

# vojenský topografický obzor



vydává MNO

2

1971

## O B S A H

	Strana
K padesátinám předsedy redakční rady Vojenského topografického obzoru plk. ing. <b>Vladimíra Vahaly, CSc.</b>	1
<b>Pplk. Miroslav Matějka:</b> Za důslednou realizací závěrů XIV. sjezdu KSČ . . . . .	5
<b>Pplk. ing. Jiří Kánský:</b> K 20. výročí vzniku VTOPÚ . . . . .	7
<b>Plk. prof. dr. ing. Bedřich Chrastil:</b> 20 let geodetickokartografického studia na VA-AZ . . . . .	9
<b>Plk. prof. dr. ing. Josef Vykutíl:</b> Geodetický referenční systém 1967 . . . . .	13
<b>Ing. Milan Burša, CSc.:</b> K současnému stavu geodézie . . . . .	22
<i>Recenzent: Doc. dr. ing. Zdeněk Nevošád, CSc.</i>	
<b>Plk. prof. dr. ing. Bedřich Chrastil:</b> 10 let závazné mezinárodní platnosti vlnové definice metru . . . . .	27
<b>Pplk. ing. Jaroslav Prachař:</b> Význam a přínos UDZ pro řešení základních geodetických úkolů . . . . .	42
<i>Recenzent: Ing. František Hovorka</i>	
<b>Kpt. ing. Miloš Chmelík:</b> Možnosti rádiového měření úhlů v geodézii . . . . .	70
<i>Recenzent: Pplk. ing. Vladimír Martinák, CSc.</i>	
<b>Plk. doc. ing. Erhart Srnka, CSc.:</b> Zákonitosti generalizace čarových prvků na československých topografických mapách . . . . .	86
<i>Recenzent: Doc. dr. ing. Jaroslav Kovařík, CSc.</i>	
<b>Doc. dr. ing. Jan Klíma:</b> Mezinárodní mapa světa v měřítku 1:1 000 000 - stručná historie . . . . .	106
<i>Recenzent: Ing. Lubomír Lauer mann, CSc.</i>	
<b>Pplk. ing. Karel Kosař, CSc.:</b> Současný stav tiskových technik . . . . .	121
<i>Recenzent: Ing. Zdeněk Jelínek</i>	
<b>Ing. Jaromír Ježek, CSc.:</b> Reprodukce topografických map na suché fototechnické materiály s podložkami z plastických hmot . . . . .	132
<i>Recenzent: Pplk. ing. Vladislav Oliva</i>	
<b>Pplk. Josef Košťál, mjr. ing. Jaroslav Snopek:</b> Zkušenosti z používání suchých obtisků v kartografické výrobě ve VZÚ . . . . .	145
<i>Recenzent: Pplk. ing. Karel Kosař, CSc.</i>	
<b>Ing. Karel Tomsa, CSc.:</b> Historie počátků užití fotogrammetrických metod ve vojenství . . . . .	151
<i>Recenzent: Doc. dr. ing. Jan Klíma</i>	

---

VOJENSKÝ TOPOGRAFICKÝ OBZOR. Vydává MNO. Řídí redakční rada: ing. Vladimír Vahala, CSc. (předseda), prof. dr. ing. Bedřich Chrastil, ing. Jiří Kánský, ing. Zdeněk Karas, ing. Ladislav Kebísek, doc. dr. ing. Jan Klíma, ing. Vladislav Oliva, doc. ing. Erhart Srnka, CSc., ing. Josef Širůček, prof. dr. ing. Josef Vykutíl.

Redaktor: ing. Vladimír Martinák, CSc.

# VOJENSKÝ TOPOGRAFICKÝ OBZOR

SBORNÍK MINISTERSTVA NÁRODNÍ OBRANY

Č Í S L O  
1 9 7 1 2

K padesátinám

předsedy redakční rady Vojenského topografického obzoru

PLUKOVNÍKA ING. VLADIMÍRA VAHALY, CSc.



12. února 1973 se dožívá plk. Ing. Vladimír Vahala, CSc., padesáti let.

Při příležitosti tohoto významného životního jubilea chceme připomenout stranickopolitickou angažovanost, vojenskoodborné znalosti a osobní vlastnosti s. Vahaly, jimiž si získal úctu i autoritu nejen v řadách příslušníků topografické služby ČSLA, ale i v odborných kruzích civilní geodézie a kartografie.



Plk. Vahala se narodil 12. února 1923 v Jičíně, okr. Nový Jičín, jako syn domkáře, a to jako poslední ze šesti sourozenců.

Středoškolské studium započal na reálném gymnasiu v Novém Jičíně a ukončil s vyznamenáním v r. 1940 na reálce v Příbrami. Od r. 1940 do r. 1947 byl postupně zaměstnán jako dělník, figurant, počtář a technický úředník, a to nejdříve v Triangulační kanceláři ministerstva financí a později v Zeměměřickém úřadě v Praze. V tomto období absolvoval abiturientský kurs pro zeměměřiče při Vyšší průmyslové škole v Praze.

V r. 1947 nastoupil vojenskou základní službu, v níž absolvoval školu důstojníků v záloze. V r. 1949 zůstal v další činné službě ve Vojenském zeměpisném ústavu v Praze a byl téhož roku přijat stranickým nábořem za důstojníka z povolání.

Do r. 1953 pracoval jako geodet a později jako vedoucí evidence geodetických podkladů. V té době se zúčastnil i prací na převodu Jednotné trigonometrické sítě katastrální do souřadnicového systému 1952.

V letech 1953–1958 absolvoval Vojenskou akademii Antonína Zápotockého, obor geodetický v Brně; toto studium ukončil jako absolutní výtečník a je zapsán na Desce cti ve VAAZ.

Do r. 1960 byl zástupcem náčelníka topografického odboru Vojenského topografického ústavu v Dobrušce. V únoru 1960 nastoupil službu na ministerstvu národní obrany.

Pozitivní výsledky jeho činnosti jsou odrazem jeho socialistického uvědomění, hlu-

bokých vojenskoodborných znalostí a schopností, i jeho osobních vlastností, především odpovědnosti, skromnosti, houževnatosti, zdravé náročnosti a současně hluboce lidských vztahů k podřízeným.

V r. 1971 úspěšně obhájil svou kandidátskou disertační práci na téma „Geodetické sítě malého rozsahu, jejich transformace a transformace světových referenčních geodetických systémů“, v níž prokázal způsobilost k tvůrčímu řešení vědecky náročných úkolů. Vědecká rada VAAZ mu jednomyslně udělila hodnost kandidáta technických věd.

Plk. Vahala je členem Čs. národního komitétu geodetického a geofyzikálního při ČSAV a čs. národní komise INTERKOSMOS. Externě přednáší na VAAZ, kde bývá předsedou státní zkušební komise pro absolventy zeměměřického studia. Má široký rozhled po odborné literatuře, jeho odborné publikace jsou přínosem ve vědeckém oboru geodézie.

S hlubokou znalostí problematiky přispívá k jednání mezinárodních konferencí geodetických služeb socialistických států.

Jako dlouholetý člen KSČ neustále stranicky pracuje; v současné době je instruktorem OV KSČ. Jeho dosavadní činnost v ČSLA byla oceněna udělením Řádu rudé hvězdy, vyznamenání Za upevňování přátelství ve zbrani II. stupně a medailemi Za zásluhy o obranu vlasti a Za službu vlasti.

Soudruhovi plk. Ing. Vladimíru Vahalovi, CSc., upřímně přejeme do dalších let dobré zdraví, spokojenost v jeho soukromém životě a nové úspěchy v jeho odpovědné práci.



## Za důslednou realizaci závěrů XIV. sjezdu KSČ

Uplynulý rok 1971, rok 50. výročí založení Komunistické strany Československa a jejího XIV. sjezdu byl ve znamení vysoké politické a pracovní aktivity a iniciativy příslušníků topografické služby ČSLA. Přijaté socialistické závazky byly nejen splněny, ale vysoce překročeny a všechna pracoviště a součásti přispěly k dalšímu rozvoji politické aktivity lidí a ke kvalitnímu a včasnému splnění vojenskoodborných úkolů.

Vysokou politickou angažovanost projevili příslušníci topografické služby v předvolební kampani i v samotných volbách do zastupitelských orgánů. V této náročné prověnce minulého roku příslušníci topografické služby nejen obstáli, ale zároveň prokázali svůj aktivní vztah a podporu politice Komunistické strany Československa.

V současné době se pracoviště a součásti topografické služby nacházejí v období, kdy jsou realizovány závěry XIV. sjezdu v podmínkách vojsk, ústavů a škol. Realizaci výsledků sjezdového jednání spojují s dalším prohlubováním znalostí sjezdových materiálů a s teoretickým zvládnutím základních problémů. Tak je v praxi uplatňována zásada plnění dvojčinného úkolu : spojit teoretické zvládnutí sjezdových materiálů s jejich uváděním do praktické činnosti vojsk, ústavů a škol topografické služby ČSLA.

Práce s materiály a závěry sjezdu je chápána jako úkol dlouhodobý, sledující důsledné plnění stranické linie. Jednou z rozhodujících podmínek pro realizaci závěrů sjezdu, pro plnění linie KSČ, je důsledné uplatňování a rozvíjení vedoucí úlohy strany ve všech úsecích našeho života. Jde o to, aby každý úsek života byl prodechnut ideovou principiálností, zásadovostí, příkladností stanovisek a činů. Pod tímto zorným úhlem, jak bylo na sjezdu zdůrazněno, je třeba posuzovat naši práci ve stranických organizacích, ve štábech, útvech, ústavech a školách. Vycházíme přitom ze zásady, že k budování socialismu pod vedením komunistů je nezbytné získat a soustředit úsilí,

vztah a dovednost všech pracujících naší země. V tomto směru je nezbytné, aby náčelníci všech stupňů, velitelé, pedagogičtí pracovníci, vedoucí a mistři zlepšovali výchovnou práci, byli příkladem zásadovosti, principiálnosti, vysoké náročnosti a angažovanosti za politiku Komunistické strany.

Z obdobných hledisek je třeba hodnotit a zdokonalovat výsledky práce služby, mapovou a ostatní edici, výzkumnou a pedagogickou činnost tak, aby co nejlépe přispívala potřebám armády i potřebám národního hospodářství.

Redakční rada hodlá prohlubovat úlohu Vojenského topografického obzoru jako časopisu celé topografické služby ČSLA. Klade si za cíl prohloubit informační a politickovýchovnou funkci časopisu v odborných a teoretických otázkách a účinněji ji spojit s funkcí informátora a propagátora z vojenskoodborné a politickovýchovné činnosti, výcvikové a výrobní praxe útvarů, škol a ústavů. Přitom pokládá za nutné účinněji řešit problémy socialistické racionalizace, technického rozvoje, ekonomiky práce, rozvoje a výsledků pracovní aktivity a iniciativy. Vyzývá také začínající autory k zaslání článků z praxe topografické služby ČSLA a poskytne jim případnou pomoc.

Redakční rada očekává, že příslušníci služby budou v daleko větší míře využívat časopisu pro vyjádření a konfrontaci svých názorů, zkušeností a výsledků práce, pro sjednocování vědomého úsilí celé topografické služby ČSLA ke splnění závěrů XIV. sjezdu Komunistické strany Československa.

Podle pokynů redakční rady Vojenského topografického obzoru zpracoval pplk. Miroslav Matějka, VZÚ Praha.

## K dvaceti leti Vojenského topografického ústavu

Počátkem října 1971 oslavili příslušníci Vojenského topografického ústavu v Dobrušce a s nimi i další příslušníci vojenské topografické služby ČSLA 20. výročí vzniku Vojenského topografického ústavu. Přípravy a průběh této oslavy směřovaly zejména k vnitřní problematice ústavu, kladly si za cíl zhodnocením vykonané práce prohloubit vztah ke VTOPÚ, posílit hrdost nad vykonanou prací a na příslušnost k ústavu. Nelze však přehlédnout, že tato oslava jak svou oficiální částí, tak prohlídkou výsledků práce a pracovišť, i konečně průběhem přátelského setkání byla pozitivním příspěvkem k naší další konsolidaci. Při podobných příležitostech se vývoj a růst ústavů a zhodnocení jejich tvůrčího přínosu dokumentuje ve sborníku nebo v podobné publikaci. My jsme však v roce 1968 při příležitosti 50. výročí vzniku vojenské topografické služby ČSLA vydali zvláštní číslo Vojenského topografického obzoru, v němž sedmnáctiletý podíl Vojenského topografického ústavu na 50 letech činnosti vojenské topografické služby je náležitě zhodnocen.

K úplnosti dvaceti letého období sluší snad připomenout, že závěry a hodnocení činnosti ústavu, učiněné v kritickém krizovém období konce roku 1968, nebyly chybné.

V době, kdy VTOPÚ dovršoval svých 20 let, pokračovala v ústavu zejména intenzivní stranicko-organizační, ideově výchovná a vojensko-odborná činnost. Na jejím základě byly překonány některé pravicové tendence a vnější vlivy. Zejména v průběhu roku 1970 došlo ke konsolidaci vnitřního života stranické organizace a k upevnění vedoucí úlohy strany nikoli jen na podkladě všeobecně uznávané celospolečenské autority KSČ, ale i na podkladě uznání neformální autority mnohých komunistů a celé základní organizace. Byla vyvozena s ávná opatření z minulých chyb. Stranická organizace rozhodujícím způsobem ovlivnila hloubku, rozsah i účinnost ideové výchovy. Podporou náčelníků přispěla k upevnění kázně a k důslednému uplatnění principu nedílné velitelské pravomoci. Správně a včas orientovala zájem na ekonomickou problematiku a pod-



statně přispěla k rozvoji pracovní aktivity a iniciativy v soutěžích na počest 25. výročí osvobození ČSSR a na počest 50. výročí vzniku KSČ. Už od jarních měsíců roku 1969 docházelo k obnově dřívějších pracovních kontaktů s orgány vojenských topografických služeb socialistických států a s topografickou službou Střední skupiny sovětských vojsk, s nimiž se zejména od roku 1970 rozvinuly kromě pracovních též časté přátelské a společenské styky. Období oslavy dvacetiletí VTOPÚ je obdobím dovršování konsolidace ústavu.

Ve vojensko-odborné činnosti se v posledních letech dále rozvinula činnost směřující k údržbě a obnově topografického mapového díla. I když tempo postupu této obnovy není uspokojivé, nemůže mu zatím VTOPÚ věnovat více sil. Současně se velmi zvýšil rozsah mapovacích a vytyčovacíh prací v měřítku 1:500 a 1:1000 pro projektování a výstavbu vojenských objektů a zařízení. Rozvinuly se práce na pořizování plánů měst v měřítku 1:10 000, značné síly byly vyčleněny k řešení problematiky kosmické geodézie a geofyziky. Zejména v posledním období došlo k dalšímu zdůraznění závažnosti komplexního zabezpečování sběru, archivování, výběru a zpracování všech geodetických a topografických informací nutných pro zajištění kvalitního obsahu map. Zvláště výrazně a naléhavě vystupuje do popředí nutnost modernizace technologie a metodiky obnovy obsahu map s maximálním využitím informačního a měřického bohatství leteckých snímků při dalším snižování rozsahu polních měřických a mapovacích prací. Právě v měsících, v nichž VTOPÚ završil své dvacetiletí, byla široká pozornost pracovníků upřena ke komplexní racionalizaci v celé její škále od drobných racionalizačních opatření organizačního rázu ve využití pracovní doby až po rozhodující otázky koncepčního rázu, jako je např. digitalizace topografických map, systém mikrodocumentace a archivace geodetických a geofyzikálních údajů apod.

Ty však v sobě obsahují cíle a úkoly další etapy činnosti a rozvoje VTOPÚ a jistě podnítí příslušníky ústavu k dalšímu rozvoji jejich pracovní aktivity, k vzrůstu jejich vzdělání a k pozvednutí společenské a odborné angažovanosti VTOPÚ k prospěchu vojenské topografické služby.

Při oslavě 20. výročí vzniku VTOPÚ dostalo se ústavu čestným uznáním náčelníka Generálního štábu ČSLA, pozitivním zhodnocením výsledků činnosti ústavu v projevech a vystoupeních oficiálních představitelů a hostí i v srdečných pozdravech přátel veřejného ocenění, které zavazuje k dalšímu úsilí i všestrannému vzestupu.

Došlo dne 4. 1. 1972

## Dvacet let geodetickokartografického studia na VAAZ

1. října 1971 vyvrcholily oslavy 20. výročí vzniku vysoké vojenské školy v Brně. Význam této události z hlediska celoarmádního i celostátního byl potvrzen osobní účastí presidenta republiky a nejvyššího velitele ozbrojených sil ČSSR armádního generála Ludvíka Svobody a ministra národní obrany generálplukovníka Ing. Martina Džúra na oslavách výročí v Brně. Význam založení VAAZ a výsledků její dvacetileté činnosti byl oficiálně potvrzen projevy a prohlášeními vrcholných stranických, federálních a armádních funkcionářů i významných osobností spojeného velení armád států Varšavské smlouvy.

Od založení VAAZ v roce 1951 do současné doby bylo a je geodetickokartografické studium organickou součástí školy. Celkový vývoj tohoto studia lze po dvaceti letech hodnotit jako cílevědomý, plánovitý, vzestupný a progresivní. Takový vývoj byl umožněn těmito faktory :

- pevným základem v počátcích školy, daným komplexním navázáním na dosavadní civilní zeměměřické studium v Brně
- modernizací technické základny studia péčí topografické služby ČSLA
- cílevědomou účelovou modifikací studia podle potřeb topografického zabezpečení vojsk
- průběžným spojením katedry geodézie a kartografie s velením a výkonnými orgány TS/ČSLA
- relativně vysokou stabilizací učitelů, umožňující jak plánovitý růst jejich vědecké, vojenskoinženýrské, pedagogické a politické úrovně, tak i progresivní vývoj výchovné a učební praxe
- správným uplatňováním vedoucí úlohy KSČ na katedře a citlivým politickým přístupem k bezpartijním příslušníkům katedry.

Časově omezené výkyvy a regrese ve vývoji geodetickokartografického studia na VAAZ neměly vážnější vliv na celkovou funkci katedry geodézie a kartografie. Jejich překonávání bylo dobrou politickou i organizačorskou školou pro příslušníky katedry i pro vedení topografické služby ČSLA a přineslo vždy nové podněty a další prohloubení funkce katedry v organismu ozbrojených sil.

Je skutečností, že 75 % absolventů geodetickokartografického studia na VAAZ zastává inženýrské a velitelské funkce v orgánech vojenské topografické služby. Většina ostatních absolventů vykonává důležité a často špičkové funkce v civilní geodetické a kartografické službě ČSSR.

VAAZ je oprávněna organizovat a provádět vědeckou přípravu zeměměřických inženýrů a udělovat vědecké hodnosti kandidáta technických věd a kandidáta geografických věd. K tomu účelu byly Státní komisí pro vědecké hodnosti schváleny dvě zkušební komise : první pro obhajobu kandidátských disertačních prací ve vědním oboru 0 150 /geodézie/ a druhá pro obhajobu kandidátských disertačních prací ve vědním oboru 0 304 /geodetická kartografie/. Této funkci dostatečně odpovídá i složení vědeckopedagogického sboru katedry geodézie a kartografie.

Postgraduální růst absolventů pětiletého základního studia na VAAZ je umožněn tedy buď cestou vědecké přípravy nebo frekvencí specializovaných postgraduálních kursů.

Dvacetileté jubileum geodetickokartografického studia na VAAZ je dobrou příležitostí ke konfrontaci vývoje katedry geodézie a kartografie s hlavním úkolem VAAZ v současném období. Tento úkol je jednoznačně definován směrnicí náčelníka VAAZ k závěrům XIV. sjezdu KSČ a k politické rezoluci konference komunistů VAAZ. Zní takto : základním cílem VAAZ je příprava třídně uvědomělých, politicky vyspělých, ideám marxismu a leninismu a internacionální politiky KSČ oddaných, odborně zdatných důstojníků, s vysokými morálními vlastnostmi, schopných důsledně a účinně prosazovat a realizovat své komunistické přesvědčení a vojenskoodborné vzdělání ve válce i v mírové službě.

Lze s důvěrou prohlásit, že katedra geodézie a kartografie je dnes schopna a připravena daný hlavní úkol spolehlivě plnit.

Jestliže v současné době vyvrcholil proces politické konsolidace a celospolečenské normalizace, pak lze tento stav v poměrech katedry ilustrovat těmito skutečnostmi:



- stranická organizace na katedře plní svou nezastupitelnou úlohu a prohlubuje svou autoritu

- rozšiřuje se a zkvalitňuje tradiční politická a veřejná angažovanost příslušníků katedry. Marxisticko-leninská příprava učitelů se stala ideologickou tribunou katedry

- plánovitě se prohlubuje vědecká a pedagogická kvalifikace učitelů. Jejich růst je determinován zejména plnou účastí na řešení vědeckovýzkumných úkolů TS/ČSLA, náročným zvyšováním úrovně výuky a politickovýchovnými nároky na vztahy k posluchačům

- zvyšuje se úroveň a cílevědomost řízení katedry a skupin. Děje se tak vlivem rostoucích nároků ve všech oblastech činnosti katedry.

Pro období do roku 1975 vidíme své hlavní úkoly takto :

- 1/ ve spolupráci s velením TS/ČSLA propracovat ucelený a kontinuální systém základního a postgraduálního studia
- 2/ racionalizovat učebněvýchovní proces s cílem maximálního podchycení nejnovějších poznatků vědy a techniky. Základním předpokladem takové racionalizace je ucelená soustava vysokoškolských učebnic a skript, vystihujících specifické požadavky TS/ČSLA na vojenskoodborný profil absolventů
- 3/ podstatně zvýšit účinnost vědeckovýzkumné práce při respektování časových i kádrových možností katedry v této oblasti. Postupně posilovat týmové principy řešení výzkumných úkolů
- 4/ nastoupit rozhodně k vědeckému zpracování komplexní metodiky učebněvýchovního procesu. Prosadit princip plné zodpovědnosti za konečný profil absolventů
- 5/ zpracovat systém postupné asimilace posluchačů na budoucí úkoly u orgánů TS/ČSLA. Do tohoto systému zahrnout nejen organické činnosti podle učebního plánu, ale zejména také praktická opatření v mimotřídním styku s posluchači od jejich příchodu na vysokou školu
- 6/ v kádrové praxi hodnotit dosažené výsledky a plné sepětí neoddělitelných součástí učebního a výchovního procesu, definovaných směrnicemi náčelníka VAAZ
- 7/ cílevědomě působit na prohlubování proletářského internacionalismu v praxi v podmínkách katedry a TS/ČSLA. Podporovat tendence sblížení učebních, výcvikových a výchovných programů VAAZ a vojenských akademií spojeneckých armád

Varšavské smlouvy. Proces výuky prolínat internacionalistickým funkčním posláním ČSLA

8/ postupně získat teoretický předstih katedry před perspektivními pravděpodobnými potřebami TS/ČSLA. Toho lze docílit jen neustálým a prohlubovaným spojením katedry s činností topografické služby a trvale narůstající kvalifikací učitelů.

