděpodobnost zastavení čítače a registrace STOP - impulsů, způsobená vlastním šumem fotonásobičů. Hodnota dálkové brány se stejně jako hodnoty úhlových a časových veličin, charakterizujících přelet UDZ, určí z předem vypočtených efemerid.

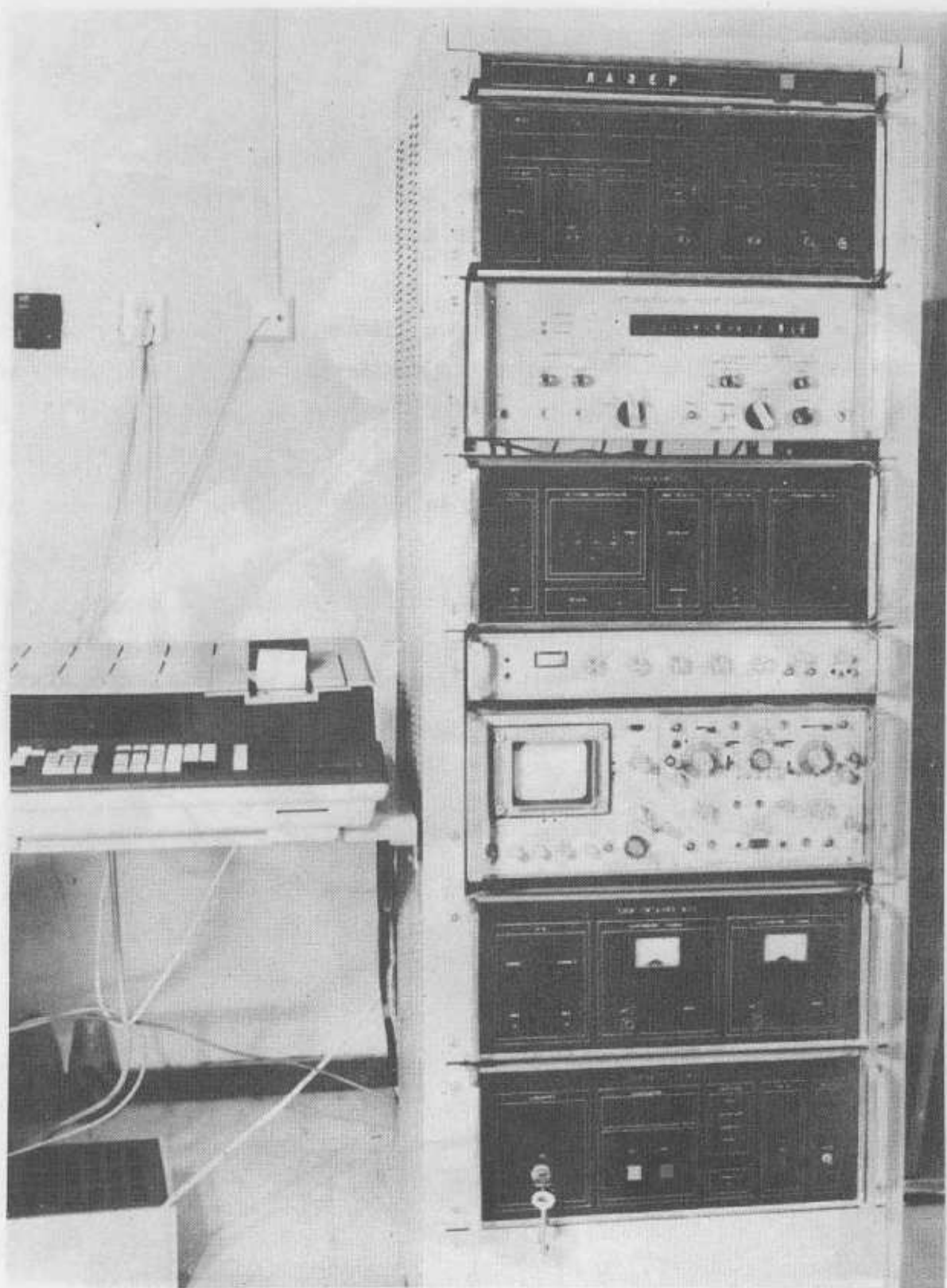
Jelikož při generování tzv. gigantických pulsů, ke kterému dochází v rezonanční dutině, nastává velké zahřívání aktivního elementu, je nutné účinné chlazení. Toto je řešeno jako dvojestupňové, přičemž je systém vnějšího chladicího okruhu zdokonalen oproti původnímu stavu, který předpokládal využití pouze vodovodního okruhu. Přístroj je zobrazen na obr. 1 (mechanická část) a obr. 2 (elektronická část).

4. Programové zabezpečení pro přípravu efemerid UDZ a pro vyhodnocení výsledků měření

Pro observaci UDZ je nutná znalost jejich přesných efemerid. Pro výpočet se dlouhodobě používal program EPHEM-2, který byl nahrazen vylepšenou verzí EPHEM-4, zahrnující i vliv dlouhoperiodických drahových poruch, způsobených převážně ne-gravitačními vlivy. Oba programy byly převzaty od ASÚ ČSAV, přičemž program EPHEM-4 byl upraven tak, aby mohl být zachován výhodný dvojitý tisk podrobných efemerid (viz výpočetní sestavu 1).



Obr. 1 - Mechanická část přístroje LD-3



Obr. 2 - Elektronická část přístroje LD-3

Při vyhodnocení registrovaných hodnot tranzitních časů, případně přepočtených topocentrických vzdáleností se nejprve naměřené hodnoty vynesou ručně nebo automatizovaně pomocí zařízení DIGIGRAF do grafické podoby, vyjadřující časovou závislost určovaných veličin na pracovním nebo světovém čase měřených hodnot. Tímto způsobem lze vizuálně nebo automatizovaně volbou vhodného kritéria vyloučit z dalšího výpočtu šumové pulsy a hrubé chyby. K dalšímu výpočetnímu zpracování se používá programu LASER.

Program je založen na proložení měřených hodnot Čebyševovými polynomy s vyrovnáním metodou nejmenších čtverců. Podrobnější popis algoritmu s příkladem výstupu vypočtených hodnot v číselné i grafické podobě lze nalézt např. v [11].

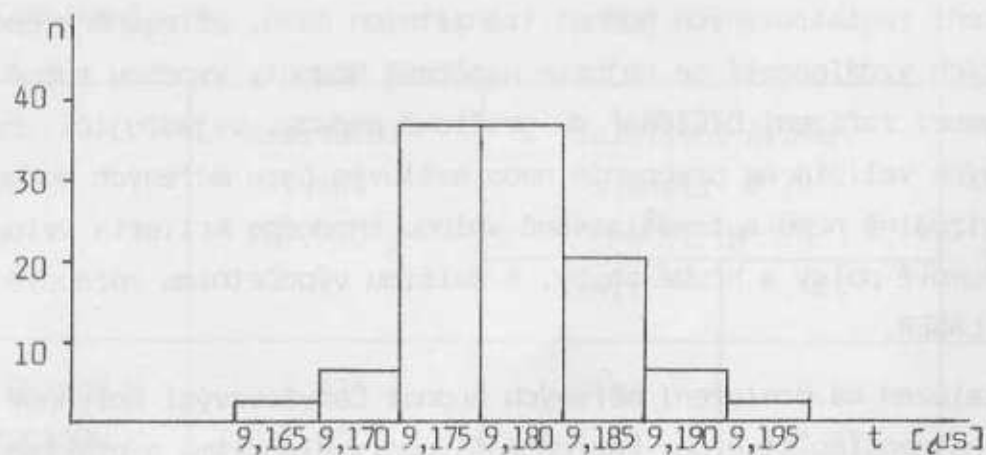
5. Testování přesnosti měření a kalibrace LD-3

Testování přesnosti měření a kalibrace laserového družicového dálkoměru LD-3 se provádí na dva pozemní cíle vzdálené zhruba 1 400 m a 2 400 m. Odrazná plocha terčů je přibližně 2 m². Bližší terč je opatřen v centrální části reflexními nálepkami, vzdálenější pouze bílým nátěrem. Dvě varianty měření na pozemní cíl byly zvoleny proto, aby bylo možné získat různé úrovně odražených signálů při různých atmosférických podmínkách, případně též při denní kalibraci s využitím úzkopásmových interferenčních filtrů. Měření na bližší terč poskytuje díky téměř zrcadlovému odrazu a samozřejmě i kratší vzdálenosti mnohonásobně vyšší úroveň přijatého signálu než pouhý difusní odraz od vzdálenějšího terče. Tato volitelnost zabezpečuje spolu s možností změny průměru výstupního paprskového svazku ve třech hodnotách a průměru vstupní clony přijímače v pěti hodnotách vysokou variabilitu úrovně přijímaného signálu s cílem přizpůsobit pozemní kalibraci poměrům, vzniklým při observaci každé konkrétní UZ (viz energetické kalkulace ve druhé stati článku).

