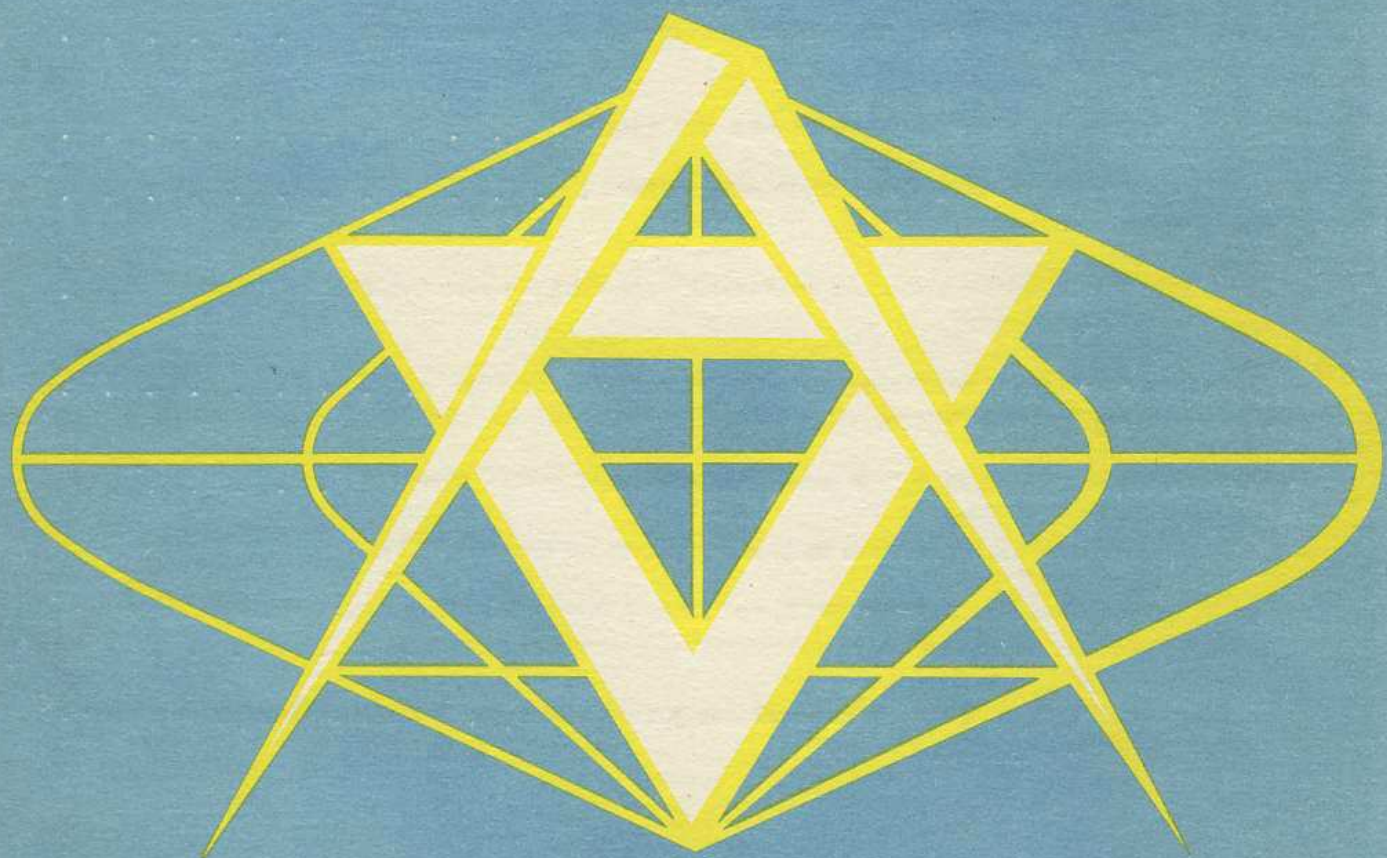


**SBORNÍK
TOPOGRAFICKÉ
SLUŽBY
MNO**



**VOJENSKÝ
TOPOGRAFICKÝ OBZOR**

2/75

O B S A H

	Strana
Plk. ing. V. Vahala, CSc.: Středočlmský geodetický referenční systém	1
<i>Recenzent: ing. M. Burša, DrSc.</i>	
Pplk. ing. J. Utěkal, ing. M. Konrád, ing. F. Hovorka: Laserové sledování UDZ pro geodetické účely	5
<i>Recenzent: pplk. ing. V. Martínák, CSc.</i>	
Prof. Dr. ing. J. Vykutíl: Tížiicové odchylky v současné geodézii	27
Pplk. ing. J. Prachař: Řešení úlohy protínání z orientovaných směrů na elipsoidu	35
<i>Recenzent: ing. J. Ríkal</i>	
Prof. Dr. ing. B. Chrastil: Je definice metru z roku 1960 konečná?	45
Ing. M. Konrád, ing. F. Hovorka: Čas a družicová geodézie	49
<i>Recenzent: ing. R. Hovorka</i>	
Pplk. ing. Č. Kadlec: Několik poznámek k problematice vyměřování a vyznačování státních hranic ČSSR	60
<i>Recenzent: pplk. ing. V. Jandík</i>	
Ing. J. Michal: Obecná problematika projektování informačních systémů	69
<i>Recenzent: pplk. ing. F. Miklošik, CSc.</i>	
Ing. M. Burša, DrSc.: Dynamický způsob určení souřadnic družicových stanovišť	(přiloha)
v ruském znění: »Динамический метод определения координат пунктов наблюдения ИСЗ«.	
Plk. ing. V. Vahala, CSc., ing. M. Burša, DrSc., pplk. ing. S. Kvasnička, CSc.: Využití družicových pozorování k upřesnění tvaru Země a parametrů jejího gravitačního pole	(přiloha)
v ruském znění: »Использование спутниковых наблюдений для уточнения фигуры Земли и параметров ее гравитационного поля«.	

Plk. ing. Vladimír V a h a l a, CSc.

Středočínský geodetický referenční systém

Úvod

Naše dosavadní publikace [1 - 6] o transformacích světových geodetických referenčních systémů /EUR, NAD, AND a IND/ je možno rozšířit o studii transformace středočínského geodetického referenčního systému /CCHD/ do systému evropského /EUR/.

V[7] byly publikovány některé studie o středočínském geodetickém referenčním systému, mezi nimiž byl uveden i tvar geoidu v oblasti střední Číny.

Triangulační síť střední Číny, obsahující přibližně 80 000 bodů, byla vyrovnána v systému mezinárodního elipsoidu /Hayfordova/ se základním bodem NANKING americkou vojenskou geodetickou službou v r. 1963, a to s využitím tížnicových odchylek na 70 astronomicko-geodetických bodech sítě.

Středočínský geodetický referenční systém /CCHD/ je definován

- parametry Hayfordova elipsoidu:

$$a = 6\,378\,388 \text{ m}$$

$$\alpha = 1:297,00,$$

- základním bodem NANKING o souřadnicích:

$$\varphi = 32^{\circ}03'26,15''$$

$$\lambda = 118^{\circ}46'57,23''$$

- orientačními prvky elipsoidu v základním bodě:

$$\xi_0 = 0,00 \text{ složka tížnicové odchylky v rovině poledníku,}$$

$$\eta_0 = 0,00 \text{ složka tížnicové odchylky v rovině prvního vertikálu,}$$

$$\zeta_0 = 0,00 \text{ m výška geoidu nad elipsoidem.}$$

Znázornění tvaru geoidu v publikaci [7] jsme použili v transformaci systému CCHD do evropského systému EUR, a to způsobem uvedeným v [1].

1. Výchozí podklady

Z grafického vyjádření průběhu geoidu - příloha 1 - byly vypočteny výšky geoidu / ζ_{ir} / nad čínským referenčním elipsoidem v geodetickém referenčním systému CCHD na zvolených bodech v oblasti střední Číny.

Z družicových podkladů [8] na týchž bodech byly vypočteny výšky geoidu / ζ_{io} / nad geocentrickým elipsoidem o parametrech totožných s parametry Hayfordova elipsoidu, který je základem systému CCHD.

2. Postup řešení

Při řešení rovnic oprav, normálních rovnic, při výpočtech posunů ΔX_o , ΔY_o , ΔZ_o /t.j. souřadnic středu čínského referenčního elipsoidu vzhledem k hmotnému středu Země/, oprav υ a středních chyb m_o , $m_{\Delta X_o}$, $m_{\Delta Y_o}$, $m_{\Delta Z_o}$

- vše metodou přímou a metodou potenciálu - byl postup totožný s postupem uveřejněným v [1].

3. Přehled výsledků

Výsledné hodnoty určovaných translačních elementů geodetického referenčního systému CCHD a jejich střední chyby jsou uvedeny v následující tabulce:

	Metoda přímá	Metoda potenciálu	Výsledné hodnoty
	[m]	[m]	[m]
ΔX_o	-49,1	-47,5	-48,3
$m_{\Delta X_o}$	$\pm 2,1$	$\pm 2,1$	$\pm 2,1$
ΔY_o	-320,3	-318,6	-319,4
$m_{\Delta Y_o}$	$\pm 1,1$	$\pm 1,1$	$\pm 1,1$
ΔZ_o	-5,5	-6,3	-5,9
$m_{\Delta Z_o}$	$\pm 2,4$	$\pm 2,5$	$\pm 2,4$
m_o	$\pm 1,5$	-	$\pm 1,5$
n	197	197	197

/n = počet bodů použitých k výpočtu/

Výsledky potvrzují poměrně vysokou vnitřní kvalitu geodetického referenčního systému CCHD.

4. Transformace geodetických šířek a délek

ze systému CCHD do systému EUR a naopak

Vzhledem k aktuálnosti konkrétního využití dosažených výsledků byly vypočteny rozdíly geodetických šířek a délek ΔB a ΔL pro přechod ze systému CCHD do systému EUR a naopak.

Transformační rovnice zní:

$$\begin{aligned} B_{\text{EUR}} &= B_{\text{CCHD}} + \Delta B_{12} , \\ L_{\text{EUR}} &= L_{\text{CCHD}} + \Delta L_{12} , \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} B_{\text{CCHD}} &= B_{\text{EUR}} + \Delta B_{21} , \\ L_{\text{CCHD}} &= L_{\text{EUR}} + \Delta L_{21} , \end{aligned} \quad (2)$$

v nichž indexem 1 je označen geodetický referenční systém EUR /evropský/ a indexem 2 je označen geodetický referenční systém CCHD /středočínský/.

Řešením obdržíme rovnice pro určení transformačních rozdílů

$\begin{aligned} \Delta B_{12}'' &= + 34,4 A - 206,2 B + 106,7 C \\ \Delta L_{12}'' &= + 34,4 F - 206,2 G \end{aligned} \quad (3)$
--

$\begin{aligned} \Delta B_{21}'' &= - 34,4 A + 206,2 B - 106,7 C \\ \Delta L_{21}'' &= - 34,4 F + 206,2 G \end{aligned} \quad (4)$
--

kde koeficienty $A - G$ jsou dány vzorci v [1], str. 42-43 a poloměry křivosti M, N v nich použité jsou dány vzorci v [1], str. 39; koeficienty D a E v uvedených vzorcích mají v našem případě nulovou hodnotu, protože v obou systémech byl použit stejný referenční elipsoid /Hayfordův/.

Početní výsledky transformačních rozdílů ΔB_{12} a ΔL_{12} pro území střední Číny jsou graficky vyjádřeny v přílohách 2 a 3.

Poněvadž však geodetický referenční systém CCHD může být zaveden i na území celé Číny, byla rovnice (3) použita i pro oblast podstatně větší, pokrývající území celé Číny včetně částí přilehlých států. Grafické znázornění příslušných transformačních rozdílů ΔB_{12} a ΔL_{12} je uvedeno v přílohách 4 a 5.

Závěry

- Dosažené výsledky ukazují, že rozpracované metody [1] mohou být úspěšně použity

i v případě poměrně omezených transformačních polí, za předpokladu jejich velké vnitřní přesnosti.

Nehledě k tomu, že použitá transformační oblast je poměrně malá /cca 6° s.š. krát 14° v.d./, lze na základě přesnostních charakteristik, vyplývajících z přehledu výsledků, konstatovat, že řešená transformace vykazuje dosti vysokou přesnost, což a priori nebylo lze očekávat.

- Nulová hodnota transformačního rozdílu $\Delta L''_{12}$ je v poledníku 99°28'/279°28', což vyplývá ze vzorce

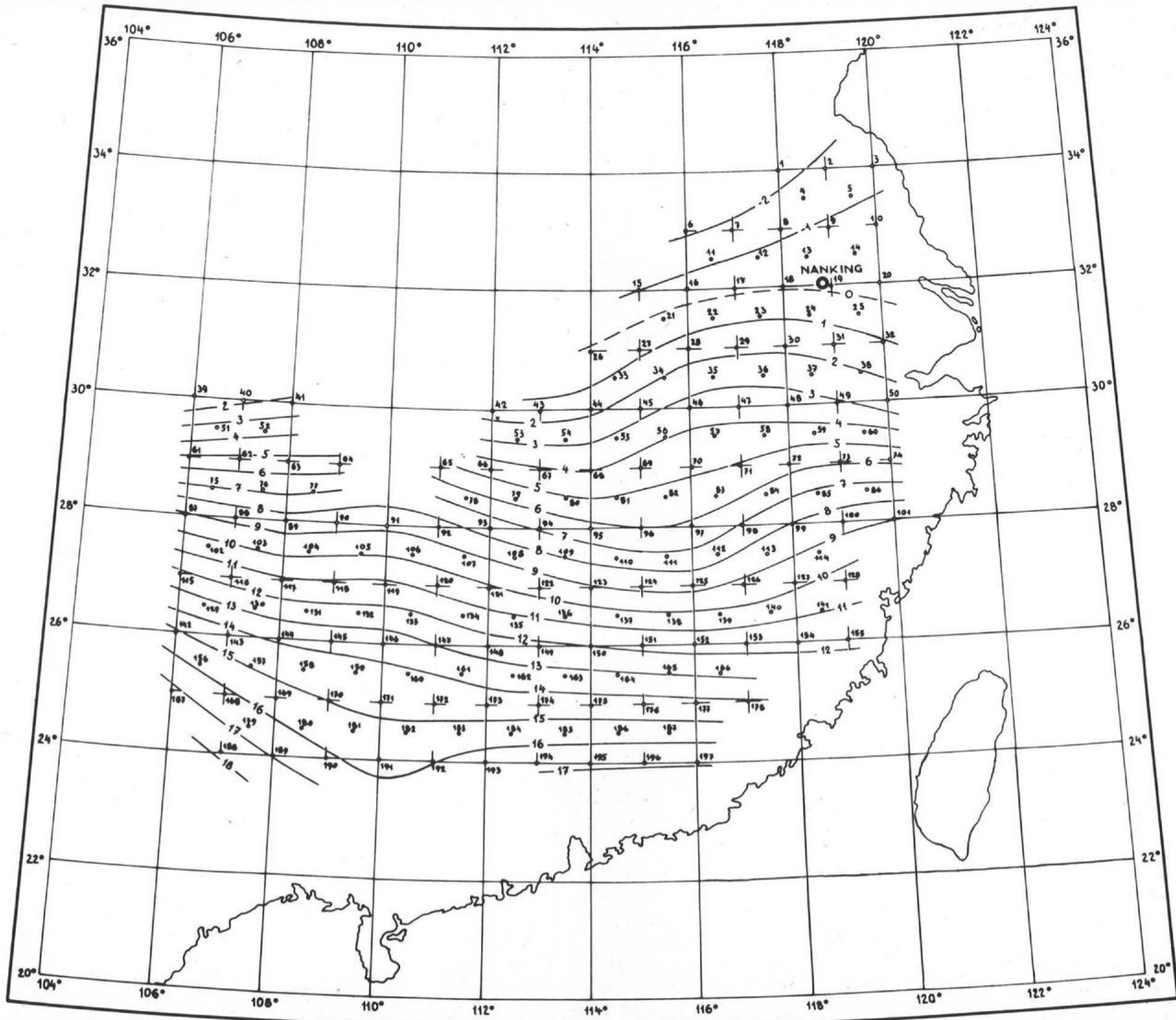
$$\operatorname{tg} L = \frac{\Delta(\Delta Y_0)_{12}}{\Delta(\Delta X_0)_{12}} = \frac{-206,2}{+34,4}$$

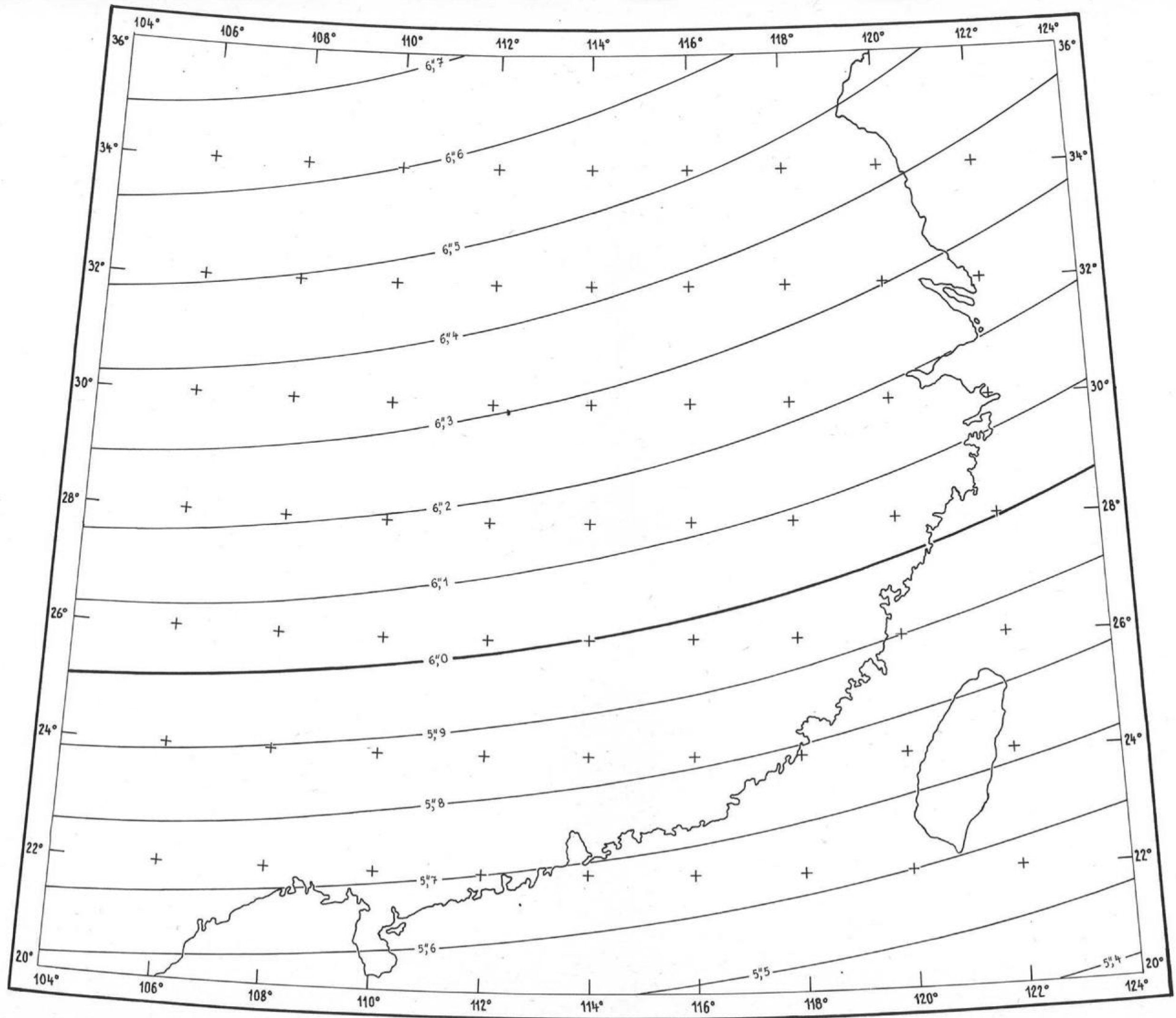
- V kombinaci s dřívějšími výsledky [1] a [4] bylo by možno těchto nových výsledků, definujících polohu čínského geodetického referenčního elipsoidu v zemském tělese, použít pro vzájemné transformace mezi geodetickým systémem CCHD a dalšími geodetickými referenčními systémy jako NAD, IND a AND.

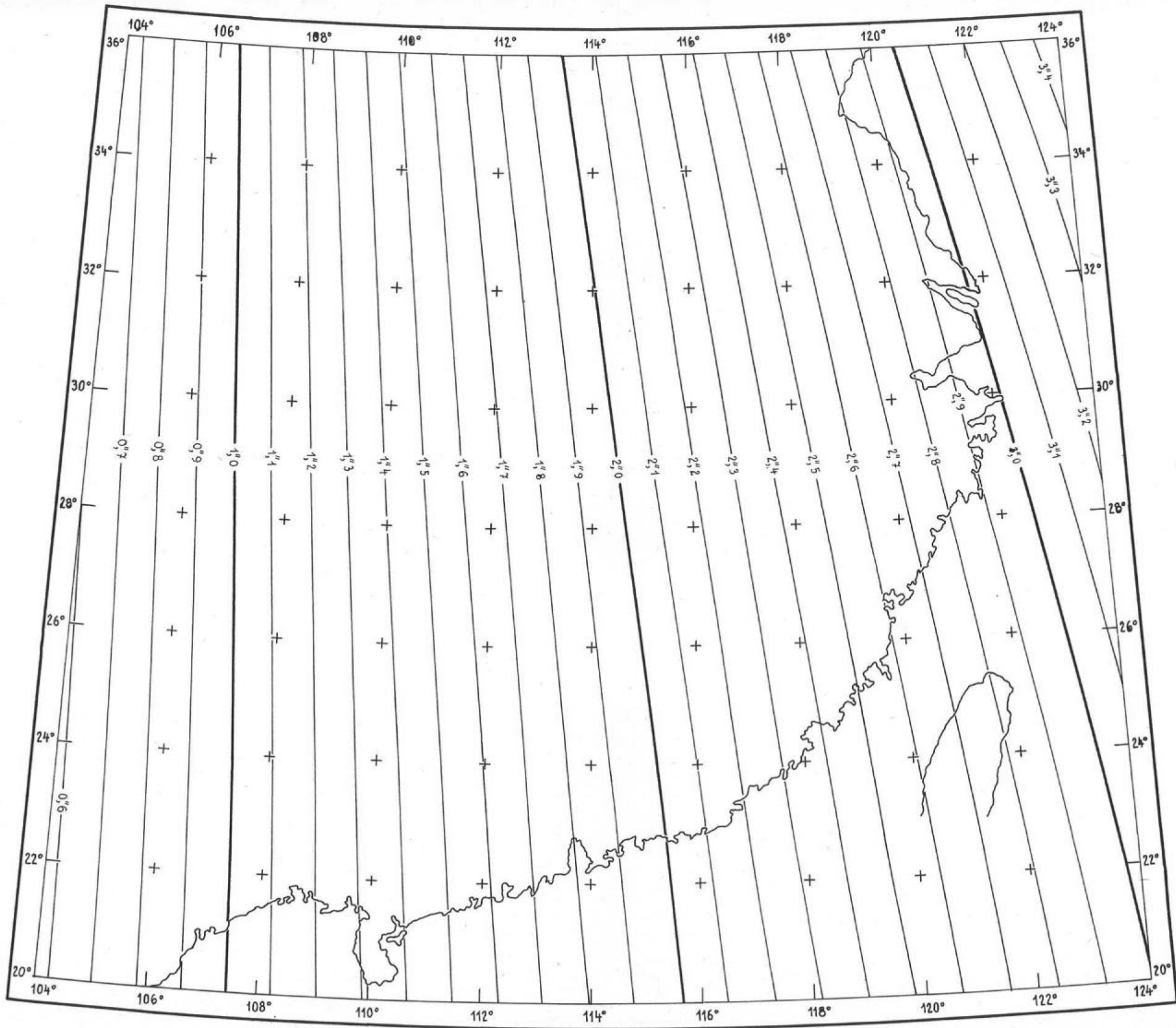
L I T E R A T U R A

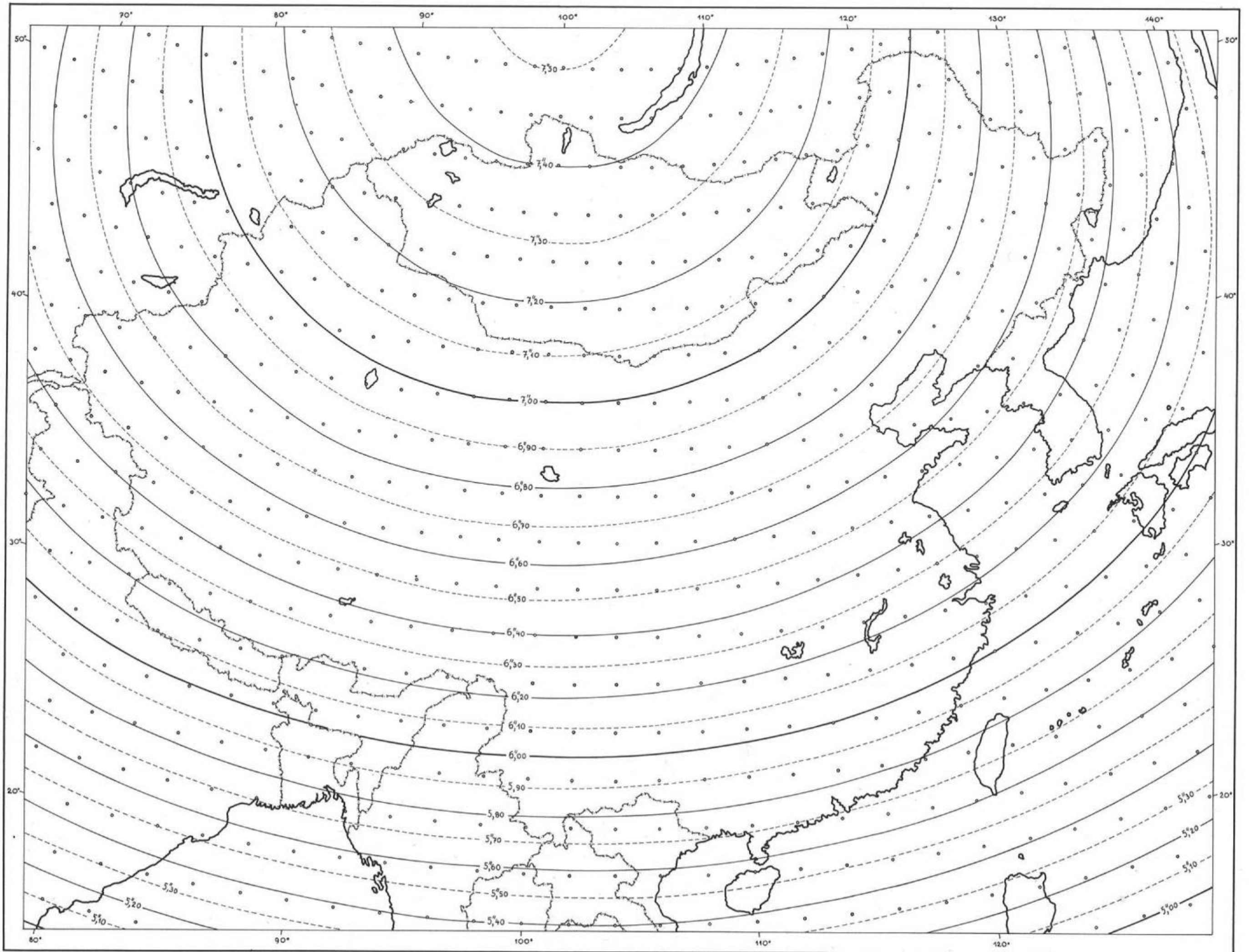
- [1] V. Vahala: Geodetické sítě malého rozsahu, jejich transformace a transformace světových referenčních geodetických systémů /kandidátská disertační práce - 1971/
- [2] V. Vahala: Příspěvek k problematice geodetických sítí /VTO-1971/1/
- [3] V. Vahala: Transformace světových referenčních geodetických systémů /VTO - 1972/1/
- [4] V. Vahala: Světový referenční geodetický systém /2. dílčí výzk. zpráva - 1972/
- [5] V. Vahala: Světový referenční geodetický systém /3. dílčí výzk. zpráva - 1973/
- [6] V. Vahala: Světový referenční geodetický systém /4. dílčí výzk. zpráva - 1974/
- [7] M. Ómori: Referenční elipsoid z astronomicko-geodetického pozorování ve střední Číně /časopis Vědecké geodetické společnosti Sokuči gakkai ši, roč. 11/1965, č. 1/
- [8] E. M. Gaposchkin, K. Lambeck: 1969 Smithsonian Standard Earth /II/, /SAO Spec. Rep. 315, 1970/.