Považujeme za svou politickou, služební i občanskou povinnost usilovat nadále o to, aby naši absolventi měli všechny předpoklady reprezentovat československou geodézii a kartografii a aby svými praktickými výsledky v orgánech vojenské topografické služby přispívali nepřetržitě k bojové pohotovosti naší armády a k její internacionální funkci.

Došlo dne 5. 1. 1972

### Geodetický referenční systém 1967

Referát přednesen na geodetickém semináři K 213/VAAZ dne 11. listopadu 1970

Pro řešení geodetických a kartografických úkolů je třeba znát tvar, rozměry a tíhové pole Země, tj. znát základní geodetické konstanty. S postupujícím rozvojem vědy a techniky se kladou stále vyšší požadavky na přesnost těchto konstant /parametrů/.

Tvar Země charakterizují její hladinové plochy. Každá hladinová plocha má konstantní tíhový potenciál a je v každém svém bodě kolmá na směr tíže. Gauss považoval za matematický tvar Země tu hladinovou plochu, jejíž částí jsou světová moře; Listing /1872/ ji nazval "geoid".

Pozdější měření a výpočty prokázaly, že hladiny světových moří nepatří ke stejné hladinové ploše. Je to způsobeno přílivem a odlivem, různým obsahem soli v mořích, různými meteorologickými podmínkami /různou teplotou a tlakem vzduchu/. Definice geoidu byla proto zpřesněna : Je to hladinová plocha konstantního potenciálu  $W_0$ , která prochází zvoleným nulovým /normálním/ výškovým bodem a probíhá téměř ve výšce hladin světových moří.

Pro geodetické výpočty se geoid nahrazuje rotačním elipsoidem. Nejvhodnější je takový elipsoid, jehož křivost se co nejvíce shoduje s křivostí geoidu. Rozměry a tvar vhodného elipsoidu se určí z geodetických, astronomických, gravimetrických a nyní také družicových měření. Základní parametry elipsoidu /např. velká poloosa a zploštění/ jsou závislé na rozsahu a přesnosti vykonaných měření, tj. na množství informací a jejich jakosti. Nejvhodnější je takový elipsoid, pro nějž součet čtverců tížnicových odchylek nebo /podle Helmertha a Krasovského/ součet čtverců rozestupů geoidu a elipsoidu je minimální.

Během posledních dvou století byla určena celá řada parametrů zemského elipsoidu a v různých státech se používaly a dosud používají různé elipsoidy.



Geoid je plocha značně nepravidelná - projevuje se zde vliv nepravidelného rozložení hmot nad i pod geoidem. Tíhový potenciál geoidu  $W_0$  se proto rozkládá na dvě složky :

$W_0 = U_0 + \tau = \text{konst.}$ , kde  $U_0$  je tzv. normální a  $\tau$  poruchový potenciál. Zanedbá-li se poruchový potenciál  $\tau$ , bude výraz  $W_0 = U_0 = \text{konst.}$  určovat zjednodušenou hladinovou plochu.

Normální potenciál  $U_0$  může být volen různě. Helmer [1] zvolil výraz pro  $U_0$  tak, že určuje rotační plochu, symetrickou k rovině rovníka a s osou rotace totožnou s osou zemskou. Tak dostal zjednodušenou plochu - normální hladinový sféroid. Je to plocha konstantního /normálního/ tíhového potenciálu, která není totožná ani s geoidem ani s rotačním elipsoidem.

Na ploše normálního hladinového sféroidu byly odvozeny vzorce pro výpočet normálního tíhového zrychlení /v závislosti na zeměpisné šířce/; přesně vzato, nejsou to hodnoty ani na geoidu ani na elipsoidu. Odchytky sféroidu od vhodného rotačního elipsoidu a také od geoidu jsou poměrně malé /má-li např. elipsoid a sféroid stejné poloosy, je maximální rozestup obou ploch 20 m; od geoidu se sféroid liší o několik desítek metrů/. Proto se považovalo normální tíhové zrychlení na sféroidu za zrychlení na elipsoidu nebo geoidu.

Ve snaze zajistit jednu vztažnou plochu alespoň pro vědecké výpočty mezinárodního charakteru, rozhodla Mezinárodní unie geodetická a geofyzikální /MUGG/ na svém Valném shromáždění v roce 1924 v Madridu přijmout elipsoid Hayfordův z roku 1909 /  $a = 6\,378\,388$  m,  $\alpha = 1:297$  / jako elipsoid mezinárodní. Pro měřické a mapovací práce v jednotlivých státech byl tento elipsoid doporučen.

Hayford určil velkou poloosu a zploštění svého elipsoidu jen z astronomicko-geodetické sítě USA tzv. plošnou metodou, při které opravil tížnicové odchylky o topografické a isostatické korekce. Někteří delegáti na Valném shromáždění MUGG v Madridu namítali, že parametry Hayfordova elipsoidu jsou odvozeny z výsledků měření na malém území /vzhledem k celé Zemi/ a že tedy jeho doporučení za mezinárodní geodetickou výpočetní plochu je předčasné. Nakonec byl návrh přijat těsnou většinou /rozhodl jeden hlas/. Přesto řada států, zejména těch, které začínaly nové základní geodetické práce, přijala před II. světovou válkou tento mezinárodní elipsoid. Z evropských států to byly : Belgie, Bulharsko, Dánsko, Finsko, Portugalsko, Rumunsko a

Turecko. Také u nás se o přijetí Hayfordova elipsoidu vážně uvažovalo. Po II. světové válce byla na tomto elipsoidu vyrovnána tzv. "evropská trigonometrická síť".

Na zasedání MUGG v Madridu se vůbec nejednalo o vzorci pro normální hodnoty tíhového zrychlení. V geometrické geodézii se tedy používala plocha elipsoidu, zatímco normální tíhové zrychlení se počítalo na sféroidu.

Z praktického hlediska je zajisté účelné, aby rotační zemský elipsoid byl vztažnou plochou i pro gravimetrické výpočty. To ovšem vyžaduje, aby elipsoid byl plochou konstantního potenciálu, aby to byl tzv. elipsoid hladinový. Potřebnou teorii vytvořil již v roce 1894 Pizzetti, k praktickému použití ji propracoval v roce 1929 Somigliana, který odvodil elegantní a uzavřený vzorec pro normální tíhové zrychlení  $\gamma_\varphi$  v zeměpisné šířce  $\varphi$  na hladinovém elipsoidu [2] :

$$\gamma_\varphi = \frac{a\gamma_e \cos^2\varphi + b\gamma_p \sin^2\varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2\varphi + b^2 \sin^2\varphi}}, \quad (1)$$

kde  $a, b$  jsou poloosy elipsoidu,  $\gamma_e, \gamma_p$  normální hodnoty tíhového zrychlení na rovníku a na pólu. Pro praktické použití se vzorec upravuje rozvinutím v řadu :

$$\gamma_\varphi = \gamma_e (1 + \alpha \sin^2\varphi - \alpha' \sin^2 2\varphi - \dots) \quad (2)$$

Konstanty  $\gamma_e, \alpha, \alpha'$  tohoto vzorce se určí z výsledků gravimetrických měření. Cassinis vykonal potřebné výpočty pro Hayfordův mezinárodní elipsoid jako elipsoid hladinový, sestavil tabulky a výsledky předložil na Valném shromáždění MUGG v roce 1930 ve Stockholmu. Jeho vzorec pro normální tíhové zrychlení tam byl přijat jako mezinárodní:

$$\gamma_\varphi = 978,0490 (1 + 0,0052884 \sin^2\varphi - 0,0000059 \sin^2 2\varphi) \text{ gal.} \quad (3)$$

Od roku 1930 byl tedy Hayfordův elipsoid mezinárodní vztažnou plochou pro geodetické i gravimetrické výpočty /byl to elipsoid hladinový/. Bylo ovšem nesprávné, nebo alespoň nepřesné, používal-li se Cassinisův vzorec pro normální hodnoty tíže v těch pracech, kde se pro geodetické výpočty používal např. elipsoid Besselův.

Vhodnost či nevhodnost elipsoidu a vzorce pro normální hodnoty tíže se zřetelně projeví v geodetických sítích velkého rozsahu. V SSSR vykonalí po Velké říjnové socialistické revoluci velmi rozsáhlé geodetické práce. Spojené řetězce od Baltického moře po Tichý oceán měly společný počátek v Pulkovu u Leningradu a při jejich zpracování

se ukázalo, že dosud používaný elipsoid Besselův má příliš malou velkou poloosu a poněkud větší zploštění, než by měl mít vhodný elipsoid pro území SSSR /projevilo se to zejména velkým rozestupem plochy geoidu a elipsoidu na Dálném východě, takže by bylo nutno opravovat naměřené veličiny i v běžných geodetických pracích, např. naměřené strany v polygonových pořadech/. Také mezinárodní elipsoid /Hayfordův/ se nezdál vhodným. Ostatně, R. Schumann dokazoval již v roce 1922, že Hayfordův elipsoid nevyhovuje plně ani pro Střední Evropu. Sovětští geodeti /pod vedením prof. Krasovského/ se proto rozhodli určit parametry nového elipsoidu z dosud nejrozsáhlejších materiálů : SSSR, Západní Evropy a USA. Určili tak známý elipsoid Krasovského /  $\bar{a} = 6\,378\,245$  m,  $\alpha = 1:298,3$ /. Pro normální hodnoty tíhového zrychlení přijali Helmertův vzorec z let 1901-1908, který vyhovuje zploštění Krasovského elipsoidu :

$$\gamma_{\varphi} = 978,030 (1 + 0,005302 \sin^2 \varphi - 0,000007 \sin^2 2\varphi) \text{ gal.} \quad (4)$$

Není to sice vzorec pro Krasovského elipsoid jako elipsoid hladinový, ale rozdíly jsou velmi malé.

Další výsledky měření a příslušné výpočty vykonané v různých částech Země po II. světové válce /získané také pomocí umělých družic/ prokázaly, že parametry mezinárodního elipsoidu z r. 1924 i konstanty vzorce pro normální tíhové zrychlení z r. 1930 již nevyjadřují s dostatečnou přesností velikost, tvar a tíhové pole Země.

Mezinárodní astronomická unie /MAU/ přijala v roce 1964 na svém Valném shromáždění v Hamburku nový systém základních astronomických konstant, z nichž některé jsou také konstantami geodetickými nebo s nimi bezprostředně souvisejí; učinila tak po poradě s MUGG. Konstanty, které charakterizují tvar Země, její velikost a tíhové pole, se používají v řadě dalších oblastí vědy a techniky; v mezinárodním měřítku je proto třeba mít jeden systém základních konstant.

Na podzim roku 1967 se konalo ve Švýcarsku XIV. Valné shromáždění MUGG. Mezinárodní asociace geodetická /součást MUGG/ na svém jednání v Lucernu věnovala velkou pozornost určení nového systému základních geodetických konstant-[3].

V diskusi se někteří delegáti vyslovili proti změně dosud užívaného mezinárodního /Hayfordova/ elipsoidu a mezinárodního /Cassiniova/ vzorce pro normální tíhové zrychlení. Odůvodňovali své stanovisko tím, že změna konstant by znamenala změny v souřadnicových systémech, případně v kartografických dílech jednotlivých



států a vyžádala by si velké množství práce, neúměrné dosaženému zlepšení. Jiní delegáti doporučovali přijmout základní geodetické konstanty tak, jak byly nejnověji určeny v USA I. Fischerovou a G. Veisem. Většina delegátů /včetně SSSR a socialistických států/ však podporovala návrh na určení nových konstant tak, aby byly v souladu s parametry, používanými v současné době v astronomii. Nakonec byly přijaty dvě rezoluce, které pro zajímavost uvedeme-[2]:

#### Rezoluce č. 1

Mezinárodní unie geodetická a geofyzikální  
konstatuje:

mezinárodní elipsoid, přijatý 1924 v Madridu a mezinárodní vzorec pro normální tíži, přijatý 1930 ve Stockholmu, nevyjadřují již s dostatečnou přesností velikost, tvar a tíhové pole Země; mohou však být dále používány jako referenční systém pro běžné práce, není-li změna účelná;

uznává:

a/ že pro vědecké účely jsou potřebné vhodnější hodnoty, které jsou v současné době k dispozici;

b/ že Mezinárodní astronomická unie po poradě s MUGG na svém Valném shromáždění v Hamburku v roce 1964 přijala jako součást nového systému astronomických konstant hodnoty velmi blízké těm, které se nyní považují za nejlepší;

c/ že MAU a MUGG přijaly v roce 1967 nový konvenční mezinárodní nulový bod pro pohyb pólů a Mezinárodní časová služba /BIH/ konvenční délky pro výpočet času UT2 /Universal Time 2/;

doporučuje proto:

a/ následující konvenční konstantní hodnoty, které mají definovat "Geodetický referenční systém 1967":

rovníkový poloměr Země  $a = 6\,378\,160$  m;

geocentrická gravitační konstanta Země /včetně atmosféry/

$$GM = 398\,603.10^9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2};$$

dynamické zploštění Země  $J_2 = 10\,827.10^{-7}$ .

b/ aby malá poloosa elipsoidu, který bude přijat jako hladinový ve vztahu k uvedeným konstantám, byla rovnoběžná se směrem, definovaným konvenčním mezinárodním bodem pro pohyb pólů a vztažený poledník byl rovnoběžný s nulovým poledníkem, přijatým BIH pro systém délek.

Mezinárodní asociace geodetická se usnáší, aby parametry hladinového elipsoidu /referenčního elipsoidu 1967/, odpovídající geodetickému referenčnímu systému 1967, jakož i rozvoj v řadu a uzavřený tvar příslušného vzorce pro hodnoty normální tíže /tíhový vzorec 1967/ byly uveřejněny v časopise asociace "Bulletin géodésique".

Konstanty uvedené v rezoluci č. 1 byly určeny takto :

Rovníkový poloměr Země  $a$  astronomicko-geodetickými metodami z rozsáhlých triangulací. Geocentrická gravitační konstanta Země  $GM$  je součinem Newtonovy gravitační konstanty  $G$  a hmoty Země  $M$  ; byla určena pomocí třetího Keplerova zákona z měřených vzdáleností k Měsíci a k vzdáleným umělým družicím Země. Dynamické zploštění Země  $J_2$  bylo vypočteno velmi přesně z poruch drah blízkých umělých družic Země. Tyto konstanty spolu s úhlovou rychlostí rotace Země  $\omega$  , jejíž hodnota je z astronomie známá s takovou přesností, že ji pro daný účel lze považovat za exaktní, umožňují vypočítat všechny potřebné parametry nového mezinárodního elipsoidu /zploštění, malou poloosu, první a druhou excentricitu, atd./ i konstanty ve vzorci pro normální tíhové zrychlení na novém elipsoidu jako elipsoidu hladinovém.

Jistá potíž je v tom, že řešení není zcela jednoznačné. Výsledky se mohou nepatrně lišit podle toho, která teorie normální Země se vezme za základ a uvažuje-li se vliv atmosféry či nikoli. Vliv atmosféry se totiž prakticky neprojevuje při měření tíhového zrychlení na zemském povrchu, není však zanedbatelný pro pohyb umělých družic Země. Sekretář Ústředního byra MAG prof. J.J. Levallois požádal tři různé instituce o nezávislý výpočet potřebných geodetických konstant : Geodetický ústav university Ohio /USA/, Úřad pro délky /Bureau des Longitudes/ v Paříži a Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický v Praze. Teprve po posouzení použitých vzorců a srovnání výsledků budou konečné hodnoty konstant uveřejněny v časopise "Bulletin géodésique".

V únoru 1969 se konalo v Paříži "Symposium Stálé komise pro nové vyrovnání evropských triangulací a Mezinárodní komise pro umělé družice Země-[4]. Na tomto symposiu byla přijata rezoluce, která doporučila počítat "evropské" triangulace v Geodetickém referenčním systému 1967. Poznámka : "Evropskou" triangulaci vytvořili Němci ve II. světové válce. Po válce pověřili Američané Institut für Erdmessung v Bambergu /vedoucí prof. Gigas/ vyrovnáním "Středoevropské sítě", pokrývající

v řetězcích plochu 1 100 000 km<sup>2</sup> od 48. rovnoběžky po Severní moře a od Rýna po 28. poledník východní délky. Na Valném shromáždění MUGG v roce 1954 v Římě byla vytvořena Stálá komise pro nové vyrovnání ještě rozsáhlejší evropské trigonometrické sítě.

Na uvedeném symposiu předložil H. Moritz předběžné hodnoty základních i odvozených geodetických konstant "Geodetického referenčního systému 1967"-[5]. Pro elipsoid to jsou :

velká poloosa	$a = 6\,378\,160,0000\text{ m}$
zploštění	$\alpha = 1 : 298,247\,167\,427 =$ $= 0,003\,352\,923\,712\,99$
malá poloosa	$b = 6\,356\,774,5161\text{ m}$
pólový poloměr křivosti	$c = 6\,399\,617,4290\text{ m}$
1. excentricita	$e^2 = 0,006\,694\,605\,328\,56$
2. excentricita	$e'^2 = 0,006\,739\,725\,128\,32$
pomocné veličiny	$n = \frac{a-b}{a+b} = 0,001\,679\,277\,100\,502$ $m = \frac{a^2-b^2}{a^2+b^2} = 0,003\,358\,544\,730\,003$
střední poloměr Země	$R = 6\,371,0\text{ km}$
kvadrant	$Q = 10\,002\,001,2313\text{ m}$

Základními konstantami elipsoidu jsou : velká poloosa /jejíž hodnota je určena rezolucí č. 1/ a zploštění. Zploštění, které určil M. Burša [6] souhlasí na čtyři desetinná místa s hodnotou H. Moritze /  $1/\alpha = 298,2472/$ .

Základní konstanty "elipsoidu 1967" se od dřívějšího "mezinárodního elipsoidu" liší takto : velká poloosa nového elipsoidu je kratší o 228 m; jmenovatel ve vzorci pro zploštění je větší o 1,7 jednotek. Ze srovnání s elipsoidem Krasovského vyplývá : velká poloosa nového elipsoidu je kratší o 85 m; zploštění je téměř stejné. Je tedy Krasovského elipsoid mnohem bližší novému "elipsoidu 1967" než dřívější mezinárodní elipsoid Hayfordův.

Pro normální tíhové zrychlení na hladinovém referenčním "elipsoidu 1967" předložil H. Moritz vzorec-[5]:

$$\gamma_{\varphi} = 978,0318 (1 + 0,0053024 \sin^2 \varphi - 0,0000059 \sin^2 2\varphi) \text{ gal.} \quad (5)$$

Konstanty tohoto vzorce rovněž souhlasí s těmi, které v [6] určil M. Burša. Také tento vzorec je bližší vzorci Helmertovu (4), používanému v SSSR a socialistických státech; je to důsledek toho, že zploštění "elipsoidu 1967" se téměř neliší od zploštění elipsoidu Krasovského.

"Geodetický referenční systém 1967" je založen na nejlepších současných výsledcích triangulace, astronomie, elektronického měření délek, gravimetrických a družicových měření. Hodnoty konstant jsou tak přesné, že jejich případné budoucí korekce budou velmi malé a pravděpodobně se již neprojeví v souřadnicových systémech jednotlivých států a v konstrukci map, jejichž podkladem bude nový referenční systém. To byl zřejmě důvod, proč v roce 1969 Stálá komise pro vyrovnání "evropských" triangulací doporučila přejít na nový referenční systém 1967, ačkoli MUGG jej doporučila jen pro práce vědeckého charakteru a dokonce jej ani neoznačila jako "mezinárodní", ale jen rokem, kdy byl přijat, tj. "Geodetický referenční systém 1967".

Dodatek autora: Článek byl zpracován v roce 1970. V srpnu 1971 se konalo v Moskvě XV. Valné shromáždění Mezinárodní unie geodetické a geofyzikální, na kterém byl "Geodetický referenční systém 1967" definitivně přijat. Konstanty uvedené v tomto článku souhlasí s oficiálními, uveřejněnými ve zvláštním čísle časopisu Bulletin géodésique, 1971.

#### L I T E R A T U R A

- [1] Jordan, Eggert, Kneissl : Handbuch der Vermessungskunde, Band V,  
K. Ledersteger : Astronomische und physikalische Geodäsie,  
Stuttgart 1969
- [2] Moritz, H. : Über das Geodätische Bezugssystem 1967, Zeitschrift für Vermessungswesen, č. 3, 1968
- [3] Pellinen, L. P. : XIV. Generalnaja assambleja Meždunarodnoj geodezičeskoj asociacii, Geodezija i kartografija, č. 6, 1968
- [4] Cimbálník, M. : Společné mezinárodní symposium Komise pro nové vyrovnání evropské triangulace a Komise pro družicovou síť, Geodetický a kartografický obzor, č. 11, 1969



- [5] Moritz, H. : Vorläufige Berechnungen zum Geodatischen Bezugssystem 1967,  
Zeitschrift für Vermessungswesen, č. 11, 1969
- [6] Burša, M. : Sur certains relations entre les paramètres de l'ellipsoïde terre-  
stre et du champ de gravité, en particulier par rapport au système  
de référence A. I. G. 1967, Výzkumný ústav geodetický, topogra-  
fický a kartografický, Praha 1969

### K současnému stavu geodézie

Geodézie prožívá období intenzivního rozmachu a geodeti různého zaměření mohou za nejdůležitější považovat výsledky ze své oblasti. Přesto však oblast, kterou označujeme jako "družicová geodézie" má výjimečné postavení. Umožnila totiž přistoupit k fundamentálním geodetickým problémům a úlohám zejména celozemského charakteru, které předdružicovou geodézií řešeny být vůbec nemohly nebo byly řešeny jen částečně v důsledku sporadických, uvažováno z hlediska globálního, terestrických astronomicko-geodetických a gravimetrických informací. Přesná astronomicko-geodetická měření v oblastech oceánů a moří /kromě ostrovů/ nejsou dosud možná a tíhová měření zdaleka ještě globální charakter nemají. Umělé družice Země tyto nedostatky překlenuly a poskytly nad očekávání přesnější a úplnější podklady k řešení globálních geodetických problémů a to nejen v ohledu geometrickém, nýbrž i dynamickém. Přitom jsou na pořadu dne již i globální geodetické úlohy pro další těleso, Měsíc, o jehož gravitačním poli budeme brzy znát z lunárních družic více než jsme znali o zemském poli v období předdružicovém.