Testování vnitřní přesnosti pozemní kalibrace bylo provedeno na bližší pozemní cíl ve dvou variantách s odlišnou úrovní přijatého signálu, dosaženou změnou výstupního laserového svazku:

1) Přesnost měření bez omezovače laserového svazku:

- bylo registrováno celkem 113 odrazů, z toho jen 1 šumový,
- získaný histogram četnosti registrace jednotlivých diskrétních hodnot tranzitního času t je zřejmý z obr. 3,
- střední chyba ze všech měřených hodnot byla oceněna po převodu na délkovou míru hodnotou $m = \pm 0,89$ m,

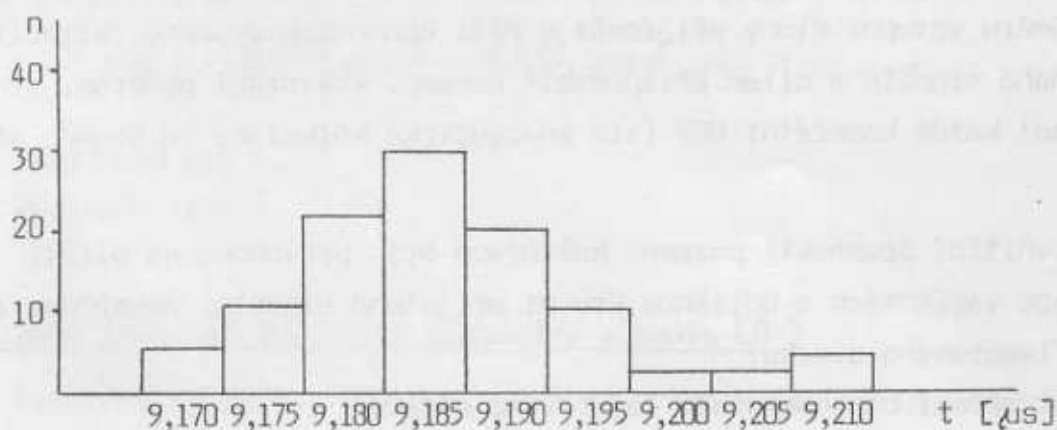


Obr. 3

- při zavedení výběrového kritéria ± 2 m se snížil počet použitelných hodnot na 106 a střední chyba na $\pm 0,74$ m; pro kritérium $\pm 1,5$ m byla určena ze zbylých 94 hodnot střední chyba $\pm 0,57$ m,
- adiční konstanta, určená z rozdílu délky, měřené velmi přesným elektrooptickým dálkoměrem a délky získané ze souboru měření laserovým družicovým dálkoměrem činila 0,49 m.

2) Přesnost měření s použitím 1. stupně omezovače laserového svazku:

- celkem bylo registrováno 108 hodnot, z toho 1 šumová,
- na obrázku 4 je uveden histogram četnosti registrace jednotlivých měřených hodnot tranzitního času:



Obr. 4

- střední chyba měření ze všech 107 hodnot činila $m = \pm 1,32$ m,
- po zavedení kritéria ± 2 m se snížila na 1,07 m (ze 101 hodnot) a při kritériu $\pm 1,5$ m na 0,88 m-ze zbylých 93 hodnot,
- adiční konstanta měla hodnotu 10,40 m.

Z porovnání obou měřických souborů je zřejmé dosažení lepších výsledků, tj. střední chyby i rozptylu měření, při vyšší úrovni přijatého signálu. Kromě toho došlo k posunu hodnot směrem k vyšším tranzitním časům, což způsobilo rozdíl v adiční konstantě mezi oběma soubory o 0,90 m, přestože byly zachovány při měření všechny mechanické i elektrické hodnoty přístrojů na stejné úrovni, s výjimkou průměru výstupního laserového svazku. Tento rozdíl byl kromě nižší úrovně signálu, která ovlivnila především vyšší rozptyl měření, způsoben i zvýšením teploty aktivního prostředí laserového generátoru.

Významný vliv na měřené hodnoty mají nepochybně i velikosti elektrických hodnot, zejména napětí fotonásobičů, což bylo pokusně při dalších měřeních ověřeno.

Vzhledem k těmto důvodům je nezbytné organizovat postup měření tak, aby observacím UZ předcházela a aby je vždy také bezprostředně zakončovala pozemní kalibrace systému.

6. Výsledky měření vzdáleností k UZ

Vzhledem k technickým nedokonalostem přístroje, především optoelektronické justáže generátoru, která výrazně snižovala výstupní výkon i k nedokonalostem opticko-mechanické justáže naváděcí montáže, nebylo při observacích UZ dlouhodobě dosaženo použitelných výsledků. Proto byli k provedení justáže přístroje vyžádáni specialisté z výrobního závodu. Během jejich pobytu se podařilo uskutečnit první úspěšná měření a sice na UZ č. 86 061 AJISAI. Výsledky měření jsou uvedeny v grafu 1 a ve výpočetní sestavě 2, z níž je zřejmá i dosažená střední chyba 2,82 m, která odpovídá udávaným parametrům přístroje.

Literatura:

- [1] Daříček, T. Modulace činitele jakosti Fabry-Perrotova rezonátoru
FJFI ČVUT, Praha 1965
- [2] Jelínková, H. Generace gigantických pulsů na rubínovém laseru
(Kandidátská disertace), FJFI ČVUT,
Praha 1975

- [3] Fischer, H.
Neubert, R.
Selke, Ch.
Stecher, R. Erweiterung der Satellitenkamera SBG zur Laserentfernungsmessung (Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde Nr. 29), str. 125-131
- [4] Fischer, H.
Neubert, R. Kombinovaná směrová a délková měření zdkonalenou družicovou kamerou SBG (Překlad materiálu AdW der DDR), ZIPE Postdam 1976
- [5] Grasjuk, A.Z. Preobrazovatěli častoty moščnovo lazernovo izlučenijs (UDK 621.375.826.), Moskva 1975
- [6] Hovorka, F. Experimentální laserová aparatura pro měření vzdáleností k UDZ (5. část kandidátské disertace), ČVUT, Praha 1978
- [7] Lehr, C.G.
Pearlman, M.R.
Criswell, S.J. Radiometric Measurement of Optical-Radar Performace Using Stars, Thermopiles and Photomultipliers as Energy Standards (Preprint Series No. 633. Submitted to Applied Optics 10/1976), Center for Astrophysics, SAO-HCO, Cambridge, USA
- [8] Zeeman, F.W. A Laser System for Ranging to Satellites (International Symposium on Elektromagnetic Distance Measurement and Influence of Atmospheric Refraction 23.-28.5.1977), Wageningen, Holandsko
- [9] Puonen, M.V. A High Power Q-Switched Ruby Laser for Satellite Laser Ranging (Zpráva Finského geodetického ústavu ISBN-951-711-025-1), Helsinki 1975
- [10] Halme, S.J. Worskhop on Satellite Laser Systems Lagonissi, 22.-25.5.1973

- [11] Šilhan, V. Programové vybavení pro vyhodnocení výsled-
Lála, P. ků měření laserovým družicovým dálkoměrem
Sborník topografické služby MNO, 1986, č. 1
- [12] Utěkal, J. Laserový družicový dálkoměr TS ČSLA
Šilhan, V. (Výzkumná zpráva), Dobruška 1978
Konrád, M.
- [13] Technická dokumentace k LD-3, Moskva 1984
- [14] Metodika obrabotki nabljudenij ISZ
(Materiály GS SSSR), Moskva 1984

Došlo: 28. 12. 1989

SATELLITE : U-130W

SOURCE OF ELEMENTS : NASA GSEP

EP001 : 45620 0,047583 21.10.1983 1: 8:31.14
 PERIOD : 148,935600 = 2,848187
 RMODE : 113,312400 = 9,983569
 INCLIN : 81,418700
 EPOCH : 0,006701 0,0
 SKEW : 7423,715 0,0
 MANDR : 0,590241 14,144585 0,0 0,0

SATELLITE HEIGHT ABOVE ELLIPSOID (KM) : 803.0 - 809.0
 LATITUDE OF PERIGEE (M) : 31.55

DETAILED EPHEMERIS - FOR ALL PASSES

I	UT (HH:SS)	L (M)	B (M)	S (R)	OS (OZS)	AF (HST)	UL (M)	E (MS)	U (M)
---	---------------	----------	----------	----------	-------------	-------------	-----------	-----------	----------

THU 11.10.1984 0=1300 1314 AFI: A1=266.2 Z2=54.3 B= 6.5
 SBO: AP= 66.2 ZP=54.3 D= -6.5
 17:35: 0 317.79 37.42 41.63 0,239 13: 7 54.25 9,449 122.2
 17:36: 0 300.11 41.94 24.66 0,376 14:52 40.82 7,990 125.8
 17:37: 0 270.54 47.75 2,51 0,303 16:23 35.82 7,330 129.3
 17:38: 0 230.51 43.95 -19.71 0,301 17:25 17.11 7,683 132.8
 17:39: 0 217.76 34.51 -38.37 0,266 18: 5 1.15 8,028 136.4

FRI 12.10.1984 0=1300 1314 AFI: A1=266.0 Z2=60.7 B= 3.4
 SBO: AP=126.0 ZP=60.7 D= -3.4
 6:48: 0 230.08 37.54 -40.27 0,266 6:50 10.02 8,722 45.4
 6:49: 0 250.02 51.50 -21.53 0,357 6:31 20.16 7,414 48.9
 6:50: 0 290.02 57.45 1,69 0,400 5:52 50.04 6,573 52.4
 6:51: 0 320.08 49.91 24.54 0,345 4: 7 68.93 7,555 55.9
 6:52: 0 342.56 37.93 42.46 0,273 3:52 73.86 8,059 59.4