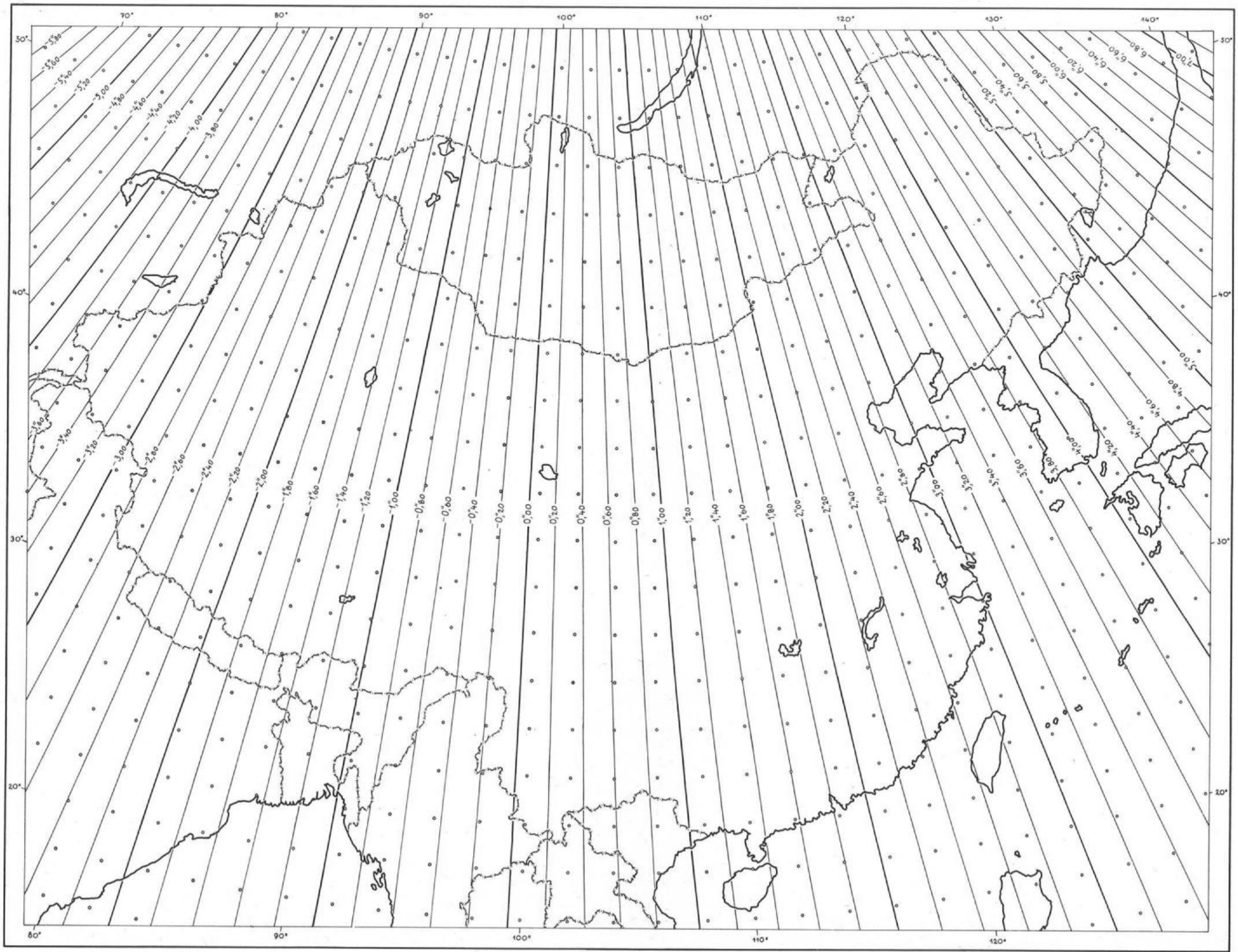
Došlo dne 13. 9. 1974











Laserové sledování UDZ pro geodetické účely

Ú v o d

Pro kosmickou geodézii byla donedávna hlavním zdrojem měřických veličin fotografická pozorování UDZ, která dovolují určení směru ke družici s přesností kolem $\pm 2''$. Na základě fotografických pozorování prováděných na řadě stanic lze propočítat prostorové sítě kosmické geodézie. Takovými sítím však chybí rozměr a ani jejich přesnost není taková, aby vyhověla nejvyšším geodetickým požadavkům na ni kladeným. Jsou proto potřebná přímá délková měření. Pro účely kosmické geodézie lze s úspěchem využít pulsních laserů /v našem případě rubínových/ produkujících vysoké výkony potřebné k překonávání a tím i změření velkých vzdáleností / > 1000 km/. Předmětem měření je přímá topocentrická vzdálenost družice. Vzdálenost se určuje na základě doby, kterou potřebuje světelný puls k vykonání dráhy stanice - družice a zpět. Princip měření spočívá v tom, že ke družici, která je vybavena speciálními koutovými odražeči /obr. 1/ se vyšle laserovým vysílačem svě-



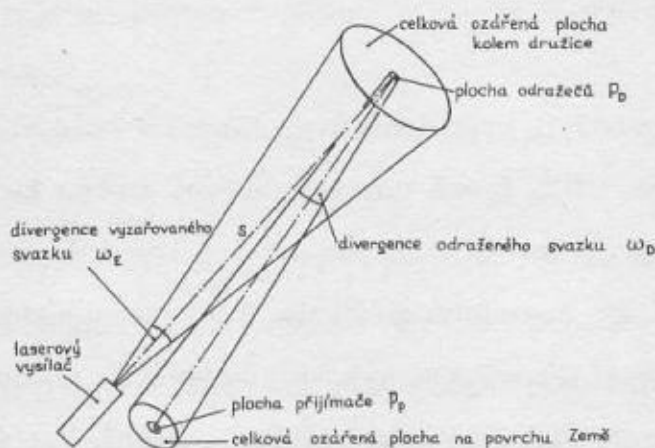
Obr. 1

telný puls. Okamžik vyslání je snímán fotonkou, která startuje elektronický čítač. Puls letí ke družici, kde se odráží od koutových odražečů a vrací se zpět ke stanici. Přijímá se optickým přijímačem na fotonásobič. Elektrický impuls fotonásobiče zastaví elektronický čítač. Na čítači se načítá doba, kterou puls potřeboval k překo-

nání vzdálenosti stanice - družice a zpět. Naměřený tranzitní čas se potom pomocí rychlosti šíření světla a atmosférické korekce převede na vzdálenost.

Ze schematu vyslaného i odraženého laserového svazku /obr. 2/ vyplývá modifikovaná radarová energetická rovnice:

$$\frac{\bar{E}}{E} = \frac{16 P_D \cdot P_P}{\pi^2 s^4 \cdot \omega_E \cdot \omega_D} \cdot k^2 ,$$



Obr. 2 .

kde E je energie vyzářená laserovým vysílačem

\bar{E} energie přijatá přijímačem

s topocentrická vzdálenost družice

P_D efektivní plocha odražečů na družici

P_P efektivní plocha přijímače

ω_E divergencí vyzařovaného svazku

ω_D divergencí odraženého svazku $\geq 2\gamma$

k koeficient atmosférické propustnosti .

Z energetické kalkulace vyplývá, že současnými laserovými aparaturami nelze měřit vzdálenosti k libovolným UDZ, které mají tvar koule, válce, příp. jiný, poněvadž od nich se laserový svazek odráží všemi směry a pro paprsek vracející se zpět ke stanici tím nastává velký úbytek energie. Pro laserová pozorování jsou zatím vhodné pouze družice s koutovými odražeči /obr. 1/, které vracejí laserový puls v úzkém svazku o divergenci asi 20" potřebné k tomu, aby odražený svazek pokryl na povrchu Země plochu o \varnothing asi 100 m. Je to nutné z důvodu aberace. V současné době je na oběž-

ných drahách celkem 7 družic, z nichž pro pozorování na našem území jsou vhodné pouze družice Geos A, Geos B a Beacon Explorer-B.

1. Experimentální laserová aparatura

V roce 1972 byla v ČSSR zkonstruována experimentální laserová aparatura, která prověřuje možnosti dosažení spolehlivých odrazů od UDZ a přesného měření vzdáleností a dovoluje odzkoušet různé základní části a různé metody pozorování.

Experimentální aparatura sestává z těchto základních částí:

laserový vysílač, optický přijímač, pointační dalekohled, čtyřosá montáž s naváděcím systémem, detekční a registrační systém a časové přiřazení.

Laserový vysílač, zrcadlový přijímač a pointační dalekohled byly upevněny na čtvrté ose speciálně konstruované čtyřosé montáže, umístěné v observační místnosti s odsuvnou střechou. Elektronická část naváděcího systému, detekční a registrační systém a časové přiřazení byly umístěny v samostatné, tepelně stabilizované místnosti.

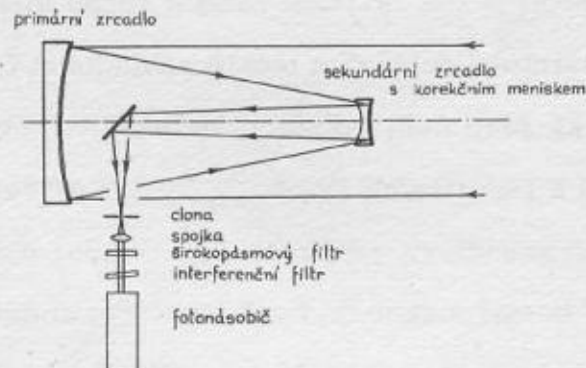
Základním dílem družicového dálkoměru je kvantový generátor světla - laser, pracující v tzv. Q-režimu. V první fázi experimentu bylo použito dvoustupňového rubínového laseru /oscilátor a zesilovač/ o výstupní energii kolem 3 J a opakovací frekvenci 0,07 Hz. V druhé fázi bylo použito sice laseru jednostupňového o výstupní energii nižší než 1 J, ale zato o vysoké opakovací frekvenci až 1,3 Hz. Již z modifikované radarové rovnice je patrné, že není účelné neúměrně zvyšovat energii vyslaného pulsu. Zisku v přijaté energii lze dosáhnout pohodlněji zvýšením účinnosti přijímače nebo snížením divergence výstupního svazku. Snížení divergence ovšem klade zvýšené požadavky na naváděcí systém. Během experimentu se však ukázalo, že při sledování podle připraveného programu lze zaručit spolehlivé navedení na družici i při divergenci výstupního svazku menší než 1 mrad.

Porovnání hlavních parametrů obou laserů:

	laser I	laser II
výstupní energie /J/	3	1
délka pulsu /ns/	50	30
výstupní výkon /MW/	60	35
opakovací frekvence /Hz/	0,07	1,3

Podstatný rozdíl mezi lasery je především v délce pulsu a v opakovací frekvenci, která je velmi důležitá jednak s ohledem na statistický charakter měření a jednak vzhledem k použití aparatury v síti stanic, kde aparatury budou pracovat kvazisynchronně.

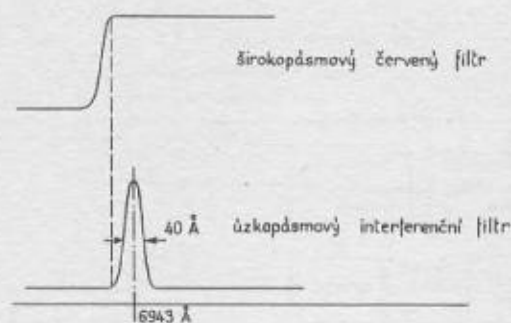
Přijímací systém byl konstruován jako modifikovaný systém cassegrain /obr. 3/.



Obr. 3

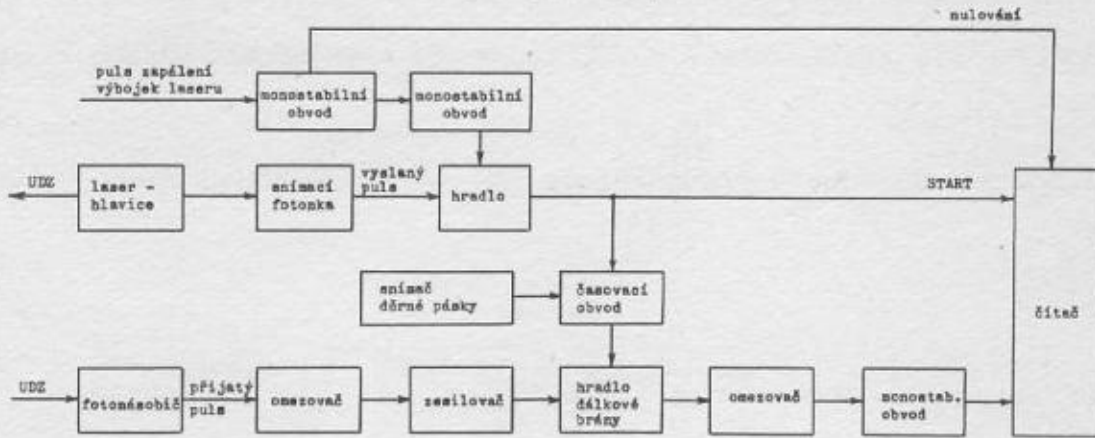
Hlavními členy optické části přijímacího systému jsou primární sférické zrcadlo, sekundární zrcadlo s korekčním meniskem, clona, filtrovací soustava a fotonásobič. Průměr primárního zrcadla je 440 mm. Pro odstranění kulové vady sférického zrcadla byla sekundární plocha zhotovena jako korekční meniskus s pokovenou zadní plochou. Tím bylo dosaženo, že v sekundární ohniskové rovině byly paprsky soustředěny do jednoho bodu, takže do této roviny mohla být umístěna clona vymežující zorné pole přijímače 4 mrad. Za sekundární ohniskovou rovinou jsou rozbíhající se paprsky zrovnoběžněny pro dopad na interferenční filtr objektivem o $f = 60$ mm. Svazek rovnoběžných paprsků přecházejících přes širokopásmový červený filtr a úzkopásmový interferenční filtr a dopadajících potom na fotokatodu fotonásobiče měl $\varnothing = 6$ mm. Poměr signálu k šumu je dán /kromě vlivu vlastního šumu fotonásobiče za tmy./ kvalitou filtrovací soustavy. Širokopásmový červený filtr filtroval světlo až do 6900 Å. Zbylou část filtroval interferenční filtr, jehož šířka pásma propustnosti byla 40 Å a propustnost 56 % /obr. 4/.

Světlo soustředěné přijímací optikou dopadá na katodu fotonásobiče. V aparatuře byly s úspěchem používány dva typy. Jeden s kvantovou účinností asi 2,5 % /tj. účinnost pro barvu světla rubínového laseru/ a druhý s kvantovou účinností 5%. Vzhledem k nízké energii přijímaného signálu je třeba volbou napájecího napětí fotonásobiče



Obr. 4

plně využít jeho zesílení a prahovou úroveň nastavit tak, aby bylo dosaženo co nejvyšší účinnosti příjmu. Nastavení citlivosti je dosti kritické. Při nastavení příliš vysoké prahové úrovně a obvykle velkém kolísání úrovně odraženého signálu /v poměru až 1 : 1000/ dochází při nižších přijatých energiích ke ztrátě odrazu. Naopak, je-li prahová úroveň nízká, vzroste četnost šumových pulsů a aparatura, která nedokáže rozlišit užitečný signál a šum, vyhodnotí často náhodný šumový puls jako odraz ještě před možným příchodem užitečného signálu. Účinnost příjmu závisí ve značné míře na tom, jak se podaří potlačit šum, případně jeho vliv na přijímač. Prvním předpokladem je použití úzkopásmového filtru, potlačujícího parazitní světlo, přiváděné optikou na fotonásobič. Při použití filtru s šíří propustného pásma 40 Å není /při pozorování v noci/ podstatného rozdílu mezi šumem oblohy a vlastním šumem používaného fotonásobiče. Četnost šumových pulsů je při požadovaném zesílení /tzn. i napájecím napětí fotonásobiče/ řádově stovky pulsů za sekundu. Je nutné omezit možnost záměny odraženého pulsu těmito náhodnými pulsy. To je úkolem elektronických obvodů, zařazených za fotonásobičem. Využívá se toho, že dráha družice /a tím její vzdálenost od stanice/ je s určitou přesností známa předem a lze z ní určit okamžik příchodu odraženého signálu. Přijímač se otevírá teprve až 0,1 msec před možným příchodem signálu na dobu asi 0,3 msec. Během experimentu nebylo vytvořeno žádné definitivní uspořádání přijímače. Byly prověřovány různé kombinace špičkových přístrojů z dovozu s dostupnějšími přístroji vyráběnými v ČSSR a jednoúčelovými přístroji vlastní konstrukce. Přijímač vlastní konstrukce /blokové schéma na obr. 5/ má na vstupu omezovač, za nímž následuje dvoustupňový zesilovač, hradlo dálkové brány a monostabilní obvod s tunelovou diodou s možností nastavení úrovně spouštění.

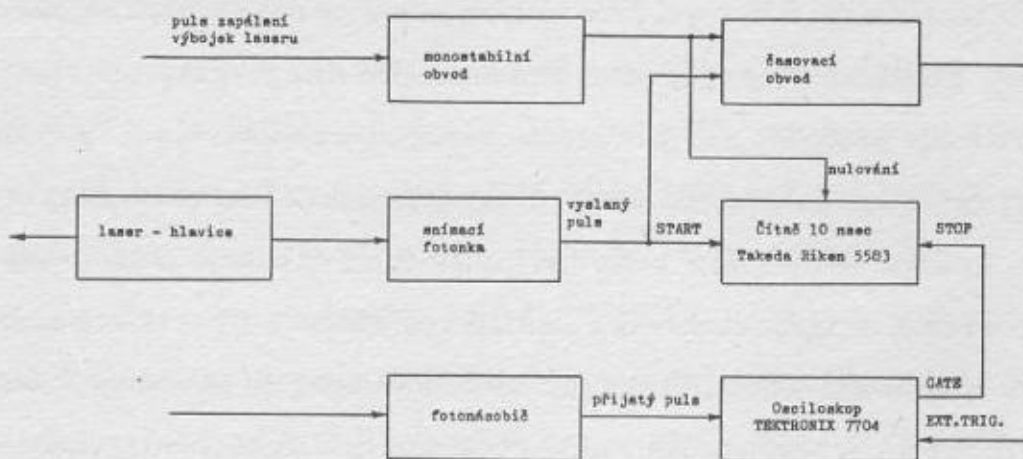


Obr. 5

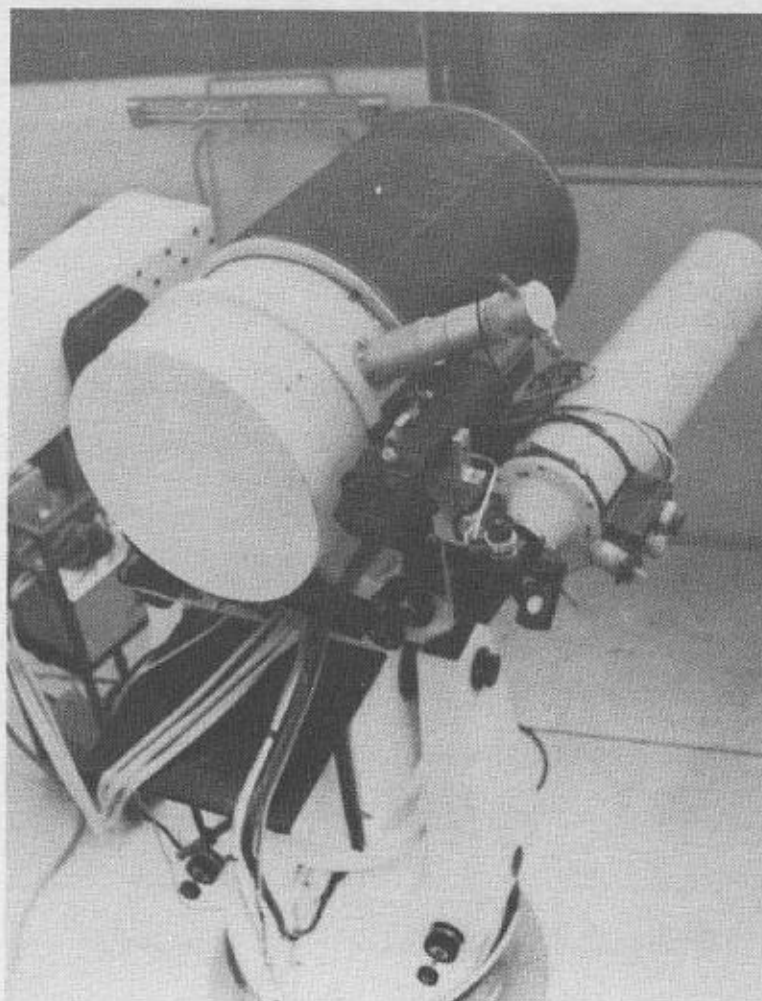
Výstup monostabilního obvodu lze připojit přímo na vstup čítače měřícího tranzitní čas. Dálková brána /obvod zpožděného otevírání přijímače/ se nastavovala nejdříve ručně s nižší přesností, v závěru experimentu byl zkoušen obvod, který otevíral přijímač podle programu naděrovaného na děrné pásce. Nastavení zpoždění se měnilo každé 2 sekundy. Základem obvodu je registr, do něhož se asynchronními vstupy zapisuje údaj o vzdálenosti ke družici. Po vyslání laserového pulsu se obsah registru začne odpočítávat pulsy z generátoru signálu o kmitočtu 10 kHz. Po dosažení nuly vytváří obvod puls, kterým se otevírá přijímač. Na obr. 6 je blokové schéma přijímací a vyhodnocovací části zařízení, sestavené z kvalitních měřicích přístrojů.

Naváděcí montáž je řešena jako čtyřosá, kde hlavní pohyb za družicí se vykonává kolem 3. osy, poháněné krokovým motorem. Korekce byly prováděny jak ve 3., tak i ve 4. ose /obr. 7/. Montáž má 2 vidlice /spodní a horní/. Každá vidlice má 2 osy otáčení. První dvě osy na spodní vidlici slouží k nastavení 3. osy tak, aby směřovala do pólu zdánlivé dráhy družice. Laserový vysílač, optický přijímač odraženého pulsu

Přijímací a časoměrný systém



Obr. 6

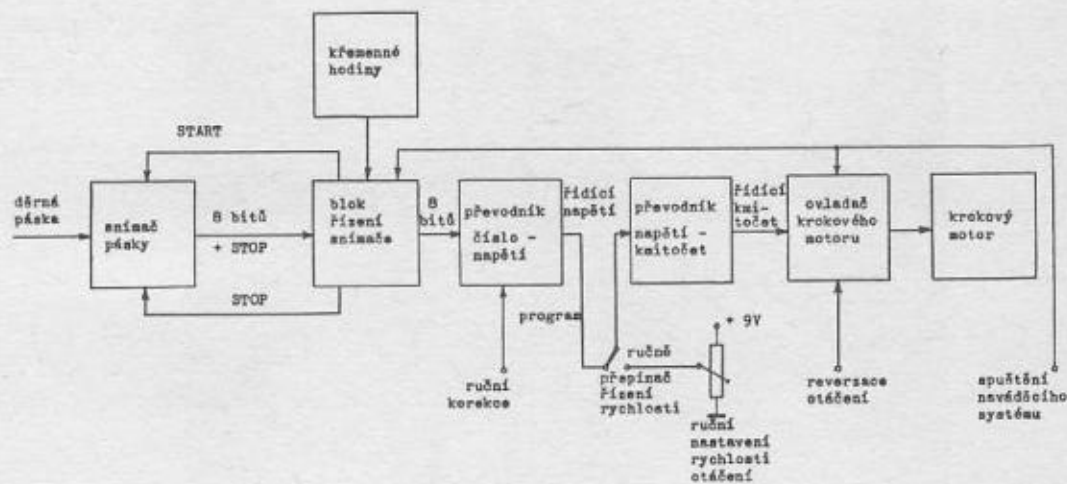


Obr. 7

a pointační dalekohled jsou upevněny v horní vidlici na 4. ose. Všechny 4 osy jsou řešeny, propočteny a konstruovány tak, že jsou vzájemně na sebe kolmé s přesností $\pm 1'$. Všechny osy jsou také vybaveny přesnými dělenými kruhy /přesnost $1' - 2'$ /, takže celá montáž může pracovat buď jako sledovací nebo jako nastavovací /poziční - podle souřadnic/, případně na kratším úseku dráhy jako montáž se zcela programovaným sledováním družice bez vizuální kontroly. Celá montáž se během ročního experimentu jevila jako přesná a bezporuchová. Poměrná robustnost a tím i dobrá stabilita celé aparatury a rozmístění jednotlivých částí umožňovala jejich snadnou výměnu a pohodlné experimentování. Nedostatkem takto řešené montáže však bylo nevhodné umístění pointačního dalekohledu /excentrické vůči 3. i 4. ose/, což má za následek pohyb observátora během přeletu v poměrně nepříznivých polohách. V experimentální fázi však nebylo účelem pohodlí observátora, nýbrž spolehlivé a přesné navedení na družici.

Vlastní navedení na družici je rozděleno mezi 3. a 4. osu. Kolem 3. osy je vykonávána hlavní složka pohybu v rovině zdánlivé dráhy družice. Pohyb kolem 4. osy je malý, pouze $\pm 5^\circ$. Korekční pohyb je veden kolmo k rovině zdánlivé dráhy družice.

Elektronika navigačního systému

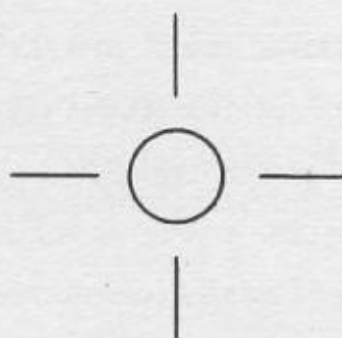


Obr. 8

Hlavní pohyb /kolem 3. osy/ obstarává krokový motor, jehož jmenovitý kmitočet byl 660 Hz. Celkově pracoval motor v rozsahu 0 - 900 Hz. Jeden krok představuje pootočení $1,5^\circ$ na hřídeli krokového motoru. Zdánlivé rychlosti použitelných 3 laserových družic nepřesahovaly hodnotu $0,5^\circ/\text{sec}$. Pro pohon 3. osy byl proto použit převod 1:2700. Přesné nastavení rychlosti otáčení kolem třetí osy umožňuje hnací krokový motor, jehož otáčky jsou řízeny podle programu z děrné pásky /obr. 8/. Pětistopá děrná páska se připravuje předem na počítači MINSK22. Informace o okamžité skutečné rychlosti otáčení je uložena vždy ve dvou po sobě jdoucích krocích. Využívá se při tom pouze prvních čtyř stop na děrné pásce, celkem 8 bitů informace v případném binárním kódu. Pátá stopa je vyhrazena pro povel STOP pro řídicí obvody snímače děrné pásky. Současně zajišťuje správný sled čtení obou polovin čísla. Snímač děrné pásky je každou druhou sekundu spuštěn signálem z křemenných hodin a po přečtení povelu STOP /druhý krok snímače/ se zastaví. Odstupňování rychlosti otáčení do 255 stupňů je přitom dostatečně jemné a k plynulému navedení montáže za družicí je zapotřebí jen případných nepatrných korekcí, zaváděných pozorovatelem. Informace vystupující ze snímače děrné pásky se až do přečtení nových hodnot uchovávají v osmi-bitovém registru a jsou z něj odečítány do převodníku číslo - napětí. Převodník pracuje s tříčlankovým odporovým vedením, napájeným spínanými zdroji proudu. Na výstup odporového vedení je připojen zesilovač používající integrovaného operačního zesilovače. Kompenzační vstup zesilovače, který se obvykle používá ke kompenzaci jeho nesymetrie, je v tomto případě použit pro zavádění oprav rychlosti pozorovatelem. Tímto způsobem je možné měnit kmitočet řídicího signálu krokového motoru asi 0 ± 20 Hz /tj. otáčky krokového motoru typicky $0 \pm 2\%$ /. Přepnutím je možné rozšířit rozsah korekcí na obě strany, ale v praxi souhlasí program rychlosti se skutečným pohybem družice natolik, že přepínání rozsahu není využito. Výstupní napětí převodníku číslo - napětí se vede na převodník napětí - kmitočet. Koeficient převodu je 100 Hz/V. Linearita převodu a stabilita obou převodníků zajišťuje nastavení řídicího kmitočtu z děrné pásky s přesností 1 Hz v celém používaném rozsahu. Ve zvláštních případech je možné použít ručního řízení otáček krokového motoru namísto řízení z programu na děrné pásce. V tom případě se na vstup převodníku napětí - kmitočet přivádí řídicí napětí z víceotáčkového potenciometru Aripot, kterým pozorovatel přímo přizpůsobuje rychlost otáčení kolem třetí osy zdánlivé úhlové rychlosti cíle.