Znalost geocentrické konstanty  $GM_{\oplus}$ , součinu gravitační konstanty a hmoty Země, podstatně usnadnila řešení celozemských geodetických problémů. V období předdružicovém byla známa s poměrně nízkou přesností a v jistém ohledu lze říci, že její neznalost způsobila předdružicové geodézii, zejména geodetické gravimetrii, podstatné a téměř nepřekonatelné obtíže. Nyní je z dynamiky drah družic v systému Země - Měsíc a z laserového měření vzdálenosti Měsíce, k dispozici hodnota

$$GM_{\oplus} = 398\,601,3 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-2} \quad (1)$$

a z letů meziplanetárních sovětských stanic Venuše 4 - 7 hodnota [1]

$$GM_{\oplus} = 398\,600,4 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-2} \quad (1^{\circ})$$

s relativní přesností alespoň  $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ , což je již přesnost, souměřitelná s přesností

základních astronomicko-geodetických sítí. Konstanta selenocentrická  $GM_{\zeta}$  je ve stadiu intenzivního zpřesňování a v současné době jako nejpravděpodobnější se jeví hodnota

$$GM_{\zeta} = 4902,72 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-2}$$

s relativní přesností asi o řád menší než je přesnost konstanty geocentrické, odvozená opět z drah sovětských stanic Venuše 4 - 7 [1].

Další cennou informací, kterou poskytly družice, je soubor Stokesových konstant či dynamických koeficientů  $(J_n^{(k)})_{\oplus}$ ,  $(S_n^{(k)})_{\oplus}$ ,  $(J_n^{(k)})_{\zeta}$ ,  $(S_n^{(k)})_{\zeta}$  zemského a měsíčního tělesa, popisujících jejich gravitační pole. V případě zemského tělesa bylo již z variací dráhových elementů družic odvozeno 289 těchto konstant /při  $k = 0$  do  $n = 21$  a při  $k \neq 0$  do  $n = 16$ / [2], v případě tělesa měsíčního 193 /do  $n = 13$  a pro všechna příslušná  $k$ / [3], zejména z měření Dopplerova efektu.

I když otázka reálné přesnosti takto určených Stokesových konstant zůstává otevřenou pro vyšší stupně  $n$  a příslušné řády  $k$ , v případě Země jsou dnes globální charakteristiky pole známy podstatně přesněji než jak je znala předdružicová gravimetrie, jsouc odkázána na diskrétní bodové informace jen tam, kde bylo tíhově měřeno a stěží postihující harmonické členy rozvoje jen asi do  $n = 4$ . V případě Měsíce je přínos ještě zřejmější, ovšem měsíční pole je svou strukturou podstatně odlišné od zemského, nedominuje v něm druhý zonální člen s  $(J_2^{(0)})_{\zeta}$ , jak tomu je u Země, kde  $(J_2^{(0)})_{\oplus}$  je nejméně o 2 řády větší než je kterýkoli z ostatních koeficientů  $(J_n^{(k)})_{\oplus}$ ,  $(S_n^{(k)})_{\oplus}$ . Vyvstává zde velmi ostře problém konvergence řady, jednotlivé harmonické členy jsou poměrně velké a oscilují.

Disponujíc zmíněnými informacemi, mohla geodézie a selenodézie přistoupit k výpočtu gravitačních a tíhových potenciálů obou těles. K tomu je ovšem zapotřebí geocentrických a selenocentrických poloh potenciálových bodů. V případě Země bylo možno určit geocentrické polohy pro některé geodetické družicové stanice a zároveň vypočíst transformační elementy příslušných geodetických referenčních systémů /evropského, severoamerického, jihoamerického, afrického, australského, japonského, indického, argentinského, atd./. V případě Měsíce je zatím problém složitější, jediným východiskem pro "nultou aproximaci" je zde absolutní tíhové měření v místě přistání Apolla 11 /  $g_{A11} = 162\,822 \text{ mgl} \pm 13 \text{ mgl}$ / [4] a Apolla 12.

Jsou-li body, v nichž potenciál určujeme, umístěny na hladinové ploše, pak po-

čítaná hodnota má být konstantou. To je princip určení hodnoty potenciálu ( $w_0$ ) na zemském geoidu z družicových pozorování [5], přičemž musí být k dispozici nadmořské výšky družicových stanic. Číselná hodnota této fundamentální geodetické konstanty je

$$(w_0)_\oplus = 62\,636,97 \cdot 10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \pm 0,08 \cdot 10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \quad (2)$$

použijeme-li v řešení geocentrickou konstantu v hodnotě (1).

S potenciálem selenoidu jsou zatím obtíže, neboť je nejasná dokonce i jeho definice. Lunární moře nejsou částmi hladinových ploch a volba hladinové plochy, která by dobře reprezentovala celé měsíční těleso, je dosud problematická. Pro začátek je však možno jako referenční hladinovou plochu uvažovat plochu, jdoucí např. místem přistání Apolla 11 /A 11/. S použitím měřené hodnoty  $g_{A11}$  a dynamických konstant do  $n = 13$  vychází v tomto místě selenopotenciál  $w_{A11} = 2\,825,393 \cdot 10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$  [6].

Z hodnot (1) a (2) byla dále odvozena fundamentální konstanta

$$(R_0)_\oplus = \frac{GM_\oplus}{(w_0)_\oplus}, \quad (3)$$

délkový rozměrový faktor, představující poloměr koule, která má stejný potenciál jako geoid [5]. Číselná hodnota je

$$(R_0)_\oplus = 6\,363\,675 \text{ m} \quad (4)$$

a její střední chyba nepřesahuje patrně 10 m. Délkový rozměrový faktor (3) podstatně zjednodušuje řešení geodetických úloh, týkajících se charakteristik geoidu, jako jsou výšky geoidu, tížnicové odchylky atd.

Pro měsíční těleso můžeme zatím použít hodnoty  $(R_0)_\zeta = \frac{GM}{w_{A11}}$ ; číselně vychází  $(R_0)_\zeta = 1\,735\,256 \text{ m}$  [6].

Uvedené fundamentální geodetické a selenodetické konstanty umožnily snadno řešit s vysokou přesností problém náhradních geodetických a selenodetických parametrů, tj. parametrů náhradního zemského a měsíčního elipsoidu. Uvažujeme-li elipsoidy trojosé, pak v případě Země vycházejí pravděpodobné hodnoty [7]:

$a_\oplus = 6\,378\,173 \text{ m}$	/největší poloosa/,
$\alpha_\oplus = 1 : 297,79$	/zploštění největšího poledníku, v němž leží $a_\oplus$ /,
$\bar{a}_\oplus = 6\,378\,139 \text{ m}$	/střední hodnota rovníkového průvodiče/,
$\bar{\alpha}_\oplus = 1 : 298,26$	/střední pólové zploštění/,
$(\alpha_r)_\oplus = 1 : 94\,000$	/rovníkové zploštění/,
$(\lambda_a)_\oplus = 14,8^\circ \text{ W}$	/délka poledníku, v němž leží $a_\oplus$ /,



a v případě Měsíce, uvažujeme-li ovšem náhradní trojosý elipsoid pro hladinovou plochu, procházející bodem  $A_{11}$  [6],

$$a_G = 1\,735\,559 \text{ m},$$

$$\alpha_G = 1 : 2\,622,$$

$$\bar{a}_G = 1\,735\,442 \text{ m},$$

$$(\alpha_1) = 1 : 7436,$$

$$(\lambda_a) = 0,3^\circ \text{ E}.$$

Problém trojososti, v posledních dvaceti letech řešený a diskutovaný hlavně Isotovem a Heiskanenem, zdá se býti družicovou dynamikou ujasněn v tom smyslu, že příslušný sektorový člen o amplitudě  $\sqrt{[J_2^{(2)}]^2 + [S_2^{(2)}]^2}$ , zvýrazněný dále zejména tesserálním členem  $n = 4, k = 2$ , je skutečností a dominuje ve srovnání s dalšími harmonickými členy, avšak ne tak výrazně, jak bylo předpokládáno v období předdružicovém [8].

Z družicových informací bylo možno dále řešit globální geodetické úlohy, vázané na plochu geoidu, tj. určit jeho výšky, tížnicové odchylky atd. Jsou to ovšem charakteristiky geoidu vyhlazeného, tzv. planetárního; kromě toho je nutno mít na zřeteli vliv vnějších hmot, v posledních dvaceti letech hluboce projednávaný Moloděnským a jeho školou v souvislosti s novou formulací základního geodetického problému - určení tvaru reálné Země a jejího vnějšího tíhového pole. V každém případě optimální kombinace terestrických a družicových dat, což je hlavním geodetickým problémem dne, vyžaduje opřít se o výsledky řešení okrajové úlohy Moloděnského.

Družicová dynamika nevyčerpala ještě všechny své možnosti a to nejen s ohledem na přesnost řešení. Právě ona způsobuje novou formulaci základních geodetických problémů a úloh tak, jak je schopna konkrétně je dnes řešit - tj. určit geocentrické a selenocentrické polohy bodů na povrchu Země a Měsíce a ve vnějším prostoru gravitační a tíhové pole těchto těles. V blízké budoucnosti bude tato úloha geodézie bezesporu rozšířena na další nebeská tělesa, především Mars a Venuši.

## L I T E R A T U R A

- [1] E. L. Akim, V. A. Stepaniants, Z.P. Vlasova : More Precise Definition of the Earth and Moon Masses Obtained During Observation of Motions of Automatic Interplanetary Stations "Venus-4", "Venus-5", "Venus-6", "Venus-7" Moving off the Earth. Předneseno na symposiu o tvaru, gravitačním poli a složení Měsíce, konaném v době XV. valného shromáždění IUGG, Moskva 1971
- [2] E. M. Gaposchkin, K. Lambeck : 1969 Smithsonian Standard Earth /II./ SAO Sp. Rep. 315, 1970
- [3] W. E. Michael, Jr., W. T. Blackshear, J.P. Gajcynski : Results on the Mass and the Gravitational Field of the Moon as Determined from Dynamics of Lunar Satellites. Pres. at XIIIth Plen. Meeting COSPAR, May 11-24, 1969, Prague
- [4] R. L. Nance : Gravity : First Measurement on the Lunar Surface. Science, 166 /1969/, 384
- [5] M. Burša : Potential of the Geoidal Surface, the Scale Factor for Lengths and Earth's Figure Parameters from Satellite Observations. Studia geoph. et geod., 13 /1969/, 337
- [6] M. Burša : Determination of the Parameters of a Selenocentric Reference System and the Deflections of the Vertical at the Lunar Surface. Studia geoph. et geod., 15 /1971/, 210
- [7] M. Burša : Best-fitting Tri-axial Earth Ellipsoid Parameters Derived from Satellite Observations. Studia geoph. et geod., 14 /1970/, 1
- [8] M. Burša : On the Triaxiality of the Earth on the Basis of Satellite Data. Studia geoph. et geod., 15 /1971/, 228

Došlo dne 6. 7. 1971

## Deset let závazné mezinárodní platnosti vlnové definice metru

Referát přednesen na geodetickém semináři K 213/VAAZ dne 11. listopadu 1970

### Úvod

14. října 1970 uplynulo 10 let od schválení nové definice délkové jednotky. Stalo se tak na 11. zasedání Generální konference pro míry a váhy. Toto významné datum je pro každého fyzika, geodeta a všechny, jimž záleží na přesnosti, jednoznačnosti a stabilitě základních měr, vhodnou příležitostí k rekapitulaci celého vývoje a k ujasnění důsledků a perspektiv této definice.

Význam nové definice metru z roku 1960 vyplývá také ze skutečnosti, že délková měření ve všech svých podobách představují dnes ve vědě, technice a hospodářství zhruba 80 % všech měření vůbec. Tím je dána dalekosáhlá zodpovědnost všech metrologů a měrových služeb za pohotové a všestranné zabezpečení všech metrologických prací a za další rozvoj prostředků a metod ke kontrole délkových etalonů, měrek a měřidel všech typů [11].

Generální konference pro míry a váhy vyřešila v roce 1960 starý dualistický rozpor, vědomě postavený na 7. zasedání Generální konference v roce 1927. Tehdy byly schváleny ve skutečnosti dva délkové etalony : první oficiální, upřesňující původní definici metru z roku 1889, vztaženou k mezinárodnímu prototypu metru v Sèvres, a druhý, neoficiální a sekundární, vyjadřující odlehlost rysek na jmenovaném prototypu v délkách světelné vlny červené čáry kadmiové za určitých fyzikálních podmínek. Přesto, že Generální konference připustila aplikaci sekundárního etalonu jen pro průmyslová měření, nemohla zabránit tomu, aby v dalším čase mu nebyla dávána přednost i ve vědeckých měřeních. Vyplývalo to z jednoduché, byť kuriózní skutečnosti, že totiž sekundární definice byla přesnější než definice oficiální, závazná [11].

Tento rozpor v novodobém vývoji metrologie nebyl ovšem první. Stačí připo-

menout skutečnost, že v den vyhlášení platnosti mezinárodního metru v roce 1889 vychází historická publikace amerických fyziků Michelsona a Morleyho "On the feasibility on establishing a light-wave as the ultimate standard of length" /O možnosti zavedení délky světelné vlny jako základního délkového měřítka/. Nastolený "mezinárodní metr" dostal tak do vínku současně svůj jednoznačný ortel: zániku [1].

Rozvoj metrické konvence a její nedozírné důsledky ve vědě a technice nedovolují ovšem dnes přijímat v zásadě novou, výrazně odlišnou délkovou jednotku. Sevrèský mezinárodní metr byl proto s mnohonásobně vyšší přesností definován v délkách vlny záření, emitovaného atomy nuklidu kryptonu, tedy takového záření, u kterého se plně uplatňuje vlnová podstata světla. Absolutní neměnnost vakuové vlnové délky monochromatického světla za jednoznačně definovaných fyzikálních podmínek vtiskuje této délce naprosto přirozený charakter a tedy i jejímu libovolnému násobku. Mezinárodní prototyp metru v Sèvres se tak stal jen spojovacím článkem mezi technickou skutečností světa a její další budoucností a současně historickou relikvií, pietně nadále uchovávanou v tresoru Bureau international des poids et mesures.

### 1. Hlavní slabiny mezinárodního prototypu metru

Základním a všeobecně známým nedostatkem Sevrèského prototypu mezinárodního metru je nízká kvalita rysek, jejichž odlehlost definuje délkovou jednotku. Byla způsobena mikroskopickým vytrháváním materiálu při rytí diamantovým hrotem a má značný vliv na přesnost navazování rysek okulárového mikrometru. Bohaté zkušenosti Bureau international des poids et mesure /BIPM/ ukazují, že navazování na mezinárodní prototyp je zatíženo chybou asi  $2 \cdot 10^{-7}$  m, tj.  $0,2 \mu\text{m}$ . Již tato chyba je větší, než jsou soudobé požadavky fyziky na přesnost délkových měření. Rozpor mezi skutečnou přesností prototypu a přesností požadovanou by byl patrně ještě daleko větší. O tom svědčí výsledky studia slitin a měření provedená v BIPM, podle kterých se mezinárodní prototyp dosud zkrátil asi o  $5 \cdot 10^{-7}$  m, tedy o  $0,5 \mu\text{m}$ . Tato skutečnost je ovšem z hlediska absolutního fyzikálního měření krajně závažná [1].

Jistě by nebylo problémem vytvořit v současné době dokonalý prototyp metru s bezvadnými ryskami nebo ještě vhodněji jako paralelní koncový etalon ze stabilního materiálu, např. z monolitického krystalu. Zde ovšem narážíme na zásadní překážku a zásadní slabinu každého fyzického prototypu, že totiž nemůže být reprodukován, je-li



jednou poškozen nebo zničen. Proto ta úzkostlivá ochrana mezinárodního prototypu v tresoru a jeho historicky ojedinělá použití ke srovnání se svědeckými etalony /témoins/. Tím ovšem vznikají a přenášejí se další chyby, vyvolané rozdílnými vlastnostmi a chováním materiálů, ze kterých jsou svědecké, národní a další etalony zhotoveny. Přes nejpečlivější měření moderními pomůckami a metodami se proto nepodařilo zajistit podstatně vyšší přesnost absolutních délkových měření na základě mezinárodního prototypu než  $10^{-6}$  m. A to je hranice, kterou soudobá fyzika mnohonásobně překročila.

## 2. Stručný přehled vývoje k přirozené délkové jednotce

Dlouholetý vývoj k vlnové definici metru od prvního návrhu Babinetova z roku 1827 až do roku 1960 je v podstatě bohatou historií vývoje monochromatických světelných zdrojů. Starší návrhy na přirozenou jednotku délky /Huygens, Bouguer/ byly založeny na stejných omylech jako snaha odvodit tuto jednotku z rozměrů Země. Známý anglický fyzik Maxwell prohlásil v roce 1870, tedy v době, kdy znalosti o složení a vlastnostech atomů byly prakticky nulové, toto: "Chceme-li vytvořit absolutně neproměnné jednotky délky, času a hmoty, nemůžeme je hledat v rozměrech Země, ani v jejím pohybu nebo hmotě, nýbrž ve vlnových délkách, frekvenci a hmotě neproměnných, nepomíjejících a dokonale stejných atomů" [1].

O historické vědecké práci Michelsona a Morleyho byla zmínka již v úvodu. Michelson ve spolupráci s Benoitem provedl v letech 1892-93 první interferometrická měření k vyjádření délky mezinárodního prototypu metru ve vlnových délkách kadmiového světla. Na zdokonaleném zařízení opakovali toto měření Fabry a Perot v letech 1905-6. Jejich výsledků bylo využito dvakrát : poprvé v roce 1907 k definici základní mezinárodní délkové jednotky ve spektroskopii, tj.  $1 \text{ \AA} = 10^{-10}$  m a podruhé v roce 1927 na 7. zasedání Generální konference pro míry a váhy k definici sekundárního délkového etalonu.

Od roku 1927 šel další vývoj metrologie nezadržitelně k závazné vlnové definici metru. Všechny významné metrologické ústavy a laboratoře hledaly usilovně nové zdroje monochromatického záření. Rozhodující význam v tomto směru měly práce Köstersovy [5], který první použil záření atomů kryptonu, sestrojil originální interferometr k realizaci interference záření ve vakuu a vypracoval speciální navazovací

metodu na paralelní koncové měrky. V jeho práci pak pokračoval vědecký kolektiv kolem prof. Dr. Engelharda ve Spolkovém fyzikálnětechnickém ústavu /PTB/ v Braunschweigu. Jejich výsledky tvořily také hlavní podklady k definici metru z roku 1960.

### 3. Hlavní charakteristiky definice metru z roku 1960

11. zasedání Generální konference pro míry a váhy schválilo 14. října 1960 toto usnesení :

Metru je 1 650 763,73 vlnových délek záření, které vysílají ve vakuu atomy nuklidu Kr při přechodu ze stavu  $5d_5$  do stavu  $2p_{10}$ .

Metru není již tedy dán odlehlostí rysek na mezinárodním prototypu v Sèvres. Druhým bodem citovaného usnesení byla totiž definice metru z roku 1889, resp. 1927 zrušena a /podle 3. bodu usnesení/ doporučeno jen uchovávat mezinárodní prototyp metru za podmínek stanovených v roce 1889. Současně bylo Mezinárodnímu výboru /který je orgánem Generální konference/ uloženo vydat předpisy k realizaci nové definice metru, vydat sekundární normy vlnových délek a pokyny k jejich používání. Dále bylo Mezinárodnímu výboru uloženo pokračovat ve výzkumu metod zdokonalování délkových etalonů.

Podle nové definice je tedy metr přesně vymezeným úsekem stupnice, vytvořené vlnami normovaného záření [1]. Při ekvivalenci definice vlnové délky v metrech a metru ve vlnových délkách je lhostejné, zda považujeme za etalon vlnovou délku nebo její přesně definovaný násobek. Při interferometrickém navazování mezinárodního prototypu metru se na jeho okamžité délce přirozeně nic neměnilo. Jestliže tedy na délku mezinárodního prototypu připadlo

$$\sigma \text{ (m}^{-1}\text{)} = 1650\,763,73 \text{ (m}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

vlnových délek daného záření, pak zřejmě

$$\lambda = \frac{1}{\sigma} = 6\,057,8021,10^{-10} \text{ m} \quad (2)$$

Ze spektroskopie je známo, že toto  $\lambda$  odpovídá záření ve žlutočervené části spektra ve vakuu. To má zásadní význam, neboť délka světelné vlny šířící se vzduchem se mění v důsledku lomu světla, vyvolaného různým složením vzduchu, jeho teplotou a tlakem /hustotou/. Z těchto důvodů nemohl být vlnový etalon z roku 1927 vyhlášen ještě jako obecně závazná délková jednotka, neboť definoval metr ve vlnách červené čáry kadmiové na volném vzduchu. I když byly stanoveny přesné fyzikální

podmínky, byla definice přece jen do určité míry znehodnocena značnou nejistotou těchto podmínek, které se velmi obtížně zajišťují. To vše bylo metrologům v roce 1927 velmi dobře známo.

Nová definice metru hovoří o záření, emitovaném nuklidem kryptonu s hmotnostním číslem 86, tedy nikoliv kryptonem jako prvkem. Proč nuklid prvku a proč právě určitý nuklid kryptonu ?

Tato otázka je těsně spojena s nezbytným předpokladem monochromasie záření, neboť stupeň monochromasie záření je rozhodujícím měřítkem pro přesnost nové definice.

Ze spektroskopie je známo, že přísně monochromatické světlo v přírodě neexistuje. Jde tedy jen o míru přiblížení k ideální monochromasii. Děje se tak rozdělením prvku na jeho izotopy a separací jednoho z nich. Izotopy téhož prvku mají sice stejná atomová čísla, ale různá hmotnostní čísla. Látky tvořené naprosto stejnými atomy se pak nazývají nuklidy k rozlišení od ostatních izotopů téhož prvku.

V této souvislosti nelze do podrobností rozvádět všechny důvody, proč vlnová definice metru uvádí právě nuklid kryptonu a proč právě nuklid s hmotnostním číslem 86. Krypton má celkem 6 izotopů s hmotnostními čísly 78, 80, 82, 83, 84 a 86. Pro stručnost budiž uvedeno aspoň toto : Monochromatické záření má zřetelnou intenzitu jen ve velmi úzkém frekvenčním rozsahu. Všechna quasi monochromatická záření však vykazují větší či menší šířku čar a tedy rozdílnou strukturu, pokud jde o maxima a minima intenzity záření. To lze vysvětlit i tím, že žádné záření nevychází z jediného atomu, ale z velkého počtu těchto jinak úplně stejných atomů. Atomy s lichým hmotnostním číslem nemají zcela kulově symetrická jádra. Osa těchto jader zaujímá rozličné polohy k atomovému obalu. Tato postavení jsou však kvantována. Tím vznikají různé energetické stavy takových atomů a v tom je hlavní příčina, proč ani jediný atom s lichým hmotnostním číslem nevysílá jednoduché nestrukturální záření. Toho lze docílit jedině u atomů s dokonale kulově symetrickými jádry, tj. u těch, které mají sudé hmotnostní číslo, tedy sudý počet protonů a neutronů v jádře [1].