FRI 12.10.1984 0=1300 1314 AFI: A1=265.0 Z2=58.7 B= 5.6
 SBO: AP= 85.0 ZP=58.7 D= -5.6
 17:21: 0 324.15 33.84 44.53 0,238 12:47 57.85 9,186 122.0
 17:22: 0 302.22 45.01 27.31 0,376 14:47 50.57 7,623 125.5
 17:23: 0 274.47 53.04 4,52 0,478 16:31 39.16 6,869 129.0
 17:24: 0 234.47 48.74 -19.67 0,375 17:36 19.51 7,187 132.6
 17:25: 0 214.30 37.41 -39.41 0,278 18:16 2.24 8,458 136.1

SAT 13.10.1984 0=1300 1314 AFI: A1=265.6 Z2=66.0 B= 2.5
 SBO: AP=125.6 ZP=66.0 D= -2.5
 6:34: 0 224.78 41.42 -41.93 0,239 7: 3 9.06 8,466 45.1
 6:35: 0 244.66 55.53 -22.73 0,371 6:49 27.95 7,097 48.6
 6:36: 0 287.19 63.47 1,53 0,402 6:19 51.50 6,624 52.1
 6:37: 0 332.25 53.75 25.47 0,309 4:29 72.72 7,227 55.6
 6:38: 0 350.01 39.76 43.91 0,257 23:41 77.30 8,682 59.1

SAT 13.10.1984 0=1300 1314 AFI: A1=263.7 Z2=64.1 B= 4.7
 SBO: AP= 83.7 ZP=64.1 D= -4.7
 17: 7: 0 320.08 34.95 47.17 0,237 12:22 61.55 8,973 121.7
 17: 8: 0 311.49 47.92 29.85 0,384 14:42 58.73 7,315 125.2
 17: 9: 0 272.55 58.31 6.11 0,433 16:42 43.67 6,469 128.8
 17:10: 0 227.08 53.93 -19.63 0,400 17:50 22.10 6,752 132.3
 17:11: 0 202.89 40.26 -40.40 0,289 18:28 3.41 8,248 135.9

SUN 14.10.1984 0=1300 1314 AFI: A1=264.5 Z2=71.8 B= 1.7
 SBO: AP=124.5 ZP=71.8 D= -1.7
 6:19: 0 207.78 30.52 -57.02 0,107 7:21 -5.50 10,241 41.3
 6:20: 0 214.70 40.85 -43.50 0,270 7:18 7.97 8,277 44.8
 6:21: 0 234.04 59.16 -23.90 0,302 7:10 27.39 6,850 48.3
 6:22: 0 280.22 70.05 1,25 0,401 6:51 52.36 6,340 51.8
 6:23: 0 337.32 57.45 26.14 0,371 5:35 76.07 6,954 55.3
 6:24: 0 352.11 41.45 45.02 0,261 22:32 80.45 8,448 58.8

END DATA 14 10 1984

Ukázka výpočtu efemerid pomocí programu EPHEM-4

SATELLITE HEIGHT ABOVE ELLIPSOID (KM): 823.0 - 899.9
 LATITUDE OF PERIGEE (°) : 31.55

DETAILED EPHEMERIS -FOR ALL PASSES

I	UT (H:M:S)	A (°)	E (°)	S (°)	DS (°/S)	AR (H:M)	CL (°)	R (MS)
AFU:A1=266.2 Z2=54.3 B= 6.5 SBGIAP= 86.2 ZP=54.3 D= -6.5								
TFL	11.10.1984	B=1300	1314	1314	SBGIAP=	86.2	ZP=54.3	D= -6.5
	17:35:	0 317.79	32.48	41.68	0.239	13: 7	54.27	9.449
	17:36:	0 300.11	41.94	24.66	0.326	14:52	48.82	7.998
	17:37:	0 270.54	47.75	2.91	0.383	16:23	35.02	7.338
	17:38:	0 238.51	43.95	-17.71	0.351	17:25	17.11	7.683
	17:39:	0 217.76	34.51	-30.39	0.266	18: 5	1.15	8.928
AFU:A1=286.9 Z2=60.9 B= 3.4 SBGIAP=106.9 ZP=60.9 D= -3.4								
FFI	12.10.1984	B=1300	1314	1314	SBGIAP=	106.9	ZP=60.9	D= -3.4
	6:48:	0 230.08	39.54	-40.27	0.266	6:50	18.02	8.722
	6:49:	0 230.82	51.50	-21.53	0.357	6:31	28.16	7.414
	6:50:	0 290.02	57.45	1.69	0.400	5:52	50.04	6.973
	6:51:	0 326.88	49.91	24.50	0.345	4: 7	68.93	7.555
	6:52:	0 345.56	37.93	40.46	0.253	0:22	73.86	8.959
AFU:A1=265.0 Z2=58.9 B= 5.6 SBGIAP= 85.0 ZP=58.9 D= -5.6								
FFI	12.10.1984	B=1300	1314	1314	SBGIAP=	85.0	ZP=58.9	D= -5.6
	17:21:	0 322.15	53.34	44.53	0.238	12:47	57.89	9.186
	17:22:	0 305.22	45.01	27.31	0.336	14:47	53.57	7.623
	17:23:	0 272.47	53.02	0.52	0.408	16:31	39.16	6.869
	17:24:	0 234.47	48.74	-10.67	0.375	17:36	19.51	7.187
	17:25:	0 212.30	37.41	-30.41	0.278	18:16	2.24	8.458
AFU:A1=285.6 Z2=66.0 B= 2.5 SBGIAP=105.6 ZP=66.0 D= -2.5								
SAT	13.10.1984	B=1300	1314	1314	SBGIAP=	105.6	ZP=66.0	D= -2.5
	6:34:	0 222.78	41.40	-41.93	0.269	7: 3	9.06	8.466
	6:35:	0 242.66	55.52	-20.73	0.371	6:49	27.95	7.897
	6:36:	0 289.19	63.47	1.58	0.422	6:19	51.50	6.624
	6:37:	0 332.25	53.75	25.47	0.359	4:39	72.72	7.227
	6:38:	0 350.01	39.70	43.91	0.257	23:41	77.30	8.682
AFU:A1=263.7 Z2=64.1 B= 4.7 SBGIAP= 83.7 ZP=64.1 D= -4.7								
SAT	13.10.1984	B=1300	1314	1314	SBGIAP=	83.7	ZP=64.1	D= -4.7
	17: 7:	0 326.88	34.99	47.19	0.237	12:22	61.55	8.973
	17: 8:	0 311.49	47.92	27.86	0.344	14:42	58.73	7.315
	17: 9:	0 275.55	58.81	0.11	0.433	16:42	43.67	6.469
	17:10:	0 229.08	53.93	-10.63	0.400	17:50	22.10	6.752
	17:11:	0 205.89	40.28	-40.40	0.289	18:28	3.41	8.048
AFU:A1=284.5 Z2=71.0 B= 1.7 SBGIAP=104.5 ZP=71.0 D= -1.7								
SLN	14.10.1984	B=1300	1314	1314	SBGIAP=	104.5	ZP=71.0	D= -1.7
	6:19:	0 207.78	50.52	-57.02	0.187	7:21	-5.50	10.241
	6:20:	0 214.70	42.85	-43.50	0.270	7:18	7.97	8.277
	6:21:	0 232.04	59.10	-23.98	0.382	7:10	27.39	6.858
	6:22:	0 288.22	70.09	1.26	0.441	6:51	52.36	6.340
	6:23:	0 339.52	57.49	20.14	0.371	5:35	76.07	6.954
	6:24:	0 355.11	41.45	43.02	0.261	22:32	80.45	8.448