Změna rychlosti otáčení kolem třetí osy o 1 stupeň, jak je zaveden u programového řízení z děrné pásky, představuje pootočení potenciometrem Aripot asi o 15 stupňů u řízení ručního. Stabilita otáček motoru je přitom stejná jako u řízení programového. Z toho je zřejmé, že zkušený pozorovatel vede montáž za družicí stejně jistě i pomocí ručního řízení. Naproti tomu je velkou výhodou programového řízení např. i to, že v případě, že část družice je na obloze překryta mraky, neztrácí pozorovatel družici ze zorného pole dalekohledu a v následující viditelné části dráhy může pokračovat v měření.

Pointační dalekohled sloužil k vizuálnímu navedení celého systému na družici, tj. navedení jednak osy laserového svazku a jednak osy přijímací optické soustavy. Jelikož hvězdná velikost pozorovaných laserových družic se pohybuje v rozmezí 7 - 9^m, musel být použit dalekohled, jehož vstupní otvor je větší než 100 mm. Pro prvou fázi experimentu byl zkonstruován vlastní dalekohled. Pro jeho konstrukci bylo použito teleobjektivu Telemar o $f = 1000$ mm a $D = 140$ mm. Výhodou použití teleobjektivu byla krátká fyzická délka dalekohledu / < 800 mm/. Zvětšení bylo voleno tak, aby bylo jen o málo větší než zvětšení normální k tomu účelu byl opatřen dalekohled okulárem o $f = 40$ mm. V obrazové rovině byla umístěna kruhová záměrná značka /obr. 9/.

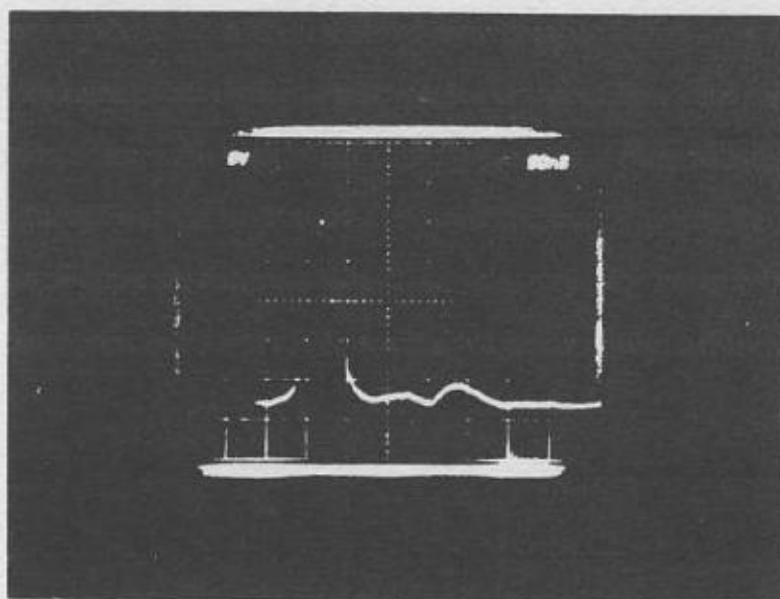


Obr. 9

Průměr kroužku odpovídal úhlově 5 mrad, což je v souladu s divergencí vyslaného laserového svazku. Během experimentu se ukázalo, že družice Geos A je v nízkých výškách nad horizontem špatně viditelná. V druhé fázi experimentu byl použit čočkozrcadlový dalekohled typu Meniscus - Cassegrain o efektivním $D = 140$ mm a

$f = 2250$ mm. Důsledkem velké ohniskové vzdálenosti však bylo malé zorné pole /pouze $50'$ /. Pro observaci družic Geos A a BE-B, kde přesnost jejich efemerid byla v některých případech horší než $\pm 20'$, byla aparatura opatřena pomocným hledáčkem Somet - Monar, jehož ohnisková vzdálenost byla sice krátká, ale zorné pole větší než 3° . Tento hledáček sloužil pouze pro vyhledání družice a její navedení do zorného pole dalekohledu typu Meniscus-Cassegrain, pomocí něhož bylo potom prováděno vlastní přesné sledování. Tímto systémem dvou dalekohledů byly pozorovatelné společlivě všechny 3 laserové družice i při velkém jasů oblohy a to až do 20° nad horizontem.

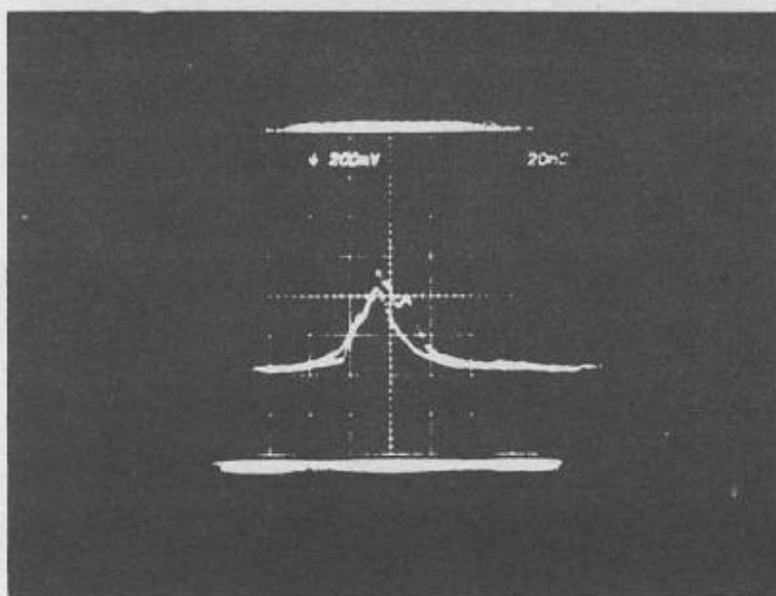
Přesná vzdálenost od laserového dálkoměru k umělé družici Země se určuje ze změřeného tranzitního času /t.j. času, v němž světelný puls proletí dráhu od dálkoměru ke družici a zpět/ a ze známé rychlosti světla. Neuvažujeme-li vnější vlivy působící na rychlost šíření světla, je přesnost měření vzdálenosti dána přesností měření tranzitního času. V praxi se tento čas měří elektronickým čítačem, který počítá pulsy z přesného kmitočtového normálu. Počátek počítání se vztahuje k okamžiku vyslání laserového pulsu a čítání se zastavuje v okamžiku příchodu odraženého pulsu. Světelný puls klíčovaného pulsního laseru je v našem případě dlouhý asi 30 ns a na analogický elektrický impuls s amplitudou kolem 20 V /obr. 10/ se převádí snímací vakuovou fotonkou.



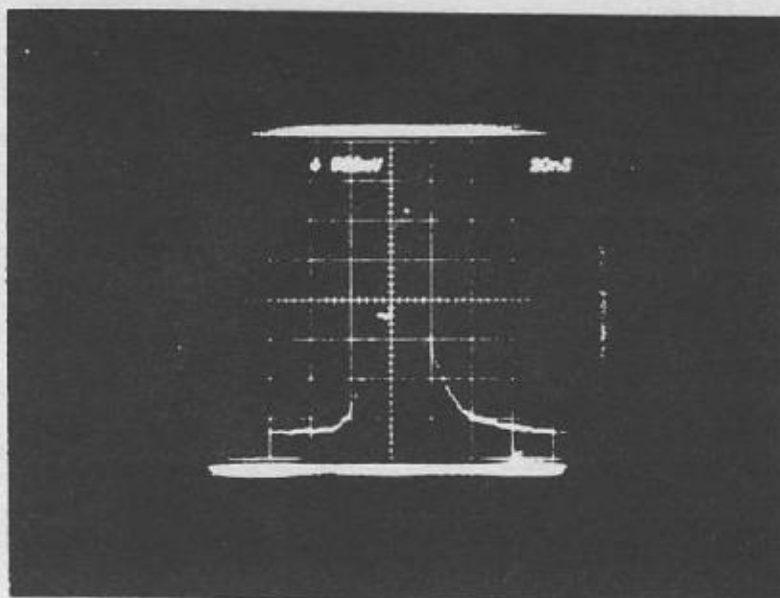
Obr. 10

Je-li prahová úroveň START - vstupu čítače nastavena nad úroveň rušení /několik voltů/, je okamžik spuštění čítače spojen s počátkem náběžné hrany pulsu, dlouhé opět asi 30 ns, bez ohledu na obvyklé kolísání výstupní energie laseru.

Poněkud komplikovanější jsou poměry při příjmu odraženého signálu. Energie přijatého pulsu kolísá o několik řádů. Při pevně nastavené prahové úrovni se okamžik zastavení čítače může vztahovat k patě náběžné hrany pulsu /při velké přijaté energii/ nebo naopak v druhém krajním případě až k vrcholu přijatého pulsu. Neurčitost v určení okamžiku příchodu odraženého pulsu je v tom případě dána délkou náběžné hrany pulsu, tj. asi 30 ns. To potvrzují i provedená měření vzdálenosti pozemního cíle. Tuto nepřesnost lze snížit dvěma cestami. Je to především zkrácení délky laserového pulsu. Kratších pulsů lze dosáhnout např. využíváním aktivních barviv ke klíčování laseru. Metoda není však na pracovištích v ČSSR dosud dořešena. Druhou cestou je zjišťování těžiště odraženého pulsu a vztažení okamžiku příchodu odraženého pulsu k těžišti pulsu, místo k dosažení nastavené prahové úrovně náběžnou hranou. Přesné zjišťování těžiště deformovaného odraženého pulsu /obr. 11a, 11b/ je velmi obtížné. Existující systémy toho druhu pracují tak, že nejprve vzorkují přijatý puls /zjišťují amplitudy, např. ve dvaceti bodech pulsu/ a z naměřených hodnot určuje počítač těžiště pulsu. Takový systém je velice komplikovaný. Poněkud pracnější je vyhodnocování snímků přijatého pulsu fotografovaných na obrazovce osciloskopu.



Obr. 11 a



Obr. 11 b

Dalším činitelem omezujícím přesnost měření je rychlost elektronického čítače. Vlivem metody měření je nepřesnost měření času ± 1 měrná jednotka, tj. ± 10 ns u čítačů čítajících z normálu 100 MHz. S touto přesností pracoval použitý čítač Takeda-Riken 5589 L. Velkým problémem laserových aparatur je vyloučení vlivu silných poruch, které vznikají u pulsního laseru při zapálení výbojek. V ten okamžik protéká napájecím vedením z kondenzátorů do výbojek proud řádově tisíců ampérů a vlivem silného pole se ve všech vodičích /síťové přívody/ vytvářejí krátké napěťové pulsy s amplitudou řádově desítek voltů. V popisované aparatuře bylo rušení potlačeno zabudováním síťových filtrů do všech použitých přístrojů s dokonalým propojením a zemněním přístrojů. Čítač pro měření tranzitního času je po zapálení výbojek /před vysláním laserového pulsu/ elektricky vynulován.

Družice se na oběžné dráze kolem Země pohybuje rychlostí kolem 7 m/ms. Má-li se zpracovávat měření několika dálkoměrných stanic pracujících s přesností okolo 1,5 m, je třeba každé naměřené vzdálenosti přiřadit čas měření s přesností alespoň 0,1 ms. V experimentální aparatuře bylo přiřazení času zjišťováno následujícím způsobem. Těsně před pozorováním se vybraným sekundovým pulsem z křemenných hodin spustí čítač /Takeda Riken 5589 L/. Čítač potom nepřetržitě čítá pulsy z vlastního vestavěného normálu kmitočtu 10 kHz /tj. časové značky po 0,1 ms/. Obsah paměti připojené na dekády čítače se vyjímá pulsem odvozeným od přijatého signálu a tiskne rychlotiskárnou spolu s příslušným tranzitním časem. Číslo zaza-

menané tiskárnou znamená čas /v desetinách ms/ od spuštění čítače /známým sekundovým signálem/. Vysoká stabilita vnitřního normálu čítače zajišťuje, že chyba v čítání v žádném případě nedosáhne požadované přesnosti 0,1 ms za celou dobu přeletu. Posun tohoto staničního času vůči času UTC byl stanoven jen s přesností asi 1 ms, jak to zajišťuje příjem vysílání stanice OMA 50.

Pro observaci byly nutné přesné efemeridy družic, obsahující jak nastavovací prvky aparatury, tak rychlosti a vzdálenosti potřebné pro programované navádění a programovanou bránu. Efemeridy byly počítány na samočinném počítači MINSK 22 na základě dráhových elementů Smithsonian Astrophysical Observatory a ITCP. Pro samočinný počítač byly sestaveny 2 výpočetní programy, z nichž jeden počítal nastavovací prvky pro jednotlivé osy čtyřosé montáže a druhý počítal zdánlivé úhlové rychlosti a topocentrické vzdálenosti. Výstup byl uskutečněn jednak širokořádkovou tiskárnou a jednak dvěma děrnými páskami. Děrné pásky řídily potom během observace navádění 3. osy na družici a přestavování dálkové brány. Výpočetní přesnosti programů jsou $\pm 1'$ a $\pm 0,1$ s. Skutečné přesnosti předpovědí získaných těmito programy ze vstupních dráhových elementů jsou však podstatně nižší a různé pro jednotlivé družice. Z provedených pozorování byly zjištěny následující střední chyby:

Družice	směr	čas UTC	vzdálenost v μ s
Geos A	$\pm 15'$	± 3 s	$\pm 30\mu$ s
Geos B	$\pm 5'$	± 2 s	$\pm 20\mu$ s
BE - B	$\pm 12'$	± 30 s	$\pm 25\mu$ s

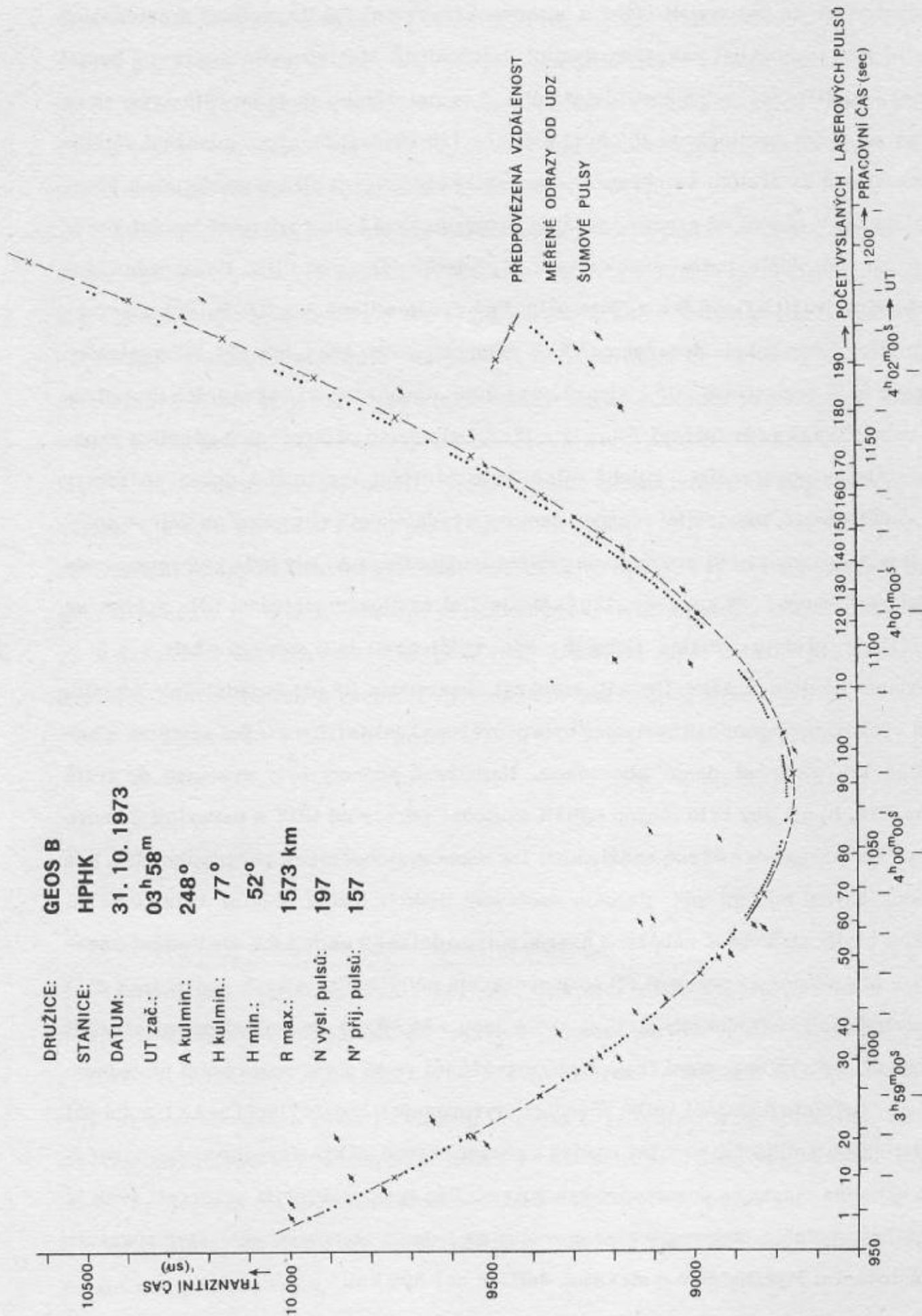
2. Výsledky získané v experimentální etapě

První část experimentální etapy byla ukončena v červnu 1973, přičemž vlastní aparatura byla dokončena koncem roku 1972. Používán byl laser s opakovací frekvencí 0,07 Hz, detekční a registrační systém s rozlišovací schopností 1μ s. Pozorovány byly družice Geos A a Geos B. Během zkoušek byly registrovány spolehlivé odrazy od obou UDZ, avšak v malém počtu /kolem 5 odrazů na jednotlivých přeletech UDZ/. Tento malý počet odrazů byl důsledkem nízké opakovací frekvence použitého laseru. Přesnost změřených vzdáleností byla ± 200 m z důvodu použití čítače s nízkou rozlišovací schopností $\pm 1\mu$ s/.

Pro odstranění uvedených nevýhod byla aparatura v druhé polovině roku 1973

rekonstruována. Byl použit laser s opakovací frekvencí 1,3 Hz, pointační dalekohled vlastní konstrukce byl nahrazen dvojicí dalekohledů Meniskus-Cassegrain a Somet Monar, rozlišovací schopnost detekčního a registračního systému byla zvýšena na 10 ns použitím osciloskopu 250 MHz a čítače 100 MHz. Cílem bylo dosažení většího počtu odrazů na přeletu a změření topocentrické vzdálenosti UDZ s geodetickou přesností ± 2 m. V období od srpna do začátku listopadu 1973 bylo ve dvou týdenních pozorovacích obdobích napozorováno celkem 10 přeletů s odrazy od UDZ. Pozorována byla především družice Geos B a ve dvou případech družice Geos A a BE-B. Při observaci družice Geos B bylo dosaženo až 75% účinnosti /obr. 12a/, kdy při 197 vyslaných pulsech bylo registrováno 150 odrazů na přeletu. Rovněž tak od zbývajících dvou družic byla získána řada měření /obr. 12b, 12c/. Bylo proto přikročeno k několika experimentálním observacím, jejichž cílem bylo prověřit maximální dosah aparatury /ve vzdálenosti/, maximální možnou zenitovou vzdálenost a vliv šumu osvětlené oblohy. Dosah aparatury byl prověřen na přeletu družice Geos A, kdy byla změřena maximální vzdálenost 2698 km /obr. 12c/. Maximální zenitová vzdálenost byla ověřována na nízkém přeletu družice Geos B, kde vzdálenosti byly měřeny až do $z = 56^\circ$. V jednom přeletu družice Geos B, který byl observován již při rozednávání /60 min. před východem Slunce nad horizont/ byla prověřena kvalita filtrovacího systému a nastíněna tak možnost denní observace. Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafů /obr. 12a, b, c/, aby bylo možno odlišit skutečné odrazy od UDZ a parazitní šumové pulsy. Na přesnost měřené vzdálenosti lze usoudit z observace pozemního cíle, kde střední chyba měření při stejném nastavení diskriminační hladiny byla $\pm 0,95$ m. Střední chyba způsobená náběžnou hranou pulsu o délce 30 ns je $\pm 0,9$ m. Vnitřní přesnost z observace na pozemní cíl tedy vycházela přibližně $\pm 1,4$ m. S uvážením i dalších vlivů /atmosférických apod./, které jsou řádově dm, je vnitřní přesnost lepší než ± 2 m. Vysoká opakovací frekvence, vytvářející velký počet pozorování na jednom přeletu, dovoluje dosažení velké přesnosti vyrovnaných hodnot /lepší než ± 1 m/ a při geodetických aplikacích umožní snadné a přesné převedení kvazisynchronních pozorování několika stanic na pozorování synchronní. Pro stanovení vnější přesnosti však je nutná buď společná observace více aparatur na jednom stanovišti nebo čtyř aparatur na testovacím čtyřúhelníku o stranách delších než 500 km.

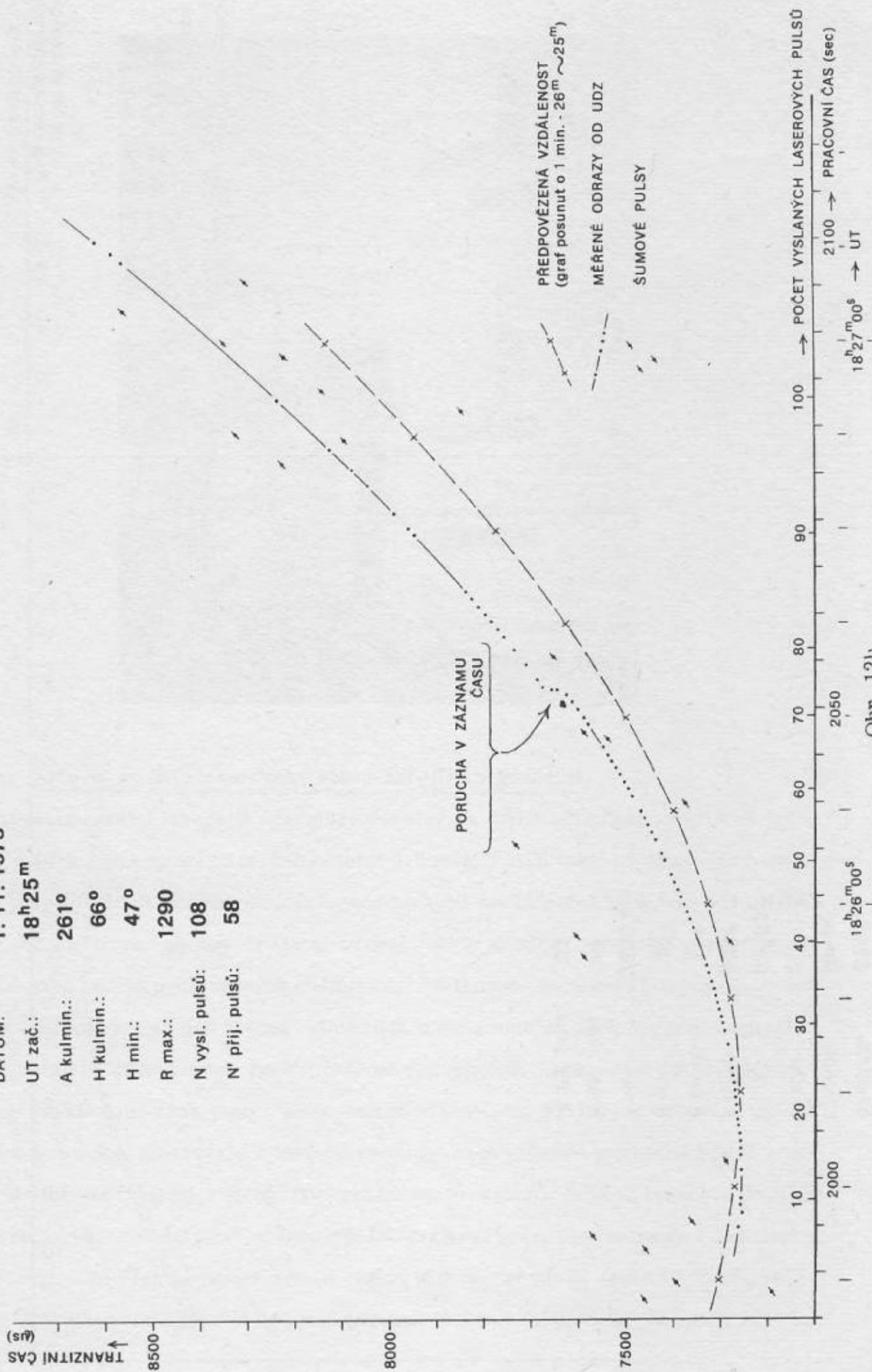
DRUŽICE: GEOS B
STANICE: HPHK
DATUM: 31. 10. 1973
UT zač.: 03^h58^m
A kulmin.: 248°
H kulmin.: 77°
H min.: 52°
R max.: 1573 km
N vysl. pulsů: 197
N' příj. pulsů: 157



PŘEDPOVĚZENÁ VZDÁLENOST
MĚŘENÉ ODRAZY OD UDZ
ŠUMOVÉ PULSY

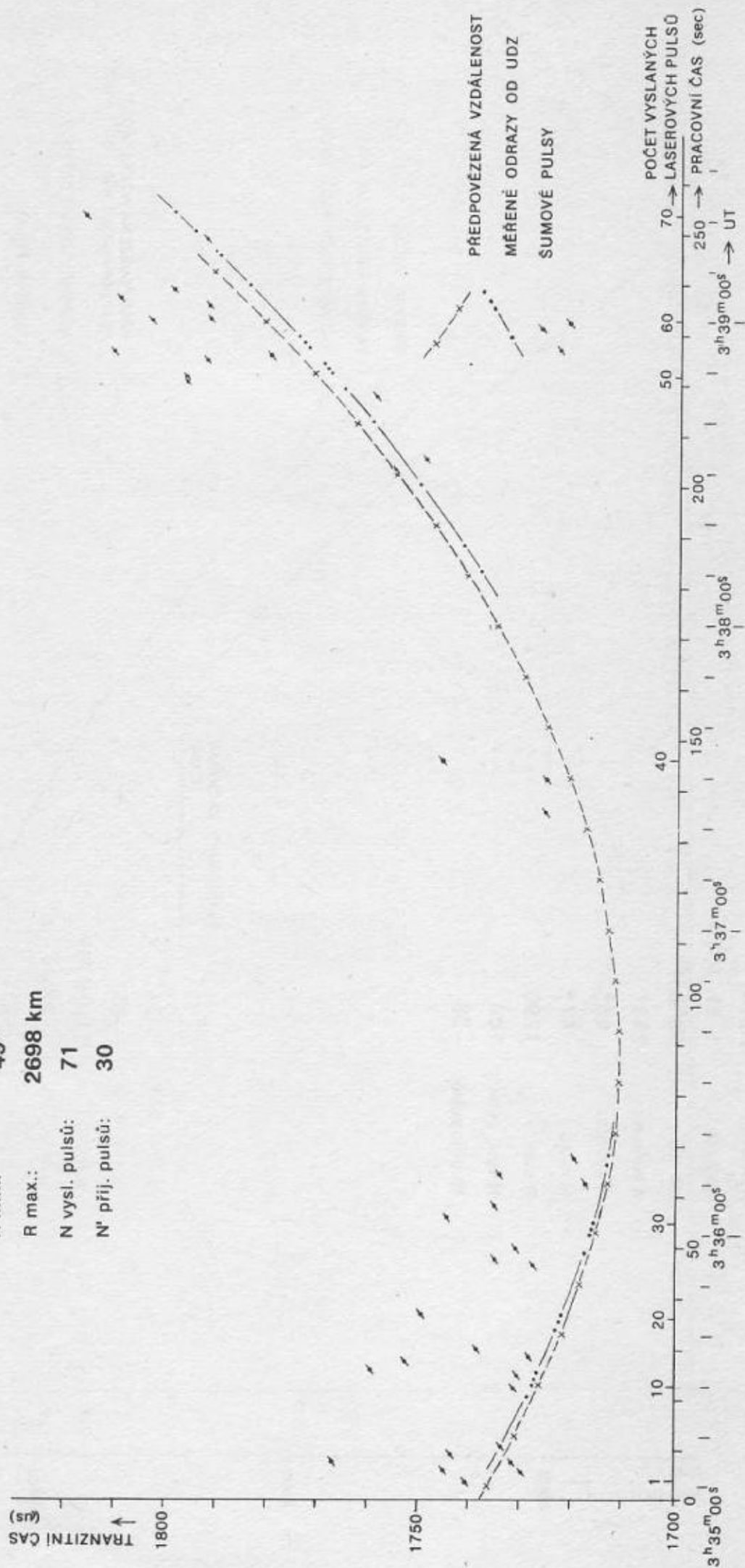
Obr. 12a

DRUŽICE: BE-B
STANICE: HPHK
DATUM: 1. 11. 1973
UT zač.: 18^h25^m
A kulmin.: 261°
H kulmin.: 66°
H min.: 47°
R max.: 1290
N vysl. pulsů: 108
N' přij. pulsů: 58

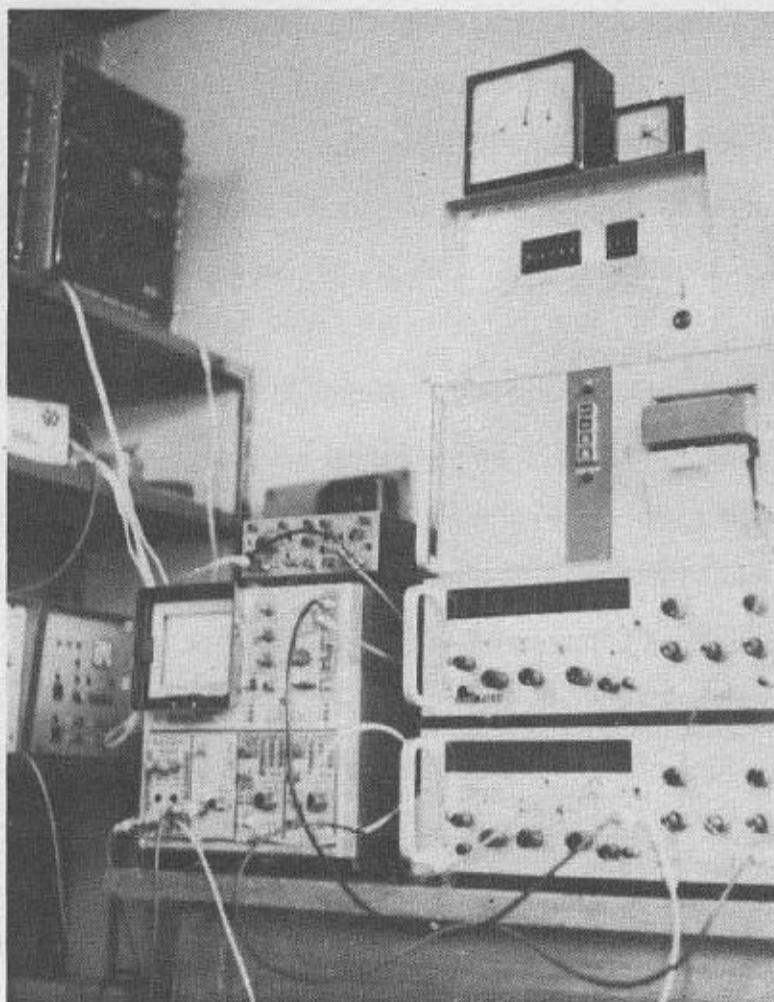


Obr. 12b

DRUŽICE: GEOS A
STANICE: HPHK
DATUM: 2. 11. 1973
UT zač.: 03^h 35^m
A kulmin.: 356°
H kulmin.: 57°
H min.: 49°
R max.: 2698 km
N vysl. pulsů: 71
N' přij. pulsů: 30



Obr. 12c



3. Možnost využití laserového sledování UDZ v geodézii

Experimentální laserová aparatura dovoľovala měřit přímétopocentrické vzdálenosti v UDZ s přesností ± 2 m. Samostatné určování vzdáleností ke družicím pomocí laseru dovoľuje řešit většinu stejných geodetických družicových úloh jako při měření směrů, např. určení polohy družice, určení polohy stanice, spojování geodetických systémů nebo tvorba prostorových sítí kosmické triangulace. Rovněž tak jsou laserová dálková měření vhodná pro řešení orbitálních a dynamických úloh. Výhodou oproti určování směrů je podstatně vyšší přesnost pozorování. Laserovým délkovým pozorováním získáváme však pouze jednu měřenou veličinu, kdežto při určování směrů, např. fotograficky, získáváme 2 měřené veličiny. Z toho důvodu je vhodné spojit laserová měření vzdáleností s fotografickým měřením směrů. Jelikož laserové družice mají malou hvězdnou velikost, můžeme je fotografovat pouze aparaturami ve sledovacím režimu. Zde však přesnost určení směru je poměrně nízká /asi $\pm 4''$ / a při vzdálenosti UDZ 2000 km odpovídá ± 40 m. Laserová dálkoměrná měření jsou tedy asi 20x

přesnější. Je proto nutné docílit i při fotografickém určování směrů co nejvyšší přesnosti $/\pm 1''/$. K tomu je možno použít fotografování odraženého laserového pulsu. Proto v další etapě bude sledován i tento cíl. Tím vznikne možnost určit úplný topocentrický vektor k UDZ. Současné určování vzdáleností i směrů zjednoduší a zpřesní řešení všech geodetických družicových úloh. Např. pro určení polohy družice postačí jedno měření na jedné stanici.