O volbě nuklidu kryptonu s hmotnostním číslem 86 rozhodl tedy požadavek, aby monochromatické záření mělo minimální frekvenční šířku, tedy minimální šířku spektrální čáry.

Hlavní příčinou změny šířek spektrálních čar je termický pohyb atomů. Tím se

mění vzhledem k pozorovateli vlnová délka emitovaného záření podle Dopplerova efektu. Poněvadž termický pohyb atomů je co do velikosti a směru neuspořádaný, pozorujeme jakési symetrické uspořádání vlnových délek kolem střední hodnoty, odpovídající klidnému atomu [1]. Šířka tohoto takzvaného Dopplerova rozdělení je dána střední rychlostí emitujících atomů. Tato střední rychlost je podle kinetické teorie plynů dána výrazem

$$\sqrt{3k \frac{T}{M}} \quad \text{ve kterém je } k \text{ takzvaná}$$

Boltzmannova konstanta,  $T$  absolutní teplota zářících atomů a  $M$  jejich hmotnost. Směrodatným faktorem pro Dopplerovo šíření je tedy

$$\sqrt{\frac{T}{M}}, \quad \text{, který musí být minimální. To}$$

bude tehdy, kdy  $T$  bude minimální a  $M$  maximální.  $T$  nelze ovšem učinit libovolně malé, neboť k provozu výbojky potřebujeme určitý minimální počet atomů, tj. určitou minimální hodnotu tlaku nebo hustoty plynných par. Tento tlak podle zhuštěnosti nemůže klesnout pod 0,01 torru.  $T$  a  $M$  nejsou tedy dvě nezávisle proměnné a pro Dopplerovo šíření směrodatný faktor  $\sqrt{\frac{T}{M}}$  je konstantní. Kryptonu přísluší jeden z nejmenších faktorů  $\frac{T}{M}$  a tedy nejmenší Dopplerova šířka, pokud se u spektra omezíme na prakticky realizovatelné případy. To potvrzuje i zkušenost, že všechny inertní plyny i při velmi nízkých teplotách mají relativně ještě vysoký tlak. U kryptonu je hodnota faktoru  $\sqrt{\frac{T}{M}} = 0,84$  při teplotě 60°K. Podstatně menší hodnotu vykazuje jen helium  $\sqrt{\frac{T}{M}} = 0,44$ , dosahovanou ovšem až při teplotě 0,8°K. Prakticky je však sotva proveditelné konstruovat výbojku pro tak nízkou provozní teplotu na hranici absolutního nulového bodu [1].

O volbě kryptonu v nové definici metru rozhodla tedy okolnost, že  $\sqrt{\frac{T}{M}}$  je zde minimální a tedy také minimální Dopplerův efekt. Frekvenční svazek záření  $^{86}\text{Kr}$  je prakticky bez struktury, je plně symetrický a má nepatrnou šířku. To rozhodlo o tom, že nebylo bráno v úvahu záření prvku, ale záření nuklidu se sudým hmotnostním číslem.

Zbývá ještě stručně vysvětlit podmínky emise, jak jsou stanoveny definicí. Záření má být emitováno při přechodu ze stavu  $5d_5$  do stavu  $2p_{10}$ . To souvisí s tím, že délka vlny záření, emitovaného atomem, je zcela nezávislá na vlivech, kterým podléhá záření světelných zdrojů. Ve spektroskopii je pak vžitým zvykem označovat monochromatické záření, tedy spektrální čáru, příslušným termem atomu. Tato tradice



byla dodržena i při vlnové definici metru. Oba termy  $5d_5$  a  $2p_{10}$  jsou spektroskopické symboly pro dva energetické stavy atomu kryptonu, pro dva stavy z mnoha možných. Označíme-li tyto energetické stavy např.  $E_n$  a  $E_k$ , pak délka vlny záření emitovaného při přechodu atomu ze stavu  $5d_5$  s energií  $E_n$  do stavu  $2p_{10}$  s energií  $E_k$  vyplývá ze známé Bohrovy frekvenční podmínky

$$h\nu = E_n - E_k \quad (3)$$

Poněvadž kmitočet je dán poměrem

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (4)$$

je

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E_n - E_k} \quad (5)$$

V čitateli zlomku jsou známé universální konstanty :

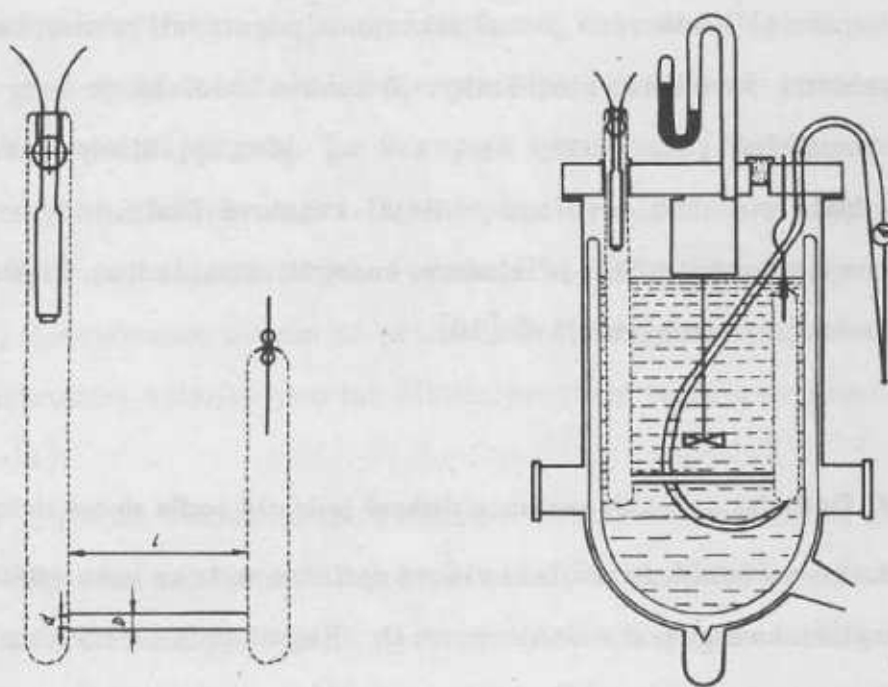
$h$  je takzvané Planckovo účinkové kvantum nebo prostě Planckova konstanta, a  $c$  je rychlost světla. Energetické stavy  $E_n$  a  $E_k$  jsou hodnoty, vlastní danému atomu. Je proto také vlnová délka  $\lambda$  absolutní přírodní mírou, zcela vlastní danému atomu. Přesnost záření atomu je limitována jedinečně takzvanou neostrotí termu, tedy nepřekročitelnými hranicemi kvantové mechaniky. Z tohoto hlediska je tedy vlnová definice metru nepřekonatelná [1]. Termy  $5d_5$  a  $2p_{10}$  jsou vyjádřeny starší Paschenovou symbolikou. Malé písmeno označuje vedlejší kvantové číslo, tedy orbitální moment hybnosti, index u písmene značí příslušnou energetickou hladinu. Číslice před písmeny označují pořadí vzbuzených stavů [10].

#### 4. Protředky a metody realizace délkové jednotky podle vlnové definice

Rozhodující měření k formulaci vlnové definice metru z roku 1960 byla provedena v PTB v Braunschweigu pod vedením prof. Dr. Engelharda na zdokonaleném Köstersově vakuovém interferometru. Podstatnou novinkou na tomto přístroji je zdroj záření, tedy podle definice kryptonová výbojka. Tento interferometr dnes vyrábí firma Zeiss-Opton v Oberkochenu. Československý metrologický ústav předpokládá, že interferometr Zeiss-Opton bude zakoupen také pro pražskou pobočku ústavu. Umístění tohoto interferometru v Praze a nikoliv na ústředí ČMÚ v Bratislavě zdůvodňují pražští navrhovatelé tím, že bude plně využit na zdejším nově zřizovaném oddělení kvantových generátorů při studiu metrologických laserů, zejména stability jejich vl-

nových délek. Interferometr Zeiss-Opton je dodáván s další kadmiovou lampou, případně i s helioneonovým laserem.

Vraťme se však ke kryptonové výbojce, nazvané podle autora Engelhardova. Je to v podstatě jednoduchá plynová výbojka ve tvaru U, plněná pod tlakem několika torrů kryptonem  $^{86}\text{Kr}$  /obr. 1/. Zdrojem záření v kapiláře výbojky je zhuštěný kladný sloupec elektrického výboje. Aby zisk světla byl maximální, je kapilára pozorována ve směru své osy. Provozní teploty výbojky  $63^\circ\text{K}$  se dociluje tím, že se tato umístí vzduchotěsně do kryostatu s plexitovým víkem. Kryostat má dva průhledy. Do kryostatu je vzduchotěsně vložena termonádoba, plněná kapalným dusíkem nebo kapalným vzduchem, do kterého je vlastní výbojka ponořena. Zředěním vzduchu mezi kryostatem a termonádobou vznikají páry, které vyvolají silné ochlazení. Při užití dusíku dosahujeme v několika minutách potřebné provozní teploty, při které tlak kryptonu ve výbojce klesne na několik setin torrů podle fyzikálně měřických podmínek [1].



Obr. 1

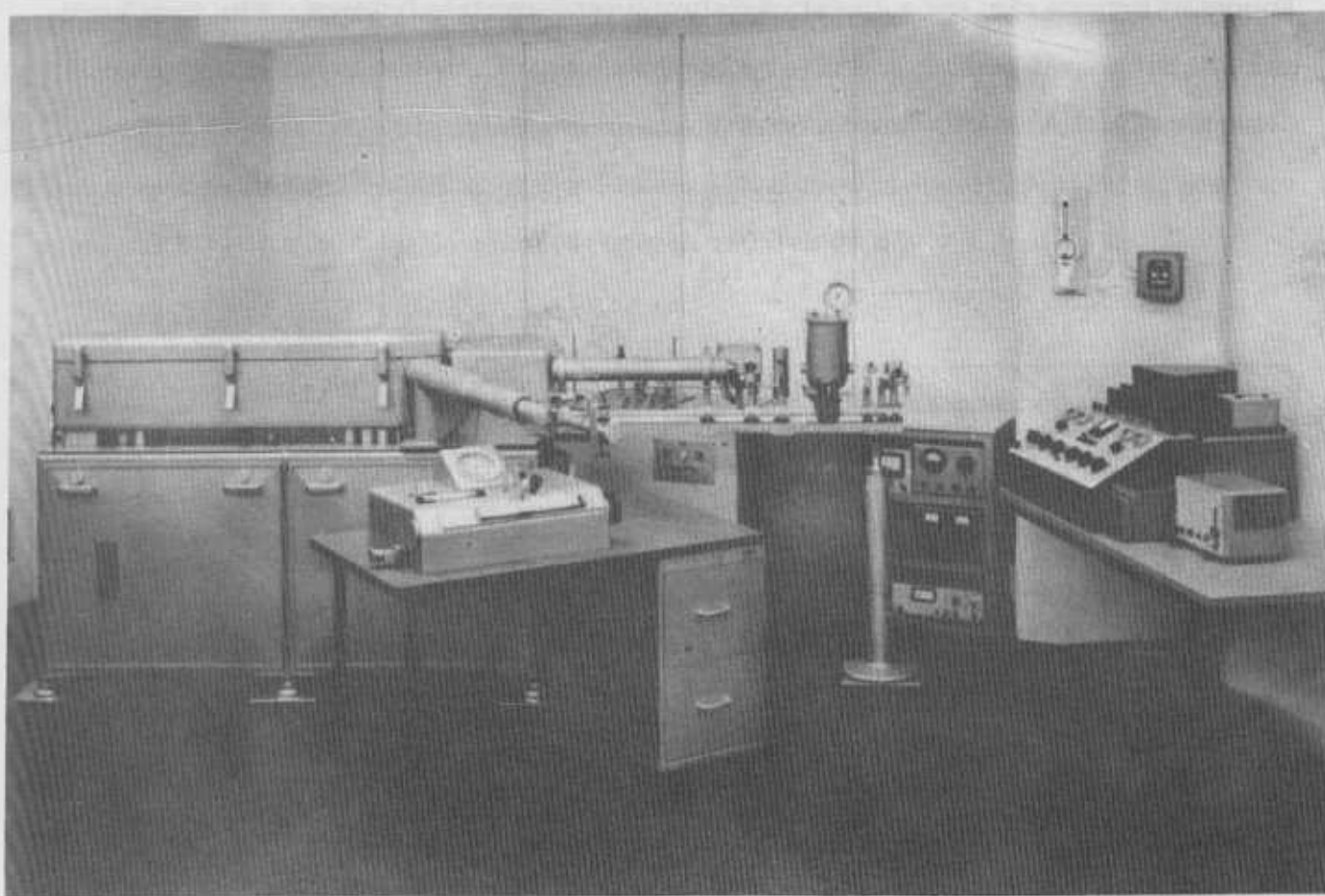
Výbojka  $^{86}\text{Kr}$  má tři hlavní přednosti :

- nízkou teplotu, což dává malou termickou rychlost emitujících atomů a tedy malou Dopplerovu šířku emitovaného frekvenčního rozsahu
- regulovatelný a tedy také velmi přesně reprodukovatelný tlak kryptonu řádu 0,01 torrů. Při tak nízkém tlaku se dociluje optimální monochromasie

- velkou životnost výbojky, danou značným nadbytkem kryptonu.

Podmínky stanovené mezinárodní komisí pro provoz kryptonové výbojky ve smyslu schválené vlnové definice metru zaručují, že odchylky od stanovené délky vlny záření budou vždy menší než  $10^{-9}$ . Jestliže tedy tato přesnost je reprodukovatelná kdekoliv a v každé době, pak všechna měření, vztažená k takto definovanému normálu, jsou asi stokrát přesnější než stejná měření, vztažená k mezinárodnímu prototypu metru. Je přirozené, že vysoké přesnosti lze využít především ve fyzice.

Záření vzbuzené v kryptonové výbojce přechází přes kolimátor se čtvercovou clonou v ohniskové rovině kolimátoru k trojici dispersních hranolů, která z paralelního svazku vyčlení potřebnou spektrální čáru a ta pak vstupuje do vlastního interferometru /obr. 2/, jehož nejdůležitější součástí je Köstersův dvojitý interferenční hranol. Ten rozdělí dané monochromatické záření ve dva koherentní svazky, které se odrážejí od konců srovnávaných měrek nebo při absolutním měření od konců dané měřky a pomocného rovinného zrcadla. Po opětovém spojení koherentních svazků v Köstersově hranolu přicházejí paprsky do objektivu dalekohledu o ohniskové vzdálenosti

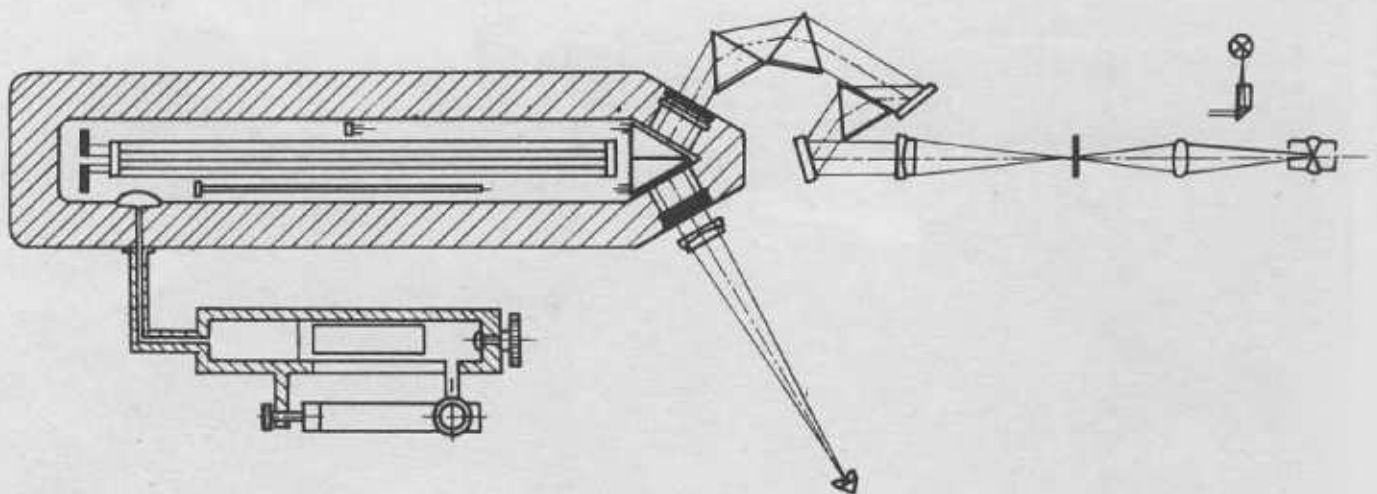


Obr. 2

1200 mm. V ohniskové rovině objektivu se nám zobrazuje čtvercová clona kolimátoru, kterou můžeme podle potřeby ještě omezit. Tento reálný obraz pozorujeme Gaussovým okulárem. V zorném poli se nám objeví v důsledku rozdílných drah koherentních svazků interferenční proužky. Střední pole ukazuje interference mezi počátkem koncového měřítka a pomocným zrcadlem, okrajová pole interference mezi pomocnými destičkami na konci měřítka a pomocným zrcadlem. Střední proužky jsou zpravidla proti krajním posunuty. Tento posun je vlastní měřená veličina, přímo úměrná rozdílu délek optických drah koherentních svazků [6].

K interferenci koherentních svazků dochází ve speciálně zařízené vaně /obr. 3/, kterou lze hermeticky uzavřít proti vnějším změnám ovzduší a vzduch ve skříni modifikovat v jistém vztahu k interferenčním proužkům. Aby nebylo nutné převádět početně vlnové délky ve vzduchu na délky vakuové podle definice, přišel Kösters na geniální řešení. Vložil do interferenční vany zvláštní skleněnou vakuovou komoru délky 1 m, skládající se ze dvou vakuových a dvou otevřených oddílů. Těmito oddíly procházejí také koherentní svazky záření a tak dochází k druhé interferenci umožňující měřit poměr mezi délkami vln záření ve vzduchu a ve vakuu. Toto zařízení doplňuje tlakový kompensátor, kterým lze automaticky eliminovat index lomu vzduchu. Tím docílujeme toho, že ve vzduchu měřený etalon je vyjádřen ve zlomcích vzduchových vlnových délek.

Kompensátorem docílujeme koincidence interferenčních proužků a délka etalonu ve vzduchu je tedy vyjádřena vždy celým číslem udávajícím počet interferenčních proužků



Obr. 3

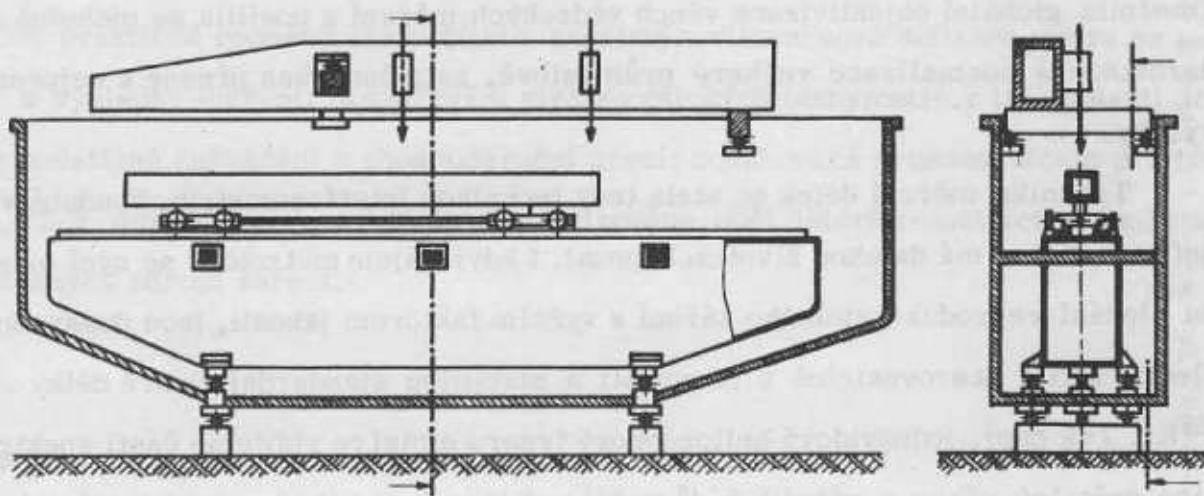


pro vlnové délky ve vzduchu. Od tohoto čísla pak odečteme zlomek proužků, odpovídající vlivu indexu lomu vzduchu. Výsledek dává hledaný vakuový zlomek proužku, odpovídající délce etalonu [6].

Koncová měřítká délky 1 m se zpravidla měří nadvakrát, neboť viditelnost interferenčních proužků rychle klesá a tím se také snižuje přesnost měření. Proto srovnáváme metrový etalon nejdříve s půlmetrovým a teprve potom absolutně vzhledem k rovinnému zrcadlu.

Přesnost měření je vysoká. Již Kösters určoval měřky 0,5 m s přesností  $0,01\mu m$ . K docílení této, případně vyšší přesnosti je třeba věnovat mimořádnou péči zejména teplotním poměrům v interferenční vaně, která je proto speciálně vybavena. V jejích dutých stěnách proudí temperovaná tekutina, ovládaná zvláštním ultratermostatem. Měření je možno tedy provádět také při různých teplotách, což je důležité pro určení koeficientů roztažnosti zkoušených etalonů nebo měrek. Teplota se mění vestavěným platinovým odporovým teploměrem a dvojicemi termoelementů, umístěných vždy na koncích zkoušených měřítek. Měření teploty se provádí s přesností  $1,10^{-3}^{\circ}C$ . Této přesnosti odpovídá u ocelových měřítek délky 1 m délkový rozdíl  $0,01\mu m$ .