END DATE : 14 10 1984

Výpočetní sestava 2

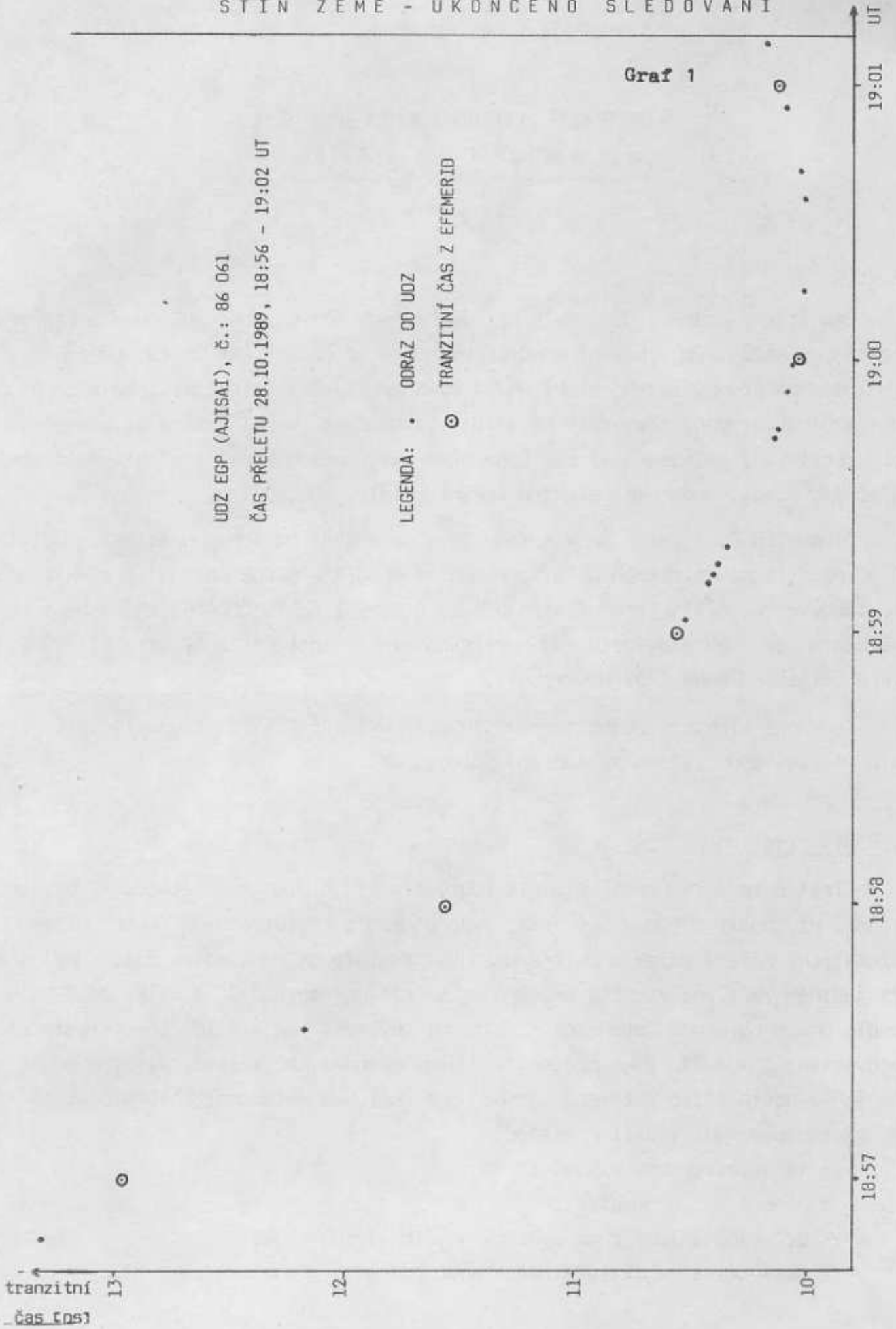
Č.	SVETOVÝ ČAS	TRANZITNÍ ČAS	NORMOVANI	DEŘENÁ DELKA	OPRÁVENÁ DELKA	POUŽITÁ KOREKCE	ODCHYLKA DELKY
1	18 56 47.00160	13.306025	0.1000000	1994642.89	1994642.09	0.0	3.60
2	18 57 33.00140	12.160678	0.651130	1622038.58	1622038.58	0.0	-3.60
3	18 59 1.00114	10.521108	0.033748	1577073.21	1577073.21	0.0	3.60
4	18 59 11.00083	10.424475	0.094805	1562589.49	1562589.49	0.0	-3.60
5	18 59 13.00084	10.401765	0.110877	1559185.35	1559185.35	0.0	-3.60
6	18 59 15.00179	10.379625	0.125359	1555066.69	1555066.65	0.0	-3.60
7	18 59 19.00272	10.337128	0.155922	1549495.31	1549495.31	0.0	-1.60
8	18 59 43.00199	10.132858	0.339445	1510076.00	1510076.00	0.0	0.65
9	18 59 45.00136	10.119878	0.354758	1510930.35	1510930.35	0.0	1.67
10	18 59 53.00221	10.074255	0.416019	151092.83	151092.83	0.0	3.60
11	18 59 59.00122	10.046738	0.461984	1505966.94	1505966.04	0.0	-3.60
12	19 0 15.00182	10.002075	0.584692	149273.32	149273.32	0.0	3.60
13	19 0 35.00095	10.005138	0.738292	149731.26	149731.26	0.0	-3.60
14	19 0 41.00222	10.018845	0.784432	1501787.08	1501787.08	0.0	-3.55
15	19 0 55.00175	10.073638	0.892155	150999.15	150999.15	0.0	3.60
16	19 1 9.00149	10.159798	1.000000	1522914.21	1522914.21	0.0	0.62

STŘEDNÍ CHYBA : 3,22 METRU

STUPEN POUŽITÉHO POLYNOMU JE : 8

KOEFIČIENTY DEBYSEVOVÝCH POLYNOMU JSOU :

0.162296302121677200D 07	0.241647043222263600D 06	0.865966045347623600D 05	0.592623354551056400D 04
-7.779030809644970100D 03	-2.165682875455551800D 03	-0.372967677316679900D 02	0.234927059607871500D 02



REGISTRAČNÍ ELEKTRONICKÝ TACHYMETR RETA A MOŽNOSTI JEHO VYUŽITÍ

1. Úvod

Geodetické práce v ČSLA byly prováděny řadu let stejným způsobem a víceméně stejným přístrojovým vybavením, které bylo čas od času v malé míře modernizováno. S ohledem na prudký rozvoj elektroniky však začaly být v Topografické službě ČSLA postupně nahrazovány zastaralé přístroje, jimž často končí reálná životnost a pomalu přestávají splňovat požadavky na přesnost, hospodárnost a efektivnost zeměměřických prací, moderními elektronickými přístroji.

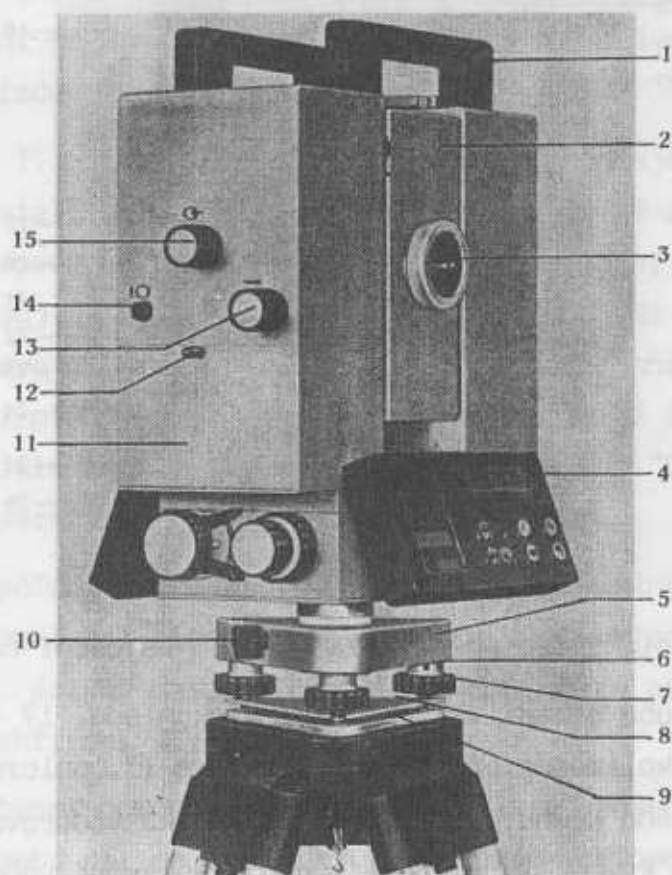
Firma VEB Carl Zeiss Jena vstoupila v roce 1981 na trh geodetických přístrojů s registračním elektronickým tachymetrem RECOTA a o rok později s elektronickým tachymetrem RETA. Tyto přístroje byly dodány i do TS/ČSLA a jejich postupným zaváděním jsou nahrazovány dosud používané elektrooptické tachymetry EOT 2000, které se již od roku 1982 nevyrábějí.

Zavedení elektronického tachymetru RETA vytváří reálný předpoklad pro vznik automatizovaného systému zpracování polních dat.