Velký význam přesných laserových délkových měření tkví především v tom, že sítím kosmické triangulace, které se vytvářejí ze směrových fotografických pozorování, je možno dát přímo přesný rozměr bez zdlouhavého a pracného měření dlouhých pozemských základů. Přitom určování vzdáleností laserem vychází přímo z fyzikální definice délkové jednotky a je oprostěno od zavádění hypotéz při redukci pozemsky měřeného délkového polygonu na přímou spojnicí.

Z vojensko-geodetického hlediska je velkou předností laserového měření vzdáleností rychlost získání výsledků. Zpracování fotografických pozorování trvá několik dní, kdežto výsledky laserového měření vzdáleností mohou být k dispozici během několika hodin po pozorování a při zapojení malého počítače do registračního systému přímo na stanici, mohou být k dispozici během několika desítek minut. Omezujícím faktorem při observaci je pouze počasí. Denní a noční doba by neměla v konečné fázi rozhodovat, poněvadž již dnes existují možnosti jak laserovou dálkoměrnou aparaturu uzpůsobit tak, aby mohla pracovat jak v noci, tak i ve dne.

Laserového dálkového i směrového měření lze využít též pro tvorbu geodetických sítí na menších územních celcích sledováním vysokých cílů /balonů, raket, letadel/ při vzdálenosti stanic 100 - 200 km, což by mohlo vést k vytvoření geodetických bodů 0. řádu, které by tvořily mezistupeň mezi družicovými body a body AGS.

L I T E R A T U R A

- [1] Accardi: 12-Bit D-A Conversion Accuracy /Computer design, 1971, Sept./
- [2] Balodimos, Livieratos: The Satellite Tracking Facilities at Dionysos /National Technical University, Athens 1973/
- [3] Barna: High - Speed Pulse Circuits
- [4] Beuter: Digital - Analog - Umsetzung mit Kettenleitern /Elektronik, 1969, Nov. 18, No 11/
- [5] Berbett: Laser Network Survey and Orbit Recovery /NASA, CSFC, 1973/
- [6] Halme: Workshop on Satellite Laser Systems /Helsinki University of Technology, Lagonissi, 1973/
- [7] Hovorka: Sledování UDZ pomocí laseru /výzkumná zpráva, Dobruška, 1969/
- [8] Hovorka, Konrád, Utěkal: Experimentální geodetické laserové zařízení /výzkumná zpráva, Dobruška, červen 1973/
- [9] Havelka: Geometrická optika I. a II. díl /ČSAV Praha, 1955/
- [10] International Satellite Geodesy Experiment - ISAGEX /ISAGEX - 7 - CNES, 1970/
- [11] Bretterbauer: The Effect of Atmosphere on Precise Satellite Ranges Obtained by a Laser /Wien, 1967/
- [12] Kaula: Celestial Geodesy /Advances in Geophysics, vol. 9, Academic Press, New York, 1962/
- [13] Gilbert: A new wide - band amplifier technique /IEEE Trans., 1968, Dec., SC - 3, No 4/
- [14] Lago: Resultats du depouillement des mesures laser en geodesie semidynamique /CHES, 1969/
- [15] Kozai: Satellite Laser Ranging Instrumente Operated at Tokyo Astronomical Observatory /Tokyo Astronomical Observatory, No 223, 1973/
- [16] Lehr: Satellite Tracking with a Laser /SAO Special Report 215: 1966/
- [17] Lehr, Maestre, Downer: Laser Ranging to Satellites: The Smithsonian System on Mt. Hopkins /SAO, 1968/
- [18] Lehr, Maestre, Anderson: Satellite Ranging with a Laser and the Correction for Atmospheric Refraction /SAO, 1967/

- [19] Lehr, Pearlman: Laser Ranging to Satellites /SAO, 1969/
- [20] Lehr, Pearlman: The Laser Network of the Smithsonian Astrophysical Observatory /SAO, 1971/
- [21] Lehr: Laser System of Extended Range /NASA, SAO, 1972/
- [22] Moss, Plotkin: NASA Laser Systems Accuracy /NASA, 1969/
- [23] Muller, Veret: Photographie des echos laser sur satellites /CNES, 1969/
- [24] Nottarp, Seeger: The Satellite Observation Station Wettzell /Athens, 1973/
- [25] Plotkin: Progress in Laser Ranging to Satellites: Achievements and Plans /NASA GSFC, 1973/
- [26] Prabhu: On the problem of broadband signal and noise performance of direct detection optical receivers /Appl. Opt., 1968, Dec., vol. 7, No 12/
- [27] Ross: Laser receivers /John Wiley, 1966, New York/
- [28] Svárovský: Radioelektronické systémy 1.

Tížnicové odchylky v současné geodézii

(Referát přednesen na geodetickém semináři VA AZ v r. 1973)

Geodetické a astronomické přístroje se urovnávají v bodech na zemském povrchu tak, že jejich svislé osy jsou totožné s tížnicí v daném bodě. Pro početní zpracování výsledků geodetických měření se body promítají normálami na referenční elipsoid. Měření se tedy vztahují k tížnicím /geoidu/, výpočty k normálám referenčního elipsoidu.

Geoid je plocha fyzikální, nepravidelná, elipsoid naopak plocha matematicky přesně definovaná, pravidelná. Ve všech místech, kde geoid nesplývá s elipsoidem, se obecně odchyluje tížnice od normály elipsoidu o "tížnicovou odchylku". V důsledku této skutečnosti se z geodetických měření vypočtou na daném bodě zeměpisné souřadnice a azimuty odlišné od těch, které získáme z měření astronomických. Označíme-li geodetické souřadnice φ , λ a azimuty α , odpovídající astronomické hodnoty φ' , λ' , α' , potom rozdíl

$$\varphi' - \varphi = \Delta\varphi; \quad \lambda' - \lambda = \Delta\lambda; \quad \alpha' - \alpha = \Delta\alpha \quad (1)$$

vyjadřují vliv tížnicových odchylek.

Nesouhlas geodetických a astronomických veličin, tj. existenci tížnicových odchylek objevil kolem roku 1760 R. B o š k o v i č při měření v Pádské nížině, neboť tam se výrazně projevil vliv horského masívu Alp na směr tíže. V základních geodetických pracích se však s tížnicovými odchylkami začalo běžně počítat až asi o 150 let později. Tak například při slavném francouzském stupňovém měření v letech 1792-1798, jehož cílem bylo určení nové délkové jednotky /metru/, se astronomicky určené zeměpisné šířky koncových bodů meridiánových oblouků nijak neopravovaly a považovaly se za geodetické. Měření oblouku od Dunkerque k Barceloně vykonali vynikající odborníci Delambre a Méchain. Při měření v oblasti Pyrenejí Méchain zjistil, že pro dva body vzájemně vzdálené pouhé 2 km se astronomicky naměřený rozdíl zeměpisných šířek liší od geodeticky vypočtené hodnoty o celé 3", což znamená, že vzdálenost 2 km

určená z triangulace, se od hodnoty určené astronomicky lišila téměř o 100 m. Méchain marně opakoval měření a hledal chybu ve výpočtech, aby nesouhlas vysvětlil.

V roce 1841 určil Bessel rozměry svého elipsoidu z 10 stupňových měření v Evropě, v Indii a v Peru. Při svých výpočtech rovněž neuvažoval tížnicové odchylky a to je pravděpodobně jedna z příčin malých rozměrů jeho elipsoidu.

Rakouská vojenská triangulace z let 1862-1898, která pokrývala značnou část našeho státního území, byla také sítí jen "geodetickou". Astronomicky byly určeny pouze souřadnice základního /výchozího/ bodu Hermannskogel u Vídně a azimut jedné strany vycházející z tohoto bodu - tyto souřadnice a azimut se považovaly za geodetické.

Když po první světové válce byla na našem státním území budována Jednotná trigonometrická síť katastrální /JTŠK/, nebyla vykonána žádná astronomická měření a ing. Křovák převzal polohu a orientaci sítě na Besselově elipsoidu z rakouské vojenské triangulace. Tím se na tuto síť přeneslo posunutí asi o 14" k východu a stočení v průměru o 10" ve směru pohybu hodinových ručiček, vyvolané tížnicovou odchylkou /16"/ na Hermannskogelu.

Astronomicko-geodetické tížnicové odchylky je možno určit v sítích, ve kterých na vybraných /Laplaceových/ bodech jsou vykonána také měření astronomická a jsou vypočteny jak geodetické tak astronomické souřadnice a azimuty. Složky tížnicových odchylek v meridiánu ξ , v I. vertikálu η se snadno vypočtou ze vzorců

$$\begin{aligned} \xi_{ag} &= \varphi' - \varphi ; & \eta_{ag} &= (\lambda' - \lambda) \cos \varphi \\ & & \eta_{ag} &= (\alpha' - \alpha) \cotg \varphi . \end{aligned} \quad (2)$$

Astronomické souřadnice φ' , λ' a azimuty α' jsou /až na vliv měřických chyb/ na daném bodě hodnoty konstantní a nezávislé na výsledcích měření geodetických; geodetické souřadnice φ , λ a azimuty α jsou funkcemi parametrů a , e^2 referenčního elipsoidu, souřadnic φ_0 , λ_0 a azimutu α_0 v základním bodě, a triangulace /úhlů ω , stran s /:

$$\begin{aligned} \varphi &= f_1(a, e^2; \varphi_0, \lambda_0, \alpha_0; \omega_i, s_i) \\ \lambda &= f_2(a, e^2; \varphi_0, \lambda_0, \alpha_0; \omega_i, s_i) \\ \alpha &= f_3(a, e^2; \varphi_0, \lambda_0, \alpha_0; \omega_i, s_i) . \end{aligned} \quad (3)$$

Změní-li se parametry elipsoidu, nebo výchozí hodnoty v základním bodě, nebo triangulace /nebo všechny tyto veličiny současně/, změní se geodetické souřadnice φ , λ a azimuty α a podle vzorců (2) také tížnicové odchylky. Jsou proto tížnicové

odchyly určené z geodetických a astronomických měření "relativní", neboť jsou závislé na rozměrech použitého referenčního elipsoidu a na jeho poloze a orientaci vůči geoidu. Při nevhodných rozměrech elipsoidu a jeho nevhodné poloze a orientaci vznikají velké tížnicové odchyly. To se například výrazně projevilo v SSSR, když řetězce trojúhelníků počítané na elipsoidu Besselově orientovaném v Pulkovu u Leningradu byly dovedeny až na Dálný východ.

Budovatelé "technické" JTSK znali její nedostatky, věděli, že je možno je odstranit jen astronomickým měřením a proto se již v roce 1931 u nás započalo s pracemi v nové astronomicko-geodetické síti [1]. Nechceme-li měnit elipsoid, umožní tížnicové odchyly zlepšit polohu a orientaci sítě tak, aby součet čtverců nových tížnicových odchylek byl minimální. Prof. Buchar [2] zpracoval výsledky astronomických měření na 88 bodech JTSK a vypočítal její posun a pootočení na Besselově elipsoidu ve zvoleném referenčním bodě Brdo uprostřed sítě

$$d\varphi_0 = - 0'',52 ; \quad d\lambda_0 = - 13'',72 ; \quad d\alpha_0 = - 9'',58 .$$

Součet čtverců tížnicových odchylek se snížil téměř na čtvrtinu /z 8 110" na 2 093"/. Vyjádříme-li souřadnicový posun v délkové míře, je síť posunuta asi o 16 m k severu, o 278 m k východu a je stočena v průměru o 9'',58 ve směru pohybu hodinových ručiček.

Je-li k dispozici dostatečně rozsáhlá astronomicko-geodetická síť, je možno určit takové parametry elipsoidu a síť na tomto elipsoidu umístit a orientovat tak, že součet čtverců tížnicových odchylek je minimální. Tím se zvýší jakost základní trigonometrické sítě i sítí do ní vložených. Princip řešení publikoval již v roce 1858 Clarke, avšak teprve v roce 1909 Hayford vypracoval podrobnou technologii a použil ji pro stanovení rozměrů svého elipsoidu a výchozích dat v základním bodě triangulace USA. Astronomicko-geodetická síť USA měla v té době 381 měřenou zeměpisnou šířku, 131 délku a 253 azimuty; úplné Laplaceovy body /s astronomickým měřením φ' , λ' , α' / však byly jen 32. Pro srovnání: naše současná astronomicko-geodetická síť má 60 Laplaceových bodů.

Hayford počítal nejprve astronomicko-geodetické tížnicové odchyly bez jakýchkoliv oprav, v dalších čtyřech řešeních je opravil o topografické a izostatické korekce, vždy s jinou izostatickou hloubkou. Zavedení topograficko-izostatických korekcí představuje vlastně "regularizaci" Země, tj. odstranění vlivu topografických a izostatických hmot. V každém z pěti řešení byla vypočtena $\sum (\xi^2 + \eta^2)$. Opravy da ,

de² parametrů α , e² Clarkova elipsoidu a opravy $d\varphi_0$, $d\lambda_0$, $d\alpha_0$ původních astronomických údajů v základním bodě sítě USA byly převzaty z řešení, pro které byl uvedený součet nejmenší - [3]. Hayfordův elipsoid prohlásila v r. 1924 Mezinárodní unie geodetická a geofyzikální /MUGG/ za "mezinárodní" a doporučila jej všem členským státům, ačkoliv bylo zřejmé, že jeho parametry nemohou vyhovovat pro celou Zemi, neboť byly určeny jen z astronomicko-geodetické sítě USA. Hlasování v MUGG bylo toho dokladem: 19 států bylo pro, 17 proti, 12 se zdrželo hlasování.

Astronomicko-geodetické tížnicové odchylky se tedy začaly respektovat v geodézii po mnoha letech od publikace řady teoretických prací z této oblasti. Příčinou byla časová a ekonomická nákladnost astronomických měření, která kromě toho nebyla /do zavedení přesnějšího měření času/ dost přesná.

Obdobná situace byla s využitím "gravimetrických" tížnicových odchylek. G. Stokes již v roce 1849 odvodil známý vzorec pro určení výšky geoidu nad sféroidem z anomálií tíže [4]. Teprve o 80 roků později odvodil Vening-Meinesz /1928/ vzorec pro výpočet složek gravimetrických tížnicových odchylek, které můžeme obecně zapsat ve tvaru

$$\xi_{gr} = F_1 (\Delta g, \psi, \alpha) ; \quad \eta_{gr} = F_2 (\Delta g, \psi, \alpha) , \quad (4)$$

kde Δg je anomálie tíže; úhlová vzdálenost ψ a azimut α určují polohu proměnného bodu, ve kterém je tato anomálie, vzhledem k bodu, na kterém tížnicovou odchylku určujeme.

Praktické využití Vening-Meineszových vzorců nebylo dobře možné pro nedostatek tíhových údajů /malý počet bodů na zemském povrchu na nichž bylo změřeno tíhové zrychlení kyvadlovými přístroji/. Když však několik roků před druhou světovou válkou byly zkonstruovány vhodné statické gravimetry /podstatně zdokonalené v posledních 40 letech/, umožňující rychle a s vysokou přesností měřit tíhové rozdíly na zemském povrchu, a přístroje pro měření tíže na mořích, došlo k velkému obratu na tomto úseku geodézie. Sovětští geodeti /Kazanskij, Moloděnskij, Jeremejev, Jurkina a další/ vypracovali podrobnou metodiku výpočtu tížnicových odchylek z gravimetrických údajů i způsob jejich využití v geodézii; stali se tak zakladateli "geodetické gravimetrie".

Pro účely současné geodézie se požaduje, aby chyby tížnicových odchylek v obec-

ných bodech zemského povrchu nepřesáhly $\pm 0,5$; relativní výšky kvazigeoidu je třeba znát s přesností vyšší než ± 10 cm. Kdybychom chtěli této přesnosti dosáhnout jen z geodetických a astronomických měření, museli bychom astronomicky měřit v husté síti geodetických bodů, zejména v horských oblastech /až 1 bod na 9 km^2 / - [4]. To by bylo ekonomicky i časově neúnosné. Úlohu je možno úspěšně řešit využitím astronomických, geodetických i gravimetrických měření.

Metoda astronomicko-gravimetrické nivelace, vypracovaná Moloděnským, předpokládá astronomická měření jen na řidší síti geodetických bodů, vzájemně vzdálených 70-100 km /podle porušenosti tíhového pole Země/. Na těchto bodech se určí astronomicko-geodetické i gravimetrické složky tížnicových odchylek, tj. hodnoty ξ_{ag}, η_{ag} a ξ_{gr}, η_{gr} . O rozdílech $\Delta\xi = \xi_{ag} - \xi_{gr}, \Delta\eta = \eta_{ag} - \eta_{gr}$ můžeme oprávněně předpokládat, že se mění lineárně. Interpolací pak můžeme vypočítat $\Delta\xi^M, \Delta\eta^M$ pro libovolný bod M v dané oblasti. Známe-li pro tento bod složky gravimetrické tížnicové odchylky ξ_{gr}^M, η_{gr}^M , budou odpovídající astronomicko-geodetické hodnoty dány vzorcí

$$\xi_{ag}^M = \xi_{gr}^M + \Delta\xi^M; \quad \eta_{ag}^M = \eta_{gr}^M + \Delta\eta^M. \quad (5)$$

Tak získáme astronomicko-geodetické tížnicové odchylky v husté síti bodů daného geodetického systému - využitím tíhových měření se tedy zpřesní průběh geoidu /kvazigeoidu/ mezi vrcholy astronomicko-geodetické sítě.

Měřené délky se dříve převáděly do "nulové hladiny" jen pomocí výšek z nivelace; převáděly se tedy do úrovně blízké geoidu, nikoliv na elipsoid. Podle teorie Moloděnského byly do geodetické praxe zavedeny "normální výšky", které spolu s výškami kvazigeoidu nad elipsoidem umožňují přesný převod měřených délek na výpočetní elipsoid. To je zvláště důležité nyní, neboť v geodetické praxi se ve stále větší míře používají přesné elektronické dálkoměry.

Přesnost astronomicko-geodetických tížnicových odchylek na Laplaceových bodech je prakticky závislá jen na přesnosti astronomických měření. Ze vzorců (2) dostaneme podle zákona přenášení chyb

$$M_{\xi_{ag}}^2 = M_{\varphi'}^2 + M_{\varphi}^2; \quad M_{\eta_{ag}}^2 = M_x^2 \cos^2\varphi + M_\lambda^2 \cos^2\varphi. \quad (6)$$

Geodetické souřadnice vypočtené v určitém systému mají mnohem vyšší přesnost

než odpovídající souřadnice astronomické; můžeme proto jejich chyby M_φ , M_λ zanedbat a psát

$$M_{\xi ag} \doteq M_{\varphi'} ; \quad M_{\eta ag} \doteq M_{\lambda'} \cos \varphi. \quad (7)$$

Přesnost astronomických souřadnic je možno charakterizovat střední chybou $\pm 0,1''$. Astronomicko-geodetické tížnicové odchylky vypočtené na Laplaceových bodech mají tedy stejnou střední chybu asi $\pm 0,1''$. Určíme-li na ostatních bodech sítě hodnoty tížnicových odchylek interpolací, bude jejich přesnost závislá na hustotě Laplaceových bodů a na průběhu změn tížnicových odchylek mezi těmito body. Jsou-li Laplaceovy body vzájemně vzdálené 50 - 100 km, je třeba počítat s chybou interpolovaných hodnot asi $\pm 1,5''$.

Přesnost gravimetrických tížnicových odchylek nelze tak jednoduše stanovit; závisí totiž na velikosti integrační oblasti, na anomalitě tíhového pole Země v této oblasti a na hustotě gravimetrických měření. Zvláštní význam má blízké okolí bodu, pro který se tížnicová odchylka počítá.

Odvodíme-li astronomicko-geodetické tížnicové odchylky z gravimetrických podle vzorců (5), ovlivní jejich přesnost také chyby rozdílů $\Delta \xi$, $\Delta \eta$. Je-li na uvažovaném území jen povšechné gravimetrické mapování /vzájemná vzdálenost tíhových bodů kolem 30 km/, lze podle sovětských údajů v rovinatém území s klidným průběhem tíhového pole určit gravimetrické tížnicové odchylky s chybou $\pm 1,2''$, rozdíly $\Delta \xi$ a $\Delta \eta$ s chybou asi $\pm 0,5''$. Je-li k dispozici hustá síť gravimetrických bodů a jsou-li Laplaceovy body nepřilíš od sebe vzdálené, budou chyby gravimetrických tížnicových odchylek podstatně menší.

Když sovětští geodeti určovali v letech 1936-1940 parametry nového elipsoidu a výchozí data v základním bodě trigonometrické sítě /Pulkovo u Leningradu/, zpracovali nejen rozsáhlé řetězce až po Tichý oceán a materiály z území Západní Evropy a USA, ale také poprvé využili gravimetrické údaje pro určení tížnicových odchylek [5]. Z této obrovské práce vplynuly známé parametry Krasovského elipsoidu

$$a = 6\,378\,245 \text{ m} ; \quad i = 1 : 298,3$$

a opravy $d\varphi_0$, $d\lambda_0$, $d\alpha_0$ astronomických hodnot v bodě Pulkovo. Tyto opravy jsou vlastně důsledkem tížnicové odchylky na tomto bodě / $\xi_0 = +0,16''$, $\eta_0 = -1,78''$ /,

kteřá odpovídá vyrovnání při podmínce $\Sigma(\xi^2 + \eta^2) = \min.$; výška kvazigeoidu nad elipsoidem $h_0 \doteq 0$.

V ČSSR jsou mimořádně dobré podmínky pro určení tížnicových odchylek s vysokou přesností. V astronomicko-geodetické síti je velký počet Laplaceových bodů, gravimetrické mapování je velmi podrobné /vzdálenost bodů průměrně 2 km, tíhové mapy v měřítku 1:200 000/. Ing. Milan Burša, DrSc. z Astronomického ústavu Československé akademie věd v Praze aplikoval Moloděnského teorii pro naše specifické podmínky. Pro horské oblasti s velkou anomalií tíhového pole hledal vhodnou metodu numerické integrace pomocí modelů a věnoval zvláštní pozornost centrální zóně, tj. oblasti do 5 km kolem uvažovaného bodu. Pod jeho vedením byly ve VÚGTK vypočteny gravimetrické i astronomicko-geodetické tížnicové odchylky na celém území ČSSR s chybou interpolace $\pm 0,3$ a výšky kvazigeoidu s chybou relativního převýšení ± 4 cm/km - viz např. Geofyzikální sborník 1959, 1960, 1970. Máme tedy na našem státním území tížnicové odchylky a výšky kvazigeoidu nad elipsoidem s přesností, která plně vyhovuje pro všechny současné geodetické práce.

Nechceme-li při vyrovnání astronomicko-geodetické sítě měnit parametry již zavedeného elipsoidu ani výchozí údaje ve výchozím bodě sítě, umožní tížnicové odchylky a výšky kvazigeoidu přesný převod naměřených veličin /úhlů, astronomických azimutů, délek stran/ na referenční elipsoid. Pro převod úhlů by stačily tížnicové odchylky s nižší přesností, pro převod astronomických azimutů je však třeba vysoká přesnost. Ze známé Laplaceovy rovnice

$$\alpha = \alpha' - \eta \operatorname{tg} \varphi \quad (8)$$

dostaneme pro chybu M_α vypočteného geodetického azimutu α

$$M_\alpha^2 = M_{\alpha'}^2 + M_\eta^2 \operatorname{tg}^2 \varphi. \quad (9)$$

Je-li zeměpisná šířka $\varphi > 45^\circ$, je $\operatorname{tg} \varphi > 1$ a tedy chyba M_η ve složce η velmi ovlivňuje celkovou přesnost Laplaceova azimutu. V současné době se astronomické azimuty měří s vnitřní přesností asi $\pm 0,2$. Uvážíme-li však zbylé systematické chyby a chyby tížnicových odchylek, je skutečná /reálná/ přesnost asi $\pm 1,2$. Bude proto vhodnější podrobovat Laplaceovy azimuty vyrovnání, neboť "pevné" azimuty by mohly deformovat přesněji měřené úhly v síti /v dřívější praxi se Laplaceovy azimuty obvykle považovaly za bezvadné/.

Je-li větší převýšení koncových bodů měřených délek, je třeba pro jejich přesný

převod na referenční elipsoid znát relativní převýšení kvazigeoidu s vysokou přesností. Např. pro délku 20 km s převýšením koncových bodů 500 m je pro milimetrovou přesnost korekce přípustná chyba relativní výšky kvazigeoidu jen ± 4 cm-[6].