Zatím jsme hovořili o navazování koncových etalonů a měrek, převažujících ve fyzice a průmyslovém měření. V geodézii pracujeme ovšem dosud převážně s etalony čárkovými, odvozenými od mezinárodního prototypu metru. V současné době konstruovala německá firma Dr. Johannes Heidenhain interferenční komparátor v úzké spolupráci s PTB [3]. Slouží ke zkoušení čárkových měřítek do délky 1 m. Lze na něm pro-



Obr. 4

vádět srovnávání všech typů, tedy absolutně ve vlnových délkách nebo relativně s jinými čárkovými nebo koncovými etalony. Čárková měřítka lze navazovat na vlnové délky ovšem jen posunutím měřítka. Tento posun se přenáší na jedno ze dvou zrcadel Michelsonova interferometru. Zatímco u koncových měřítek dnes běžně dosahujeme interferometrické přesnosti  $1 \cdot 10^{-6}$  m, je snaha přiblížit se u čárkových měřítek této přesnosti využitím fotoelektrických mikroskopů k navazování rysek měřítka. Tím jsou dány tři hlavní součásti přístroje: posuvné zařízení, fotoelektrické mikroskopy a Michelsonův interferometr. Bližší popis přístroje a jeho funkci opět vypustíme /obr. 4/.

### 5. Hlavní důsledky vlnové definice metru ve vědě a technice

Na mezinárodně závazném zavedení přirozené jednotky délky měli odedávna zájem především fyzikové. Skutečnost, že kdekoli na Zemi i ve vesmíru lze kdykoli a poměrně jednoduše vyjádřit libovolně malé i značně velké délky v absolutně vakuových délkách světelných vln, emitovaných za stanovených podmínek atomy vhodného prvku, má nedozírný význam pro přítomnost i dalekou budoucnost. Hlavní význam této skutečnosti je v tom, že jsou dnes zajištěna zcela objektivní srovnání všech délkových měření s přesností  $1 \cdot 10^{-8}$  m i vyšší. Odpadly tedy všechny rozpory vyplývající ze změn fyzického mezinárodního prototypu metru i jeho velmi početných kopií, rozpory dané změnami těchto měřítek i přenášením chyb při jejich výrobě. Ve fyzice a přesném strojírenství to má dalekosáhlý význam, neboť se tak rozhodujícím způsobem umožnila globální objektivizace všech vědeckých měření a posílila se mohutně standardizace a normalizace veškeré průmyslové, zejména však přesné a nejpřesnější výroby.

Technika měření délek se stala tedy technikou interferometrie. Soudobá vlnová definice metru má dalekou životaschopnost. I když zájem metrologů se nyní orientuje na hledání reprodukovatelného záření s vyšším faktorem jakosti, jsou dosavadní výsledky zatím nesrovnatelné s přesností a stabilitou standardní vlnové délky záření  $^{86}\text{Kr}$ . Tak např. jednovidový helionový laser s emisí ve viditelné části spektra má sice světelný výkon o několik řádů vyšší než kterákoli výbojka, také malá pološířka přispívá k tak vysoké jakosti tohoto laseru. Přesto může být zatím použit jen jako druhotný etalon resp. jako zdroj záření u elektrooptických dálkoměrů.

Důsledky vlnové definice metru pro geodézii nejsou sice tak bezprostřední, ale přesto velmi závazné. Již v oblasti hlavního úkolu geodézie, určovat tvar a rozměry zemského tělesa, je vliv velmi významný. Vzpomeňme si jen na Helmertovy problémy s rozměrem pruské trigonometrické sítě a s Besselovým elipsoidem, když zjistil rozpor mezi německou kopií Lenoirova archivního metru a pozdější kopií mezinárodního prototypu metru. V současné době, když směrodatné metody v této oblasti dává kosmická geodézie, je jednoznačnost délkových parametrů naprosto nezbytná. Také měření kosmických základů musí být opřeno o platnou definici metru. Tato potřeba je řešena aplikací elektrooptických dálkoměrů, u nichž lze přesně vyjádřit potřebné korekce na vakuum a standardní zdroj záření podle definice.

Také při etalonáži drátů k ověřování vybraných délek v síti bude třeba přihlížet k nové definici metru. Stane se tak nejlépe spontánním přechodem na interferometrické metody při absolutní i relativní etalonáži drátů, což umožňují jednak různé metody násobení malých délek /Väisälä/ nebo aplikace dálkoměrů s interferenčními lasery.

Na výrobu a zkoušky běžných měřidel a dálkoměrů /pásma, latě, optické dálkoměry a paralaktické latě/ nemůže mít nová definice metru přirozeně žádný vliv, neboť jejich přesnost i přesnost výsledků měření s nimi je nesrovnatelně nižší než je definiční přesnost metru a rozdíl mezi jeho starou a novou definicí. Je ovšem samozřejmé, že výrobci těchto měřidel a dálkoměrů budou nyní srovnávat své podnikové etalony a výrobní měřky ve smyslu nové definice, tedy také interferometricky. To plyne jen ze závaznosti nové definice, aniž by tím ovšem bylo dosahováno vyšší přesnosti těchto pomůcek.

V praktické geodézii lze počítat s nepřímým vlivem nové definice metru na metody a výsledky měření. Rozšiřování elektrooptických tachymetrů v této oblasti přinese podstatné zpřesnění a zhospodárnění prací; dosahovaná přesnost těchto přístrojů  $m_s = \pm 5 \text{ mm} + 1,10^{-6} \cdot s$  bude absolutizována opět interferometrickou kalibrací příslušných zdrojů záření.

## Z á v ě r

Cílem článku je informovat při příležitosti 10letého výročí zavedení vlnové definice metru o vývoji této definice a o současném stavu její aplikace. I když nová de-

finice má rozhodující a revoluční význam především ve fyzice, nelze v geodézii žít bez potřebných informací o její podstatě. V základních geodetických pracech kontinentálního a globálního významu je takto zaručena absolutizace všech nových metod i výsledků měření bez ohledu na místo a dobu provedených prací. Vzhledem k dynamické povaze zemského tělesa a k proměnlivosti vzájemné polohy takzvaných pevných bodů na povrchu Země, je tato absolutizace ve spojení s metodami kosmické geodézie krajně důležitá, neboť dovolí v dalším čase podstatně rychleji a přesněji zjišťovat a posuzovat všechny změny ve tvaru a rozměrech Země, v pohybech kontinentů a horských masivů i ve vertikálních změnách fyzického povrchu Země. Absolutně neměnné délkové měřítko a limitní přesnost jeho interpretace jsou kardinálními podmínkami průběžné evidence těchto změn.

#### L I T E R A T U R A

- [1] Engelhard E. : Grundzüge und Probleme der neuen Wellenlängendefinition des Meters. Vortrag in Turku /Finland/ 1964.
- [2] Hoffrogge Chr., Rummert H. : Meteranschluss von Invardrähten für Basismessungen. Veröffentlichung der Deutschen Geodätischen Kommission, Reihe B, Heft Nr. 71.
- [3] Hoffrogge Chr., Lebowsky F. : Ein neuer Interferenz-Komparator zum Prüfen von Strichmassen. Mitteilungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 1/69, Braunschweig.
- [4] Chrastil B. : Přímé měření délek včetně úvodních pojmů z metrologie, VAAZ Brno, 1970.
- [5] Jordan-Eggert-Kneissl : Handbuch der Vermessungskunde. Band IV., Mathematische Geodäsie /Landesvermessung/. Erste Hälfte. J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1958.
- [6] Kinder Walter : Ein Meter-Komparator für interferometrische Längenbestimmungen in Vakuum-Wellenlängen. Sonderdruck aus der Zeiss-Werk-Zeitschrift Nr. 34. Carl Zeiss Oberkochen/Württ. 1964.



- [7] **Metre Interference Comparator : The Engineer, 1961/12. Eden Fischer/Southend/ Ltd. Southend-on-Sea, Essex.**
- [8] **Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Abteilung Mechanik : Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin.**
- [9] **Slovník legální metrologie /Základní pojmy/ Návrh.: Přeloženo v Metrologickém ústavu podle materiálu vydaného Mezinárodním úřadem legální metrologie v září 1967.**
- [10] **Trkal a další : Kvantová elektronika. Academia Praha 1968.**
- [11] **Včeláková Jarmila : Koncepce oboru čárkových měřítek. Československý metrologický ústav 1969.**

## Význam a přínos UDZ pro řešení základních geodetických úkolů

Referát přednesen na geodetickém semináři K 213/VAAZ v Brně

dne 12. listopadu 1970

Letos již uplynulo 13 let ode dne, kdy Sovětský svaz vypustil první umělou družici Země. Rok 1957 se tak stal velkým historickým mezníkem v celé řadě vědních odvětví. Pro geodézii znamená existence UDZ možnost uplatnění a rozvíjení zcela nových a velmi perspektivních metod při řešení základních úkolů. Dosud běžné klasické způsoby určování rozměru a tvaru Země, tedy stupňové měření, gravimetrie a astronomická nivelace jsou dnes rozšířeny o další obor, družicovou geodézii.

V předdružicovém období byly pro řešení základních geodetických úkolů používány hlavně metody, založené na měření na povrchu Země. Výsledkem klasických triangulací je poměrně hustá síť bodů, jejichž přesnost je na krátké vzdálenosti značně vysoká, avšak na dlouhé vzdálenosti podstatně nižší. Do počátku kosmického věku existovalo na Zemi více než 80 místních a národních systémů, avšak jen velmi málo z nich bylo jakýmkoliv způsobem spojeno. Každá síť měla svůj vlastní počátek a souřadnicový systém a bylo obtížné polohy bodů v jednom systému vyjádřit v systému jiném. Rozdíly v poloze bodů na stycích jednotlivých sítí dosahovaly hodnot kolem 40 m.

Existence UDZ, hlavně vysoké požadavky na přesnost v určení pohybu Zemi blízkých kosmických těles, si vynutila urychlenou realizaci již dříve vyslovené myšlenky: vztáhnout všechny geodetické sítě ke společnému souřadnicovému systému, jehož počátek leží v hmotném středu Země. Tento úkol však již není s dostatečnou přesností řešitelný pouze metodami astronomicko-geodetickými, které jsou méně přesné, když trigonometrické sítě pokrývají velmi rozsáhlé části povrchu zemského a nejsou schopny překlenout oceány.

Zatímco dříve nejdůležitější základní prvek geodetických měření spočíval v trigonometrických sítích I. řádu s délkami stran od 20 do 50 km, je nyní možné při po-

užití UDG jakožto pomocných měřických cílů jednorázově překlenout vzdálenosti několika tisíc kilometrů. Tímto způsobem lze vybudovat trojúhelníkové sítě o velmi dlouhých stranách, které vytvoří důležitý základ pro kontinentální spojení klasických triangulací. Družicovou triangulací lze obepnout i oceány a zcela reálným se stalo vytvoření globální trojúhelníkové sítě. Pro body sítě mohou být vypočteny přesně geocentrické prostorové souřadnice. Kombinace geometrických a dynamických metod dovoluje určit rozměry Země se značně vysokou přesností, což je zřejmé z tabulky 1.

Tabulka 1

Rozměry zemského elipsoidu

	a	i
Delambre 1800	6 375 653	1 : 334,0
Bessel 1841	6 377 397	1 : 299,15
Hayford 1910	6 378 388	1 : 297,0
Krasovský 1940	6 378 245	1 : 298,3
Družice pro geodet. účely	6 378 150 až 6 378 180	1 : 298,24 až 1 : 298,26

Konečně měření z pozemních stanic mohou být zjišťovány poruchy drah družic, z nichž lze odvodit parametry vnějšího tíhového pole Země.

Značnou výhodou družicové geodézie je i skutečnost, že v zásadě je schopna plnit své poslání, je-li k dispozici družice na oběžné dráze. Obecně tedy není bezpodmínečně nutné mít speciální družici, vybavenou měřickými přístroji, je možné použít i kosmického tělesa, vypuštěného pro zcela jiné účely. Přesto však již existuje celá řada družic, které měly a mají sloužit převážně geodetickým účelům. Jejich seznam je uveden v tabulce 2.

Je obvyklé dělit družicovou geodézii na geometrickou a dynamickou, i když se v praxi, zvláště v posledních letech, obě metody značně prolínají. V geometrické družicové geodézii slouží družice pouze jako cílový bod. Její pohyb na dráze není pro tuto metodu žádoucí, poněvadž zvyšuje požadavky na velmi přesné časové přiřazení a jeho důsledkem je snížení přesnosti metody. Z pozorování družic se určí prostorové směry a vzdálenosti, které jsou měřenými veličinami pro výpočet a vyrovnání trigo-

## Družice pro geodetické účely

Název	Mezinárodní označení	Stát	Vybavení
Echo I	1960 09-A	USA	Balónová družice o průměru 30 m
ANNA IB	1962 60-A	USA	Záblesková světla, Doppler, transponder SECOR
Řada družic SECOR		USA	Transponder SECOR
Echo II	1964 04-A	USA	Balónová družice o průměru 41 m
Beacon Explorer B	1964 64-A	USA	Doppler, MINITRACK, laserové odražeče
Beacon Explorer C	1965 32-A	USA	Doppler, MINITRACK, laserové odražeče
GEOS I	1965 89-A	USA	Záblesková světla, Doppler, transponder SECOR, laserový odražeč
PAGEOS 1	1966 56-A	USA	Balónová družice o průměru 30 m
Diademe 1	1967 11-A	Francie	Doppler, laserové odražeče
Diademe 2	1967 14-A	Francie	Doppler, laserové odražeče
GEOS II	1968 02-A	USA	Záblesková světla, Doppler, transpondery SECOR, MINITRACK, radarové a laserové odražeče
TOPO 1	1970 25-B	USA	Geodetická družice /radiové metody/

nometrických sítí. Jejich výsledkem jsou prostorové souřadnice pozemních družicových stanic. - Dynamická družicová geodézie naopak sleduje pohyb družice na její oběžné dráze. Z rozdílů pozorovaných a vypočtených poloh družice se získají rovnice oprav, ve kterých vystupují parametry vnějšího tíhového pole a opravy souřadnic pozorovacích stanic. Vyrovnáním lze získat jednak souřadnice pozemních bodů, jednak parametry zemského tělesa a vnějšího tíhového pole.



## Pozorování UDZ

Družicová pozorování jsou organizována a vykonávána pro nejrůznější vědecká odvětví. Kromě účelů geodézie mohou sloužit i účelům geofyzikálním, např. k určení hustoty vrchních vrstev atmosféry, k vyšetřování vlivů tlaku slunečního záření apod. Družice je třeba pozorovat nepřetržitě, aby jejich dráhy byly neustále známy, a aby mohly být pro pozorovací stanice počítány efemeridy. Ze všech zmíněných oborů má nejvyšší požadavky na přesnost geodézie. Pokud jde o metody pozorování, považuji za účelné v této souvislosti uvést pouze velmi stručný přehled těch nejdůležitějších, aniž bychom se zabývali teorií a přístroji.

### Optická pozorování

Družice pozorované opticky jsou většinou pasivní, tzn. nevyzařují vlastní světlo, nýbrž odrážejí pouze dopadající světlo sluneční. Pozorování pasivních družic je tedy možné pouze v těch případech, kdy je družice osvětlena Sluncem, zatímco pozorovací stanice již musejí být na Slunci odvrácené straně Země, aby obloha byla dostatečně temná. Naproti tomu družice vysílající záblesky /ANNA 1B, GEOS A apod. tabulka 2/ jsou družicemi aktivními.

Pozorovat je možno vizuálně dalekohledem o velkém zorném poli a velké světelnosti. Tímto způsobem však nelze dosáhnout přesnosti, požadované pro geodézii. Podstatně přesnější výsledky získáme z pozorování fotografických. Družice se fotografuje měřickou fotokomorou na hvězdném pozadí a její poloha se změří relativně k polohám známých stálic /tzv. opěrných hvězd/ v monokomparátoru. Poněvadž polohy stálic nejsou zatíženy vlivy tížnicové odchylky a refrakce, získáme vektor pozorovaného směru oprostěný od vlivu tížnicové odchylky a postižený pouze diferenciálními vlivy refrakce. Výsledkem měření a vyhodnocení snímku je prostorový směr ke družici, vyjádřený topocentrickou rektascencí a deklinací. Moderními družicovými komorami se dosahuje přesnosti  $\pm 1''$  v poloze a  $\pm 1$  ms v čase i vyšší, což odpovídá při vzdálenosti ke družici 1000 km polohové přesnosti kolem 5 m.

Aby bylo možno použít i komory o menší světelnosti bez zařízení pro sledování pohybu družice, byly vypuštěny balónové družice /tabulka 2/, které jsou vzhledem k velkému povrchu dostatečně jasné.

## Dopplerovská pozorování

Družice, vybavené zařízením pro dopplerovská měření vysílají rádiové vlny o konstantní frekvenci. Na pozemní stanici se registruje Dopplerův posun, z něhož se vyhodnotí relativní rychlost družice vzhledem ke stanici. Z pozorování na jedné stanici lze určit dobu oběhu družice, okamžik a vzdálenost maximálního přiblížení a radiální složku relativní rychlosti. Vykonají-li se současně tato měření ze tří polohově známých stanic, pak lze určit i polohu družice. Poněvadž však měření pomocí Dopplerova principu probíhá nepřetržitě, reprezentuje velké množství jednotlivých pozorování. Proto byly výsledky těchto měření s úspěchem využívány pro účely dynamické družicové geodézie. V posledních letech však dopplerovská pozorování již nespočívají pouze v určení doby oběhu, okamžiku a vzdálenosti maximálního přiblížení a radiální složky rychlosti, ale určují se především rozdíly vzdáleností k mnoha polohám družice na přeletu. Při vhodném použití lze dosáhnout přesnosti několika málo metrů, která je postačující i pro geodetické účely.

## Interferometrická měření směrů

Družice vysílá konstantní normálovou /měrnou/ frekvenci. Ta je přijímána na pozemní stanici na dvou vzájemně kolmých anténních párech. Z interferencí přijatých vln lze určit prostorový směr ke družici s přesností asi  $\pm 0,5'$  až  $\pm 1'$ . Tento systém známý pod názvem MINITRACK /Minimum Weight Tracking/ nevyhovuje co do přesnosti požadavkům družicové geodézie, je však vhodný pro nepřetržitě sledování aktivních družic.

## Elektronické měření vzdáleností

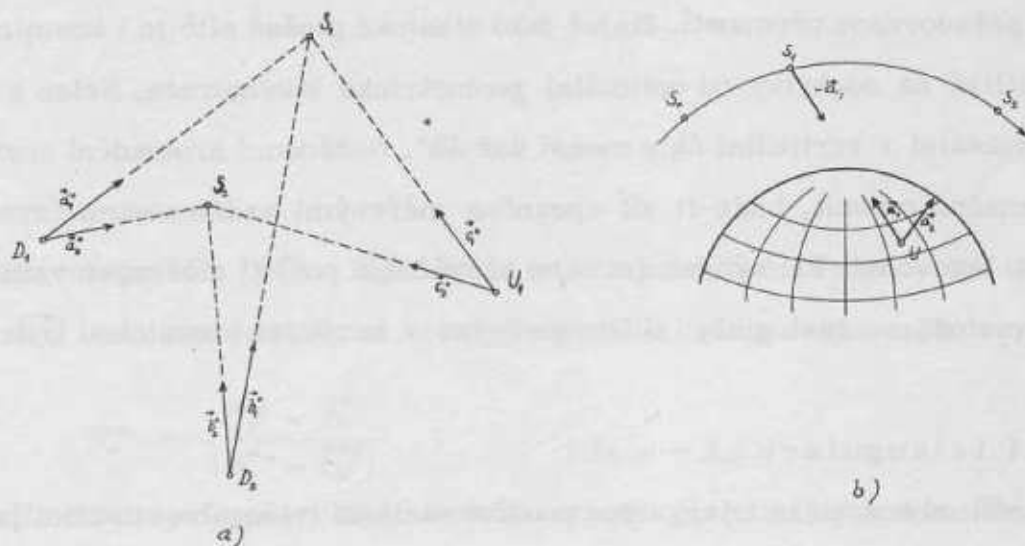
Měření vzdálenosti ke družici pomocí elektromagnetických vln se používá u amerického systému SECOR /Sequential Collation of Range/. Pozemní stanice vysílá nosnou frekvenci v pásmu decimetrových vln, modulovanou pěti různými měrnými frekvencemi. V družici umístěný Transponder přijímá tuto vlnu, demoduluje ji a odesílá ji na dvou změněných nosných frekvencích zpět. Vzdálenost ke družici se určí na pozemní stanici porovnáním fází mezi vyslanými a přijatými měrnými vlnami. Chyby vzniklé refrakcí a Dopplerovým posunem jsou automaticky korigovány. Systémem SECOR lze měřit vzdálenosti do 3000 km s přesností  $\pm 10$  až  $\pm 20$  m.

## Měření vzdáleností a směrů laserem

Vzdálenost ke družici je možno určit z tranzitního času světelných impulsů, vysílaných z pozemních stanic a odrážených družicí. Poněvadž impulsy musí být omezeny na úzký paprskový svazek a musí mít vysokou hustotu energie, používá se jako světelného zdroje rubínového laseru. Družice nese pouze odrazný systém, tvořený vrcholy trojhranů a nepotřebuje tudíž žádné zařízení s vlastním zdrojem energie. Při měření bylo dosaženo přesnosti několika málo metrů při vzdálenostech do 2500 km, ve zprávách z posledních let se udává již přesnost metrová. Při dostatečné intenzitě světla lze odražený záblesk družice zachytit družicovou fotokomorou o velké světelnosti. Tímto způsobem je možno kromě vzdálenosti současně určit i směr ke družici. Tím se získá úplný topocentrický polohový vektor družice, tzn., že pro určení okamžité polohy družice postačí měření z jedné stanice, jejíž souřadnice jsou známy.

## Kosmická triangulace

Metodou kosmické triangulace se budují triangulační řetězce a sítě, v nichž vrcholy trojúhelníků tvoří jednak pozemní stanice, jednak okamžité polohy družic, tedy body v blízkém kosmickém prostoru. K objasnění principu slouží obr. 1.



Obr. 1

Ze souřadnicově daných pozemních bodů  $D_1$  a  $D_2$  jakož i z určovaného bodu  $U_1$  simultánně změříme směry v čase  $t_1$  k vhodné poloze družice  $S_1$ . Měřením určené jednotkové vektory označme  $\vec{a}_1^{\circ}$ ,  $\vec{b}_1^{\circ}$ ,  $\vec{c}_1^{\circ}$ . V dalším časovém bodě  $t_2$  opakujeme měření směrů k poloze družice  $S_2$  a získáme jednotkové vektory  $\vec{a}_2^{\circ}$ ,  $\vec{b}_2^{\circ}$ ,  $\vec{c}_2^{\circ}$ . Nyní můžeme z daných bodů  $D_1$  a  $D_2$  a měřených jednotkových vektorů  $\vec{a}_1^{\circ}$ ,  $\vec{b}_1^{\circ}$ ,  $\vec{a}_2^{\circ}$ ,  $\vec{b}_2^{\circ}$  vypočítat prostorovým protínáním vpřed souřadnice poloh družice  $S_1$  a  $S_2$ . Týmž postupem, prostorovým protínáním vpřed potom určíme z bodů  $S_1$  a  $S_2$  a z opačných jednotkových vektorů  $-\vec{c}_1^{\circ}$ ,  $-\vec{c}_2^{\circ}$  souřadnice určovaného bodu  $U_1$ . Tímto způsobem lze postupně vytvářet prostorové řetězce a sítě. Nezbytným předpokladem je zde simultánní pozorování družic ze tří pozemních stanic. Pro výpočet souřadnic je třeba znát alespoň souřadnice jednoho výchozího bodu a nejméně jedna strana v síti musí být známa co do směru i vzdálenosti.