2. Popis přístroje

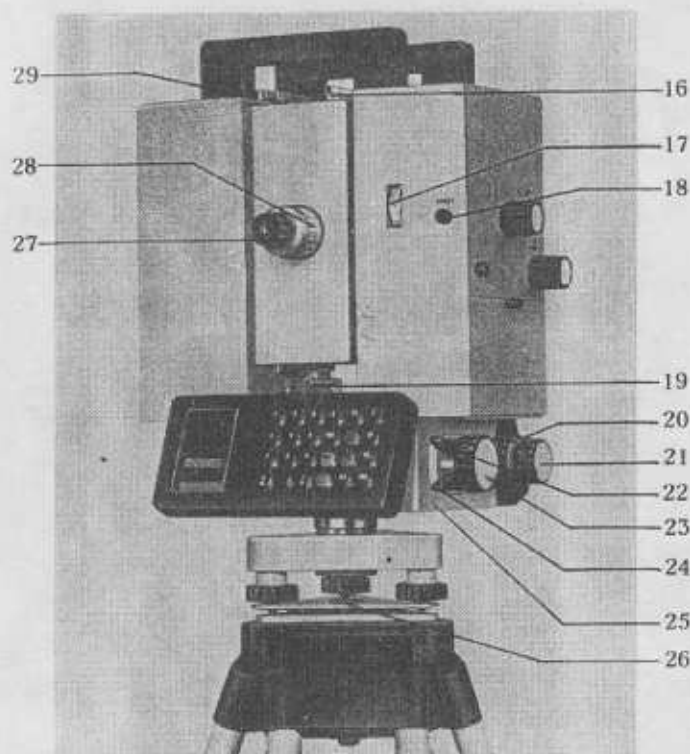
Elektronický tachymetr ET RETA (obr. 1 a 2) je plně automatizovaný přístroj střední přesnosti s řadou měřících, výpočetních a registračních funkcí určený pro automatické měření délek a úhlů s možností registrace naměřených dat. Umožňuje při jediném zacílení zaměřit směry úhly se střední chybou 3" a délky do 3000 m (podle počtu odrazných hranolů) se střední chybou ($5 \text{ mm} + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D$). Vlastnosti tachymetru, především jeho přesnost, dosah, automatické měření délek, možnost různých výpočtů přímo v terénu, jednoduchá obsluha, vyloučení chyb při výpočtu i při zápisu umožňují využití přístroje:

- k tachymetrickému mapování,
- k přesné polygonometrii,
- k určování polohy zhušťovacích a vlíčovacích bodů,
- k triangulaci a trilateraci v podrobné síti geodetických bodů,



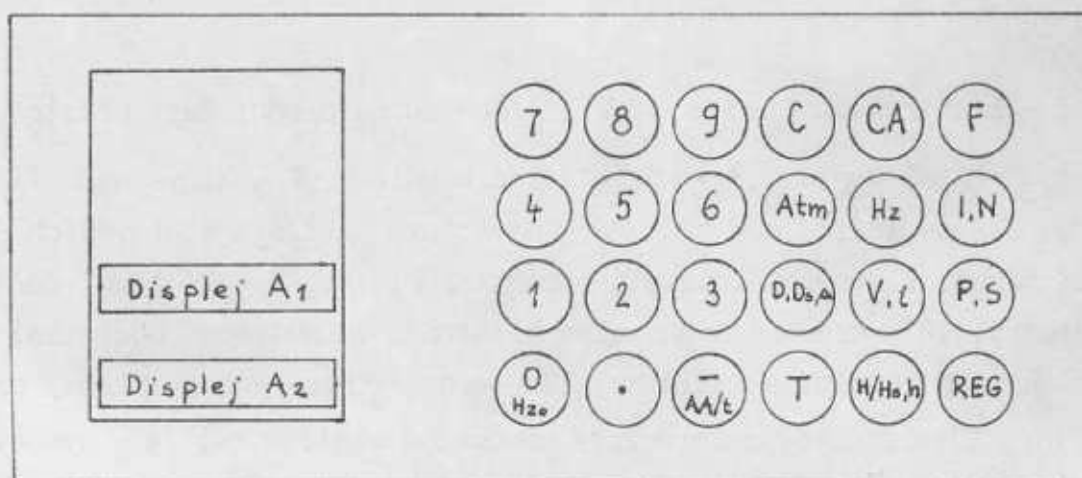
Obr. 1 - Elektronický tachymetr RETA (pohled na přední část přístroje)

1 - rukojeť, 2 - dalekohled, 3 - objektiv dalekohledu, 4 - klávesnice II. polohy dalekohledu, 5 - centrační podložka, 6 - otvor pro seřizování stavěcích šroubů, 7 - stavěcí šroub, 8 - pérová deska centrační podložky, 9 - základní deska centrační podložky, 10 - šroub pro upevnění přístroje v centrační podložce, 11 - kryt přihrádky pro vnitřní akumulátor, 12 - šroub k uzavření přihrádky pro vnitřní akumulátor, 13 - regulátor intenzity pomocného světloometu, 14 - vypínač pomocného světloometu, 15 - startovací knoflík



Obr. 2 - Elektronický tachymetr RETA (pohled na zadní část přístroje)

16 - kolimátor pro hrubé cílení v I. poloze dalekohledu, 17 - indikátor, 18 - tlačítko RESET, 19 - kolimátor pro hrubé cílení ve II. poloze dalekohledu, 20 - jemná ustanovka svislého kruhu, 21 - jemná ustanovka vodorovného kruhu, 22 - hrubá ustanovka svislého kruhu, 23 - knoflík pro přestavení vodorovného kruhu, 24 - hrubá ustanovka vodorovného kruhu, 25 - kryt šroubu pro seřizování hrubé ustanovky vodorovného kruhu, 26 - matka pérové desky centrační podložky, 27 - okulár dalekohledu s objímkou pro nastavení dioptrií, 28 - zaostřovací prsteneček dalekohledu, 29 - konektor pro připojení vnějšího záznamníku



Obr. 3 - Klávesnice první polohy dalekohledu

- ke speciálním geodetickým pracím.

Tachymetr je kompaktní přístroj napájený speciálním vnitřním 12 V akumulátorem o kapacitě 1,8 Ah. Jako zdroj energie může být použit rovněž libovolný 12 V akumulátor. Ovládání se provádí prostřednictvím dvou klávesnic umístěných v I. a II. poloze dalekohledu.

Klávesnice I. polohy dalekohledu (obr. 3) obsahuje 2 osmimístné displeje z kapalných krystalů a 24 tlačítek. Na displeji A1 je zobrazováno sedmiciferné číslo včetně záporného znaménka, případně dvojciferný kód se třemi tečkami (příloha 1), označující chybu přístroje nebo obsluhy. Na displeji A2 je na 6. a 7. pozici udáváno dvojciferné kódové číslo (příloha 2) charakterizující veličinu zobrazenou na displeji A1. Při registraci se na 2. až 4. pozici displeje A2 objeví trojciferné číslo adresy uložení, na 1. pozici buď "0" při platném nebo "1" při neplatném obsazení adresy.

Klávesnice II. polohy dalekohledu obsahuje 2 osmimístné displeje a 10 tlačítek (tlačítka potřebná pro měření v této poloze dalekohledu). Oba displeje odpovídají displejům I. polohy dalekohledu. Tato klávesnice obsahuje rovněž tlačítka pro osvětlení a vyhřívání displejů.

Tachymetr je vybaven pomocným světlometem, který usnadňuje vyhledání odrazného hranolu za tmy nebo při nepříznivých atmosférických podmínkách. Zapnutí pomocného světlometu je spřaženo s osvětlením nitkového kříže. Některé stavy, jako například zapnutí přístroje, zapnutí a automatické vypnutí pomocného světlometu, zobrazení měřených a volaných hodnot na displeji, stlačení tlačítka RESET, přerušování měřicího signálu apod., signalizuje tachymetr akusticky.

Tachymetr má tyto funkce:

- měření vodorovných směrů s opravou kolimační chyby,
- měření svislých úhlů s opravou indexové chyby,
- měření šikmé délky včetně zavedení atmosférických oprav a přístrojové konstanty,
- vytyčování pomocí sledovací funkce (tracking),
- vkládání výšky stanoviště, výšky stroje a výšky reflektoru,
- výpočet výšky cíle,
- výpočet vodorovné délky s opravou ze zakřivení Země,
- výpočet převýšení s opravou ze zakřivení Země,
- registraci měřených a vypočtených hodnot.

Podrobný popis tachymetru s uvedením technických parametrů je v [1] a [3].

V porovnání s dosud používaným elektrooptickým tachymetrem EOT 2000 má ET RETA velkou přednost v automatickém měření úhlů a délek. To znamená, že není potřeba koincidovat a odečítat hodnoty z mikrometru, což přináší rychlejší měření, vyloučení chyb při odečítání a v neposlední řadě i určitý komfort při měření. ET RETA poskytuje také více výpočetních funkcí a velkou výhodou je možnost napájení přístroje prostřednictvím vnitřního akumulátoru.

3. Porovnání s elektronickými tachymetry ostatních výrobců

Pro porovnání s ET předních světových firem vyrábějících geodetické přístroje jsou podle [1] a [2] v tabulce č. 1 uvedeny některé parametry vybraných ET. ET RETA je svými parametry srovnatelný s těmito přístroji, nedostatkem je pouze poměrně vysoká hmotnost (podobná vyšší hmotnost u přístrojů firmy Kern je způsobena tím, že se nejedná o tachymetr, ale o sestavu teodolit + dálkoměrný nástavec). Značným nedostatkem tohoto docela sympatického přístroje je však způsob vyřešení a zabezpečení registrace.

4. Možnosti a problémy registrace

Většina výrobců geodetických přístrojů vyvíjí a vyrábí vlastní prostředky automatické registrace měřených a vypočtených údajů, které mají návaznost na kompletní automatizované linky zabezpečující tok informací a dat od jejich získání v terénu přes počítačové zpracování až po automatizované zobrazení. ET RETA má rovněž možnost připojení vnějšího elektronického záznamníku, firma Carl Zeiss Jena však k tomuto přístroji nabízí záznamník MICRONIC 445 L, který není jejím výrobkem a je nutné jej platit ve valutách (cena je cca 9.000,- DEM). To v našich podmínkách značně snižuje možnost jeho získání a navíc svojí kapacitou paměti nedosahuje úrovně podobných zařízení ostatních výrobců. Proto je tedy v nejbližší budoucnosti nezbytné zabezpečit doplnění ET RETA vhodným elektronickým záznamníkem, neboť už v [3] se uvádí:

"Nákup samotného ET bez doplňkového zařízení znamená většinou "přetržení" optimálního systému pro sběr, přenos a zpracování dat. Toto "přetržení" se platí velmi drahο a často snižuje efektivnost využití nákladné techniky z dovozu."