Ještě nedávno se tížnicové odchylky, geoid či kvazigeoid považovaly jen za záležitosti vyšší geodézie. V současné době je však třeba tyto veličiny respektovat nejen v základních geodetických sítích, ale také v celkem běžných geodetických pracích. Například astronomické azimuty určené z měření na Slunce nebo moderními gyroteodolity mají střední chybu menší než $\pm 5''$. Tyto azimuty se zpravidla převádějí na směrníky v používané rovinné souřadnicové soustavě, tj. převádějí se na azimuty geodetické a připojením meridiánové konvergence na směrníky [7]. Budeme-li se řídit obvyklou zásadou, že korekce mají být vypočteny o řád přesněji než je přesnost naměřené veličiny, měli bychom ve smyslu rovnice (9) znát složku η tížnicové odchylky s chybou menší než $\pm 0,5''$. Obdobně délky měřené některými malými /avšak vysoce přesnými/ elektrooptickými dálkoměry s dosahem 1-5 km mají střední chyby do ± 1 cm. Korekce pro převod na elipsoid a do roviny souřadnicového systému by tedy měly být počítány s milimetrovou přesností, což při větším převýšení koncových bodů měřené délky vyžaduje, aby chyba relativního převýšení kvazigeoidu byla jen několik málo centimetrů [6].

Došlo 25.2.1974

LITERATURA

- [1] Böhm, J.: Vyšší geodézie I., Praha 1972
- [2] Buchar, E.: Tížnicové odchylky a geoid v ČSR, Praha 1951
- [3] Ryšavý, J.: Vyšší geodesie, Praha 1947
- [4] Píck, M., Pícha, J., Vyskočil, V.: Úvod ke studiu tíhového pole Země, Praha 1973
- [5] Izotov, A.A.: Sovremennoje sostojanije i zadači izučeniija figury Zemli, Geodezija i kartografija, 1956, č. 10.
- [6] Vykutíl, J.: Vyšší geodézie, díl I., Brno 1971
- [7] Vykutíl, J. Převod azimutů určených gyroteodolity na směrníky v rovinných souřadnicových soustavách, Geodetický a kartografický obzor 1972, č. 1

Řešení úlohy protínání z orientovaných směrů na elipsoidu

1. Úvod

Dosud běžná řešení úlohy určování souřadnic z měřených směrů se v klasické /nedružicové/ geodézii omezovala na poměrně krátké vzdálenosti do několika desítek kilometrů. V praxi známý a užívaný postup výpočtu a vyrovnání polohy určovaného bodu v rovině je nesporně vhodný tehdy, jsou-li k dispozici rovinné pravoúhlé souřadnice daných bodů a jsou-li vzdálenosti k určovanému bodu poměrně krátké. Bude-li však třeba řešit zmíněnou úlohu na delší vzdálenosti a bude-li naším úkolem vypočítat geodetické souřadnice z měřených směrů a geodetických souřadnic daných bodů, pak přechod do roviny pomocí zobrazovacích rovnic a zpětný převod výsledných rovinných souřadnic na geodetické bude nesporně zdlouhavý. Navíc tento postup předpokládá i výpočet korekcí měřených směrů pro zobrazení v rovině a někdy bude nezbytná i transformace souřadnic některých bodů do sousedního pásu Gauss-Krügerova zobrazení.

Pokud bychom chtěli pro zmíněnou úlohu použít ve vyšší geodézii běžná řešení elipsoidického trojúhelníku přechodem na referenční kouli a řešení l. geodetické úlohy, pak i tento postup by byl nesporně nejen počítařsky, nýbrž i programátorsky pracný a zdlouhavý.

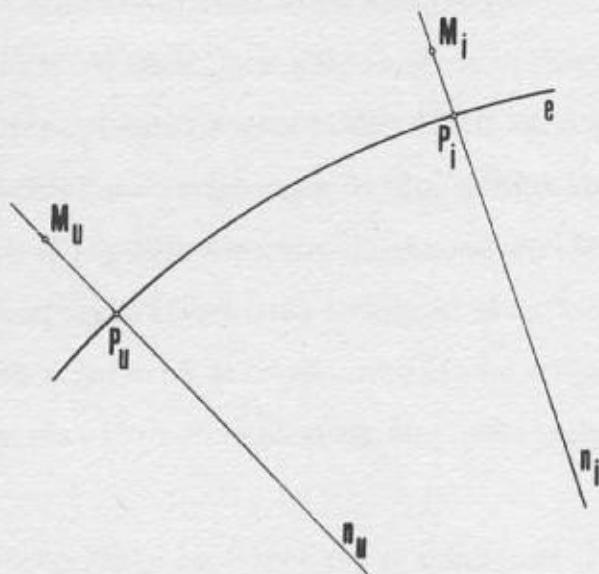
Jako nejvhodnější se tedy ukazuje řešení zmíněné úlohy v prostorových pravoúhlých souřadnicích. Transformace geodetických souřadnic na prostorové pravoúhlé i jejich zpětný převod na geodetické je zvláště pro body ležící na elipsoidu nesporně jednodušší než přechod do roviny. Z družicové geodézie známé řešení úlohy prostorového protínání ze směrů /uvedené v [1]/ však vychází z předpokladu, že měřenými veličinami jsou prostorové směry, určené dvěma nezávislými úhly definovanými od dvou základních, vzájemně kolmých rovin. Proto je nelze použít pro úlohy geo-

dězie klasické, kde měřený směr lze s dostatečnou přesností definovat pouze jedním úhlem a to v rovině horizontální.

Z těchto důvodů považuji za účelné publikovat vlastní postup pro výpočet i vyrovnání polohy bodu na elipsoidu v soustavě prostorových pravoúhlých souřadnic. Jeho hlavní předností je použitelnost na libovolné vzdálenosti za předpokladu, že měřením /klasickým nebo družicovým/ byly určeny azimuty normálových řezů.

2. Odvození základních vztahů pro řešení úlohy

Nechť bod $P_i (B_i, L_i)$ je průmětem daného bodu M_i po normále na povrch definovaného elipsoidu e a stejně tak bod $P_u (B_u, L_u)$ je průsečíkem normály procházející přibližnou polohou určovaného bodu M_u s plochou e /obr. 1/.



Obr. 1

Pak azimut normálového řezu A_{iu} /určeného normálou n_i a bodem P_u / lze vyjádřit jako funkci geodetických souřadnic B_i, L_i a rozdílů prostorových pravoúhlých souřadnic bodů P_i a P_u vztahem /srovn. [1] str. 39/

$$\operatorname{tg} A_{iu} = \frac{\Delta X_{iu} \sin L_i - \Delta Y_{iu} \cos L_i}{(\Delta X_{iu} \cos L_i + \Delta Y_{iu} \sin L_i) \sin B_i - \Delta Z_{iu} \cos B_i} \quad (1)$$

kde

$$\begin{aligned} \Delta X_{iu} &= X_u - X_i \\ \Delta Y_{iu} &= Y_u - Y_i \\ \Delta Z_{iu} &= Z_u - Z_i \end{aligned} \quad (2)$$

Prostorové pravoúhlé souřadnice pro body ležící na elipsoidu vypočteme ze souřadnic geodetických a z parametrů použitého elipsoidu podle jednoduchých rovnic /viz např. [2] str. 33/

$$\begin{aligned} X_k &= N_k \cos B_k \cos L_k \\ Y_k &= N_k \cos B_k \sin L_k \\ Z_k &= N_k (1 - e^2) \sin B_k \end{aligned} \quad (3)$$

kde

$$k = i, u.$$

V rovnicích (3) znamená:

N_k příčný poloměr křivosti daný vztahem

$$N_k = a (1 - e^2 \sin^2 B_k)^{-\frac{1}{2}},$$

v němž

a je délka velké poloosy použitého elipsoidu a

e jeho první excentricita.

Vyjdeme-li z předpokladu, že přibližné hodnoty geodetických souřadnic B_u , L_u bodu P_u jsou s dostatečnou přesností známy, pak přibližný azimut A_{iu}^p můžeme vypočítat z rovnice (1). Malou hodnotu rozdílu měřeného a přibližného azimutu, kterou vypočteme ze vztahu

$$\Delta A_{iu} = A_{iu} - A_{iu}^p, \quad (4)$$

můžeme položit rovnou hodnotě totálního diferenciálu funkce (1), kterou pro zjednodušení symboliky přepíšeme bez indexů do tvaru

$$\operatorname{tg} A = \frac{\Delta X \sin L - \Delta Y \cos L}{(\Delta X \cos L + \Delta Y \sin L) \sin B - \Delta Z \cos B}. \quad (1a)$$

Stejně tak rovnici (4) vyjádříme zjednodušeně bez indexů vztahem

$$\Delta A = A - A^p. \quad (4a)$$

Za uvedených předpokladů bude platit:

$$dA = A - A^p = \frac{\partial A}{\partial \Delta X} d\Delta X + \frac{\partial A}{\partial \Delta Y} d\Delta Y + \frac{\partial A}{\partial \Delta Z} d\Delta Z. \quad (5)$$

Pro odvození parciálních derivací na pravé straně rovnice (5) bude vhodné čitatele a jmenovatele rovnice (1a) označit jednoduchými symboly

$$(I.) = \Delta X \sin L - \Delta Y \cos L$$

$$(II.) = (\Delta X \cos L + \Delta Y \sin L) \sin B - \Delta Z \cos B,$$

po jejichž zavedení lze rovnici (1a) zapsat ve tvaru

$$\operatorname{tg} A = \frac{(I.)}{(II.)}. \quad (1b)$$

Potom

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial \Delta X} &= \cos^2 A \frac{\sin L (II.) - (I.) \cos L \sin B}{(II.)^2} = \cos^2 A \left[\frac{\sin L}{(II.)} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{\operatorname{tg} A \cos L \sin B}{(II.)} \right] = \frac{\cos^2 A}{(II.)} (\sin L - \operatorname{tg} A \cos L \sin B) \\ \frac{\partial A}{\partial \Delta Y} &= \cos^2 A \frac{-\cos L (II.) - (I.) \sin L \sin B}{(II.)^2} = -\cos^2 A \left[\frac{\cos L}{(II.)} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\operatorname{tg} A \sin L \sin B}{(II.)} \right] = -\frac{\cos^2 A}{(II.)} (\cos L + \operatorname{tg} A \sin L \sin B) \\ \frac{\partial A}{\partial \Delta Z} &= \cos^2 A \frac{(I.) \cos B}{(II.)^2} = \frac{\cos^2 A}{(II.)} \operatorname{tg} A \cos B. \end{aligned}$$

Dosažením vypočtených parciálních derivací do rovnice (5) získáme vztah

$$\begin{aligned} A - A^p &= \frac{\cos^2 A}{(\Delta X \cos L + \Delta Y \sin L) \sin B - \Delta Z \cos B} \left[(\sin L - \right. \\ &\quad \left. - \operatorname{tg} A \cos L \sin B) d\Delta X - (\cos L + \operatorname{tg} A \sin L \sin B) d\Delta Y + \operatorname{tg} A \cos B d\Delta Z \right]. \end{aligned} \quad (5a)$$

Přisoudíme-li neindexovaným symbolům $A, A^p, L, B, \Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ veličiny definované rovnicemi (1) až (4), podle nichž bod P_i je bodem daným a azimut A_{iu} vnějším určujícím směrem, pak číselné hodnoty změn souřadnicových rozdílů $d\Delta X, d\Delta Y, d\Delta Z$ budou co do velikosti i co do znaménka rovny změnám souřadnic určovaného bodu dX, dY, dZ . Pro vnější určující směr bude tedy platit

$$\begin{aligned} (d\Delta X)_e &= dX = X - X^p \\ (d\Delta Y)_e &= dY = Y - Y^p \end{aligned} \quad (6)$$

$$(d\Delta Z)_e = dZ = Z - Z^p$$

a rovnici (5a) bude možno napsat ve tvaru

$$\frac{\cos^2 A}{(\Delta X \cos L + \Delta Y \sin L) \sin B - \Delta Z \cos B} \left[(\sin L - \operatorname{tg} A \cos L \sin B) dX - (\cos L + \operatorname{tg} A \sin L \sin B) dY + \operatorname{tg} A \cos B dZ \right] + A^p - A = 0. \quad (5b)$$

Uvedený vztah (5b) by zřejmě byl již použitelný pro výpočet malých oprav dX , dY , dZ přibližných souřadnic určovaného bodu, za předpokladu, že byly změřeny azimuty vnějších určujících směrů alespoň ze tří daných bodů.

Při formulaci úlohy jsme však předpokládali, že bod P_u je bodem ležícím na elipsoidu a tudíž jeho souřadnice /a to nejen přibližné, nýbrž i vypočtené z měřených a na plochu referenčního elipsoidu redukovanych veličin/ musí splňovat rovnici rotačního elipsoidu

$$\frac{X^2 + Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1. \quad (7)$$

Poněvadž délka malé poloosy b meridiánové elipsy je s velkou poloosou a a excentricitou e vázána vztahem

$$a^2(1 - e^2) = b^2,$$

Ize rovnici (7) upravit na tvar

$$Z^2 = (1 - e^2)(a^2 - X^2 - Y^2). \quad (7a)$$

Diferencováním funkce (7a)

$$\begin{aligned} 2ZdZ &= -(1 - e^2)(2XdX + 2YdY) \\ dZ &= -\frac{1 - e^2}{Z} (XdX + YdY) \end{aligned} \quad (8)$$

získáme vztah (8), kterého lze použít pro splnění podmínky, aby i vypočtené souřadnice bodu P_u vyhovovaly rovnici (7):

Dosazením (8) do (5b) získáme po úpravě vztah

$$\begin{aligned} &\frac{\cos^2 A}{(\Delta X \cos L + \Delta Y \sin L) \sin B - \Delta Z \cos B} \left\{ \left[\sin L - \operatorname{tg} A [\cos L \sin B + \right. \right. \\ &+ \left. \left. \frac{X(1 - e^2)}{Z} \cos B] \right] dX - \left[\cos L + \operatorname{tg} A \left[\sin L \sin B + \frac{Y(1 - e^2)}{Z} \cos B \right] \right] dY \right\} + \\ &+ A^p - A = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

$$R = \frac{\cos^2 A}{(\Delta X \cos L + \Delta Y \sin L) \sin B - \Delta Z \cos B}$$

$$R_z = \frac{1 - e^2}{Z} ; \quad R_x = X R_z ; \quad R_y = Y R_z$$

Ize vyjádřit (9) ve tvaru

$$\left\{ R \left[\sin L - \operatorname{tg} A (\cos L \sin B + R_x \cos B) \right] \right\} dX - \left\{ R \left[\cos L + \operatorname{tg} A (\sin L \sin B + R_y \cos B) \right] \right\} dY + A^p - A = 0 \quad (9a)$$

a stejně tak (8) formálně zjednoduší na tvar

$$dZ = -R_x dX - R_y dY . \quad (8a)$$

Pomocí rovnic (9a) a (8a) bude tedy možné vypočítat malé opravy dX , dY , dZ známých přibližných hodnot prostorových pravoúhlých souřadnic určovaného bodu za předpokladu, že alespoň ze dvou daných bodů byly na určovaný bod změřeny orientované směry a jejich číselné hodnoty opraveny o redukce na elipsoid. Poněvadž vypočtené hodnoty prostorových pravoúhlých souřadnic určovaného bodu X, Y, Z budou vyhovovat rovnici (7), bude možno je transformovat na souřadnice geodetické B a L pomocí jednoduchých přímých vztahů

$$\operatorname{tg} L = \frac{Y}{X}, \quad \operatorname{tg} B = \frac{Z (1 + e'^2)}{|\sqrt{X^2 + Y^2}|} .$$

3. Použitelnost odvozených vztahů pro vnitřní směry a pro případ značně nepřesných hodnot přibližných souřadnic určovaného bodu

Vztahy (9a) a (8a) byly odvozeny za předpokladu platnosti rovnic (6), tedy pouze pro případ, že orientované směry byly měřeny na určovaný bod z okolních daných bodů. Uvážíme-li, že pro vnitřní směry budou souřadnicové rozdíly definovány vztahy

$$\begin{aligned} \Delta X_{ui} &= X_i - X_u \\ \Delta Y_{ui} &= Y_i - Y_u \\ \Delta Z_{ui} &= Z_i - Z_u \end{aligned} \quad (2a)$$

a tudíž jejich změny budou v opačné relaci k rozdílům vypočtených a přibližných souřadnic určovaného bodu než pro směry vnější, tedy

$$\begin{aligned}(d\Delta X)_G &= -dX = X^P - X \\(d\Delta Y)_G &= -dY = Y^P - Y \\(d\Delta Z)_G &= -dZ = Z^P - Z,\end{aligned}\tag{6a}$$

pak zřejmě rovnice (9a) a (8a) budou použitelné i pro výpočet z vnitřních směrů za předpokladu, že koeficienty při neznámých dX a dY ve vztahu (9a) použijeme s opačnými znaménky.

Abychom rovnici (9a) mohli ponechat v nezměněném tvaru pro výpočet hodnot dX a dY jak z vnějších, tak i vnitřních směrů, bude třeba použitým symbolům přiřadit číselné hodnoty těchto veličin:

Pro vnější směry:

$$A = A_{iu}$$

$$A^P = A_{iu}^P$$

$$B = B_i$$

$$L = L_i$$

$$R = R(\Delta X_{iu}, \Delta Y_{iu}, \Delta Z_{iu}, B_i, L_i)$$

Pro vnitřní směry:

$$A = A_{ui}$$

$$A^P = A_{ui}^P$$

$$B = B_u$$

$$L = L_u$$

$$R = -R(\Delta X_{ui}, \Delta Y_{ui}, \Delta Z_{ui}, B_u, L_u)$$

a přirozeně v obou případech počítat hodnoty R_z, R_x, R_y z přibližných souřadnic určovaného bodu X_u, Y_u, Z_u . Potom rovnice (9a) bude mít obecnou platnost a bude možné ji použít jak pro výpočet z nezbytného počtu /dvou/ orientovaných směrů, tak i pro výpočet a vyrovnání z nadbytečného počtu měřených směrů. Bude-li tedy celkový počet měřených směrů větší než dva, pak rovnicím (9a) přisoudíme charakter rovnic oprav a neznámé dX a dY určíme známým postupem vyrovnání metodou nejmenších čtverců.

Jak již bylo uvedeno, použití rovnic (9a) a (8a) pro výpočet spolehlivých hodnot souřadnic určovaného bodu předpokládá malé hodnoty veličin dA, dX, dY, dZ , což nutně vyplývá z omezené platnosti rovnice (5). Pokud tedy přibližné souřadnice určovaného bodu nebudou předem známy s dostatečnou přesností, nebude možno souřadnice opravené o přírůstky dX, dY, dZ /vypočtené z (9a) a (8a)/ považovat za plně spolehlivé. V každém případě však budou hledané poloze určovaného bodu

bližší než původní souřadnice přibližné. A právě této skutečnosti lze využít pro výpočet v postupných aproximacích, který je zvláště při použití počítače velmi výhodný.

Poněvadž však je možné reálně předpokládat, že hrubé hodnoty přibližných souřadnic určovaného bodu /odsunutě z mapy i menšího měřítká/ budou v praxi vždy k dispozici, lze opakovaným výpočtem podle rovnic (9a) a (8a) v postupných aproximacích dospět k plně spolehlivým hodnotám souřadnic určovaného bodu. Je přirozené, že bude-li celkový počet určujících směrů větší než dva, postačí pro několik prvních aproximací zvolit pro výpočet pouze dva vhodné vnější směry a teprve v poslední aproximaci použít pro vyrovnání všechny měřené směry.

Uvedený postup byl ověřen v praxi na výpočtu souřadnic několika desítek trigonometrických bodů 1. řádu. Pro značně hrubé hodnoty přibližných souřadnic /s chybou 2 až 3 km pro stranu sítě 30 až 35 km/ bylo třeba čtyř až pěti aproximací k dosažení stavu, kdy rozdíl v poloze bodu z předcházející a následující aproximace nepřesáhl hodnotu jednoho centimetru. Pro předpokládanou chybu v určení přibližných hodnot geodetických souřadnic ve stovkách metrů budou zřejmě při délce stran v desítkách kilometrů plně postačující tři aproximace.

4. Popis programu pro výpočet a vyrovnání geodetických souřadnic určovaného bodu z měřených směrů na počítači ZPA 600

Pro řešení úlohy výpočtu a vyrovnání geodetických souřadnic určovaného bodu z měřených směrů jsem v programovacím jazyku FORTRAN 600 sestavil a odladil výpočetní program. Je řešený obecně a to jak pro výpočet pouze ze dvou vnějších směrů bez vyrovnání, tak i pro výpočet a vyrovnání z libovolného počtu vnějších a vnitřních směrů. Vstupní data programu jsou:

- volitelné kritérium přesnosti výpočtu ε
- číslo určovaného bodu
- počet vnějších směrů
- počet vnitřních směrů
- identifikátor použitého elipsoidu /Besselův, Krasovského nebo Hayfordův/
- klíč výstupu číselných hodnot vyrovnaných azimutů
- přibližné hodnoty geodetických souřadnic určovaného bodu /stačí odsunutě z mapy

nebo ze zákresu sítě s přesností v minutách, tj. na několik kilometrů pro délku stran sítě 1. řádu/

- číselné hodnoty orientovaných vnějších a neorientovaných vnitřních směrů v šedesátinné úhlové míře
- čísla a geodetické souřadnice B, L /ve stupních, minutách a vteřinách/ okolních trigonometrických bodů, z nichž je bod určován.

Program přiřadí hodnoty měřených směrů příslušným bodům i tehdy, budou-li některé vnější nebo vnitřní směry vypuštěny. Vlastní výpočet spočívá v řešení odvozených rovnic (9a) a (8a) způsobem uvedeným v odst. 3, tedy v postupných aproximacích, v nichž se velmi hrubé přibližné hodnoty postupně opravují tak dlouho, až poslední změna v poloze nepřesáhne vstupem zadanou hodnotu ϵ .

Z výsledných hodnot je na výstupu uvedeno číslo určovaného bodu, jeho geodetické souřadnice B, L v šedesátinné úhlové míře a počet aproximací. Je-li celkový počet určujících směrů větší než dva, jsou výsledné hodnoty B a L určeny vyrovnáním metodou nejmenších čtverců. V tomto případě jsou na výstupu doplněna čísla koncových bodů použitých vnějších i vnitřních směrů s příslušnými hodnotami oprav v z vyrovnání. Z charakteristik přesnosti je uvedena číselná hodnota součtu čtverců oprav z vyrovnání $[vv]$ a absolutní hodnota střední chyby ve směru m , vypočtená ze vztahu

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-2}}$$

kde n je celkový počet použitých vnějších i vnitřních směrů. Volbou klíče výstupu při zadání vstupních dat je možno výsledné hodnoty ještě doplnit o vyrovnané azimuty normálových řezů.

5. Závěr

Cílem článku bylo jednak zveřejnit jeden z možných způsobů řešení úlohy výpočtu a vyrovnání geodetických souřadnic bodu z měřených směrů, jednak upozornit na možnost využití zpracovaného programu pro výpočet na počítači ZPA 600. I když se koeficienty u neznámých dX a dY v rovnici (8a) na první pohled zdají být poněkud složité, domnívám se, že uvedený postup by byl použitelný i pro ruční výpočet v polních

podmínkách s použitím elektronického kalkulačního stroje. Vzhledem k tomu, že při výpočtu v aproximacích /ze dvou vnějších směrů/ se budou měnit pouze číselné hodnoty veličin R, R_z, R_x a R_y , bylo by možné výpočetní postup na vhodně upraveném formuláři vyřešit tak, aby ani v polních podmínkách nebyl příliš zdoluhavý.

Aplikace uvedeného řešení pro určení souřadnic bodu na elipsoidu z družicově měřených směrů je přirozeně rovněž možná, ovšem za předpokladu znalosti rotačních prvků soustavy ω, ϵ, ψ a elipsoidické výšky H určovaného bodu. Ve většině případů však bude zřejmě vhodnější použití postupu uvedeného v [1], který znalost elipsoidické výšky H určovaného bodu nepředpokládá, nýbrž naopak umožňuje její určení.

Došlo 28. 8. 1973

LITERATURA

- [1] Burša, M.: Základy kosmické geodézie, díl I., VTS MNO, Praha 1967
- [2] Vykutíl, J.: Vyšší geodézie, díl. I., Brno 1971

Je definice metru z roku 1960 konečná?

(Referát přednesen na geodetickém semináři VA AZ v r. 1973)

Na 11. Generální konferenci vah a měr v říjnu 1960 byla přijata tato definice metru:

Metr /m/ je délka rovnající se 1 650 763,73 vlnových délek záření ve vakuu, odpovídajícího přechodu mezi hladinou $2p_{10}$ a $5d_5$ atomu kryptonu 86.

Ve smyslu doporučení Mezinárodního výboru vah a měr se definované záření vytváří kryptonovou výbojkou.

Přesto, že soudobá měřicí technika dosahuje při měření a srovnávání kmitočtů kvantových přechodů přesnosti 10^{-12} i větší, ukazuje dosavadní praxe /technika realizace/, že na bázi kryptonu je zaručena přesnost definice metru 10^{-9} a výjimečně lze dosáhnout i přesnosti 10^{-9} . Tato přesnost je ovšem značně nižší než přesnost určení sekundy, což je velmi nepříznivé z hlediska fyzikálního, metrologického i geodetického. K bližšímu osvětlení tohoto rozporu je vhodná malá rekapitulace definice sekundy a časových stupnic [1].

Na 13. Generální konferenci vah a měr v říjnu 1967 byla přijata nová definice sekundy, zvané také atomová sekunda. Tato definice zní: Sekunda /s/ je doba trvání 9 192 631 770 period záření, které přísluší přechodu mezi dvěma velmi jemnými hladinami základního stavu atomu cesia 133.

Je známo, že do roku 1956 byla používána jednoduchá definice sekundy jako $1/86\,400$ středního slunečního dne. Na zasedání Mezinárodního výboru vah a měr v roce 1956 pak byla schválena sekunda efemeridová.

Z definice atomové sekundy vyplývá přirozeně i definice jednotky frekvence, tj. hertzu /1 Hz = s⁻¹ /.

Zavedení atomové sekundy přináší ovšem značné problémy a potíže v aplikacích časové stupnice. Jak známo, dosavadní časové stupnice jsou pevně vázány na rotaci Země a její pohyb kolem Slunce. Z definice atomové sekundy však vyplývá, že tato

vazba úplně padla. Atomová časová stupnice bude mít za základ atomovou sekundu. Tím ovšem vzniká rozpor mezi striktními požadavky legální metrologie, závaznými pro všechny členské státy metrické konvence a mezi konkrétními uživateli časové stupnice. Jedna část těchto uživatelů, mezi které patří také geodeti, astronomové a navigátoři, potřebuje takovou časovou stupnici, která dává žádoucí vztahy k rotaci Země. Jiní uživatelé, především fyzikové a metrologové, potřebují naprosto rovnoměrnou časovou stupnici bez návaznosti na rotaci Země. Východisko z této rozporné situace je hledáno v návrhu Konzultativního komitétu pro definici sekundy z roku 1970, ve kterém je definována atomová časová stupnice takto:

Mezinárodní atomový čas /Temps Atomique International, ve zkratce TAI/ je souřadnicí časové míry, vytvářenou v Bureau International de l'Heure /ve zkratce BIH/ na základě údajů atomových hodin, pracujících v různých ústavech v souladu s definicí sekundy, časové jednotky mezinárodního systému jednotek /SI/. V doporučeních pro praktické použití mezinárodní atomové časové stupnice je uvedeno, že BIH určuje trvání jednotkového intervalu TAI tak, aby bylo dosaženo maximálního souladu s definicí atomové sekundy, vztažené k fyzickému bodu při hladině moře. Začátek stupnice TAI je podle doporučení Mezinárodní astronomické unie z roku 1967 vztaženo k TU 2 tak, že se shoduje s tímto časem k 1. 1. 1958 v 0 hod.

TU není ovšem časovou stupnicí z metrologického hlediska, neboť vyjadřuje polohový úhel při rotaci Země, zatímco metrologická časová stupnice má být aproximací času t ve fyzice. Proto definice TAI z hlediska metrologického nemůže splnit beze zbytku ani odborné, ani legální požadavky. Jde tedy o určité kompromisní řešení, které ovšem představuje další pokrok ve vývoji časových stupnic a také v posílení mezinárodní spolupráce na tomto úseku.

Třetím faktorem podmiňujícím přesnost definice metru a z geodetického hlediska přesnost elektronického měření délek je jakost měření rychlosti světla a všeobecně rychlosti elektromagnetického záření. Dosavadní přesnost těchto měření nepřesahuje 10^{-6} , což je velmi nepříjemné z hledisek fyzikálních, metrologických, geodetických i astronomických. Tato nehomogenita telemetrických faktorů je proto dnes hlavní překážkou zvýšení přesnosti měření a výpočtu všech veličin z nich odvozených. V posledním období se podařilo americkým fyzikům v Bureau International des Standards určit rychlost světla s vysokou přesností $(299\,792\,456,2 \pm 1,1)\text{m/s}$. Použili s úspě-

chem He-Ne laser, jehož frekvenci 605,7 nm stanovili podle platné mezinárodní definice metru. Tuto přesnost určení rychlosti světla lze ještě zvýšit na 10^{-11} .