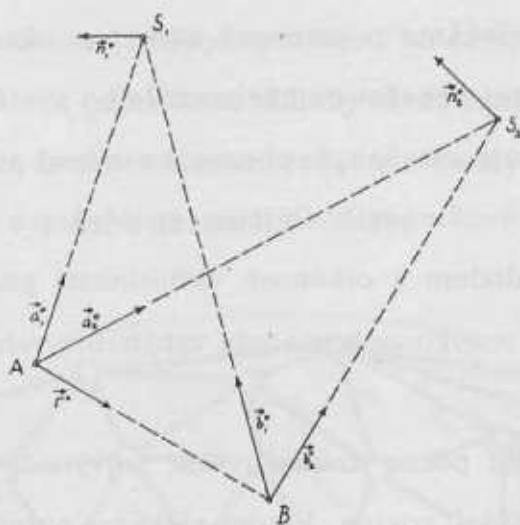
Metodu kosmické triangulace lze použít i v jiné, zjednodušené variantě. Předpokládáme-li totiž, že geometrie zemského povrchu je známa, pak určovaný bod  $U_1$  je možno jednoznačně určit jakožto průsečík opačného vektoru  $-\vec{c}_1^{\circ}$ , vycházejícího z bodu  $S_1$  s definovanou plochou zemského povrchu. Pro tento případ tedy měření polohy družice  $S_2$  není nutné. Nezbytnými určujícími prvky geometrie zemského povrchu však jsou undulace geoidu, případně výšky nad elipsoidem /tzn. výšky quasi-geoidu a normální výšky/ a tyto veličiny nejsou známy pro rozsáhlé oblasti zemského povrchu s požadovanou přesností. Stejně jako klasické plošné sítě je i kosmická triangulace citlivá na odchylky od optimální geometrické konfigurace. Nelze v ní připustit horizontální i vertikální úhly menší než  $30^{\circ}$ . Nežádoucí hromadění chyb v síti je možno značně omezit, bude-li síť zpevněna měřenými vzdálenostmi /systémem SECOR nebo laserem/. Při výhradním nebo převážném použití měřených vzdáleností bývá tato metoda - analogicky sítím plošným - nazývána kosmickou trilaterací.

### Stelární triangulace

Na rozdíl od kosmické triangulace používá stelární triangulace družici jako pomocný měřický cíl, jehož poloha není vrcholem sítě a jehož souřadnice se nepočítají. Princip metody lze vysvětlit takto : Fotografujeme-li ze stanoviště na povrchu Země okamžitou polohu družice zároveň s hvězdným pozadím, pak je poloha družice vzhledem ke stanovišti určena v souřadnicovém systému hvězdného pozadí, tedy



hodnotami topocentrické deklinace, rektascence a hvězdného času. Stane-li se totéž naprosto současně z druhého pozorovacího stanoviště, pak získáváme druhý prostorový směr. Pokud je zaručena podmínka současnosti, obsahují obě uvažované prostorové přímky polohu družice, a v rovině jimi určené navíc leží obě pozorovací stanice. Opakujeme-li tento postup s jinou polohou těže nebo i jiné družice, pak získáme další rovinu. Přímočarou spojnicí pozorovacích stanic můžeme tedy snadno určit jako průsečnici obou definovaných rovin a takto vypočítat její absolutní směr v prostoru, orientovaný v systému rektascence, deklinace, hvězdný čas. Poněvadž nepředpokládáme, že stanice  $A$  a  $B$  jsou body danými, řešíme tuto úlohu pouze směřově. Označíme-li /obr. 2/ jednotkové vektory měřené ze stanoviště  $A$  k první a druhé po-



Obr. 2

loze družice symboly  $\vec{a}_1^o$ ,  $\vec{a}_2^o$  a tytéž veličiny měřené ze stanoviště  $B$  symboly  $\vec{b}_1^o$ ,  $\vec{b}_2^o$  bude pro jednotkové vektory normál k oběma uvažovaným rovinám platit vztah

$$\vec{n}_\nu^o = \frac{\vec{a}_\nu^o \times \vec{b}_\nu^o}{|\vec{a}_\nu^o \times \vec{b}_\nu^o|}, \quad \text{kde } \nu = 1, 2$$

Poněvadž vektor přímočaré spojnice obou stanic  $\vec{r}^o$  je kolmý k vektorům  $\vec{n}_1^o$ ,  $\vec{n}_2^o$  lze jej snadno vypočítat ze vztahu

$$\vec{r}^o = \frac{\vec{n}_1^o \times \vec{n}_2^o}{|\vec{n}_1^o \times \vec{n}_2^o|}$$

Dvě simultánní roviny jsou tedy postačující k jednoznačnému určení jednotkového vek-

toru  $\vec{r}^o$ . V praxi však použijeme větší počet rovin a výsledné hodnoty prostorového směru spojnice družicových stanovišť určíme vyrovnáním.

Výsledkem stelární triangulace jsou nejprve prostorové směry mezi stanicemi. Tvoří-li pozorovací stanice trojúhelník, je možno výsledné hodnoty podrobit dalšímu vyrovnání splněním podmínky komplanárnosti vektorů, spojujících tyto vrcholy rovinného trojúhelníka. Pro souřadnicový výpočet musí být známy souřadnice alespoň jednoho bodu a délka nejméně jedné strany sítě. Metodu stelární triangulace navrhl Väisälä a úspěšně vyzkoušel ve Finsku již v předdružicovém období v roce 1951 s balóny, nesoucími světelné cíle.

### Určení azimutu pomocí U D Z

Stelární triangulací získáme prostorové směry v ekvatoreálním systému. Ty lze jednoduchou transformací převést do horizontálního systému, tedy na azimut a zenitovou vzdálenost. Ukazuje se však, že přesnost v určení azimutu je podstatně vyšší než v určení zenitové vzdálenosti. Příčina spočívá v tom, že simultánní roviny poblíž horizontu nelze vzhledem k omezené viditelnosti pozorovat a navíc se směry svírajícím malé úhly s rovinou horizontu vyhýbáme vzhledem k nebezpečí vlivu refrakce.

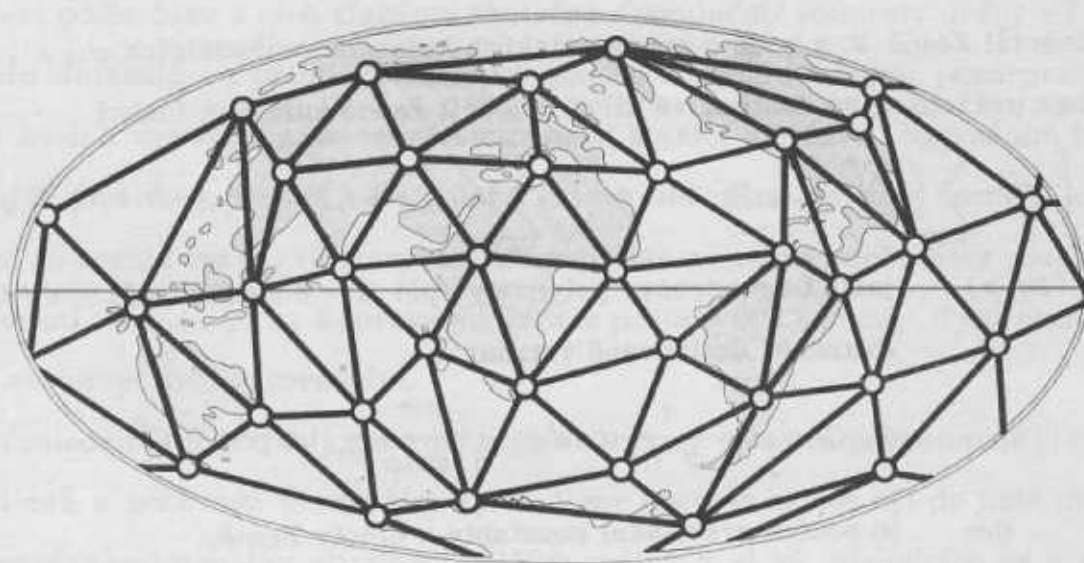
Pokud budeme určovat pouze azimut, bude nejvýhodnější omezit se pouze na přibližně vertikální simultánní roviny. Potom získáme azimut velmi přesně a neurčovaná zenitová vzdálenost pak přirozeně bude velmi nejistou. Pokud budeme navíc pozorovat pouze družice, jejichž subsatelitní křivky probíhají blízko obou pozorovacích stanic, potom chyby v čase, způsobené odchylkami od přísné simultánnosti, nebudou mít na výsledek příliš velký vliv. Uplatněním této z hlediska teorie chyb příznivé varianty stelární triangulace byly určeny azimuty stran o délce 1000 až 4000 km s přesností vyšší než  $\pm 1''$ .

Takto určené azimuty skýtají velmi účinné kontroly pro klasické triangulace. Dále dávají možnost použití dalších podmínkových rovnic při spojování státních triangulací do kontinentálních sítí. Kromě toho je možné na výpočetní ploše referenčního elipsoidu přímo vyrovnávat trojúhelníkové sítě, vytvořené z měřených azimutů.

## Geodetická světová síť

Pomocí stelární triangulace a kosmické triangulace lze vytvořit prostorové trojúhelníkové sítě o značně dlouhých stranách. Bude-li globální síť, obepínající zeměkouli, sítí zcela uzavřenou, získáme pro vyrovnání velmi účinnou podmínku pro zvýšení přesnosti. Výsledkem budou prostorové souřadnice všech bodů sítě v jednotném systému, jehož počátek lze volit v libovolném bodě. Aby tento systém byl systémem přísně geocentrickým /s počátkem v hmotném středu Země/, bude nutno určit hodnoty translace tohoto prostorového systému. Ty získáme metodami dynamické družicové geodézie na základě skutečnosti, že ohnisko dráhové elipsy družice je totožné s hmotným středem Země.

Takováto absolutní světová síť má mimořádný význam nejen pro geodézii. Body sítě mohou sloužit jako základní body pro připojení klasických triangulací. Tímto způsobem bude možno vztáhnout geodetické základy všech kontinentů a zemí k jednotnému systému a dosáhnout toho, že budou vyhovovat všem vědeckým požadavkům. Tím položí geodézie pevný základ k výzkumu zemského tělesa.



Obr. 3

Na obr. 3 je síť dnes již značně pokročilého projektu US Coast and Geodetic Survey, který v původním návrhu pozůstal z 36 stanic. Střední délka strany je

4000 km a pro měření se používá družice PAGEOS, která je dosud na oběžné dráze. Původní sovětský projekt prof. Žongoloviče vycházel ze sítě o 12 bodech s průměrnou délkou stran 7000 km. Pro pozorování se předpokládala družice ve výšce 12 000 km.

### Metoda dynamické družicové geodézie

Dynamická družicová geodézie získává své výsledky z analýzy oběžných drah umělých družic Země. Jak známo, je pohyb družice na oběžné dráze popsán šesti keplerovskými elementy dráhy : velkou poloosou dráhové elipsy  $a$ , numerickou excentricitou  $e$ , argumentem perigea  $\omega$ , délkou výstupného uzlu  $\Omega$ , sklonem dráhy  $i$ , a střední anomálií  $M = M_0 + ut$ . Při přísně kulově symetrickém tíhovém potenciálu Země by byly tyto elementy dráhy /v případě, že  $M$  nahradíme středním pohybem  $u$  / konstantními veličinami. Odchytky skutečného tíhového potenciálu od kulově symetrického způsobují časové změny elementů drah. Tyto poruchy dráhy mohou být zjištěny pozorováním a tím se otevírá cesta k určení tíhového potenciálu Země.

### Určení potenciálu Země

Potenciál Země  $V$  v bodě o geocentrických kulových souřadnicích  $\varphi, \lambda, r$  je možno /bez uvážení vlivu odstředivé síly/ vyjádřit řadou kulových funkcí

$$V = \frac{Gm}{r} \left\{ 1 - \sum_{n=2}^{\infty} \left( \frac{a_0}{r} \right)^n \left[ J_n P_n(\sin \varphi) + \sum_{k=1}^n (J_{n,k} \cos k\lambda + K_{n,k} \sin k\lambda) P_{n,k}(\sin \varphi) \right] \right\}$$

kde  $P_{n,k}(\sin \varphi)$  jsou Legendreovy polynomy /při  $k=0$  zonální, při  $k \neq 0$  přidružené/ definované vztahem

$$P_{n,k}(\sin \varphi) = \frac{1}{2^n n!} \cos^k \varphi \frac{d^{n+k}}{d(\sin \varphi)^{n+k}} (\sin^2 \varphi - 1)^n,$$

$Gm$  je součin gravitační konstanty a hmoty Země,

$a_0$  přijatá velikost rovníkového poloměru Země,

$J_{n,k}, J_n, K_{n,k}$  koeficienty

Odečteme-li potenciál kulově symetrického rozložení hmoty, tzn. hodnotu  $\frac{Gm}{r}$ , potom zbude zbytkový čili poruchový potenciál  $R$

$$R = - \frac{Gm}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \left( \frac{a_0}{r} \right)^n \left[ J_n P_n(\sin \varphi) + \sum_{k=1}^n (J_{n,k} \cos k\lambda + K_{n,k} \sin k\lambda) P_{n,k}(\sin \varphi) \right]$$



Tento poruchový potenciál vyvolává poruchy dráhy, které lze popsat Lagrangeovými poruchovými rovnicemi [6], str. 174 :

$$\begin{aligned} \frac{d\Omega}{dt} &= \frac{\operatorname{cosec} i}{ua^2 \sqrt{1-e^2}} \frac{\partial R}{\partial i} \\ \frac{di}{dt} &= \frac{\operatorname{cosec} i}{ua^2 \sqrt{1-e^2}} \left( \frac{\partial R}{\partial \omega} \cos i - \frac{\partial R}{\partial \Omega} \right) \\ \frac{d\omega}{dt} &= -\frac{\cotg i}{ua^2 \sqrt{1-e^2}} \frac{\partial R}{\partial i} + \frac{\sqrt{1-e^2}}{ua^2 e} \frac{\partial R}{\partial e} \\ \frac{da}{dt} &= \frac{2}{ua} \frac{\partial R}{\partial M} \\ \frac{de}{dt} &= \frac{1-e^2}{ua^2 e} \frac{\partial R}{\partial M} - \frac{\sqrt{1-e^2}}{ua^2 e} \frac{\partial R}{\partial \omega} \\ \frac{dM}{dt} &= u - \frac{1-e^2}{ua^2 e} \frac{\partial R}{\partial e} - \frac{2}{ua} \frac{\partial R}{\partial a} \end{aligned}$$

Integrací podle času z nich získáme skutečné /oskulační/ elementy dráhy v čase  $t$ . Z těchto elementů a z přibližně známých geocentrických souřadnic pozorovacích stanic je možno vypočíst prostorový směr mezi stanicí a družicí. Srovnáním takto vypočtených směrů ke družici s hodnotami přímo měřenými získáme rozdíly, které dosadíme do rovnic oprav, ve kterých vystupují jako neznámé koeficienty rozvoje kulových funkcí  $\mathcal{J}_n, \mathcal{J}_{n,k}, K_{n,k}$  a opravy souřadnic pozorovacích stanic. Tyto neznámé veličiny se potom určí vyrovnáním.

Vzhledem k tomu, že v rozvoji řady pro  $R$  do  $n$ -tého řádu vystupuje  $[(n+1)^2 - 3]$  koeficientů a poněvadž především vyšší členy rozvoje mohou být do jisté míry znehodnocovány nedokonalou eliminací dalších rušivých vlivů, působících na dráhu družice, je třeba do společného vyrovnání zahrnout pozorování z mnoha stanic rovnoměrně rozmístěných po celé Zemi a pozorovat větší počet družic s rozdílnými dráhami.

Pro americké vyrovnání bylo použito kolem 25 000 pozorování. Z tak obsáhlého souboru lze určit navíc souřadnice pozorovacích stanic s přesností kolem  $\pm 10$  m.

V tabulce 3 jsou uvedeny zonální koeficienty kulových funkcí. Z hodnoty  $\mathcal{J}_2$  je

možno vypočítat velmi přesně zploštění Země. Hodnota  $J_3$  prokazuje asymetrii Země vzhledem k rovině rovníku a lze z ní odvodit, že geoid na Severním pólu je o 39 m dále od hmotného středu než na Jižním pólu.

Tabulka 3

Koeficienty zonálních kulových funkcí

n	$J_n \cdot 10^6$
2	+ 1082,64
3	- 2,57
4	- 1,62
5	- 0,13
6	+ 0,65
7	- 0,43

Dále je třeba uvážit, že např. tření horních vrstev atmosféry, gravitační účinky Slunce a Měsíce a další vlivy rovněž způsobují poruchy ve dráze družice. Má-li být z pohybu družice určeno vnější tíhové pole Země, musí být přirozeně zavedeny redukce z těchto vlivů nebo alespoň úpravou metody dosaženo toho, že tyto vlivy budou dostatečnou měrou eliminovány.

Orbitální metoda

Budeme-li pro některou družici znát její elementy dráhy a dráhové poruchy jako funkce času, pak bude možno vypočítat její polohu pro libovolný časový okamžik. Družici pak bude možno použít jako daného bodu pro určení nových bodů na povrchu Země. Stejně tak jako v kosmické triangulaci jsou i zde možné dvě varianty. Polohu nového bodu určíme buď prostorovým protínáním vpřed ze dvou poloh družice  $S_1$  a  $S_2$  nebo jakožto průsečík vektoru  $-\vec{\alpha}_1$ , vedeného z bodu  $S_1$  s povrchem Země. Poněvadž však vnější tíhové pole Země a variabilní hustota horních vrstev atmosféry nejsou dosud dostatečně známy, mohou být přirozeně s nimi související poruchy dráhy vypočteny pouze s omezenou přesností. Proto je tato metoda dosud zatížena

nejistotou v určení polohy družice dosahující řádově desítek až stovek metrů. Vzhledem k minimálním požadavkům na pozorování má však tato metoda neobyčejný význam pro navigaci a pro přibližné určování poloh.

Tuto omezenou přesnost metody však lze zvýšit tím, bude-li nějaký bod  $S_0$  použité dráhy určen geometrickými metodami. Použité polohy  $S_1$  a  $S_2$  jsou potom připojeny k bodu  $S_0$  pomocí relativně krátkých oblouků dráhy a nejistoty v určení dráhových poruch se potom mohou uplatnit pouze v omezené míře /obr. 1b/.

### Národní geodetický družicový program USA

I když Spojené státy nemají prvenství ve vypuštění umělé družice Země, přesto si již koncem padesátých let plně uvědomily nebývalé možnosti, které družice nabízejí řadě vědních oborů včetně geodézie. Důkazem toho je, že již v roce 1958 využily pozorování své první družice Vanguard I pro určení hodnoty zemského zploštění. Pozorování dráhových poruch několika družic počátkem roku 1959 jim dále přineslo první informace o nepravidelnosti zemského tíhového pole.

Za počátek rozvoje geometrických metod družicové geodézie lze považovat rok 1960, kdy byla vypuštěna družice Echo I. I když hlavním posláním tohoto balónu o průměru 30 m mělo být měření hustoty vzduchu a dále měl sloužit jako pasivní retranslační zařízení mezi dvěma body na Zemi, stal se zároveň velmi užitečným jako snadno viditelný měřický cíl pro řešení geometrických úloh družicové geodézie. Jedním z výsledků této práce bylo úspěšné spojení francouzského geodetického systému se systémem severoafrickým.

Ministerstvo obrany Spojených států si brzy uvědomilo, že družice skýtají možnost rychlého vybudování celosvětové geodetické sítě, která má nesporný význam z hlediska vojenského využití. Z tohoto podnětu byla v říjnu 1962 vypuštěna družice vyvinutá ve spolupráci čtyř institucí pod názvem ANNA /Army, Navy, NASA, Air Force/, která byla ve skutečnosti první geodetickou družicí. Armáda se podílela a nesla zodpovědnost za tehdy nový elektronický dálkoměrný systém SECOR /Sequential Collation of Range/; námořnictvo bylo zodpovědné za elektronický systém Doppler a neslo celkovou zodpovědnost za družici; vzdušné síly měly vyvinout světelný zábleskový systém a konečně NASA měl pomáhat ve své síti optického pozorovacího systému s komorami Baker Nunn. Původně se předpokládalo jak vědecké tak i vojenské vy-

užití, avšak nakonec se NASA na této spolupráci nepodílel, takže šlo o záležitost čistě vojenskou.

Družice ANNA se ukázala vcelku úspěšnou. Její dostatečně intenzivní záblesková světla umožnila její viditelnost a měření nad územím Spojených států v letech 1963-64, při nichž bylo použito deseti družicových fotokomor PC-1000, jimiž jsou vybaveny jednotky vzdušných sil. Ukázala se možnost dosáhnout u družicových kontrolních měření přesnosti vyšší než 1 : 100 000. Stanoviště byla připojena k trigonometrické síti I. řádu severoamerického systému. Stejně tak úspěšné zkoušky byly vykonány komorami Wild BC-4. Námořnictvo Spojených států vyvinulo svůj systém TRANET pro elektronická dopplerovská měření, která se při zkouškách v družici ANNA velmi dobře osvědčila. Jako neúspěšný se však ukázal armádní systém SECOR. Teprve při dalších zkouškách na sérii družic SECOR speciálně konstruovaných pro tento účel se plně osvědčil a dosahoval poměrně vysoké přesnosti. Jeho hlavní výhodou je možnost určení polohy neznámé stanice ze tří známých bez závislosti na čase, denní době a povětrnostních podmínkách.