V současné době je k dispozici několik typů záznamníků různých výrobců. So-

Výrobce, přístroj	Přesnost		Max. dosah (km)	Hmotnost (kg)	Typ vnějšího záznamníku	Kapacita (poč. bodů)
	délek	směrů				
<u>Wild Leitz</u>						
TC 1000	3 mm + 2 ppm	10 ^{cc}	4,0	5,5	GRE 3	4 000
TC 1600	3 mm + 2 ppm	5 ^{cc}	4,0	5,5	GRE 4	2 000
TC 2000	2 mm + 2 ppm	1,5 ^{cc}	5,0	9,6		
<u>Opton</u>						
Elta 3	3 mm + 2 ppm	5 ^{cc}	5,0	5,0	REC 200 ^x	800
Elta 4	3 mm + 2 ppm	10 ^{cc}	4,0	4,7	REC 500/144	1 200
Elta 6	5 mm + 3 ppm	5 ^{cc}	3,5	4,7	REC 500/352	2 000
<u>Kern</u>						
E 2 + DM 504	3 mm + 2 ppm	1 ^{cc}	5,0	10,3	ALPHACORD 128	2 000
E12 + DM 504	3 mm + 2 ppm	6 ^{cc}	5,0	10,3	BETACORD 64	1 000
<u>Sokkisha</u>						
SET 2	3 mm + 2 ppm	6 ^{cc}	3,9	7,6	SDR 20	1 100
SET 3	5 mm + 3 ppm	10 ^{cc}	3,7	7,6	SDR 22	2 300
SET 4	5 mm + 3 ppm	20 ^{cc}	2,8	7,6	SDR 24	4 700
<u>Zeiss</u>						
RECOTA	5 mm + 2 ppm	5 ^{cc}	3,0	12,5	MICRONIC 445L	600
RETA	5 mm + 2 ppm	10 ^{cc}	3,0	11,0	FSE 1020 (1032)	300 (500)

Tabulka 1

většské záznamníky RION (kapacita 600 bodů) [6] a RIM-T (kapacita 1 000 bodů) [5] však nejsou z hlediska pohodlné a jednoduché manipulace (rozměry 260x200x90 mm, hmotnost 5,5 kg) příliš vhodné. Rovněž maďarský záznamník KATA nevyhovuje svým provedením (záznam na magnetickou kazetu, hmotnost 3,5 kg) současným požadavkům. Navíc tento přístroj se při zkouškách ve VÚGTK neosvědčil.

Určitou naději skýtá stručná zmínka v [4]: "V roce 1988 firma VEB Carl Zeiss Jena nahradila FSI 1016 (interní paměť určená pro ET RECOTA, pozn. autora) dvěma externími paměťmi FSE 1020 a FSE 1032 s kapacitou 1263 resp. 2032 řádků a rozsahem pracovních teplot od -25°C do $+50^{\circ}\text{C}$ resp. od 0 do $+50^{\circ}\text{C}$."

Z této nabídky se jeví jako nejvýhodnější FSE 1020 nebo FSE 1032. Kromě výhody finanční dostupnosti by značnou předností byla okamžitá kompatibilita záznamníku s tachymetrem.

Pokud by k ET RETA byl k dispozici nějaký vnější záznamník, využitelnost tachymetru by se značně zvýšila a bylo by možné jej plně využít k zabezpečení plynulého toku dat od měření přes zpracování až po jejich výstup, což by mělo vliv na zvýšení produktivity geodetických prací.

5. Využití přístroje

V Topografické službě ČSLA byla vždy věnována velká pozornost nové přístrojové technice a novým technologiím. Proto se velice brzy po získání prvních přístrojů RECOTA projevila snaha o co nejefektivnější využití jeho vlastností a začalo se uvažovat o automatizaci polních měřických prací. Výsledkem byl návrh automatizované linky, která zabezpečovala přenos dat od měření v terénu pomocí ET RECOTA, přes registraci naměřených a vypočtených hodnot do interní paměti FSI 1016, předzpracování mikropočítačem PMD 85, zpracování na počítači ADT 4100, až po vykreslení polního náčrtu prostřednictvím grafického zařízení DIGIGRAF 1208-A 3,5G.

ET RETA byl zaveden především pro plnění úkolů velkoměřítkového mapování. Vzhledem k množství různých funkcí, jež tachymetr umožňuje, byl pochopitelný zájem na tom, aby se začlenil do systému automatizace zpracování polních dat. V současné době se však stále ještě hledá způsob, jak zabezpečit vybavení tohoto přístroje vnějším elektronickým záznamníkem, aby bylo možné rozšířit množství využívaných funkcí také o registraci.

Skutečnost, že ET RETA může v současnosti pracovat pouze bez registrace na-

měřených hodnot, vylučuje jeho plnější zapojení do procesu automatizace, snižuje jeho využitelnost a zvyšuje možnost zavedení chyb do měření při opisování hodnot z displejů do formulářů. Přes tuto nepříznivou situaci je tachymetr využíván pro úkoly velkoměřítkového mapování a ačkoli je určen zejména pro tachymetrii, používá se i pro klasická geodetická měření. Pro tato měření by byla jednoznačně vhodnější sestava teodolit + dálkoměrný nástavec, avšak nikdo z dostupných výrobců tyto nástavce nevyrobí.

Výhody případného vybavení ET RETA vnějším záznamníkem byly popsány výše. Budou-li však navíc záznamníky FSE uspořádány podobným způsobem jako FSI 1016, nebude velkým problémem rychlé zapojení přístroje a záznamníku do procesu využívání automatizované linky pracující s přístrojem RECOTA a vývoje jejích dalších variant orientovaných na nově zaváděné prostředky výpočetní techniky.

6. Závěr

Zavádění výkonné moderní měřicí techniky umožňuje plnit požadavky především na rychlost vlastního měření v terénu a celkový objem úkolů, přináší úsporu času, snižuje podíl lidské práce a zvyšuje produktivitu, efektivnost a přesnost všech měřických prací. Týká se to i registračního elektronického tachymetru RETA, kterým je postupně nahrazován dosud používaný elektrooptický tachymetr EOT 2000.

V TS/ČSLA je již ET RETA běžně využíván a to jak pro klasická geodetická měření, tak pro úkoly velkoměřítkového mapování. Zatím však přístroj pracuje bez možnosti registrace měřených a vypočtených hodnot, což snižuje jeho využitelnost. Po jeho případném vybavení vnějším elektronickým záznamníkem bude ET RETA představovat důležitý článek systému automatizace přenosu polních dat a umožní značně zvýšit produktivitu měřických prací, zejména při velkoplošné tachymetrii.

Literatura:

- [1] VEB CARL Zeiss Jena: Elektronisches tachymeter RETA.
Gebrauchsanleitung, 68 s.
- [2] Firemní literatura Wild Leitz Heerbrugg AG, Opton Feintechnik GmbH,
Kern & Co. AG, Sokkisha Co. Ltd.

- [3] Šanda, V. Elektronické tachymetry RECOTA a RETA firmy VEB Carl Zeiss Jena
Geodetický a kartografický obzor, 31 (73), 1985, č. 7, s. 171-178
- [4] Deumlich, F. Datenregistriergeräte - wichtiger Bestandteil interaktiver Vermessungs und Kartiersysteme
Vermessungstechnik, 1988, č. 8, s. 254-256
- [5] Registrator informací mikroprocesorový topografičeský RIM-T
Geodezija i kartografija, 1989, č. 2, s. 63
- [6] Zpráva ze zahraniční cesty do SSSR ve dnech 12. 7. - 18. 7. 1987 (Cestovní zpráva č. 182) Praha, Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, 1987

Došlo: 9. 10. 1989

Seznam chybových kódů

Kód	Význam
01...	test programových pamětí není v pořádku
02...	překročení max. hodnoty P při číslování cílových bodů
03...	chybné zadání Δ (příliš velké)
04...	V_I nebo $V_{II} = 0^0$ nebo 180^0
05...	dosažena poslední věta, není možné čtení další hlavičky
06...	nelze nastavit znak neplatnosti registrace, nebyla přečtena hlavička ukládané věty
07...	prázdný řádek při registraci
08...	chybné zadání tlačítka
09...	zvolené číslo věty neexistuje
11...	kyvadlo výškového indexu je na doraz
21...	napětí akumulátoru je menší než 11,5 V
22...	napětí akumulátoru je menší než 10,5 V
31 až 35 ...	chyba při měření vodorovného úhlu
41 až 45 ...	chyba při měření svislého úhlu
46...	neklidný podklad, příliš velká výchylka kyvadla; blokování lze zrušit volbou tlačítek (F) (1), měření je sice možné, ale nepřesné
51...	chyba při měření délky; přerušený nebo slabý měřicí signál, je signalizován dlouhým tónem; tón lze vypnout tlačítkem RESET
66...	vnější paměť není otevřena
71 až 77 ...	chyba při registraci