Zde tedy také začíná cesta k přesnější definici metru. Ukázali jsme si, že elektromagnetické vlnění je základem definicí dvou ze sedmi základních jednotek pro nás nejdůležitějších: metru a sekundy. Jednotka délky je přitom vyjádřena určitým počtem vlnových délek, jednotka času určitým počtem kmitů. Z definic vyplývá, že je použito velmi rozdílných frekvenčních oborů [4].

Jednotka	Atom	Délka vlny λ (m)	Kmitočet ν (Hz)	Přesnost
m	Krypton 86	$\sim 0,6 \cdot 10^{-6}$	$\sim 5 \cdot 10^{14}$	10^{-9}
s	Cesium 133	$\sim 3 \cdot 10^{-2}$	$\sim 1 \cdot 10^{10}$	10^{-13}

I když v obou definicích vycházíme ze stejné rychlosti světla $c = \lambda \nu$, neexistuje zatím realizovatelný vztah mezi frekvencemi použitých atomárních procesů. Chybí jednak adekvátní měřicí technika pro srovnání frekvencí určitého oboru viditelné části spektra /Kr/ a určitého oboru mikrovln /Ce/, jednak existuje rozdíl čtyř řádů v přesnosti definice metru a sekundy. Jinak řečeno, sekunda je zatím 10^7 krát přesněji realizovatelná než metr. Je přitom známo, že definice sekundy je dnes nejpřesnější fyzikální definicí vůbec. V posledních letech se realizují nečetné laboratorní pokusy s cílem vyjádřit frekvenci laserového záření v jednotkách frekvence cesia a definovat rychlost světla podstatně přesněji, jak již bylo uvedeno. Pak ovšem bude možno odtud odvozenou jednotku délky definovat a realizovat se stejnou přesností a především stejným zářením jako jednotku času. V podstatě jde o využití vysoké stability spektrální molekulární absorbce záření v některých látkách, jako např. u metanu nebo jódu ve spojení s lasery. Jde především o využití koincidence mezi infračerveným zářením vlnové délky $3,39 \mu\text{m}$, realizovaným He-Ne plynovým laserem a absorbcí tohoto záření v metanu nebo jódu. Stav pokusů je zatím ovšem takový, že Konzultativní komitét pro definici metru změnu této definice v nejbližším období nepředpokládá [2].

Pro metrologii znamená tento vývoj krajně významnou etapu. Takto zpřesněná a se sekundou homogenizovaná jednotka délky je ovšem také jedinečnou cestou

k absolutní etalonáži jakýchkoliv elektronických dálkoměrů. Dosavadní etalonáže jsou ve všech variantách metodami relativními, vztaženými k délkovému fyzickému normálu a určujícími parametry dálkoměrů v podstatě jako funkce geodeticky určených délek srovnávacích základen. Zpřesněná definice metru umožní tedy srovnávat libovolné délky opravdu objektivně a nezávisle, t.j. na základě přesného měření tranzitního času, vyjádřeného stejnou frekvencí záření a tedy i plně nezávislou kontrolu parametrů dálkoměrů. Význam tohoto vývoje nelze zatím ani docenit především v astronomii a kosmické geodézii. A je přirozené, že tento vývoj není bez významu i pro vojenskou aplikaci kosmické geodézie a telemetrie.

Došlo 28. 2. 1974.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Groch Július: Metrologické aspekty definície časovej stupnice. Měrová technika, 1972/1.
- [2] Skákala Jozef: Stav a ďalší rozvoj metrológie z hľadiska rokovania a záverov 14. Generálnej konferencie mier a váh. Měrová technika, 1972/4.
- [3] Šindelář Václav: Zavádění soustavy jednotek SI. Měrová technika, 1972/6.
- [4] Taylor B.N.: Report on the International Conference of Precision Measurement and Fundamental Constants. Metrologia, 1971/1.
- [5] Terrien J.: News from the Bureau International des Poids et Mesures. Metrologia, 1971/1.

Čas a družicová geodézie

Ú v o d

Potřeba časového přiřazení se vyskytuje nejen při družicových pozorováních, ale byla aktuální již v klasické geodézii a při astronomicko-geodetických pozorováních. Pro určování astronomických souřadnic postačovala přesnost $\pm 0,01$ s, poněvadž předmětem pozorování byly nebeské objekty, jako hvězdy, Měsíc, Slunce apod., pohybující se velmi pomalu $/15''/\text{sec.}/$ Zajištění této přesnosti nekladlo velké nároky jak na časoměrné vybavení stanice, tak na přenos času.

Rozvoj družicových metod v geodézii přinesl s sebou nové a náročné požadavky na časovou službu. Požadavek vyšší přesnosti časového přiřazení je důsledkem velké rychlosti umělých družic Země a závisí na přesnosti jednotlivých metod pozorování. Pro fotografické pozorování směrů a délková pozorování nízké přesnosti postačí synchronizace hodin spolupracujících stanic s přesností ± 1 ms. Pro současná laserová délková měření používající pulsů o délce několika nanosekund nebo pro délková radiointerferometrická měření na velmi vysokých frekvencích $/20\text{GHz}/$ je nutná synchronizace na $100 - 10 \mu\text{s}$. Jelikož předmětem všech pozorování v družicové geodézii jsou rychle se pohybující cíle v mimozemském prostoru, je časové přiřazení nutné ze dvou hlavních důvodů:

- 1/ pozorování musíme vztáhnout k rotujícímu zemskému tělesu a proto potřebujeme znát okamžik pozorování ve světovém rotačním čase. Je to nutné především pro fotografická pozorování, kde směr ke družici určujeme na základě souřadnic hvězd

na stojící nebeské sféře, kdežto pozorování byla vykonána na rotující Zemi. Pro transformaci souřadného systému α, δ pevně spojeného s nebeskou sférou do souřadného systému τ, δ pevně spojeného se Zemí potřebujeme znát světový rotační čas;

2/ na řadě spolupracujících stanic pozorujeme stejnou družici. Pokud se nejedná o aktivní družici /např. zábleskovou/ musí být pracovní hodiny jednotlivých stanic velmi přesně synchronizovány, aby bylo možno vzájemně navázat pozorování z různých stanic.

Požadavek na přesnost rotačního času není velký, poněvadž je dán malou úhlovou rychlostí rotace Země vůči nebeské sféře. Přesnost ± 10 ms je plně postačující. Synchronizace pracovních hodin jednotlivých stanic je však závislá na přesnosti pozorování a pohybuje se od ± 1 ms do $\pm 10 \mu$ s. Mohla by být založena na libovolné vysoce stabilní časové stupnici s libovolným chodem. Je však pochopitelné, že bude využíváno časové stupnice založené na mezinárodní definici časové jednotky, tj. sekundy, ze které vychází i světový čas. Světový čas je reprezentován koordinovaným časem UTC, který prostřednictvím časových signálů vysílá řada stanic po celém světě. Od 1. ledna 1972 je čas UTC odvozen od mezinárodního atomového času IAT, který od roku 1958 vytváří Mezinárodní časové ústředí BIH v Paříži. V současné době vzniká IAT jako vážený průměr sedmi dílčích atomových časů vytvářených nejlépe vybavenými časovými laboratořemi. Jednotlivé atomové časy se vzájemně porovnávají leteckým převozem atomových hodin několikrát ročně a sledováním fáze nosné vlny rádiového navigačního systému Loran - C. Čas UTC má tedy od 1. 1. 1972 stejný chod jako IAT a posun kolem 10 s.

Atomový čas je v současné době nejrovnoměrnější čas, přičemž je definován účelně tak, aby se nejlépe blížil efemeridovému času ET a mohl jej pro praktickou potřebu co nejlépe nahradit. Při vzniku atomového času byla nejprve pečlivým sledováním kmitočtu cesiového rezonátoru, který je hlavní částí cesiových atomových hodin, určena frekvence kvantového přechodu cesia Cs^{133} ze 1 s ET. Z ní byla potom stanovena a schválena nová základní jednotka časového intervalu, atomová sekunda. Nová jednotka svou stálostí zatím splňuje podmínky kladené na základní fyzikální jednotku, obzvláště když je vytvářena v mezinárodní spolupráci nejdokonalejších cesiových rezonátorů. Přesto však bylo brzy poukázáno i na nerovnoměrnost atomového

času, která má relativistický původ a souvisí s oběhem Země kolem Slunce. Má tedy periodu 1 rok a amplitudu asi 0,0017 s. Tímto kolísáním jsou postiženy všechny pozemské hodiny současně, takže se ve vzájemném porovnávání neprojevuje. Bylo by možné ho však respektovat příslušnými opravami, které jsou ale zatím pouze teoretické. Praktické ověření bude možné, až se podaří zvýšit přesnost určení ET. Jelikož se některých časových signálů používá pro navigační účely, je stále ještě snaha udržovat UTC a tím i vysílané časové signály přibližně v souladu s rotačním časem UT1. Čas UTC se vzhledem k UT1 předbíhá v současné době asi o 0,1 s za měsíc. Rozdíl mezi oběma časy narůstá za rok přibližně na 1 s. Proto se bude UTC a s ním i časové signály jednou ročně posouvat přesně o 1 s vzad. Uvedeným způsobem se dosáhne toho, že rozdíl $UT1 - UTC = DUT1$ nepřesáhne $\pm 0,7$ s. Signály, které jsou využívány v navigaci, mají přímo v signálu zakódovánu velikost rozdílu DUT1 s rozlišením 0,1 s.

Rotační čas UT1 je odvozen z optických astronomických pozorování. Bezprostředně napozorovaný čas představuje čas UTO, který je nerovnoměrný, a který v sobě zahrnuje nerovnoměrnosti způsobené nepravidelnostmi v rotaci Země a kolísáním zemských pólů. UT1 je čas UTO opravený o změny v polohách zemských pólů. Dalším stupněm je čas UT2, který je vlastně čas UT1 vyhlazený opravami sezónních variací v rychlosti rotace Země. Do doby než byl zaveden atomový čas, byl tudíž čas UT2 nejrovnoměrnějším světovým časem.

Rozdíly mezi rotačním časem UT1 a časem UTC a tím i časem IAT jsou určovány a publikovány Mezinárodním časovým ústředím /BIH/ v Paříži a Věsvazovým vědecko-výzkumným ústavem fyzikálně-technických a radiotechnických měření v Moskvě. Oba údaje DUT1 se však vzájemně liší přibližně o 0,02 s. Tato hodnota je způsobena jednak různou polohou středního pólu a jednak různou definicí výchozího poledníku. BIH používá okamžitých souřadnic pólu vztažených ke střednímu pólu let 1900 - 1905, kdežto observatoře v SSSR používají souřadnic okamžitého pólu vztažených k pohybujícímu se střednímu pólu. Kromě toho se používá v SSSR přijatých délek vzhledem ke Greenwichi /definovaných rozdílem délek Pulkova a Greenwiche/, kdežto BIH používá délek definovaných poněkud jiným způsobem. Z tohoto důvodu je nutno pro zpracování přesných družicových pozorování v síti kosmické triangulace stanovit, který rotační čas UT1 bude používán, zda BIH nebo Etalonnoje vremja, i když rozdíl je menší než 25 ms. Požadavky na přesnost rotačního času se stále zvyšují

nejen v navigaci a geodézii. Např. pro navigační stanice řídící lety meziplanetárních sond je přesná znalost rotačního času UT1 a souřadnic pólů velmi důležitá, poněvadž chyba ± 1 ms stupnice UT1 odpovídá odklonu dráhy kosmické sondy nacházející se např. v blízkosti planety Mars o 15 km od plánovaného kursu. Jsou proto kromě zlepšování astronomických měření hledány progresivní metody jak zvýšit přesnost rotačního času a poloh pólů, jako dopplerovská pozorování navigačních družic nebo laserová měření vzdáleností k Měsíci.

Přesný čas při sledování UZ

Využití přesného času při družicových pozorováních můžeme rozdělit podle několika hledisek:

- a/ měření časového intervalu nebo frekvence
- b/ přiřazení některého celosvětového času provedenému pozorování
- c/ pracovní čas na stanici
- d/ synchronizace staničních hodin v síti stanic

Ad a/ Při měření časového intervalu nebo frekvence se bude jednat vždy o malý interval, několik milisekund v případě pozorování družic a několik sekund v případě pozorování Měsíce. Na přesnosti změřeného časového intervalu nebo frekvence bude záviset přesnost celého měření. Je proto nutné použít zařízení o vysoké krátkodobé stabilitě kmitočtu a vysoké rozlišovací schopnosti. Jako příklad je možno použít laserové měření vzdáleností, kde přesnost měření tranzitního času /časového intervalu/ je dána především rozlišovací schopností použitého elektronického čítače.

Ad b/ Družicová pozorování jsou prováděna na pohybující se /rotující/ Zemi a předmětem pozorování jsou rychle se pohybující tělesa. Musíme proto provedené pozorování fixovat v čase - přiřadit mu přesný údaj světového času. Nejvhodnější bude samozřejmě rovnoměrná časová stupnice. Takovou je čas UTC, IAT nebo ET. Jelikož ET má velkou nejistotu ve svém určení, je jako argument pro sérii pozorování nejvhodnější čas UTC, který prostřednictvím časových signálů reprezentuje rovnoměrnost atomového času. Družicovým pozorováním bychom tedy měli přiřazovat rovnoměrný čas UTC. Některá pozorování, např. fotografická, sice potřebujeme převést z nebeské souřadné soustavy do souřadnicové soustavy pozemské pomocí rotačního

času UT1, avšak to provedeme jednoduše pomocí korekcí $DUT1 = UT1 - UTC$, aniž bychom museli pozorování registrovat v nerovnoměrném čase UT1.

Ad c/ Většina existujících aparatur pro sledování UDZ má s vysokou přesností vyřešeno přiřazení času staničních hodin k okamžiku pozorování, poněvadž je to pouze otázka přesného provedení některých částí aparatury a otázka přesnosti technického vybavení. Určení okamžiku pozorování v čase pracovních staničních hodin nebývá tedy obvykle problémem. Problémem je pouze přivedení přesného světového času, např. UTC na stanici, neboli synchronizace staničních pracovních hodin se světovým časem.

Ad d/ V některých případech pozorování /např. při synchronních nebo kvazisynchronních pozorováních UDZ pro geodetické využití, kdy UDZ je pouze pomocným cílem/ není ani nutné znát přesný světový čas. Postačuje, když spolupracující stanice mají synchronizovány svoje staniční pracovní hodiny vzájemně; bez návaznosti na přesný světový čas. Jak často je nutno staniční hodiny synchronizovat se světovým časem nebo s hodinami spolupracujících stanic, závisí na kvalitě /stabilitě kmitočtu/ staničního normálu. Pro přesná družicová pozorování nevystačíme již v žádném případě s časovým normálem reprezentovaným kyvadlovými hodinami nebo jakkoliv kvalitním chronometrem. Nejnížší požadavky na přesnost jsou řádově ± 1 ms. Přesné staniční hodiny jsou pro družicová pozorování v současné době realizovány výhradně na principu počítání impulsů ze zdroje přesného kmitočtu - kmitočtového normálu. Základem hodin je vysoce stabilní normál kmitočtu řízený křemenným krystalem. Výstupní kmitočet základního normálu bývá zpravidla snížen vydělením až na 1 Hz, čímž jsou získány sekundové časové značky. Stabilita krystalových oscilátorů dosahuje v nejlepším případě hodnot řádově 10^{-10} /den, běžně 10^{-9} /den. Podstatně vyšší stability a tím i přesnosti dosahují atomové normály, které ve svém principu využívají kvantového charakteru energie. Vzájemným působením elektrického, případně magnetického pole a atomů nebo molekul hmoty dochází mezi nimi k výměně energie ve formě malých kvant, nazývaných fotony. Kmitočet vyzářeného nebo absorbovaného záření je jednoznačně vázán s energií fotonu. Pro přechod atomu nebo molekuly určité látky mezi dvěma určitými diskrétními energetickými stavy je možno považovat kmitočet vyzářovaného nebo absorbovaného záření za konstantní. Nebyl dosud zjištěn žádný vnější vliv, který by působil změnu kmitočtu u tohoto jevu. Tato vlastnost je využívána při konstrukci atomových normálů, v nichž je přesný krystalový oscilá-

tor synchronizován kmitočtem emitovaného nebo absorbovaného záření primárního zdroje. Ve zdrojích pracujících v aktivním režimu se využívá koherentní stimulované emise záření, ve zdrojích pasivních dochází k absorpci záření o přesném kmitočtu, odpovídajícím určitému kvantovému přechodu v použité látce. Stabilita nejprostšího rubidiového normálu pracujícího v pasivním režimu je okolo 10^{-11} /den. Stabilita normálu cesiového pracujícího v aktivním režimu je o 1 - 2 řády lepší. Volba vhodného staničního normálu závisí na tom, v jak dlouhých časových intervalech bude možno synchronizovat normály jednotlivých spolupracujících stanic. Pro pozorování s menšími nároky na přesnost časového přiřazení, jako jsou fotografická pozorování, vyhovují krystalové normály. Pro pozorování náročná na přesnost času, jako např. laserová pozorování, vyhovují buď kvalitní krystalové normály za předpokladu, že budou dostatečně často synchronizovány /zhruba 1x denně/ nebo přesnější normály, jako např. sovětský rubidiový normál $\bar{C}1 - 43$.

V dalším se budeme tedy zabývat pouze otázkami a problémy synchronizace časových stupnic na velké vzdálenosti, což je nezbytné např. pro synchronizaci celé sítě kosmické triangulace.

Synchronizace časových stupnic na velké vzdálenosti

Nejběžnější a současně nejdéle používanou metodou srovnávání časových stupnic vzdálených normálů je srovnávání pomocí rádiových časových signálů. V případě, že vyhovuje synchronizace stanic s přesností horší než 1 msec, je možné zpravidla využít k synchronizaci signálu, vysílaného zvláštními stanicemi v pásmu dlouhých, středních a krátkých vln. Vhodné jsou pro tento případ stanice, pracující s amplitudovou impulsní modulací. Impulsní metody jsou méně přesné než fázové, ale jejich výhodou je jednoduchost zařízení a to, že v měření není mnohoznačnost. Hlavním činitelem omezujícím přesnost u stanic pracujících v pásmu dlouhých vln /10 - 100 kHz/ je nízká strmost hran vysílaného pulsu, způsobená především jakostí antény na vysílaném nízkém kmitočtu. Vysílací kmitočet v pásmu středních a krátkých vln /0,3 - 30 MHz/ dovoluje vytvoření impulsu s dostatečně strmými hranami, ale při příjmu je nutno počítat s deformací signálu, způsobenou interferencí různých dopadajících vln a změnami v ionosféře.

Pro přesnou synchronizaci staničních hodin v globálním měřítku je možno s úspěchem použít převozu hodin. Nejvhodnější a nejpřesnější je letecký převoz atomových hodin. Tato metoda, která zajišťuje přesnost synchronizace lepší než $\pm 1 \mu s$, je však značně nákladná a organizačně náročná. Význam a zdůvodnění má při synchronizaci stanic vybavených atomovým normálem, který zajišťuje stabilitu frekvence po dlouhou dobu, takže synchronizace a tím i převoz hodin mohou být prováděny v dlouhých časových intervalech, zhruba jednou měsíčně. Tento způsob je např. používán při tvorbě mezinárodního atomového času IAT, kdy pomocí leteckého převozu atomových hodin se několikrát ročně porovnává 7 dílčích atomových časů, vytvářených nejlépe vybavenými časovými laboratořemi.

S ohledem na rostoucí počet pracovišť, která vyžadují ke své činnosti vlastní časový normál synchronizovaný s přesností vyšší než 0,1 ms, vznikla již řada systémů, které dosahují této přesnosti opět prostřednictvím rádiového vysílání v rozsahu velmi dlouhých nebo velmi krátkých vln. Například stanice navigační sítě systému Loran - C pracují s širokopásmovou impulsní modulací na kmitočtu 100 kHz. Každá ze stanic sítě vysílá s vlastní opakovací frekvencí kódovanou skupinu pulsů. Doba narůstání čela pulsu je $30 \mu s$. Kvůli redukování vlivu šíření je nosná vlna modulována fázově o $\pm 180^\circ$ mezi jednotlivými pulsy. Určitou komplikací je složitost dekodéru přijímače vyhodnocujícího přijatý signál. Při příjmu přízemní vlny lze dosáhnout synchronizace vlastního času stanice s přesností $\pm 1 \mu s$; při příjmu vlny odražené se přesnost snižuje, ale i po několika odrazech vlny od ionosféry je přesnost synchronizace lepší než $\pm 50 \mu s$. Jiným systémem je navigační systém OMEGA. Základní frekvence nosné vlny 10,2 kHz je získávána na každé stanici z normálu, řízeného čtveřicí cesiových hodin. Jednotlivé stanice sítě vysílají střídavě pulsy s tímto nosným kmitočtem o délce 1 s. Synchronizace času podle narůstajícího čela pulsu by nebyla příliš výhodná. Systém pracuje s poměrně malou šíří pásma /10 Hz/ a doba narůstání pulsu je příliš veliká. Dlouhodobé průměrování doby nástupu čela pulsu by tak dalo přesnost nejvýše $100 \mu s$. Použitá synchronizace s vyhodnocováním fáze vysoce stabilního nosného kmitočtu zajišťuje oproti tomu přesnost lepší než $3 \mu s$. V budoucnu bude vysílání doplněno kódovaným údajem o datu /den, hodina, minuta/. Celý systém OMEGA bude tvořen osmi stanicemi, z nichž nejméně 3 budou slyšitelné na kterémkoliv místě na Zemi. O zavedení podobného programu vysílání se uvažuje i u česko-

slovenské stanice OMA 50. Stanice by pracovala s fázovou modulací a zakódovanými časovými údaji.

Nejvyšší přesnosti synchronizace časových stupnic lze v současné době dosáhnout s využitím vysílání v rozsahu velmi krátkých vln. U impulsů s vysokým nosným kmitočtem lze bez větších obtíží dosáhnout potřebné strmosti náběžných hran pulsů, sloužících k synchronizaci. Výhodný je u velmi krátkých vln též způsob šíření; šíří se prakticky přímočaře a beze změn procházejí ionosférou. Televizního vysílání v oblasti velmi krátkých vln využívá metoda vypracovaná v r. 1966 v ČSAV. Systém, který pracuje s televizními synchronizačními pulsy, umožňuje synchronizaci časových stupnic s přesností vyšší než $1\mu\text{s}$. V tomto případě je vzájemný posuv mezi dvěma časovými stupnicemi měřen pomocí signálu, který je přijímán na obou srovnávaných stanicích. Pokud je možno v obou uvažovaných stanicích zachytit vysílání téhož televizního vysílače, je možné využít jeho synchronizačních pulsů jako uvažovaného pomocného signálu. Posuv časových stupnic obou stanic je dán rozdílem naměřeného posuvu obou stupnic vůči vybraným synchronizačním pulsům. V posuvu je nutno uvažovat rozdílné vzdálenosti srovnávaných stanic od televizního vysílače a výslednou hodnotu posuvu oprávit o rozdíl v době šíření televizního signálu.

Nevýhodou synchronizace času prováděné pomocí televizních synchronizačních pulsů je poměrně malé území, pokrývané vysíláním vzájemně propojených televizních vysílačů. Z tohoto hlediska je výhodnější využít aparatury některých umělých družic Země. Vhodné jsou navigační družice /např. systém TRANSIT/, které samy vysílají časový signál a dále družice spojové s retranslačním zařízením, na něž je možné časový signál vysílat z pozemní stanice vybavené atomovými hodinami. Vysílání samotné družice pak pokrývá značnou plochu povrchu Země a umožňuje synchronizaci času vzdálených spolupracujících stanic. Umělé družice Země typu TRANSIT vysílají na kmitočtech 150 a 400 MHz signál, určený pro navigaci pomocí zařízení, měřících Dopplerův posuv kmitočtu těchto signálů. Ve dvouminutových intervalech družice vysílá kódovaný údaj o své poloze a časový signál v čase UTC. Řízení provozu družice a korekce časového signálu provádí řídicí stanice na Zemi. Pomocí těchto družic bylo dosaženo přesnosti v přenosu časových signálů jen o málo horší než $10\mu\text{s}$. Retranslační družice mohou zprostředkovat synchronizaci pozemních stanic buď v jednosměrném nebo obousměrném provozu. Při obousměrném provozu je ča-

sový signál vysílán současně z obou stanic na družici a současně pak je přijímán signál družice. Výhodou takového režimu je to, že není třeba znát souřadnice družice ani spolupracujících stanic. Nevýhodou je potřeba kompletní drahé aparatury /vysílače i přijímače s anténami/ na obou stanicích. Při jednostranném režimu může být synchronizační signál vysílán z jediné řídicí stanice, např. na geostacionární družici, která pak svým vysíláním pokrývá 1/3 zemského povrchu. U stanic přijímajících signál družice pak musí být prováděna oprava na zpoždění signálu, způsobené dobou šíření. Výhodou je, že synchronizace může být prováděna u několika stanic současně, s přesností lepší než $100 \mu\text{sec}$ a pomocí nepoměrně levnější přijímací aparatury.

Pro synchronizaci časových stupnic je možno využít nejen signálů uměle vytvářených, ale též signálů přírodních, které jsou ve vesmíru vysílány bez zásahu člověka. Generátorem takovýchto signálů je objekt ve vzdáleném kosmu - pulsar. Pulsary jsou zdrojem rádiového záření, které se vyznačuje vysokou relativní stabilitou periody kolem 10^{-9} . Ve dvou případech víme, že pulsar vysílá též pulsy v optickém oboru. Jedním je pulsar PSR 0833-45 v souhvězdí Plachet. Perioda jeho pulsů je 89,2 ms. Jeho hvězdná velikost je však velmi malá. Druhým optickým pulsarem je pulsar NP 0532 22, který svítí jako slabá hvězda v jádře Krabí mlhoviny. Jeví se jako těleso 18^m , avšak v rytmu, který je naprosto shodný s rádiovou periodou, se zjasní vždy na dobu necelých 2 ms na 15^m . Tento pulsar má nejkratší známou periodu 33,1 ms. Vysoká stabilita periody, délka pulsu i hvězdná velikost přímo předurčují tento pulsar k využití jako optického majáku pro synchronizaci časových stupnic v globálním měřítku. Z energetické bilance vychází, že optické pulsy tohoto pulsaru by mohly být snímány teleskopem o průměru 60 - 100 cm. Fotonásobičem se světelné impulsy převedou na elektrické pulsy, které je možno srovnávat s frekvencí staničního normálu. V důsledku vysoké stability periody pulsaru by pulsy na spolupracujících stanicích nemusely být přijímány současně. Zajištění synchronizace staničních časových normálů s přesností ± 1 ms je možné příjmem již několika pulsů. Pro dosažení přesnosti $\pm 10 \mu\text{s}$ bude nutno přijímat pulsy v delším časovém intervalu /kolem 1 hodiny/ a výsledky statisticky vyhodnotit. Tento způsob synchronizace je obzvláště vhodný pro laserové stanice, poněvadž světelné signály pulsaru by bylo možno přijímat přímo přijímacím teleskopem laserové dálkoměrné aparatury. Obdobný systém by bylo možno vytvořit umístěním pulsního laseru vysílajícího krátké nanosekundové pulsy na družici. Při

velké výšce družice nad povrchem Země a úmyslně velké divergenci laserového svazku by laserový paprsek mohl pokrývat téměř třetinu zemského povrchu. Tím by bylo možno zajistit synchronizaci časových stupnic v globálním měřítku s přesností kolem 1 ns. Nevýhodou jsou však technické problémy s energetickým zdrojem pro laser na družici. Přírodní zdroj, jako je pulsar, pracuje oproti tomu zdarma.

Z á v ě r

Pro družicová pozorování s nižšími nároky na přesnost $/\pm 1 \text{ ms}/$ přiřazení času, jako jsou např. fotografická směrová pozorování, vystačíme s časovou synchronizací pomocí rádiových časových signálů. Předpokladem jsou však přesné staniční normály, přinejmenším krystalové. Tento způsob však selhává na odlehlých místech zemského povrchu, kde je úroveň příjmu časových signálů vysílajících čas UTC nedostačující.

Časové přiřazení vysoce přesným pozorováním, jako jsou laserová, dopplerovská nebo délková radiointerferometrická měření na velmi vysokých frekvencích $/20 \text{ GHz}/$ však není u nás v současné době ještě uspokojivě vyřešeno. Pro kontinentální sítě kosmické triangulace, kde na všech stanicích je dostatečně silný příjem koordinovaných časových signálů, by bylo možné s úspěchem využít fázově modulovaného vysílání, o kterém se uvažuje např. na československé stanici OMA 50 a které by zajistilo synchronizaci staničních normálů lepší než $\pm 10 \mu\text{s}$. Rovněž tak lze na území ohraničeném televizními retranslačními stanicemi použít pro srovnávání staničních hodin televizních synchronizačních pulsů, zajišťujících přesnost synchronizace lepší než $\pm 1 \mu\text{s}$. Územní rozsah použitelnosti televizní metody by se rozšířil využitím spojových družic /např. Molnija/ pro přenos a retranslaci televizních signálů na velké vzdálenosti i do odlehlých míst zemského povrchu. Tato odlehlá teritoria by však musela být vybavena nákladnými stanicemi pro příjem televizních signálů z družice.