V roce 1962, krátce po získání prvních geodetických výsledků z družicových měření, doporučil Výbor pro vědu a astronautiku Sněmovny reprezentantů v USA, aby NASA připravil, organizoval a předpokládal řízení společného programu několika institucí, zaměřeného na splnění národních, vědeckých a vojenských požadavků z oblasti družicové geodézie, který byl nazván Národní geodetický družicový program /National Geodetic Satellite Programme - NGSP/. Byla jmenována pracovní skupina pro geodetické využití umělých družic. Jednání mezi zúčastněnými složkami probíhala až do konce roku 1964, kdy byly stanoveny cíle tohoto programu. V podstatě šlo o vybudování jednotného referenčního systému pro celou Zemi a o určení zemského gravitačního pole. Pobřežní a geodetická služba /Coast and Geodetic Survey/ navrhla globální celosvětovou trigonometrickou síť, pozůstávající z 36 družicových stanic.

Během těchto jednání vypustil NASA v lednu 1964 družici Echo II, balón pokrytý tenkou vrstvou hliníku o průměru 40 m, který se ukázal stejně jako Echo I velmi užitečným hlavně co do viditelnosti při geometrických družicových pracích. Start další dvojúčelové družice Beacon Explorer A v březnu 1964, plánované pro průzkum ionosféry a vybavené odražeči k ověření optického sledování lasery pro geodetické účely, nebyl úspěšný a družice se nedostala na oběžnou dráhu.



Závěrečná dohoda stanovila program zahrnující vypuštění pěti družic, jímž by bylo možno splnit cíle národního geodetického družicového programu. Prvním z této série družic byl 120-lb Beacon Explorer-B /Explorer XXII/, který byl vypuštěn 10. října 1964 na oběžnou dráhu o sklonu  $80^\circ$  a obíhal ve výšce kolem 1000 km. Stejně jako Beacon Explorer A byl vybaven vysoce stabilními oscilátory, majáky systému Doppler a MINITRACK a laserovými odražeči. Pomocí této družice byla vykonána měření ionosférických a gravimetrických údajů a měření délek lasery. Druhou družicí byl Beacon Explorer-C /Explorer XXVII/, vypuštěný 29. dubna 1965. Vybavení a posílání bylo stejné jako u družice Beacon Explorer-B, rozdíl byl pouze v tom, že družice se pohybovala na dráze se sklonem  $40^\circ$ .

Třetí družice národního geodetického družicového programu USA o váze 172 kg byla mnohem větší a byly v ní zabudovány všechny systémy použité na družicích ANNA, SECOR a Beacon Explorers. Kromě oficiálního názvu Explorer XXIX byla pojmenována GEOS-I a jejím posláním bylo pomoci v geodetické triangulaci a trilateraci, získat gravimetrické údaje, ověřit laserová měření, uskutečnit velice důležité srovnání mezi všemi geodetickými systémy a konečně přispět ke zlepšení polohové přesnosti pozemních pozorovacích stanic. Byla vypuštěna 6. listopadu 1965 a obíhala na dráze o sklonu  $59^\circ$  ve výškách od 1110 do 2270 km.

Na pozorování družice GEOS-I se podílely tyto složky :

A/ Optickým pozorováním :

1. US Coast and Geodetic Survey s osmi mobilními aparaturami komor BC-4,
2. US Air Force s devíti geodetickými družicovými komorami PC-1000,
3. NASA Goddard Space Flight Center s fotografickými komorami MOTS-40 a komorami PTH-100,
4. Army Map Service se 4 komorami BC-4,
5. SAO na dvanácti stanicích Baker Nunn.

B/ Radiovými systémy :

1. US Navy systémem Doppler,
2. NASA Goddard Space Flight Center se systémem MINITRACK /později označovaným STADAN/ a s laserovým vybavením,
3. US Army Map Service se systémem SECOR.

Čtvrtou družicí tohoto programu je balón pokrytý hliníkovou vrstvou o váze 57 kg

a o průměru 30 m nazvaný PAGEOS-I /Passive Geodetic Earth Orbiting Satellite/. Byl vypuštěn 23. června 1966 na dráhu o sklonu  $87^\circ$  do výšky 4210 až 4260 km s předpokladem, že vlivem tlaku slunečního záření postupně přejde na eliptickou dráhu a bude se pohybovat ve vzdálenostech od 2000 km do 6000 km. V těchto výškách je pozorovatelný pouhým okem jako hvězda první až třetí velikosti. Jeho hlavním posláním je umožnit družicovou triangulaci velkému počtu uživatelů. Doby viditelnosti jakož i údaje o poloze této družice jsou publikovány pro většinu velkých měst týden dopředu.

Pátou družicí národního geodetického družicového programu Spojených států je GEOS-II /Explorer XXXVI/, vypuštěný 11. ledna 1968 na dráhu o sklonu  $106^\circ$  a obíhající ve výškách od 1100 do 1575 km. Ve srovnání s družicí GEOS-I je těžší /212 kg/ a kromě všech systémů na předchozích geodetických družicích je vybaven novým radarovým zařízením, dalšími vědeckými přístroji a větším množstvím elektrické energie. Stejně jako GEOS-I je stabilizován ve směru vertikální složky tíhového gradientu. Jeho stabilizační zařízení umožňuje pasivní radarové a laserové sledování i v současné době, kdy družice již nemá elektrickou energii.

Úplné přístrojové vybavení družice GEOS-II obsahuje tyto části:

- 4 xenonové výbojky vysoké intenzity,
- 1 transponder systému SECOR,
- 3 majáky systému Doppler,
- 1 maják systému MINITRACK,
- 1 transponder Goddard pro měření vzdáleností a radiální rychlosti družice,
- 2 radarové transpondery pracující v pásmu C /nebyly na družici GEOS-I/,
- 1 pasivní radarový odražeč pro C pásmo /nebyl na družici GEOS-I/,
- 4 laserové odrazné panely,
- palubní hodiny a paměťový systém.

Kromě toho má družice laserový detekční přístroj pro určení frekvence a hloubky modulace nebo scintilací laserového paprsku vyslaného ze Země, tak jak se projevuje na družici.

Sledovací systém GEOS-II zahrnuje :

1. Optické komory pro měření rektascensí a deklinací s přesností  $\pm 1$  až  $\pm 2$  vteřiny.
2. Optické laserové systémy pro měření vzdáleností s odhadovanou přesností  $\pm 1$  m.
3. Systém Goddard pro měření vzdáleností a radiální rychlosti družice s odhadova-

nou přesností  $\pm 10$  m ve vzdálenosti a  $\pm 5$  cm/s v radiální rychlosti.

4. Systém MINITRACK pro měření dvou směrových kosinů s odhadovanou přesností  $\pm 20$  vteřin.
5. Systém SECOR používaný v Army Map Service pro měření vzdáleností s odhadovanou přesností  $\pm 10$  m.
6. Dopplerovský systém TRANET pro měření radiální rychlosti družice s přesností asi  $\pm 5$  cm/s.
7. Radarový systém pracující v C pásmu pro měření vzdáleností, jehož přesnost nebyla dosud určena.

Po třinácti měsících velmi intenzivní činnosti se na družici GEOS-II projevila značná ztráta elektrické energie a nadále je využívána již pouze jako družice pasivní.

Výsledků měření pomocí družice GEOS-II má být použito pro rozšíření dosavadních poznatků o přesnosti několika rádiových a optických sledovacích systémů. V minulosti to bylo obtížné odhadnout dostatečně spolehlivě, poněvadž různé systémy n sledovaly současně tutéž družici a nepoužívaly téhož souřadnicového systému. Zvláště dlouhodobé variace ve funkci sledovacích systémů nemohly být odhaleny a právě ty mají být určeny pomocí družice GEOS-II. Z tohoto důvodu se na některých stanicích současně měří radarem, laserem, opticky, Dopplerem a SECOREM. Navíc všech 164 přístrojů různého druhu, umístěných na dvanácti sítích stanic /v USA, na Aljašce, v Kanadě, Jižní Americe, Evropě, Africe, Asii, Austrálii, Tichomořských ostrovech, na ostrovech Atlantického oceánu a v Grónsku/ pracovalo podle předem vypracovaného programu pozorování.

Předpokládá se, že několik systémů umístěných na mnoha stanicích bude schopno dosáhnout programem vytyčeného cíle v geometrické oblasti a že bude určeno 86 bodů rozmístěných na celém povrchu Země v geocentrickém souřadnicovém systému s přesností  $\pm 10$  m. Úplné splnění tohoto cíle umožní spojení všech větších systémů i izolovaných oblastí a stanic k vytvoření jednotného celosvětového geodetického systému. V roce 1963 se pracovalo pouze na 12 z těchto 86 vybraných stanic a ty byly určeny s přesností kolem 50 m. Do konce roku 1967 bylo obsazeno již 42 stanic a pro 20 z nich byla uveřejněna přesnost v poloze  $\pm 20$  m. Poloha některých z těchto bodů nebyla dříve známa lépe než s přesností  $\pm 600$  m až  $\pm 700$  m.

Druhým hlavním cílem amerického národního geodetického družicového pro-



gramu, cílem gravimetrickým, je určení koeficientů v rozvoji kulových funkcí tíhového potenciálu do 15. stupně a 15. řádu. Úplné splnění tohoto cíle umožní přesný popis vnějšího tíhového pole Země.

Je obtížné odhadnout, jaké množství údajů bylo získáno ze všech družic amerického národního geodetického družicového programu. Mají však být volně dostupné světovým vědeckým společnostem. Budou vydávány institucí Geodetic Satellite Data Service /GSDS/, která je součástí střediska National Space Data Center při Goddard Space Flight Center v Greenbelt, Maryland. GSDS je zodpovědna za příjem, evidenci, kvalitu, kontrolu archivování a distribuci observačních údajů. NASA připravuje vydání prozatímní globální geodetické příručky, využívající všechny údaje shromážděné v posledních několika letech od všech institucí, které se podílely na spolupráci. Rozbor těchto údajů pomůže určit nutnost dalšího nebo dalších letů družic typu GEOS, aby cíle programu byly beze zbytku splněny.

#### Budování družicových geodetických sítí US Coast and Geodetic Survey

Program US Coast and Geodetic Survey je přísně geometrický a zahrnuje pozorování pouze družic pasivního typu. Používanou měřickou fotokomorou je Wildova BC-4 s objektivem Astrotar / $f=300$  mm, apertura 117 mm a irisová clona proměnná od  $f/2,6$  do  $f/32$ /. Negativním materiálem jsou skleněné, přesně vybroušené desky formátu 215x190x6 mm s efektivním formátem 180x180 mm. Zorné pole je  $33^\circ$ . Dodržení přesnosti časového generátoru na každé stanici v mezích  $\pm 10$  mikrosekund je zajištěno přenosnými křemennými hodinami, které jsou periodicky převáženy mezi stanicemi, a udržovaným časovým normálem. Celková nejistota časového přiřazení se udává do  $\pm 150$  mikrosekund. Součástí výbavy je přenosná laminátová otočná kopule pro ochranu přístroje o průměru 1,8 m, vysoká 2,1 m a vážící 150 kg. Stabilní postavení komory je zajištěno na speciálně konstruovaném podstavci. Elektronický synchronizační panel je zabudován v mobilní klimatizované kabině o rozměrech 3,7x2,7x2,1 m a o váze 1270 kg. Uvnitř je rovněž temná komora, děrovač pro programování expozic a dálnopis. Celková váha úplné aparatury je 5000 kg včetně dvou elektrocentrál. Doprava je možná vrtulníkem, letounem nebo tažným motorovým vozidlem.



US Coast and Geodetic Survey započala pracovat na družicové triangulaci v lednu 1962, po několikaletém výzkumu a přípravě aparatury, hlavně pokud jde o její elektronickou část. První pozorování více komorami byla zahájena v květnu 1963 ze třímetrového a pětadvacetimetrového kalibračního trojúhelníka s použitím družice Echo I. Tímto způsobem byly měřeny malé paralaktické úhly ke družici za velmi dobrých podmínek. Závěrky tříkomor byly přesně synchronizovány a atmosférické podmínky byly naprosto stejné. Tato zkouška potvrdila použitelnost systému pro polní měření.

Vlastní program družicové triangulace započal v srpnu 1963 měřením trojúhelníka o stranách 1500 km na území USA. Každá stanice byla připojena k triangulaci I. řádu a jako měřický cíl sloužila družice Echo I ve výškách 1300 až 1900 km. Bylo vykonáno 103 simultánních měření, z nichž 73 bylo pořízeno ze tří stanic a 30 ze dvou stanic. V zimě 1964 byla zahájena družicová pozorování v Kanadě s cílem dokončit zaměření družicové sítě na území Spojených států a Kanady v létě 1965.

V létě 1966 po vypuštění družice PAGEOS zahájila US Coast and Geodetic Survey práce na celosvětové síti, jejíž původně navrhovaný počet 36 stanic vzrostl na 44. Pro vyhodnocení každé desky se používá zhruba 150 poloh hvězd a 800 obrazů družice. Pro určení rozměru celosvětového systému má být použito nejméně tři dlouhých základen vysoké přesnosti. Původně se předpokládalo, že přesnost této metody dosáhne hodnoty minimálně 1 : 300 000 a standardní polohové chyby bodů sítě budou  $\pm 10$  m. Pozdější zkoušky však prokázaly, že přesnost ve směru  $\pm 0,3''$ , relativní přesnost 1 : 1 000 000 a polohová přesnost stanic  $\pm 3$  až  $\pm 4$  m se zdá být reálnou. V současné době je již větší část světové sítě zaměřena a výsledky se zpracovávají.

#### Zhuštění celosvětové družicové sítě

Je zřejmé, že hustota celosvětové sítě, jejíž body jsou vzájemně vzdáleny kolem 4000 km, není postačující, aby do ní byly zapojeny existující místní a národní trigonometrické sítě. Předpokládá se proto zhuštění světovou triangulací druhého řádu, vytvořenou z trojúhelníků o stranách kolem 1500 km. Pro vybudování této sítě má být použita tatáž metoda i technika s tím rozdílem, že bude měřeno na geodetické družice, obíhající ve výškách zhruba rovných průměrné délce strany sítě. V řadě oblastí se předpokládá další zhuštění družicovou sítí třetího řádu a v některých loka-

litách se uvažuje dokonce o vybudování čtvrtého řádu družicové sítě.

Ukázky sítí tohoto druhu jsou připojeny v přílohách 1 až 4. /1 - Severoamerická družicová síť, 2,3 - Návrh Západoevropské družicové sítě 1. a 2. řádu z roku 1970, 4 - Americký projekt družicové sítě na území Afriky z roku 1966, předpokládající měření vzdáleností systémem SECOR/.

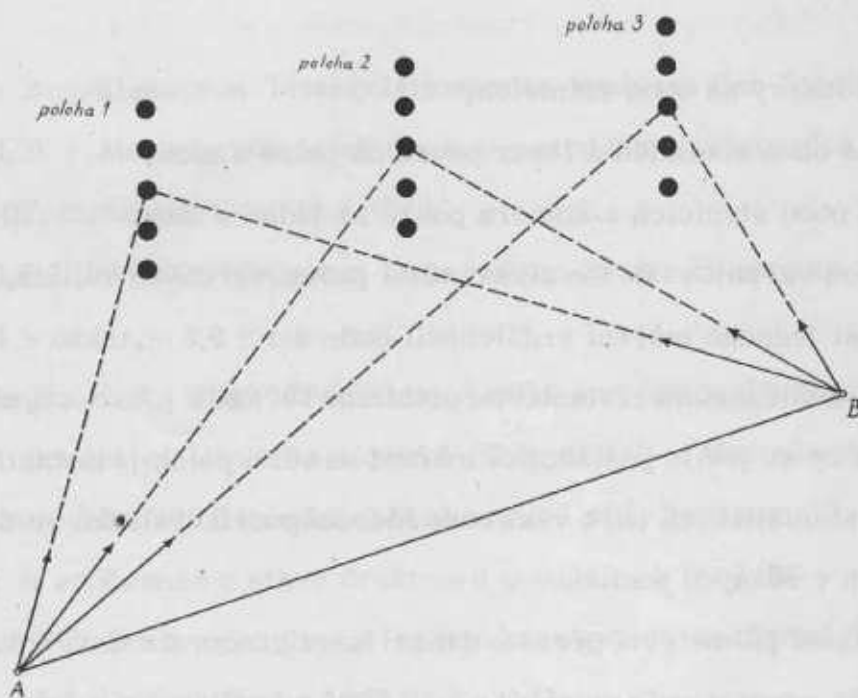
Přednost družicových triangulací spočívá především v tom, že strany sítě dlouhé několik tisíc kilometrů mohou být měřeny přímo se značně vysokou přesností. Je zřejmé, že s klesající délkou strany sítě se bude zhoršovat relativní přesnost a ta při vzdálenostech bodů pod 500 km již nebude postačující. Tento fakt tedy vede nutně k závěru, že družicové sítě zřejmě neposkytnou dostatečně hustý základ pro vnitřní zpevnění méně hodnotných klasických sítí, izolovaně vybudovaných na malých územích.

V souvislosti s touto problematikou se začínají objevovat úvahy o možnostech aplikací družicových metod pro vybudování nadřazených sítí na územích malých států. Dr. K. Lambeck [10] dochází k závěru, že v těchto případech by bylo vhodné převzít metody družicové geodézie a družici nahradit objektem v relativně menší výšce, např. balónem, raketou nebo letounem. V podstatě jde o stelární triangulaci, jak byla původně v předdružicovém období vyvinuta a vyzkoušena ve Finsku s možným doplněním laserově měřených vzdáleností.

Předpokládáme-li vzdálenosti mezi stanicemi v mezích od 100 do 150 km, pak pro zajištění sklonu záměr minimálně  $20^\circ$  potřebujeme měřický cíl ve výšce asi 30 km. V těchto výškách mohou být použity balóny nebo malé rakety. Rovněž je možné v požadované výšce shodit zábleskové světlo připevněné k padáku a během sestupu pozorovat záblesky. Záblesková světla pro tyto účely byla vyvinuta v Air Force Cambridge Research Laboratory a již první zkoušky prokázaly proveditelnost tohoto způsobu. Celé světelné zařízení váží pouze několik málo liber.

Pro měření je přirozeně možno použít balistických komor typu Wild BC-4. Pro tento účel však plně postačí i podstatně jednodušší aparatury, adaptované např. z méně nákladných průzkumných leteckých fotokomor. Zejména vybavení časovým zařízením není náročné, poněvadž pro tento účel je postačující přesnost časového přiřazení 10 milisekund.

Dosažitelná přesnost jednoho měřeného směru je  $\pm 2$  až  $\pm 3$  vteřiny, avšak při větším počtu měřených poloh může být vektor spojnice obou stanic určen s podstatně vyšší přesností.



Obr. 4

Při měření na tři objekty, které odpovídá konfiguraci na obr. 4 a za předpokladu, že z každého objektu získáme asi 10 simultánních rovin, lze dosáhnout přesnosti  $\pm 0,4''$  v azimutu a  $\pm 0,6''$  v zenitové vzdálenosti. Zvýšením počtu pozorování lze přirozeně dosáhnout přesnosti vyšší, avšak již tyto výsledky se zdají být pro daný účel plně postačující.

Rozměr této sítě může být rovněž určen z pozorování balónů nebo předmětů zavěšených na padáku při použití trilaterálních metod. Lasery patrně nabízejí nejlepší způsob, ovšem bude zapotřebí minimálně čtyř přístrojů k simultánnímu měření objektu. Vzhledem k úzkému paprskovému svazku laseru musí být objekt jasnější než pozadí oblohy a paprsek musí být zaměřen na objekt vizuálně pomocí hledáčku. Pokud by povrch balónu dostatečně odrazil světlo, nebylo by třeba speciálního odražeče. Bude však jistě vhodnější, aby balón vzhledem ke své velikosti nesl speciální odražeč, poněvadž by bylo problematické, ke které části objektu bylo měření vykonáno. Vzdálenosti je možno měřit i za denního světla, je-li laser dostatečně výkonný a denní světlo odfiltrováno, nebo v noci, je-li poloha balónu osvětlena zábleskovým světlem.

Další alternativou pro určení rozměru je simultánní měření směrů a vzdále-

ností k objektu ze dvou stanic. Existuje přirozeně několik kombinací přístrojového rozmístění:

- 1/ komory a lasery na obou stanicích,
- 2/ komory na obou stanicích a laser pouze na jedné z nich,
- 3/ lasery na obou stanicích a komora pouze na jedné z nich.

Z prvních dvou variant však lze získat větší počet měřených veličin.

Přesnost jednoho měření vzdálenosti bude asi  $\pm 0,5$  m, takže z 10 měřených délek lze určit vzdálenost mezi stanicemi přibližně 100 km s přesností asi  $\pm 15$  cm. Z tohoto hlediska by se jevilo postačující měření na sérii poloh jednoho objektu. Pro snížení vlivu systematických chyb však bude žádoucí použít výsledků ze dvou nebo tří sérií, měřených v různých nocích.

Pro získání půlmetrové přesnosti musí laser pracovat v Q-režimu s délkou pulsu pouze několika nanosekund a musí být použit čítač s rozlišovací schopností jedné nanosekundy. Požadovaná výstupní energie bude pro tento účel velmi malá /pouze zlomek Joulu/ ve srovnání s laserem, kterým se měří k odrazeči na družici a pro který je přiměřený 1 Joule k získání návratu signálu ze vzdálenosti 2000 km i více.

Pro celkovou ilustraci o možnostech zmíněné stelární triangulace na vysoké, nedružicové cíle snad poslouží studie K. Lambecka o použití této metody na území státu Massachusetts, jehož rozloha 21 400 km<sup>2</sup> představuje asi jednu šestinu území ČSSR. V uvažované síti, pozůstávající ze sedmi trojúhelníků, a za předpokladu, že dvě strany sítě budou určeny délkově, dochází autor k závěru, že střední chyba v poloze určovaných bodů by neměla překročit hodnotu  $\pm 1$  m a ve výšce  $\pm 0,4$  m.

### Závěr

Z uvedeného přehledu možností a dosud získaných výsledků v družicové geodézii, který si zdaleka nečiní nároků na úplnost, je zřejmé, že družicová geodézie poskytla za poměrně velmi krátkou dobu své existence základní geodézii takové praktické výsledky, jakých nebylo možno dosáhnout klasickými metodami za celá staletí. Svými dosud nevyčerpanými možnostmi skýtá družicová geodézie i do budoucna reálnou perspektivu, že položí pevný základ pro další vědní obory, zaměřené na výzkum nejen Země, nýbrž i jiných planet.