Seznam kódových čísel

Kódové číslo	Symbol	Význam
10	S	číslo stanoviště
13	Hs	výška stanoviště
14	h	výška přístroje
17	Atm	atmosférická korekce
20	P	číslo cíle
23	H	výška cíle
24	t	výška reflektoru
31	H_{z_I}	vodorovný úhel v I. poloze dalekohledu
32	$H_{z_{II}}$	vodorovný úhel ve II. poloze dalekohledu
35	H _z	vystředěný vodorovný úhel
36	H_{z_O}	hodnota H _z pro vztažený směr
41	V_I	svislý úhel v I. poloze dalekohledu
42	V_{II}	svislý úhel ve II. poloze dalekohledu
44	i	oprava indexové chyby
45	V	opravený svislý úhel
47	SPN	sedmimístné číslo automaticky utvořené ze 3 posledních číslic čísla stanoviště a 4 posledních číslic čísla cíle
51	Ds	šikmá délka
54	Δ	oprava přístrojové konstanty
61	D	vodorovná délka
71	Δh	převýšení

PŘÍSTROJ PRO ASTRONOMICKÉ URČOVÁNÍ SOUŘADNIC VE ZTÍŽENÝCH PODMÍNKÁCH

Určování zeměpisných souřadnic bodů zemského povrchu, resp. rotačního času a variací zeměpisné šířky je letitý úkol astronomů a geodetů. K jeho naplnění lze užít astronomických přístrojů vizuálních (např. astronomický univerzál, pasážník, zenitteleskop, Danionův astroláb, cirkumzenitál), fotografických (např. PZT) nebo s fotoelektrickou registrací (fotoelektrický pasážník, čínské fotoelektrické astroláby).

V astronomii našel dobré uplatnění cirkumzenitál VÚGTK 100/1000 (dále CZ 100/1000), zrcadlový astroláb [4], [5]. Parametry přístroje, přesnost [1],[2] a mobilnost umožňují jeho použití jak pro práce v globálních programech GOSSTANDARD, BIH, IPMS (na stálých observatořích), tak i pro práce v poli. Získané výsledky vyvolaly o něj zájem doma i v zahraničí.

Průběžná produkce pro zákazníky (ze tří světadílů) byla dosud reprezentována zmíněným typem CZ 100/1000. Další vývoj cirkumzenitálu sleduje dva směry:

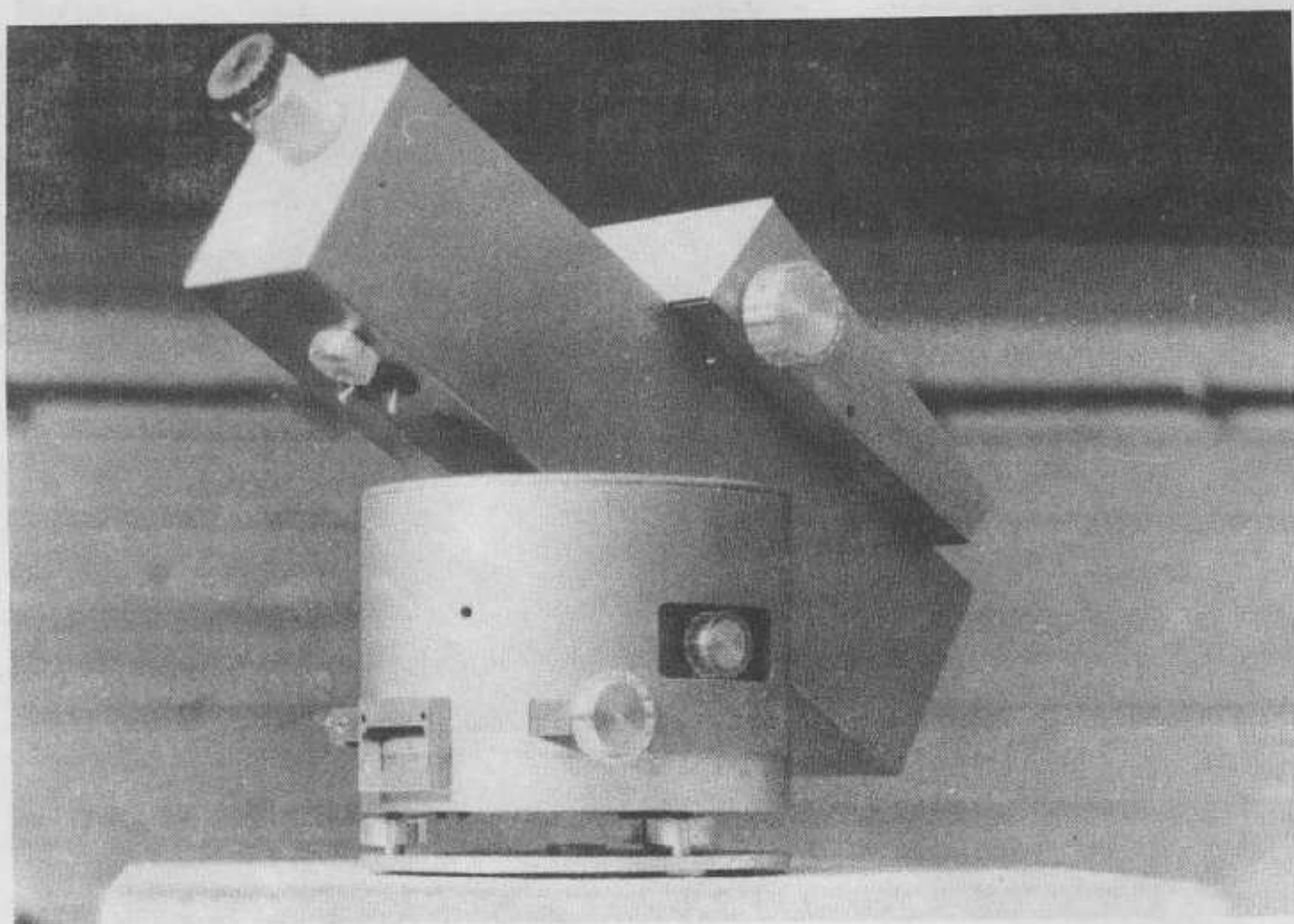
- a) první zvýšení přesnosti a kompletní automatizaci získání měřických prvků. Bude realizován velkým fotoelektrickým cirkumzenitálem, který je ve stadiu konstrukce;
- b) druhý, o kterém je tento článek, byl ukončen v roce 1984. Jeho koncepce byla vyvolána požadavkem zkonstruovat takový přístroj, který by byl použitelný pro určování tížnicových odchylek i v horském terénu (s přesností 0,4 - 05 oblouk. vteřiny).

Prototyp tohoto přístroje, cirkumzenitál VÚGTK 50/500 (dále CZ 50/500), obr. 1 - byl zkonstruován ve Výzkumném ústavu geodetickém, topografickém a kartografickém, Zdiby (dále VÚGTK) podle návrhu J. Přibyla a A. Müllera. Přístroj je přenosný, možno jej použít pro polní (lze jej upnout na stativ standardně používaný v geodetické praxi) tak i pro staniční pozorování metodou stejných výšek s cílem současně určit obě souřadnice. Od CZ 100/1000 se liší (kromě velikosti a tvaru) pouze tím, že

- a) nemá motorický pohyb; optický mikrometr je ovládán ručně a není kompenzován azimutální pohyb hvězdy,

b) umělý rtuťový horizont se otáčí s přístrojem.

CZ 50/500 byl konstruován tak, aby hmotnost i spotřeba elektrické energie byla minimální.



Obr. 1 - Malý cirkumzenitál VÚGTK typového označení CZ 50/500

Technické parametry přístroje:

Hmotnost	12 kg
Rozměry přístroje	45 x 35 x 20 cm
Ohnisková vzdálenost	500 mm
Průměr objektivu	50 mm
Zvětšení	50 x
Zenitová vzdálenost (přibližná).....	40°
Rozsah mikrometru	± 141 oblouk. vteřin
Maximální pozorovatelná hvězdná velikost	5^m .

Vnitřní přesnost (střední chyba určení zenitové vzdálenosti jedné hvězdy) 0,3-0,5 oblouk. vteřiny
 Zdroj napájecího napětí 6V DC (4 články R6)

Pro srovnání vnitřní přesnost (střední chyba určení zenitové vzdálenosti jedné hvězdy) CZ 100/1000 je 0,15-0,25 obloukové vteřiny.

Ještě v roce 1984 a pak v roce následujícím byla provedena ověřovací měření na Geodetické observatoři Pecný (dále GOP) v Ondřejově.