Pro zajištění synchronizace časových stupnic stanic v libovolně rozsáhlé síti kosmické triangulace kdekoli na zemském povrchu by bylo možné umístit na palubu jedné nebo více družic /např. v programu Interkosmos/ přesný časový normál a vysílač nosné frekvence s namodulovanými časovými značkami /podobně jako v navigačním systému TRANSIT/. Pokud by družice byla vypuštěna na téměř polární dráhu, bylo by možno srovnávání staničních hodin provádět kdekoli na zemském povrchu

nejméně 2x denně. Rovněž umístění retranslační aparatury na vysokou družici by zajistilo synchronizaci staničních hodin na velké části zemského povrchu.

Došlo dne 30. 5. 1974

L I T E R A T U R A

- [1] Buchar E.: Geodetická astronomie I, SNTL Praha, 1963
- [2] Bulletin Horaire du Bureau International de l'Heure, Paris, 1966
- [3] Etalonnoje vremja v serednije momenty peredač radiosignalov, Moskva, 1973
- [4] Groch J.: Porovnávanie časových stupnic na velké vzdialenosti, Kozmos 4/1972
- [5] Hvězdářská ročenka 1972, 1973, 1974, Academia Praha
- [6] Jespersen J. L, Blair B. E., Catterer L. E.: Time and Frequency, Proceedings of the IEEE, v. 60, No 5, 1972, special issue, New York
- [7] Markowitz W.: Continental Drift, Secular Motion of the Pole and Rotation of the Earth, IAU, 1968, Dordrecht - Holland
- [8] Ptáček Vl.: Čas a rotace Země, Vesmír 10/1971, ČSAV Praha
- [9] Tolman: Über ein kontinentales System der Zeitleichheit, Vermessungstechnik, 6, 1965.

Několik poznámek k problematice vyměřování a vyznačování státních hranic ČSSR

1. Ú v o d

Státní hranice jsou myšlenou svislou rovinou, kolmou k zemskému povrchu, která odděluje výsostný prostor sousedních států na povrchu země, nad zemí ve vzdušném prostoru i pod zemským povrchem.

Státní hranice se socialistickými sousedy v porovnání s dřívější dobou nemají již ten význam, který jim byl prisuzován. Dnes jsou to hranice míru, jak zdůraznil při podpisu československo-sovětské Smlouvy o režimu na československo-sovětských státních hranicích, spolupráci a vzájemné pomoci v hraničních otázkách, dne 10. února 1973 ve svém projevu tehdejší mimořádný a zplnomocněný velvyslanec SSSR v ČSSR soudruh V. S. Červoněnko.

Státní hranice s těmito sousedy pouze vymezují území jednotlivých socialistických států.

Na druhé straně si však musíme uvědomit, že naše západní hranice jsou hranicemi dvou společenských soustav.

Vyměřování a vyznačování průběhu státních hranic není samoúčelem, neboť je prováděno v souladu s plněním mezinárodních právních norem o státních hranicích. Má rovněž velký politický význam, neboť slouží k zajištění nedotknutelnosti československého státního území před jakýmkoliv narušováním výstavby socialismu.

Státní správa v oboru státních hranic, jakož i výkon vyměřovacích a vyznačovacích prací na státních hranicích jsou upraveny zákony č. 128/70 a č. 133/70 a vládním usnesením č. 1094/53 T ze dne 27. května 1953.

Z uvedených právních norem je zřejmá těsná součinnost federálního ministerstva národní obrany a federálního ministerstva vnitra ve věcech správy, vyměřování,

vyznačování a udržování státních hranic a vedení dokumentárního díla státních hranic ČSSR.

V návaznosti na uvedené právní normy se každoročně zpracovávají součinnostní plány údržby pro jednotlivé úseky státních hranic.

Vyměřovací, vyznačovací a udržovací práce na státních hranicích jsou značně náročné na fyzickou připravenost a odbornost, ale i znalost mezinárodně právních norem o průběhu, charakteru, pohyblivosti a možných změnách státních hranic.

Cílem tohoto článku je připomenout si některé zásady a právní normy, jejichž aplikace je při hraničních pracích nezbytná.

2. Vybrané právní normy vztahující se ke státním hranicím

Závaznost státních hranic je založena na mezinárodních či mezistátních aktech různého druhu. Výjimečně mohou být státní hranice mezi oběma sousedními státy mlčky uznávány a zachovávány, aniž by byly stanoveny právním aktem.

Významné právní normy:

- a. Smlouva mezi Československou socialistickou republikou a Svazem sovětských socialistických republik o režimu na československo-sovětských státních hranicích, spolupráci a vzájemné pomoci v hraničních otázkách, podepsaná v Praze dne 10. února 1973.
- b. Smlouva mezi Československou socialistickou republikou a Polskou lidovou republikou o právních vztazích na československo-polských státních hranicích, o spolupráci a vzájemné pomoci v hraničních otázkách, podepsaná v Praze dne 2. prosince 1967.
- c. Smlouva mezi Československou republikou a Maďarskou lidovou republikou o úpravě režimu na státních hranicích, podepsaná v Praze dne 13. října 1956.
- d. Smlouva mezi Československou socialistickou republikou a Rakouskou republikou o společných státních hranicích, podepsaná ve Vídni dne 21. prosince 1973.

3. Průběh státních hranic ČSSR

Průběh státních hranic je v terénu vyznačen hraničními znaky, jejichž tvar, rozměry, vzhled a způsob vyznačení jsou stanoveny dvoustrannými mezinárodními smlouvami.

Pod pojmem "hraniční znak" se rozumí zpravidla jeden, ve zvláštních případech dva nebo tři mezníky, železobetonové monolity, skalní znaky, na československo-sovětských státních hranicích soustava hraničních sloupů a polygonových sloupků, případně značek trigonometrických bodů stejného čísla.

Vyznačení státních hranic v terénu může být přímé nebo nepřímé.

Při přímém vyznačení státních hranic /zpravidla na souši a vodních nádržích/ jsou hraniční znaky /na československo-sovětských státních hranicích polygonové sloupky/ osazeny přímo v hraniční čáře. Hraniční znak /polygonový sloupek/ koresponduje s hraničním bodem hraniční čáry.

Při nepřímém vyznačení státních hranic /na hraničních vodních tocích, cestách apod./ je hraniční bod vyjádřen zprostředkovaně pomocí dvou nebo tří hraničních značek /mezníků/ a na československo-sovětských státních hranicích pomocí polygonového sloupku a dvou nebo tří hraničních sloupů. Hraniční čára sleduje střednici /osu/ vodního toku nebo jeho hlavního ramene, osu komunikace ap.

4. Rozdělení státních hranic ČSSR - číslování a rozměry hraničních znaků

Československá socialistická republika sousedí se šesti státy. Styk státních hranic mezi ČSSR a dvěma sousedními státy nazýváme trojmezím.

Státní hranice s jednotlivými sousedními státy jsou rozděleny na hraniční úseky.

4.1. Některé údaje o státních hranicích

Státní hranice mezi ČSSR a SSSR:

Nejsou rozděleny na hraniční úseky.

Hraniční znaky jsou číslovány od 1 do 375 od severu k jihu. Každý hraniční znak

tvoří dva hraniční sloupy /československý a sovětský/ a mezi nimi polygonový sloupek. Tyto sloupy jsou zasazeny zpravidla ve vzdálenosti 2,50 m na obě strany od polygonového sloupku.

Délka státních hranic je 97,6 km.

Státní hranice mezi ČSSR a PLR:

Jsou rozděleny do šesti hraničních úseků, které se označují římskými číslicemi I až IV.

V každém hraničním úseku jsou

- hlavní hraniční znaky číslovány průběžně ve tvaru zlomku, v jehož čitateli je číslo úseku uvedené římskou číslicí a ve jmenovateli pořadové číslo hlavního hraničního znaku od začátku úseku, uvedené arabskou číslicí, např. $\frac{II}{1}$, $\frac{II}{2}$, $\frac{II}{3}$...atd.
- pomocné hraniční znaky číslovány průběžně mezi dvěma sousedními hlavními hraničními znaky ve tvaru zlomku, v jehož čitateli je arabské číslo nejbližšího předcházejícího hlavního hraničního znaku a ve jmenovateli je arabské pořadové číslo pomocného hraničního znaku, např. $\frac{2}{1}$, $\frac{2}{2}$, $\frac{2}{3}$ atd.

Délka státních hranic je 1309,9 km.

Státní hranice mezi ČSSR a NDR:

Jsou rozděleny do dvaceti tří hraničních úseků, označených římskými číslicemi III až XXV.

Každý hraniční úsek je na počátku označen základním znakem, jehož číslování je ve tvaru zlomku. V čitateli je číslo úseku uvedené římskou číslicí a ve jmenovateli je vždy arabská jednička. Základní znak je současně prvním hlavním znakem. Příklad číslování $\frac{IV}{1}$.

Další hlavní hraniční znaky jsou číslovány průběžně pouze arabskými číslicemi např. 2, 3, 4 atd.

Mezilehlé hraniční znaky jsou číslovány průběžně mezi dvěma sousedními hlavními hraničními znaky ve tvaru zlomku. V čitateli je arabské číslo nejbližšího předcházejícího hlavního hraničního znaku a ve jmenovateli je arabské pořadové číslo mezilehlého hraničního znaku např. $\frac{2}{1}$, $\frac{2}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{4}$ atd.

Běhouny jsou bez označení výsostnými iniciálami a bez číslování.

Délka státních hranic je 458,95 km.

Státní hranice mezi ČSSR a NSR:

Jsou rozděleny do 12 hraničních úseků, označených římskými číslicemi I až XII. Způsob číslování hraničních znaků je obdobný jako na státních hranicích ČSSR-NDR. Rozdíl je v označení výsostnými iniciálami.

Délka státní hranice je 356,38 km.

Státní hranice mezi ČSSR a Rakouskem:

Jsou rozděleny do dvanácti hraničních úseků, označených římskými číslicemi I až XII.

Každý hraniční úsek je na počátku označen základním znakem s číslováním římskými číslicemi shodnými s čísly hraničních úseků.

Hlavní hraniční znaky jsou číslovány průběžně ve tvaru zlomku, v jehož čitateli je římskou číslicí udán příslušný úsek a ve jmenovateli je arabskou číslicí uvedeno pořadové číslo hlavního hraničního znaku např. $\frac{I}{1}$, $\frac{I}{2}$, $\frac{III}{1}$ atd.

Mezilehlé hraniční znaky jsou číslovány průběžně arabskými číslicemi vždy mezi dvěma hlavními hraničními znaky např. 1, 2, 3, 4 ... atd.

Doplňovací hraniční znaky /běhouny/ jsou číslovány mezi dvěma hlavními znaky ve tvaru zlomku, přičemž v čitateli je vždy "0" a ve jmenovateli pořadové číslo běhounu např. $\frac{0}{1}$, $\frac{0}{2}$, $\frac{0}{3}$ atd.

Délka státních hranic je 578,34 km.

Státní hranice mezi ČSSR a MLR:

Jsou rozděleny do dvaceti hraničních úseků, označených římskými číslicemi I - XX.

Každý hraniční úsek je na počátku označen základním znakem s číslováním římskými číslicemi shodnými s čísly hraničních úseků.

Hlavní hraniční znaky jsou číslovány průběžně v každém úseku. Pořadové číslo hlavního hraničního znaku je uvedeno arabsky vedle římské číslice označující číslo hraničního úseku, např. IV 2, IV 3 ap.

Mezilehlé hraniční znaky jsou číslovány průběžně mezi hlavními hraničními znaky ve tvaru zlomku, přičemž v čitateli je uvedeno číslo hlavního hraničního znaku a ve jmenovateli pořadové číslo mezilehlého hraničního znaku např. $\frac{XVIII\ 5}{1}$, $\frac{XVIII\ 5}{2}$ ap.

Doplňovací hraniční znaky /běhouny/ jsou číslovány shodně s mezilehlými znaky, doplněné ve jmenovateli písmeny malé abecedy např. $\frac{XVIII\ 5}{2a}$ $\frac{XVIII\ 5}{2b}$ ap.

Délka státních hranic je 677,85 km.

4.2. Rozměry hraničních znaků

Typ státní hranice	Rozměry v cm					
	SSSR	PLR	NDR	NSR	Rakousko	MLR
Hraniční sloup	20x20x320					
Polygonový sloupek	∅ 15x150					
Základní			30x30x180	30x30x180	35x35x185	35x35x185
Hlavní		25x25x140	25x25x140	25x25x140	25x25x140	25x25x140
Mezilehlé			20x20x90	20x20x90	20x20x90	20x20x90
Pomocný		20x20x90				
Doplňovací /běhouny/			10x20x70	10x20x70	10x20x70	15x20x70
Polygonový					20x20x90	20x20x90

Poznámka: Mimo uvedené hraniční znaky se v terénu vyskytují i netypické hraniční znaky, které jsou při hraničních pracích postupně nahrazovány novými.

5. Zaměřování a vyznačování průběhu státních hranic

Vyznačováním státních hranic se rozumí nahrazování skutečných, přirozených, případně i nepřirozených hranic na zemském povrchu hraničními znaky /mezníky/, které měřicky určují průběh hraniční čáry mezi dvěma sousedními státy. Hraniční znaky /mezníky/ se osazují v ideálních lomových bodech. Průsečnice svislé roviny proložená dvěma sousedními hraničními znaky /mezníky/ se zemským povrchem je hraniční čarou mezi dvěma sousedními státy.

Zaměřováním průběhu státních hranic se rozumí geodetické určení polohy hraničních znaků, případně bodů hraniční čáry. Při přímém vyznačení průběhu státních hranic jsou hraniční znaky zároveň hraničními body hraniční čáry. Při nepřímém vyznačení průběhu státních hranic nejsou hraniční znaky hraničními body. Hraniční čára sleduje střednici hraničního vodního toku, střednici hlavního ramene, střednici plavebního koryta, střednici společné komunikace, příkopu ap.

Určení souřadnic hraničních znaků se provádí běžnými geodetickými metodami, zpravidla vedením hraničních polygonů.

Určení souřadnic bodů hraniční čáry se provádí zprostředkovaně výpočtem bodů na polygonové straně v případech, kdy hraniční polygon sleduje hraniční čáru nebo ortgonální metodou v případech, kdy hraniční polygon nesleduje hraniční čáru. Určení souřadnic hraničních bodů mimo hraniční znaky má své opodstatnění zejména při výpočtu výměr ploch odstupovaného státního území.

Na státních hranicích dochází ke změnám, které vznikly přirozenou činností /např. erozivní činností vody ap./ a změnám umělým /regulace vodních toků/ plánovaným vodohospodářskými a jinými organizacemi. Všechny tyto změny znehodnocují jak průběh státních hranic v terénu, tak i samotné hraniční dokumentární dílo. Proto v souladu s příslušnými smluvními ustanoveními se provádějí pravidelné periodické, případně i mimořádné hraniční práce. Přes tuto snahu eliminovat anomálie jak ve vyznačení průběhu státních hranic, tak i v hraničním dokumentárním díle není mnohdy dosahováno požadovaných výsledků. Zejména souřadnice hraničních znaků nejsou jedolitým materiálem - vyskytující se rozdíly v souřadnicích dosahují v některých případech hodnot větších než 1 m. Smyslem tohoto článku není analyzovat přesnost hraničního díla, neboť kauzalita tohoto problému má kořeny jak v použitých podkladech

/starých 50 i více let/, tak i v technologických postupech, kterých se užívalo při tvorbě katastrálních map. Význam této problematiky vyžaduje, abychom se k ní v budoucnu vrátili.

6. Hraniční dokumentární dílo

Právním podkladem pro vytýčení průběhu státních hranic Československé socialistické republiky s jednotlivými sousedními státy jsou mezinárodní /mírové/ smlouvy nebo mezistátní dohody. Přesné stanovení průběhu státních hranic je pak popsáno a zobrazeno v hraničním dokumentárním díle.

Hraniční dokumentární dílo až na některé výjimky tvoří zejména tyto dokumenty:

- Podrobný /protokolární/ popis průběhu hraniční čáry
- Hraniční mapy v měřítku 1:2880, 1:2500, 1:5000
- Hraniční nárysy /NDR, NSR/
- Povšechný popis hranic /nebyl vyhotoven pro hranice ČSSR-NDR, ČSSR-NSR a ČSSR-PLR/
- Polní náčrty v měřítku 1:500, 1:720, 1:1000, 1:2500
- Sbírka protokolů o zasedáních komisí
- Závěrečný protokol o provedení delimitace
- Protokoly o osazení hraničních znaků na státních hranicích čs. - sovětských
- Protokoly o trojmezí ČSSR-SSSR-PLR, ČSSR-PLR-NDR, ČSSR-SSSR-MLR.

Hraniční dokumentární dílo československo-německých státních hranic nenabývá platnosti, jelikož je integrální součástí Smlouvy mezi republikou Československou a Německou říší o úpravě hraničních poměrů /hraniční statut/ podepsané v Berlíně 12. listopadu 1937. Tato Smlouva nebyla ratifikována. Při stanovení průběhu státních hranic, jakož i při jejich údržbě vycházejí zúčastněné státy ze stavu, který je v hraničním díle popsán a zobrazen.

Hraniční dokumentární dílo je uloženo v archivu federálního ministerstva zahraničních věcí. Vzhledem k tomu, že federálnímu ministerstvu vnitra přísluší státní správa v oboru státních hranic ČSSR, je ověřená kopie hraničního dokumentárního díla spolu s měřickými podklady uložena v archivu federálního ministerstva vnitra.

Opravy, doplňování a vedení evidence změn v hraničním dokumentárním díle se provádí podle zvláštních dvoustranných ujednání.

Závěr

Výkon vyměřování a vyznačování průběhu státních hranic je jednou z významných měřických prací. Specifika hraničních prací mnohdy klade velké nároky na jejich vykonavatele, jelikož mnohé měřické úkony jsou podmíněny znalostí právních norem z oboru státních hranic.

Smyslem tohoto článku je upozornit čtenáře na některé otázky z problematiky státních hranic a nutnost doplnění zeměměřických znalostí o příslušné právní normy. Zůstává nedořešena celá řada otázek, ke kterým se ještě vrátíme.

L I T E R A T U R A

- [1] Státní hranice ČSR, Praha, 1959
- [2] Říha, Diplomní práce, Praha, 1969
- [3] Vládní usnesení č. 1094/53T ze dne 27. března 1953
- [4] Zákon č. 128 ze dne 20. prosince 1970 o vymezení působnosti Československé socialistické republiky ve věcech vnitřního pořádku a bezpečnosti
- [5] Zákon č. 133 ze dne 20. prosince 1970 o působnosti federálních ministerstev

Obecná problematika projektování informačních systémů

1. ÚVOD

Naše společnost prochází ve svém vývoji řadou změn. Zejména pak vznikající informační exploze, které jsme v současné době svědky, vyvolává tlak na všechna odvětví národního hospodářství v tom smyslu, aby veškeré informace byly zpracovány a publikovány velmi rychle a v aktualizované formě.

Odras těchto požadavků se objevuje i v požadavcích na informace zpracované geodetickými a kartografickými institucemi, zejména pak na údaje o pozemcích a vlastnících z evidence nemovitostí.

Abychom mohli zodpovědně přistoupit k řešení vzniklé problematiky nejen v oblasti geodézie a kartografie, je nutné vycházet z hluboké analýzy současného stavu řízení, toku informací, pracovních podmínek, stupně mechanizace a automatizace prací i stupně využití techniky řízení.

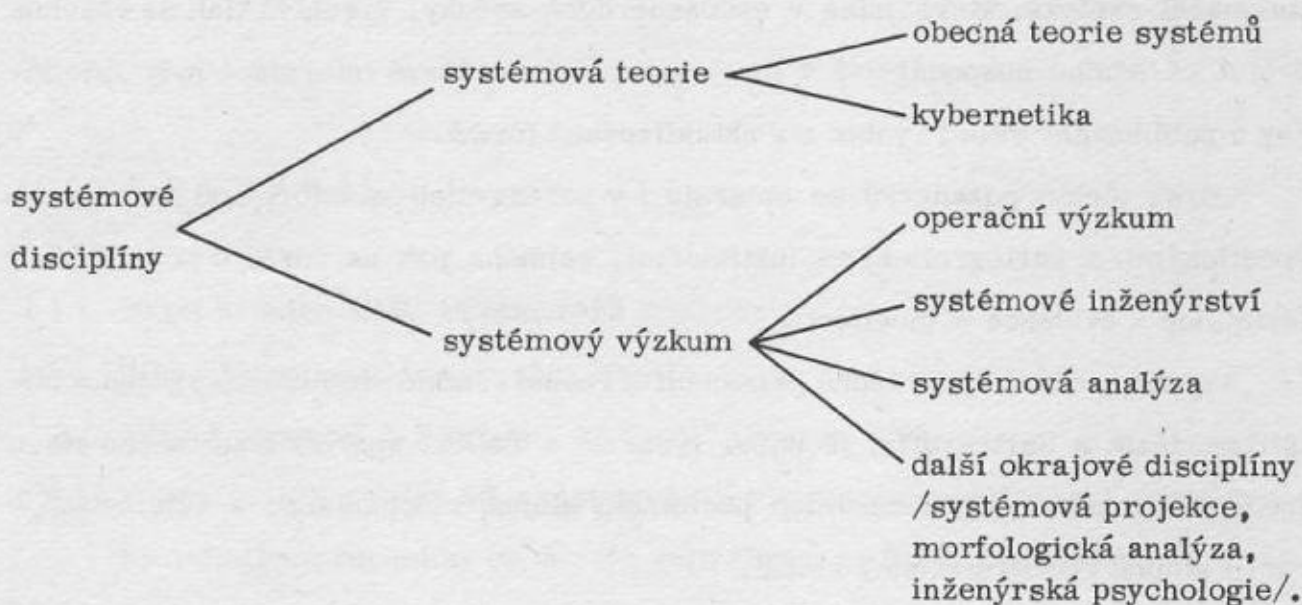
Chceme-li docílit určitého nezbytně nutného stupně integrace jakéhokoliv informačního systému, musíme nutně zvolit systémový přístup k řešení dané problematiky. Tento článek shrnuje výsledky studia systémových disciplín a konkrétní zkušenosti získané při systémové analýze činnosti středisek geodézie a při projektování a realizaci registru evidence nemovitostí v rámci tvorby Informačního systému geodézie a kartografie.

2. SYSTÉM A SYSTÉMOVÁ ANALÝZA

Snahy o komplexní přístup k řešení různých problémů z oboru informatiky nejsou nové. V posledních několika desetiletích však dnes existující specializace vy-

volala nutnost věnovat komplexnímu přístupu k řešení problémů mimořádnou pozornost. V různých oborech vznikaly /zprvu nezávisle na sobě/ snahy nalézt účinné metody pro zkoumání systémů účelově definovaných na nejrůznějších objektech. Společným znakem navrhovaných a použitých přístupů je vyšetřování systémů ve vztahu k jejich okolí, zkoumání jejich struktury /tj. prvků a vazeb/ a chování a hledání podmínek, za nichž bude systém úspěšně plnit požadovanou funkci, hledání vhodných úprav systému a hledání účinných metod a vhodného jazyka pro toto zkoumání. Pro další výklad označme obecně kterýkoliv myšlenkový a metodický směr mající zmíněné znaky jako "systémovou disciplínu".

Jednotlivé systémové disciplíny jsou stále ve vývoji a lze je zatím rozčlenit takto:



Toto rozčlenění systémových disciplín není samozřejmě úplné a konečné, ale podává obrázek zatím existujícího rozdělení tohoto nového vědního oboru.

Než přejdeme k podrobnému popisu systémové analýzy, kterou popíšeme podrobněji, stručně si objasníme některé základní pojmy, se kterými se při aplikaci systémů setkáme.

Systém - se chápe jako uspořádaná množina prvků, mezi nimiž jsou vazby a která je spojena s obklopujícím jí okolím vstupy a výstupy. Z hlediska řízení nás zajímají především systémy dynamické, tj. systémy s definovatelným cílovým chováním, podléhající určitým zákonitostem. Systém se skládá ze subsystémů a naopak systémy se integrují do nadsystémů.

Vazby - spojení mezi složkami systému z různých hledisek, mohou být: hmotné a informační, jednosměrné a zpětné, přímé a nepřímé, sériové a paralelní.

Chování systému - je způsob reakcí systému na podněty.

Podnět - je stav na vstupu z okolí do systému v určitém okamžiku.

Reakce - je stav na výstupu ze systému do jeho okolí v určitém okamžiku.

Okolí /prostředí/ systému - je množina prvků, která nepatří do systému - zde jde o celkový uzavřený systém, naproti systému s nedefinovatelným okolím se říká otevřený systém.

Informační systém - je systém, do něhož vstupují, v němž komunikují a z něhož vystupují informace jako prvky systému.

Informační systém je každý systém, jímž jsou záměrně přijímány, analyzovány, zpracovávány, transformovány a zpřístupňovány informace. Lze říci, že informační systém je sdělovací přenosový kanál, zprostředkující komunikaci informací mezi jejich zdroji a jejich spotřebiteli.

Informační systém, který je předmětem našeho zájmu, je systémem evidenčně faktografickým. Skladba i obsah informací jím procházejících a v něm uložených umožňují za určitých předpokladů nejen fakta analyzovat a vytvářet informace sekundární, ale též poskytovat odpovědi pro některé optimalizační úlohy specifického charakteru.

Dynamický systém - má chování měnící se časem.

Statický systém - jeho stav se v čase nemění.

Transformace - je proces přeměn podnětů systému na jeho reakce.

Organizace systému - je způsob funkčního, časového a místního uspořádání prvků a vazeb v systému.

Ovládání systému - je působení na systém bez zpětné vazby /kontroly/ na rozdíl od řízení systému - kde jde o působení na systém s účelem podporování jeho cílového chování s užitím zpětné vazby.

Vrátíme se zpět k jedné z nejdůležitějších systemologických disciplín, k systémové analýze.

Všimneme-li si blíže náplně této zkoumané systémové disciplíny, zjistíme i zde značnou názorovou nejednotnost a zcela odlišné pojetí této disciplíny u různých autorů.

Výrazně odlišná pojetí systémové analýzy vyplývají především z toho, že systémová analýza vznikala současně v několika různých problémových oblastech a v první fázi vývoje, kdy mezi těmito oblastmi nebyla dostatečná komunikace, se v každé z těchto oblastí rozvíjela samostatně. Až později se tyto jednotlivé přístupy systémové analýzy začaly navzájem ovlivňovat, jednak byly všechny ovlivněny obecnou teorií systémů.

Systémová analýza využívá kromě obecných matematických disciplín /teorie pravděpodobnosti, matematické statistiky, matematické analýzy, matematické logiky/ též speciální matematické postupy jako jsou: teorie hromadné obsluhy, lineární a dynamické programování, metoda síťových grafů, metoda matematické simulace a některé další.

Systémová analýza musí umožnit dokonalé pochopení potřeb systému a jeho omezení a proto nutně musí vést ke znalosti:

- a/ kvalitativních stránek systému - struktury informací, algoritmů a kritérií rozhodovacích procesů, techniky zpracování informací, sběru dat, vzájemných návazností a souvislostí informací a operací s nimi,
- b/ kvantitativních stránek systému - frekvence a počtu informací a operací, jejich pracnost, časových charakteristik, délky operací a jejich časové sladění,
- c/ celkové logiky systému.

Systémová analýza musí tedy zjistit:

- a/ uspokojivé stránky systému, tj. ty, které odpovídají jednak potřebám resortu, tak i omezením daným zvenčí právními předpisy a požadavky nadřízených míst. Tyto stránky současného stavu se v podstatě zachovávají, i když se technicky lépe vyřeší nebo se integrují s jinými částmi systému,
- b/ neuspokojivé stránky systému - ty zpravidla spočívají v tom, že potřeby dílčích systémů nejsou vzájemně sladěny, že výsledků jednoho podsystému se nevyužívá v jiném podsystému, ač je to z hlediska správného a efektivního fungování systému žádoucí, že informace se získávají neekonomicky a že jsou nedostatky v rozhodovacích procesech.

Tyto zjištěné skutečnosti je třeba hodnotit z několika hledisek, a to především z hlediska potřeb toho kterého resortu, což je hlavní, rozhodující kritérium, dále pak z hlediska konkrétních rozhodovacích potřeb a z hlediska účinnosti vlastního systému

jako takového, tj. jeho organizační a technické úrovně a sladění jednotlivých složek systému.

Úkol najít slabiny současného /dosavadního/ systému a najít možnosti účinnější skladby systému spočívá v umění dívat se na celý zkoumaný tok informací jako na souvislý model. Toto umožňuje systémový přístup, který se projevuje v tom, že je třeba vidět význam jednotlivých informací, operací, rozhodovacích procesů i návazností jednotlivých částí systému i podsystémů vcelku. Neuvažuje se o nich jako o izolovaných agendách, nýbrž je nutno počítat s možností integrovaného použití těchto informací. To znamená, že je třeba celý tok informací, prvky systému, vnitřní i vnější vazby, kvantitativní i časové charakteristiky jednak zachytit /dokumentovat/ a jednak uspořádat jako model se všemi podstatnými souvislostmi.

Metodický postup systémové analýzy při zachycování skutečného stavu lze rozdělit takto:

1. účelně si rozdělit celý systém na dílčí podsystémy jako jednotky analýzy,
2. vlastní průzkum, tj. zjišťování a dokumentování faktického současného stavu,
3. systematický popis zjištěných skutečností zahrnuje především definice informací, operací a rozhodovacích procesů a návaznosti na grafické modely,
4. výsledky analytické práce je třeba vyjádřit jako model. Nejužívanější a nejnázornější model je model grafický, jehož uzly odpovídají zpracovávajícím akcím a hraný informačním vazbám. Jeho hlavní výhodou je schopnost velmi stručně a přehledně znázornit souvislosti mezi místy vzniku informací, mezi informacemi vstupujícími a vystupujícími z jednotlivých operací, sled operací, vazby k okolí, místa úschovy dat atd.

3. INTEGROVANÁ ZÁKLADNA DAT INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

Po popisu metodiky systémové analýzy obecného informačního systému a před vlastní projekcí informačního systému je třeba být informován v obecnější poloze o integrované základně dat všech informačních systémů. Existují tyto jednotlivé fáze zpracování souborů informací:

1. Sběr dat musí s ohledem na rozsáhlé informační toky především uvnitř vlastního systému na jedné straně a ostatními integrujícími systémy /urbanistické, doprav-

ní, zemědělské, správní, právní a další/ na straně druhé, respektovat návaznost na informační systémy těchto vzpomínaných oblastí a z ekonomických důvodů předpokládat sběr dat mimo klasické vstupní prostředky /děrné štítky, děrná páska/ i na rychlém vstupním médiu /magnetická páska či disk/, pořízeném na jiném systému, s pozdější možností přímého propojení s těmito informačními systémy.

2. Uložení informací a jejich aktualizace - musí vycházet z požadavku na zpracování, umožňovat ekonomickou údržbu souborů, odstranit nežádoucí duplicity v uložených datech souborů stejné úrovně a umožnit převádění dat některých souborů do jiných souborů integrované základny dat, organizovaných formou banky dat. Jde jednak o to, podchytit část informací získaných při jednorázových šetřeních a jejich převedení do jiných souborů, aby nemusely být udržovány celé soubory a tedy i data, která nemají opakované využití, a jednak o převedení vybraných informací z jedněch souborů do souborů organizovaných formou banky dat, která z ekonomických důvodů a nároků na rozsah vnější paměti nemůže pokrývat celou integrovanou základnu dat.

Integrace je tedy uplatněna nejen v úseku "databanka", ale i mezi jednotlivými soubory pro zpracování v dávkách a je zaměřena především na ekonomiku vstupů, které tvoří časově nejnáročnější část zpracování. Každá informace vstoupí do systému pouze jedenkrát, bez ohledu na četnost jejího využívání a je tam uložena tolikrát, jak odpovídá ekonomice jejího zpracování a ekonomice potřeby vnější paměti.

3. Struktura souborů a práce s nimi - je třeba respektovat požadavky na vnitřní strukturu souborů a jejich ekonomické využívání při zpracování v dávkách u úloh s předem definovanou periodicitou nebo u jednorázově požadovaných zpracování a strukturou databanky a tedy umožnit ekonomické zpracování tam, kde budou požadavky na velké počty různě uspořádaných výstupů, případně kde bude požadavek na práci v reálném čase /dotaz, odpověď/.
4. Distribuce informací - s ohledem na rozsah a četnost některých požadovaných tisků a na záměr dosáhnout lepší informovanosti obecně vydáváním periodik s adresným informováním, je třeba řešit jako součást navrhovaného systému i otázku návazné reprografické základny.

Integrovanou základnu dat tvoří ve své podstatě dvě skupiny souborů:

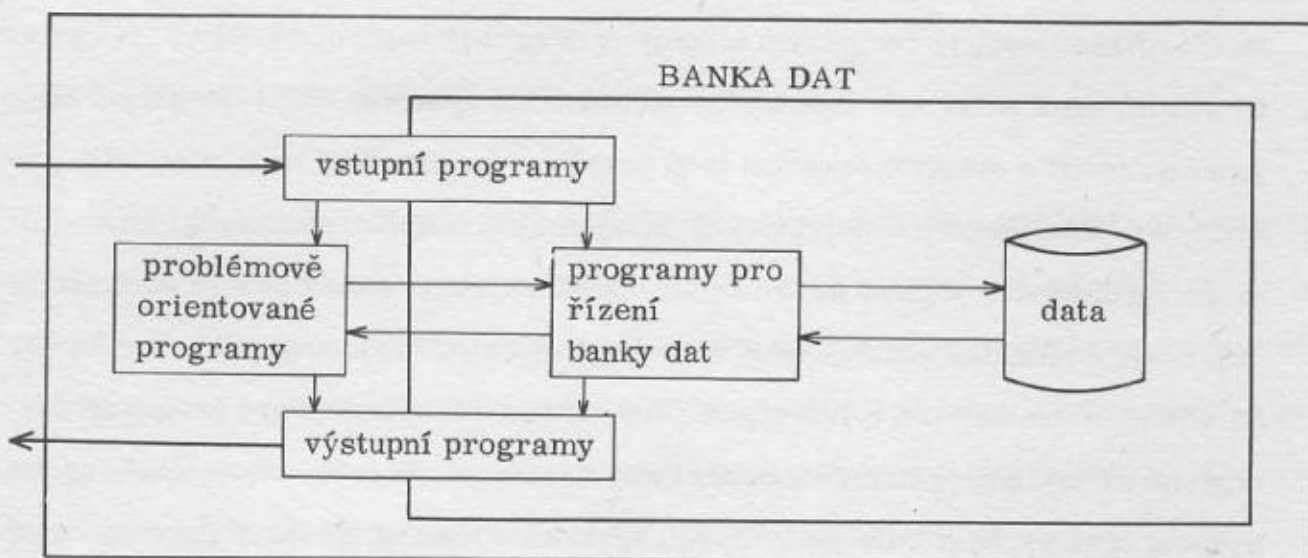
- a/ soubory pro zpracování v dávkách pro úlohy, kde data jsou pro každé zpracování

k dispozici na vnějších pamětech nebo snímačích jako přímé vstupy, vždy v požadované úplnosti a v potřebném uspořádání. Jednotlivé informační věty jsou v souborech volně řazeny podle logiky zpracování /zabezpečené případným přetříděním/ a jejich výběr se děje podle řídicího slova a to buď sekvenčně nebo nahodile. Jsou tedy k dispozici na magnetické pásce nebo na disku. Údržba těchto souborů se děje vždy před vlastním zpracováním. Jde tedy o opakované využívání souborů a tyto soubory jsou v plném rozsahu využity vždy pouze jedenkrát,

b/ soubory, umožňující práci v reálném čase, tj. soubory, organizované formou banky dat. Koncepce banky dat představuje takové uspořádání informačního souboru na vnějších pamětech s nahodilým výběrem, které umožní jeho nejrozličnější zpracování, aniž by bylo nutno soubor reorganizovat před každým zpracováním, požadujícím odlišný průřez množinou uložených informací. Přístup do souboru podle nejrozličnějších prvků informačních vět je technicky řešen pomocí indexů, adresářů, tabulek, řetězení adres apod. Je tedy možné přímým zpracováním takového souboru uspokojit požadavky na zpracování podle různých hledisek, např. podle věcné, časové, územní nebo organizační příslušnosti, či kombinace těchto hledisek, nebo i zpracování po jiné, zatím ještě neznámé linii. Navíc tato koncepce umožňuje v případě potřeby aktualizovat uložené údaje okamžitě, kdy dojde ke změně, i když jde o změnu jednotlivou a dává možnost okamžitého výběru těchto aktualizovaných informací, tedy možnost práce v reálném čase.

Následující obrázek znázorňuje schématicky činnost banky dat spolu s programy:

Informační systém



Souhrn velkého množství dat je využitelný jen je-li organizován tak, aby bylo možno data rychle vyhledat a vytvářet /podle různých souvislostí/ odvozené informace. O informačním systému lze však hovořit jen tehdy, jsou-li data soustřeďována, zpracována, uschovávána, udržována v souladu se skutečností, vyhodnocována a sdělována /informační cyklus/, a to na základě jednotného technického systému.

Své informační systémy si pořizuje a spravuje více organizací. Informace jsou žádány a využívány nejen vlastní organizací, ale v rostoucí míře též oprávněnými vnějšími zájemci. Stále potřebnějšími se stávají informace vyššího typu, které lze získat jen sdružením příbuzných informací, obsažených ve dvou či více informačních systémech /sdružené informace/.

Rostoucím požadavkům uživatelů informací lze dnes vyhovět jen budováním informačních systémů na technickém základě, tzv. banky dat, kdy soubory dat jsou uloženy ve vnější paměti počítače a operace s daty se provádějí soustavou ukládacích, aktualizacích a interpretačních programů, tak jak již bylo uvedeno výše.

Jednotlivé informační systémy mohou mít každý svou banku dat, nebo mohou využívat paměti jediného počítače společnou soustavou programů a společnou banku dat /pak se zpravidla mluví o subsystémech/.

Je-li v soustavě několika informačních systémů zajištěna možnost vytváření požadovaných sdružených informací, lze soustavu pokládat za "integrovanou". Spojení jednotlivých systémů /integrace/ může být uskutečněno na třech technickoorganizačních úrovních:

1. Spojení je zajištěno tzv. integračními klíči, to jsou označení stejného jevu, užívaná v systémech v naprosto shodném tvaru a významu. Je-li označení jevu používáno ke klasifikaci jevu, je nezbytným nástrojem integrace jednotný klasifikační systém, jenž musí být dohodnut před realizací systému. Jako integrační klíče je nutno zvolit a stanovit označení těch prvků /resp. označení těch ukazatelů/, jimiž je možno spojit co nejvíce jednotlivých informačních systémů. Přitom klíč může vystupovat v jednom informačním systému jako prvek /k němuž se soustřeďují údaje o několika ukazatelích/ v druhém systému jako ukazatel.

Sdružené informace lze vytvářet, existují-li k tomu určené soubory programů, vytvořené na základě jednotné koncepce integrované soustavy. Koncepce musí být dohodnuta před vybudováním jednotlivých systémů soustavy. Soubory dat takto inte-

grováných systémů musí být uloženy ve společné bance dat. Jsou-li v různých bankách dat, musí být do systému, který využívá informace jiného systému, zařazen tzv. integrační registr. Tento soustřeďuje potřebná data, čerpaná z využívaného systému způsobem off-line. /Jsou-li banky dat spojeny on-line, může integrační registr odpadnout/. Je nutno programově zajistit aktualizaci dat integračního registru k dohodnutým termínům.

2. Spojení je zajištěno nejen integračními klíči, ale navíc společně dohodnutou metodikou pro návrh a projektování oborových informačních systémů /tzv. metodická integrace/. Pro všechny takto spojené systémy lze využívat jednoho souboru programů, resp. jednoho operačního systému. Tím se značně snižují náklady na realizaci systémů. Podmínkou je ovšem vždy použití výpočetní techniky, užívající téhož jazyka, v němž jsou vypracovány programy.
3. Spojení je zajištěno nejen integračními klíči a společnou metodikou, ale též používáním společné výpočetní techniky s jedinou bankou dat /tzv. fyzická integrace/.

Z jiného hlediska se integrace uskutečňuje na třech stupních:

- a/ mezi jednotlivými subsystémy /resp. registry/ jednoho informačního systému, zpracovaného jediným resortem - vnitřní integrace,
- b/ mezi informačními subsystémy, zpracovanými různými resorty v rámci společné banky dat - integrováný informační systém,
- c/ mezi různými bankami dat soustavy informačních systémů - vnější integrace, nejobtížnější problém, vyžadující meziresortní koordinaci a kooperaci v míře u nás dosud nezvyklé.

4. PROJEKTOVÁNÍ INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ

Aby bylo možno získat jasnou představu o průběhu toku informací v informačním systému, která je nezbytně nutná k uvážení všech existujících vazeb na jednotlivé operace a činnosti i vně projektovaného systému, abychom zvolili systémový přístup k řešení dané problematiky, je zapotřebí si znázornit tento tok informací a zároveň si znázornit i pravděpodobný postup při zpracování a využívání informací v projektovaném informačním systému a to nejlépe grafickým zobrazením.

Obrázek 1 znázorňuje základní blokové schéma postupu zpracování a využívání informací v informačním systému.

Pro lepší poznání složitosti systému a jeho projekce si podrobněji popíšeme náplně jednotlivých bloků, které se ve schématu vyskytují.

1. Tvorba informací - informace z oblasti informačních systémů o území dělíme na informace technické a informace právní. Technické informace vznikají změnami územně-technických prvků /parametrů/ v určitém evidovaném územním souboru /územní lokalitě/. Právní informace jsou tvořeny na podkladě právoplatných listin.
2. Získávání informací - je prováděno jednak jako jednotlivé a hromadné, jednak jako aktivní a pasivní.
3. Decentralizované zpracování informací - údaje se zpracovávají na jednotných formulářích nově vytvořených pro zpracování informací samočinným počítačem. Dále by šlo o vyhotovení děrných štítků a vyhotovení děrné pásky na dálnopisech, resp. na jiném vhodném zařízení pro sběr a přenos dat.
4. Shromáždění zpracovaných informací do vybraných středisek - alternativní řešení při eventualitě, že by jen některá místa sběru dat byla vybavena dálnopisným zařízením s děrnou páskou. Toto řešení by patrně přicházelo v úvahu pravděpodobně v počátcích zavádění systému. Případné vybavení správce systému modemy ve spojení s vhodnými terminály by si nutně vyžádalo tohoto způsobu řešení. Důvodem pro řešení touto alternativou, tj. pomocí vybraných center, by byla podstatně vyšší pořizovací cena nebo pronajímací cena koncových zařízení proti ceně dálnopisného zařízení.
5. Počítačová základna - by měla být, aby splňovala nároky na ni kladené, vybavena odpovídajícím technickým zařízením s dostatečně velkou kapacitou vnější paměti a s velkou vybavovací rychlostí a vybavena zařízením na zpracování děrných štítků, děrné pásky, magnetické pásky, disků a výhledově i magnetických štítků.
6. Evidence uživatelů systému a jejich požadavků - bude asi nutno shromáždit a jednotně evidovat všechny existující zájemce a uživatele údajů projektovaného informačního systému. Tato evidence by sloužila k okamžité reakci na jakoukoliv vyžádanou informaci ze systému. Evidovat a uspořádat je zapotřebí i všechny druhy informací a požadavků uživatelů /míra přesnosti informací, dotazovací frekvence, stupeň aktualizace informací, termíny vyžádání informací apod./.

7. Informace zpracované v jiných systémech či registrech - tyto informace by bylo zapotřebí převzít na médiích s jakými ty které systémy pracují. Schopnost počítačové základny převzít tyto informace musí být taková, aby byla s to zpracovat existující druhy médií používané v bankách dat informačních systémů, s kterými bude projektovaný informační systém především spolupracovat.
8. Adresní průběžné informace podle odborných zájmů jednotlivců a organizací - tento blok patří již do skupiny výsledků, vycházejících z počítačové základny. U předem naprogramovaných stálých zájemců o údaje obsažené v systému by šlo též o předem pevně stanovené druhy informací, produkované počítačem v určitých dohodnutých časových etapách.
9. Sumární informační /statistické/ zpravodaje a katalogy, seznamy a rejstříky - opět se jedná o výsledkovou oblast informačního systému, která v sobě zahrnuje periodicky se opakující různé druhy výkazů, publikované pro evidenčně-statistické účely.
10. Podklady pro rozbor a prognózy pro řídicí činnost - v této části blokového schématu bude pravděpodobně nezbytně nutný zásah člověka, aby operativně volil druh, obsah a množství vhodných a potřebných dokladů pro řídicí a organizační činnost.
11. Podklady pro plánovací a projektovou činnost ve smyslu urbanistickém - získané výsledky ze sestav zpracovaných počítačem vytvoří pestrou paletu podkladů pro řadu projektových záměrů. I zde bude nutný zásah člověka do cyklu zpracování informací pro urbanistickou i plánovací projekci.

Ostatní bloky schématu jsou bloky výstupní, jejichž existence ve schématu je zatím jen ideovým návrhem a je třeba je dále podrobněji rozpracovávat, prověřovat a průběžně doplňovat o nové poznatky. Je nutné se také zabývat vazbami /spojemi/ mezi jednotlivými vyznačenými bloky schématu, kde záleží nejen na tom, aby toto spojení bylo technicky i organizačně dobře zvládnuté, ale i bezporuchové. Je tudíž velmi důležitým předpokladem pro bezvadný chod celého systému vybudování kvalitního zabezpečovacího přenosového systému.

Naznačené a popsané blokové schéma tedy vyjadřuje systémový přístup k řešení dané problematiky a znázorňuje v jednotlivých blocích úkoly, které je zapotřebí vyřešit, aby mohl informační systém být zaveden v praxi a praxí také využíván.

Uvedené zásady jsou tedy známy a jejich realizace je zdánlivě jednoduchá.

Známé zkušenosti však dokládají, jak je vytvoření, dobré fungování systému a jeho udržování náročné a obtížné. Při aktualizaci systému je nezbytně nutná účinná součinnost všech zúčastněných orgánů a organizací. Tuto součinnost nelze nahradit automatizací; výsledky součinnosti jsou a budou hlavním zdrojem informací. A zde právě může technické a organizační řešení být doplněno a podepřeno a někdy vůbec umožněno vhodným legislativním opatřením. Řešení právních aspektů by mělo tady probíhat souběžně s řešením technických problémů a legislativní opatření by měla být stejně dobře promyšlena jako výsledná opatření technologická.

Pro právní úpravu, která musí vytvořit podmínky pro řádné fungování nového systému, je nutné stanovit tuto hlavní náplň:

1. přesné vymezení pojmu druhu informačního systému,
2. vymezení obsahu informačního systému,
3. vymezení funkce informačního systému,
4. vymezení vztahu systému k okolí.

První tři body jsou dány technickým zpracováním systému. Stejně důležitý a pro správnou činnost celého systému nezbytný je bod čtvrtý, vymezení vztahu systému k okolí po stránce zákonných technologických i metodických norem.

V jeho rámci musí být vyřešeno a právně zajištěno zejména:

- a/ vymezení pravomoci orgánu, který má celý systém ve své náplni činnosti a zodpovídá za něj,
- b/ vymezení povinnosti orgánů a organizací vůči novému systému,
- c/ stanovení pravidel součinnosti orgánů a organizací s novým systémem a to zejména vymezení povinnosti včas předávat potřebné informace stanovenému orgánu v potřebné kvalitě a úpravě,
- d/ stanovení pravidel pro využívání evidovaných informací.

Při vymezení povinnosti orgánů a organizací vůči novému systému je nutné tyto povinnosti přesně specifikovat, stanovit potřebné lhůty a pokud možno stanovit i sankce za jejich nedodržení.

Je nutno připomenout, že uvedené skutečnosti jsou často při technickém a organizačním řešení opomíjeny pro svou zdánlivě malou důležitost. Jsou však základem pro dobré fungování informačního systému a proto řešení právních aspektů musí být neoddělitelnou součástí řešení celého projektovaného systému.

5. ZÁVĚR

Tímto příspěvkem byla naznačena obecná problematika vznikající při projekci informačního systému. Je zřejmé, že vytvoření informačního systému není možné z dneška na zítřek. Racionalizaci a zjednodušení komplexních, vzájemně závislých postupů lze dosáhnout pouze na základě využití složitějšího řídicího systému a dobře promyšlené organizace. To však značí, že se při plánování a zavádění nového systému obtíže a náklady nezmenší, nýbrž se vzhledem k systémové analýze a programování pouze přesunou na jiné místo. Tento poznatek není sice nový, avšak nejsou z toho vždy dělány potřebné závěry. Ještě někdy panuje názor, že "jen tak mimochodem" mohou být řešeny úkoly spojené s plánováním, přípravou a realizací automatického zpracování, které za krátkou dobu musí vést k úsporám. Pravdou však je, že nejprve je zapotřebí velkého množství personálu, času a finančních prostředků, než se zřetelně projeví přednosti automatizace. Dále je třeba zajistit právní úpravou podmínky pro řádné fungování celého informačního systému a v neposlední řadě je nutné se zabývat způsobem a organizací sběru a přenosu dat v tomto systému.

Samočinný počítač dokáže automaticky zpracovat a vyhodnotit velké množství dat v krátkém čase. Je to velmi cenná vlastnost, ale je nutno konstatovat, že není podmínkou postačující, protože zkvalitňuje, zrychluje a snižuje pracnost pouze jedné části informačního procesu. V oblasti sběru a přípravy dat zůstává zavedením výkonného prostředku na zpracování dat zachována a nedotčena vysoká pracnost, malá objektivnost a spolehlivost, stejně jako pomalost. Je tedy zřejmé, že konvenční metody sběru, přenosu a přípravy dat ke strojovému zpracování neodpovídají dnešním možnostem, že vynikajících vlastností samočinných počítačů nelze za uvedených podmínek v plné míře využít.

Konvenční, zastaralé způsoby sběru, lokálního či dálkového přenosu dat a přípravy dat pro strojní zpracování neumožňují zvýšit rytmus informace tak, aby odpovídal možnostem samočinného počítače. Vyznačují se velkou pracností, nákladností, váží ve výrobních organizacích mnoho administrativních pracovníků i část kapacity výrobních zaměstnanců, a to tím více, čím větší je snaha o zrychlení a zkvalitnění informačního toku. Podmínkou dosažení dokonalé funkce informačního systému je vybudování integrované soustavy zpracování dat. Adekvátní k integrované soustavě zpracování

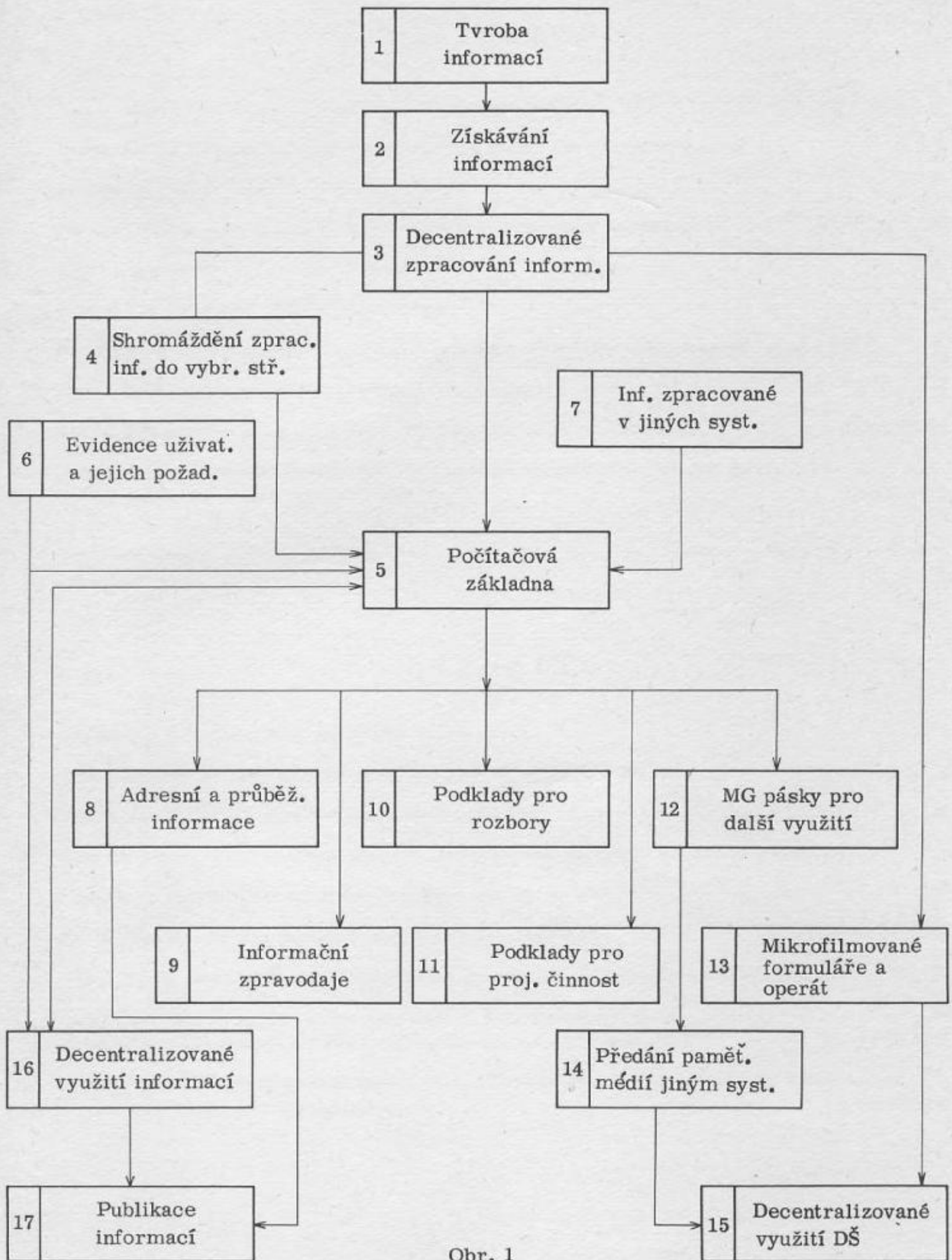
dat je integrovaný systém sběru dat /který odstraňuje nedostatky konvenčních způsobů sběru dat/ v nadměrné pracnosti, způsobené mimo jiné i duplicitním a multiplacitním sběrem celé řady informací /pro jednotlivé dílčí informace/.

Jak již bylo řečeno, technická úroveň a možnosti počítačů jsou již takové, že dovolují zpracování dat v reálném čase. V oblasti sběru, přenosu a přípravy dat byla pak v posledních letech vyvinuta technická zařízení, která tyto požadavky splňují také. Tyto moderní prostředky jsou sdružovány do celých technických systémů, jež vyžadují vybudování nového odpovídajícího systému organizace sběru dat a vazby na systém jejich zpracování.

LITERATURA

- [1] Michal, J.: Systémová analýza současné činnosti středisek geodézie a studie obsahu registru evidence nemovitostí. Výzk. zpr. č. 380, VÚGTK, Praha, 1970
- [2] Michal, J.: Koncepce registru evidence nemovitostí a návrh jeho obsahu. Výzk. zpr. č. 452, VÚGTK, Praha, 1971
- [3] Michal, J.: Systémová analýza a registr evidence nemovitostí. Texty pro postgraduální studium, fak. stav., ČVUT, Praha, 1972

ZÁKLADNÍ BLOKOVÉ SCHÉMA POSTUPU ZPRACOVÁNÍ A VYUŽÍVÁNÍ
INFORMACÍ V INTEGROVANÉM INFORMAČNÍM SYSTÉMU



Obr. 1

СОДЕРЖАНИЕ

Вагала: Центральная китайская геодезическая референц-система	1
Утекал, Конрад, Говорка: Наблюдения ИСЗ помощью лазера для геодезических целей	2
Выкутил: Уклонения отвеса в современной геодезии	27
Прахарж: Решение задачи пересечения с ориентирных направлений на эллипсоиде	35
Храстил: Дефиниция метра с 1960 г. конечна?	45
Конрад, Говорка: Время и спутниковая геодезия	49
Кадлец: Несколько примечаний к проблематике съемки и демаркации государственной границы ЧССР	60
Михал: Общая проблематика проектирования информационных систем	69
Бурша: Динамический метод определения координат пунктов наблюдения ИСЗ	(Приложение)
Вагала, Бурша, Квасничка: Использование спутниковых наблюдений для уточнения фигуры Земли и параметров ее гравитационного поля	(Приложение)

INHALT

Vahala: Das mittelchinesische geodätische Referenzsystem.	1
Utěkal, Konrád, Hovorka: Laserverfolgung der KES für geodätische Zwecke.	5
Vykutíl: Die Lotabweichungen in der gegenwärtigen Geodäsie.	27
Prachář: Lösung der Einschnittsaufgabe von den orientierten Richtungen auf dem Ellipsoid .	35
Chrastil: Ist die Definition des Meters vom Jahre 1960 endgültig?	45
Konrád, Hovorka: Die Zeit und die Satellitengeodäsie.	49
Kadlec: Einige Bemerkungen zur Problematik der Ausmessung und Vermarkung der Staatsgrenze der CSSR.	60
Míchal: Allgemeine Problematik der Projektierung der Informationssysteme.	69
Burša: Dynamische Methode der Koordinatenbestimmung der Satellitenstationen.	(in der Beilage)
Vahala, Burša, Kvasnička: Ausnützung der Satellitenbeobachtungen zur Präzisierung der Erdgestalt und der Parameter ihres Schwerefeldes.	(in der Beilage)