V letech 1983-1985 byly provedeny na GOP komplexní rozborů dlouhodobých měření konaných v letech 1970-1983 CZ 100/1000. Cílem těchto prací byl, mimo jiné, výpočet různých charakteristik vnitřní a vnější přesnosti přístroje, případně jejich časových změn, určení osobních rovnic jednotlivých pozorovatelů (též v závislosti na způsobu pozorování). Obdobné cíle sledovala analýza měření konaných CZ 50/500 (s přihlédnutím na množství pozorovacího materiálu). Snahou bylo porovnat oba přístroje. K zpracování pozorování i jejich analýze se užil stejný postup, resp. stejné programy. K analýze byly použity odchylky od údajů BIH pro koordinovaný čas DT a pro šířku DF, definované pro každou pozorovací řadu vždy

$$DT = (UT1 - UTC)_{BIH} - (UT1 - UTC)_{CZ},$$

$$DF = \bar{\varphi}_{CZ} - \varphi_{CZ},$$

kde index BIH označuje hodnoty z Annual Report for 1970-1983, cirkulář D, $(UT1 - UTC)_{CZ}$ je pozorovaná korekce koordinovaného času ΔT ($\Delta T = UT0 - UTC$) redukovaná ke střednímu pólu v systému BIH "1979", φ_{CZ} je stejně redukovaná šířka φ a $\bar{\varphi}_{CZ}$ je konvencionální šířka cirkumzenitálu na GOP. Do určení ΔT vstupovala též konvencionální délka stanice.

V analýze obou materiálů se předpokládaly stejné váhy řad bez ohledu na počet hvězd a na vnitřní přesnost určených ΔT a φ , protože z těchto veličin nelze spolehlivě určit vnější přesnost měření. Z pozorovacího materiálu byly určeny osobní rovnice jednotlivých observátorů. Jsou uvedeny a porovnány s osobními rovnicemi pro CZ 100/1000 v tabulce 1.

Osobní rovnice z této tabulky nelze porovnávat mechanicky. Je nutné si uvědomit, že u CZ 100/1000 byly zjištěny výrazné změny osobních rovnic pozorovatelů pro čas (pro šířku zanedbatelné) po zavedení automatického sledování hvězd v azimutu a zvláště po zavedení motorického pohonu mikrometru, kdy jsou průchody hvězd almukantaratem registrovány systematicky o 20-25 ms dříve [1].

Tabulka 1 - Osobní rovnice

Observátor	CZ 50/500			CZ 100/1000		
	n	A^{DT} (ms)	A^{DF} (")	n	A^{DT} (ms)	A^{DF} (")
Kostelecký	6	$-1,2^{±0,3}$	$0,117$ $±0,070$	74	$3,9$ $±1,4$	$0,133$ $±0,016$
Skoupý	11	$34,2$ $± 5,3$	$0,065$ $±0,079$	279	$1,3$ $±0,8$	$0,125$ $±0,008$

n - počet řad

Pro společnou analýzu výsledků obou pozorovatelů použijeme homogenizované hodnoty DT_i^h a DF_i^h , kde

$$DT_i^h = p DT_i - p A^{DT},$$

$$DF_i^h = p DF_i - p A^{DF}.$$

Indexy označují i-tou řadu a p-tého pozorovatele. Veličiny DT_i^h a DF_i^h mají charakter skutečných chyb souřadnic z jednotlivých řad, neboť to jsou odchylky od "přesných" hodnot BIH. Při dostatečně velkém počtu pozorování (asi 100 řad měřených nejméně jeden rok) střední kvadratická hodnota DT_i^h a DF_i^h reprezentuje vnější střední chybu jedné řady, resp. určených astronomických souřadnic. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 - Vnější přesnost

Cirkumzenitál	Střední hodnota		Počet řad
	DT^h	DF^h	
50/500	$± 18$ ms	$± 0", 23$	17
100/1000	$± 13$ ms	$± 0", 13$	353

Jsou porovnány s vnějšími středními chybami pro CZ 100/1000 s tím, že CZ 50/500 budeme mluvit o odhadu přesnosti vzhledem k počtu pozorování.

Podmínky pro určení vnější přesnosti jsou prakticky jen na stálých observačních, kde se provádějí několikaletá nepřetržitá pozorování. V geodetické praxi se astronomická měření konají sezónně v letních měsících, přičemž doba vymezená k určení astronomických souřadnic bodu (tj. φ a délkového rozdílu $\Delta\lambda$ určovaný bod - srovnávací bod) nepřesáhne 2 měsíce. K tomu přistupují ještě navazovací měření na srovnávacím bodě. Přesnost výsledných astronomických souřadnic se proto zpravidla hodnotí podle středních kvadratických chyb, vypočtených z odchylek jednotlivých řad od společného průměru. Tímto způsobem byly zpracovány výsledky měření CZ 50/500 a uvedeny v tabulce 3. Pro porovnání jsou v tabulce srovnatelné chyby CZ 100/1000 určené v [2].

Tabulka 3 - Střední kvadratická chyba

Cirkumzenitál	m	m	Počet řad	Počet kroků
50/500	$\pm 6,2$ ms	$\pm 0,06$	17	1
100/1000	$\pm 4,2$ ms	$\pm 0,03$	17	321

Závěr

Výsledky předběžné analýzy pozorování cirkumzenitálem 50/500 jsou v souladu s konstrukčními možnostmi přístroje. Potvrzují to srovnání přesnosti, v článku uvedená, s opticky mohutnějším cirkumzenitálem 100/1000.

Vzhledem k dosaženým výsledkům je přístroj použitelný pro určování tížnicových odchylek. Může být také použit k určování astronomických souřadnic v oblastech bez nebo s neúplnými geodetickými základy a v obtížném horském terénu. K dosažení kvalitních výsledků v určení zeměpisné délky je nutné, jak potvrzuje tabulka 1, konat navazovací měření, což platí ostatně pro všechny astrometrické přístroje.

Literatura:

- [1] Karský, G. 1985, Bull. Astron. Inst. Czechosl. 36, 144
- [2] Karský, G. 1985, Vermessungstechnik, 33, 13
- Skoupý, V.

- [3] Kostelecký, J. 1987, Bull. Astron. Inst. Czechosl. 38
Karský, G. (in print.)
- [4] Vondrák, J. 1970, Bull. Astron. Inst. Czechosl. 21, 264
- [5] Vondrák, J. 1976, Edice VÚGTK, Circumzenithal VÚGTK
100/1000, řada 4.

Došlo: 20. 6. 1989

Číslo	Ročník	Číslo	Strana
1	1970	21	264
2	1976	100/1000	řada 4.

СОДЕРЖАНИЕ

	Страница
Д. Душатко: Информация о первом этапе модернизации чехословацких геодезических основ	1
М. Цимбалник: Современные геодезические системы и чехословацкие национальные геодезические контурные основы	11
Д. Душатко: Информация о спутниковой системе ГЕО-ИК и её программе	66
Д. Душатко: Использование гравитационного поля Земли для навигации в околоземном пространстве	72
Д. Душатко — В. Йонаш: Современные подходы к оценке, отбору и применению трансформационных методов	81
В. Шилган: Разбор точности создания цифровой модели рельефа второй генерации	96
В. Шилган: Возможности технологического обеспечения строительства цифровой модели территории	115
П. Явски: Пособие по новеллизации концепции создания и обновления специальных карт и военно-географических данных	126
Я. Пирог: Возможности повышения актуальности топографических карт путем упрощения их содержания	132
Я. Вондрак: Радиointерферометрия со сверхбольших основ и ее использование в геодезии	142
Я. Прахарж: К возможностям использования различных видов трансформации прямоугольных плоскостных координат	162
К. Браздил: Автоматизация инженерных работ в картографии	175
В. Шилган: Лазерный спутниковый дальномер ЛД-3	184
В. Коваржик: Регистрационный электронный тахеометр РЕТА и возможности его применения	200
В. Скоупы: Прибор для астрономического определения координат в сложных условиях	211

I N H A L T

	Seite
D. Dušátko: Information über die erste Etappe der Modernisierung der tschechoslowakischen geodätischen Grundlagen	1
M. Cimbálník: Moderne geodätische Systeme und die tschechoslowakischen nationalen geodätischen Lagegrundlagen	11
D. Dušátko: Information über das Satellitensystem GEO-IK und sein Programm	66
D. Dušátko: Ausnützung des Gravitationsfeldes der Erde für die Navigation in dem erdnahen Weltraum	72
D. Dušátko — V. Jonáš: Gegenwärtige Ansätze der Auswertung, Auswahl und Ausnützung der Transformationsmethoden	81
V. Šilhan: Analyse der Genauigkeit des Aufbaues des digitalen Geländemodells 2. Generation	96
V. Šilhan: Möglichkeiten der technologischen Sicherstellung des Aufbaues des digitalen Geländemodells	115
P. Janský: Beitrag zur Novellisierung der Konzeption der Herstellung und Erneuerung von speziellen Karten und militärgeographischen Unterlagen	126
J. Piroh: Möglichkeiten der Aktualitätserhöhung von topographischen Karten durch die Vereinfachung ihrer Inhalte	132
J. Vondrák: Radiointerferometrie von sehr langen Basen (VLBI) und ihre Anwendung in der Geodäsie	142
J. Prachař: Zu den Anwendungsmöglichkeiten von verschiedenen Transformationsarten der Rechtwinkelkoordinaten	162
K. Brázdil: Automatisierung der Ingenieurarbeiten in der Kartographie	175
V. Šilhan: Lasersatellitenentfernungsmesser LD-3	184
V. Kovařík: Elektronisches Registriertachymeter RETA und seine Anwendungsmöglichkeiten	200
V. Skoupý: Ein Gerät für astronomische Koordinatenbestimmung unter schwierigen Bedingungen	211