- [1] Arnold K.: Anschluss von Triangulationen an Systeme der Satellitengeodäsie /Sborník I/B z Mezinárodní konference o metodách a přístrojích geodetického zhuštění sítí, Budapest 17. - 22.8.1970/
- [2] Bowker D.E.: PAGEOS Program Observation Study, Surveying and Mapping, 4/1966
- [3] Brandenberger A.J.: High Precision Aerial and Space Photogrammetry for the Establishment of Geodetic Control /Sborník I/B z Mezinárodní konference o metodách a přístrojích geodetického zhuštění sítí, Budapest 17. - 22.8.1970/.
- [4] Burša M.: K současnému stavu družicové geodézie, VTO 1/69
- [5] Burša M.: Tížnicové odchylky a výšky kvazigeoidu na území ČSSR a teorie jejich určování, I. část, Praha 1968
- [6] Čebotarev G.A.: Analitičeskije i čislennyje metody nebesnoj mechaniki, Moskva 1965
- [7] Flatman A.J.: Surveying by Satellite, The Canadian Surveyor No 4/1967
- [8] Hunter W.H.: Satellite Geodesy, The Australian Surveyor No 7/1969
- [9] Kneissl M.: Satellite Triangulation in Europe Connected with the Satellite Worldwide Net of US Coast and Geodetic Survey /Symposium on the Use of Artificial Satellites in Paris, France, 14. - 16.12.1964/
- [10] Lambeck K.: Regional Application of Satellite Geodesy Methods Surveying and Mapping, Sept. 1969
- [11] Mueller I.: Introduction to Satellite Geodesy, ruský překlad Moskva 1967
- [12] Nancy G.R.: The United States Geodetic Satellite Program /Symposium on the Use of Artificial Satellites in Paris, France, 14. - 16. 12.1964/
- [13] Phillips J.O.: The US Coast and Geodetic Survey Satellite Triangulation Program /Symposium on the Use of Artificial Satellites in Paris, France, 14. - 16.12.1964/
- [14] Rinner K.: Studie über europäische Netze, welche mit Hilfe von Satelliten gebildet werden /Sborník I/B z Mezinárodní konference o metodách a přístrojích geodetického zhuštění sítí, Budapest, 17. - 22.8.1970/
- [15] Roseberg J.D.: The Organization of the United States Geodetic Satellite Program /The Symposium on the Use of Artificial Satellites in Paris, France, 14. - 16.12. 1964/

- [16] Stange L.: Ein moderner Zweig der Astrogeodäsie - Aufgaben und Möglichkeiten der Satellitengeodäsie, *Jenear Rundschau*, 6/67
- [17] Vondrák J.: XII. plenární zasedání COSPAR a jeho přínos pro geodézii, *GaKO* 7/69
- [18] Geodetic Satellite Results during 1967, *Smithsonian Astrophysical Observatory Special Report* 264
- [19] *Geodezija 1965, Itogi nauki*, Moskva 1967
- [20] *Standartnaja zemlja*, ruský překlad SAO Special Report No 200, Moskva 1969

Došlo dne 10. 12. 1970



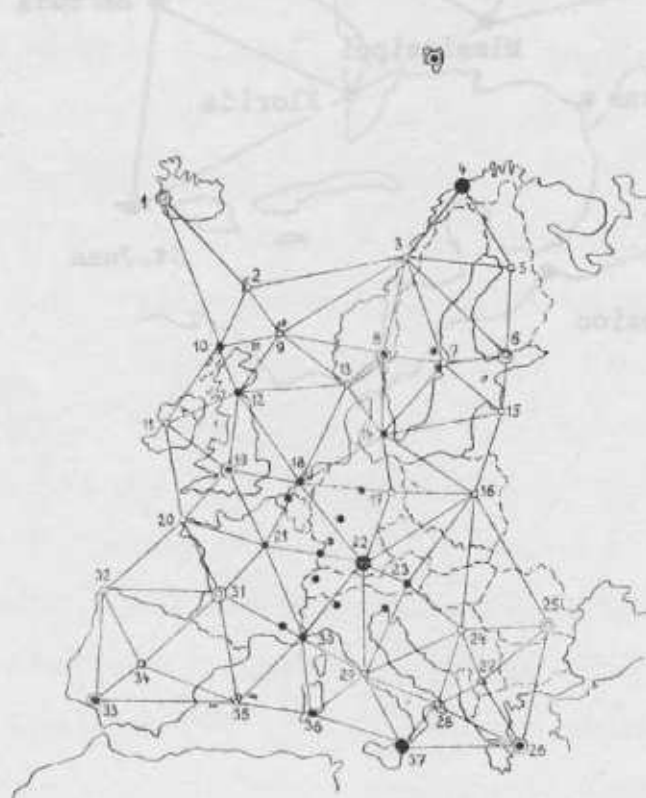
## PŘÍLOHA 2



- 1 Tromsø
- 2 Keflavik
- 3 Helsinki
- 4 Oslo
- 5 Malvern
- 6 Bordeaux
- 7 Munchen
- 8 San Fernando
- 9 Catania
- 10 Athen
- 11 Bukurest
- 12 Spitsbergen

- evropské stanice
- nové stanice
- evřtová síř

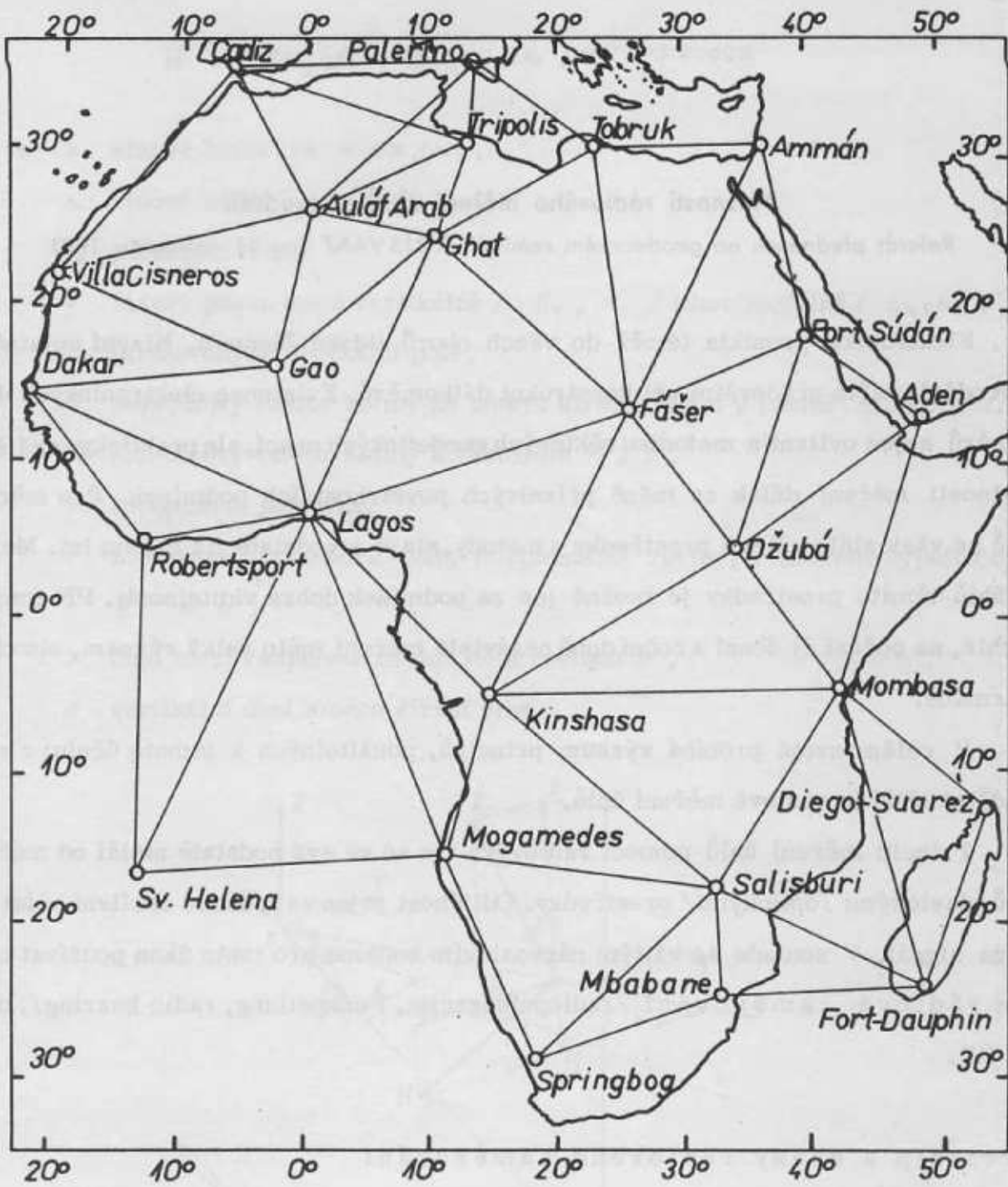
## PŘÍLOHA 3



- 1 Keflavik
- 2 Thornhavn
- 3 Mosjoen
- 4 Tromsø
- 5 Pudasjärvi
- 6 Helsinki
- 7 Stockholm
- 8 Oslo
- 9 Lerwick
- 10 Stornoway
- 11 Galway
- 12 Biliburgh
- 13 Kristiansund
- 14 Kopenhagen
- 15 Riga
- 16 Varsova
- 17 Berlin
- 18 Delft
- 19 Malvern
- 20 Brast
- 21 Meudon
- 22 Munchen
- 23 Graz
- 24 Beograd
- 25 Bukurest
- 26 Athen
- 27 Štiplje
- 28 Brindisi
- 29 Rome
- 30 Nizza
- 31 Bordeaux
- 32 La Coruna
- 33 San Fernando
- 34 Keflavik
- 35 Suifafala
- 36 Cagliari
- 37 Catania

- evropské stanice
- nové stanice
- evřtová síř
- ⊙ stanice síře I. řádu





## Možnosti rádiového měření úhlů v geodézii

Referát přednesen na geodetickém semináři K 213 VAAZ dne 11. listopadu 1970

Elektronika pronikla téměř do všech oborů lidské činnosti. Hlavní uplatnění v geodézii našla především při konstrukci dálkoměrů. Existence elektronických dálkoměrů nejen ovlivnila metodiku některých geodetických prací, ale prakticky rozšířila možnosti měření délek za méně příznivých povětrnostních podmínek. Pro měření úhlů se však stále užívají prostředky a metody, staré v podstatě již mnoho let. Měření úhlů těmito prostředky je možné jen za podmínek dobré viditelnosti. Při tom by rychlé, na počasí či denní a roční době nezávislé měření mělo velký význam, obzvláště v armádě.

V celém světě probíhá výzkum principů, použitelných k tomuto účelu; z nich nejdůležitější je rádiové měření úhlů.

Princip měření úhlů pomocí rádiových vln se ve své podstatě neliší od měření úhlů klasickými /optickými/ prostředky. Odlišnost je jen ve způsobu zacílení přístroje na signál. V souladu se vžitým názvoslovím budeme pro tento úkon používat termín rádiové zaměřování /radiopelengacija, Funkpeilung, radio bearing/, dále jen RZ.

### Princip a chyby rádiového zaměřování

V homogenním izotropním prostředí se elektromagnetická energie šíří od bodového zdroje v podobě kulových vln. V dostatečné vzdálenosti je již vlnoplocha zakřivena tak nepatrně, že ji bez velké chyby můžeme nahradit rovinou a přicházející vlny chápat jako rovinné.

Elektromagnetické pole rovinné harmonické vlny popíšeme pomocí vektorů intenzit elektrického a magnetického pole /  $\vec{E}$  a  $\vec{H}$  /.

Při vhodné volbě souřadnicového systému platí [13]:

$$\vec{E} = (\vec{n}E_1 + \vec{a}E_2 e^{j\psi}) e^{j\psi_0} e^{-jkr \cos \vartheta \cos \beta} \quad (1)$$

$$\vec{H} = (-\vec{n}H_2 e^{j\psi} + \vec{a}H_1) e^{j\psi_0} e^{-jkr \cos \vartheta \cos \beta} \quad (2)$$

kde je  $k$  vlnové číslo ( $k = 2\pi/\lambda$ ),

$\lambda$  vlnová délka,

$\psi_0$  počáteční fáze,

$\psi$  fázový posun mezi vertikálně /  $E_1, H_1$  / a horizontálně /  $E_2, H_2$  / polarizovanými složkami pole,

$\vec{n}$  jednotkový vektor kolmý ke směru šíření, ležící v rovině  $\sigma$  /viz obr.1/,

$\vec{a}$  jednotkový vektor kolmý k vektorům  $\vec{n}, \vec{s}$ ,

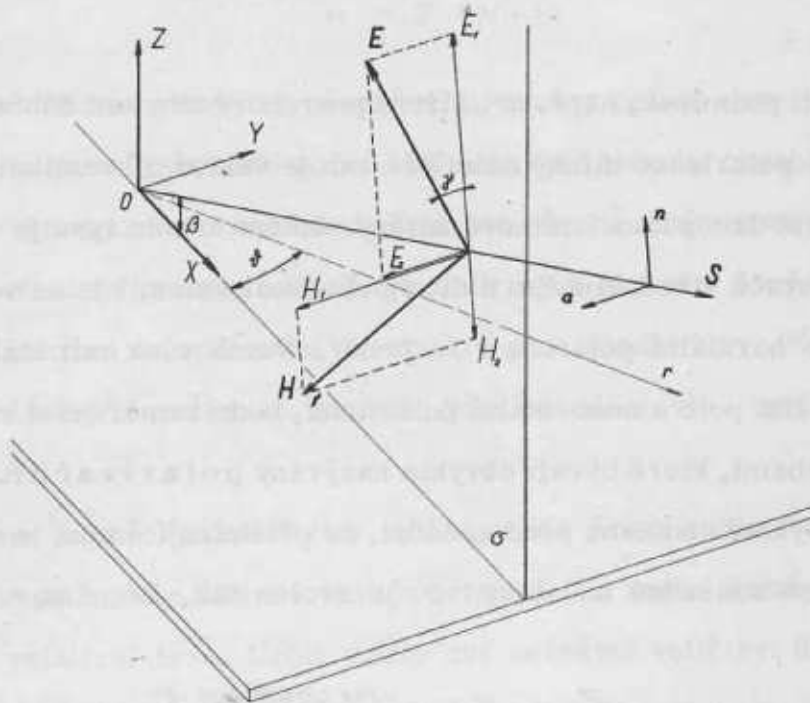
$j$  imaginární jednotka,

$r$  modul radiusvektoru bodu horizontální roviny, v kterém vyjadřujeme

$\vec{E}$  a  $\vec{H}$ ,

$\vartheta$  úhel mezi radiusvektorem  $r$  a rovinou  $\sigma$ ,

$\beta$  vertikální úhel směru šíření vlny.



Obr. 1

Na obr. 1 dále značí :

- $S$  Poyntingův vektor, který charakterizuje šíření elektromagnetické energie směrem i velikostí,
- $\gamma$  úhel polarizace,
- $\alpha$  rovina šíření vlny.

Z (1) a (2) i z obrázku vidíme, že směry vektorů pole i jejich fáze závisí na směru, z kterého vlna přichází, tj. na úhlech  $\nu$  a  $\beta$ . Této závislosti se využívá při RZ.

Směr vektoru pole je možno určit pomocí elektrického nebo magnetického dipólu, prakticky realizovaného krátkým vibrátorem nebo rámečkem malých rozměrů. Otáčíme-li dipólem, dostaneme maximum indukované elektromotorické síly tehdy, když směr osy dipólu bude totožný se směrem příslušného vektoru pole nebo se směrem hlavní osy příslušné elipsy polarizace. Tento směr je ale funkcí nejen směru  $\nu$  šíření vlny v horizontální rovině, ale i úhlu náklonu čela vlny  $\beta$  a úhlu polarizace  $\gamma$ . Jen tehdy, bude-li platit buď  $\beta = 0$  nebo  $\gamma = 0$ , je možné přesné zaměřování pomocí dipólu. V ostatních případech zaměříme směr s chybou [9]

$$\Delta\nu = \arctg (\sin\beta \operatorname{tg} \gamma) \quad (3)$$

Kromě toho se maxima a minima indukované elektromagnetické energie stávají méně výrazná.

Za určitých podmínek, např. při šíření povrchové vlny nad dobře vodivým prostředím, je úhel polarizace blízký nule. Při tom je vektor  $\vec{E}$  vertikální,  $\vec{H}$  horizontální a zaměřovat lze pomocí rámové antény. Anténa tohoto typu je velmi rozšířena hlavně u zaměřovačů středovlnného a dlouhovlnného pásma, kde se ve většině případů setkáváme s normální polarizací /  $\gamma = 0$ /. Nutno však mít stále na zřeteli, že objeví-li se složka pole s nenormální polarizací, bude zaměřování rámovou anténou doprovázeno chybami, které bývají obvykle nazývány polarizační.

V dalším výkladu budeme předpokládat, že přicházející vlna je vertikálně polarizována, počátek souřadné soustavy  $O$  je zvolen tak, že  $\psi_0 = 0$ , a že tedy můžeme psát :

$$\vec{E} = \vec{n} E_1 e^{-jkr \cos\beta \cos\nu} \quad (4)$$



V praxi se elektromagnetická energie šíří od vysílače k přijímači po více dráhách; kromě přímé vlny se šíří také vlny odražené od různých terénních předmětů a tvarů, od jednotlivých vrstev a nehomogenních oblastí atmosféry atd. Elektromagnetické pole vzniklé interferencí přímé vlny a  $N$  odražených vln vyjádříme součtem:

$$E = \sum_{i=0}^N E_{i1} e^{j\psi_i} e^{-jkr \cos\beta_i \cos(\lambda - \alpha_i)} \quad (5)$$

$\alpha_i$  vodorovný úhel, který svírá směr  $i$ -té odražené vlny se směrem přímé vlny,  
 $\psi_i$  fázový posun  $i$ -té vlny vůči vlně přímé.

Každá vlna je charakterizována čtyřmi nezávislými parametry /  $E_{i1}$ ,  $\psi_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\alpha_i$  /, celé interferenční pole pak  $4(N+1)$  parametry. Jako vztažné hodnoty vezměme fázi a amplitudu jedné z vln. Pro popsání vzniklého pole je nyní potřeba  $4N+2$  neznámých veličin. Jedna anténa poskytne informaci o amplitudě a fázi pole v daném bodě. Možné je ale pouze relativní měření fáze a amplitudy. Z  $n$  antén tak získáme  $2(n-1)$  údajů. Když známe prostorové rozmístění antén, můžeme sestavit  $2n-2$  rovnic, vyjadřujících vztahy mezi parametry vln a změřenými relativními amplitudami a fázemi. Abychom určili parametry všech přicházejících vln, musí být počet rovnic roven počtu neznámých, čili

$$n = 2(N+1) \quad (6)$$

Rádiový zaměřovač, který by přesně určil směry přímé vlny i všech odražených vln, by tedy musel mít větší počet antén. Kromě toho by obsahoval velmi složitá přijímací a vyhodnocovací zařízení. Z těchto důvodů zatím neexistují rádiové zaměřovače takového "mnohovlnného" typu. Princip činnosti současných rádiových zaměřovačů je založen na zjišťování parametrů pouze jedné vlny. Působí-li na takový "jednovlnný" rádiový zaměřovač složitě pole několika vln, vznikají chyby zvané interferenční.

Při příjmu jediné /přímé/ vlny nelze použít údaje antén o amplitudách pole, které - pokud neuvažujeme útlum - jsou konstantní. Z  $n$  antén získáme tedy jen  $(n-1)$  údaj měřením relativní fáze. Určit máme dvě neznámé veličiny: úhly příchodu vlny v horizontální a vertikální rovině. K tomu jsou nutné tři antény.

V praxi se často požaduje měření pouze azimutu. Vyloučíme-li možnost měření vertikálního úhlu, je možné ještě snížit nezbytný počet antén na dvě. Dosáhneme toho dvěma cestami:

1/ Úhel náklonu čela vlny se obvykle pohybuje v úzkém intervalu kolem nulové hodnoty. Jestliže místo uskutečněné hodnoty  $\beta$  dosadíme do (4) její střední hodnotu /nulu/, můžeme realizovat zaměřovač se dvěma nepohyblivými anténami. Chyby, které v důsledku neznalosti přesné hodnoty  $\beta$  vzniknou, nazýváme výškové. Název souvisí s jednou z příčin vzniku těchto chyb, totiž s různou výškou přijímače a vysílače. Druhá příčina má svůj původ v existenci nenulových složek vektorů pole ve směru šíření v malých výškách nad zemským povrchem [5], [6].

2/ Ze vzorce (4) je vidět, že zvolíme-li v jedné ze dvou antén nulovou fázi, lze otáčením druhé antény najít takovou polohu, kdy fáze v ní bude rovněž identicky rovna nule, bez ohledu na velikost úhlu  $\beta$ . Jde tedy v podstatě o nalezení takové polohy otáčivé dvojice antén, při níž jsou obě antény v místech se stejnou fází pole - na jedné izofázi. Je-li elektromagnetické pole vytvořeno jen přímou vlnou, je spojnice antén v této poloze kolmicí na hledaný směr.

#### Rozdělení rádiových zaměřovačů

Podle principu činnosti můžeme rádiové zaměřovače rozdělit do těchto skupin:

1. Zaměřovače s jedním otáčivým dipólem /elektrickým nebo magnetickým/.

Výsledky měření jsou zatíženy polarizačními chybami.

2. Zaměřovače se dvěma pevnými anténami. Projevují se výškové chyby.

3. Zaměřovače s otáčivou dvojicí antén.

4. Jednovlnné zaměřovače se třemi a více pevnými anténami.

5. Zaměřovače mnohovlnného typu.

U zaměřovačů v bodech 1. až 4. se uplatňují interferenční chyby.

Při použití více antén v rádiových zaměřovačích je informace o úhlových souřadnicích zdroje elektromagnetické energie obsažena ve fázích intenzit elektrického pole a tedy také ve fázích napětí indukovaných v anténách. Existují dva principiálně odlišné způsoby dalšího zpracování těchto napětí a získání potřebné informace.

Při prvním způsobu se napětí z antén ještě před přivedením na vstup přijímačů kombinují tak, že buď amplituda nosné vlny výsledného signálu, nebo parametry jeho amplitudové modulace jsou funkcí hledaného směru. Zaměřovače tohoto typu se nazývají amplitudové.

V druhém případě se měří fázové rozdíly nosných signálů jednotlivých antén; mluvíme o fázových zaměřovačích.

Do první skupiny můžeme počítat i metody, při nichž se využívá směrových vlastností jediné antény. Směrnost antén je totiž důsledkem interference parciálních elektromagnetických polí, jejichž zdroji jsou jednotlivé elementy antény /např. jednotlivé části parabolického reflektoru/; jde tedy též o kombinaci signálů z bodů pole s různými souřadnicemi.

## Amplitudové metody

### Metoda maxima

Podstata metody je velmi jednoduchá: Používá se antén s co nejostřeji vyjádřeným maximem směrového diagramu. Operátor otáčením antény vyhledá směr, v němž je přijímaný signál největší. Pak směr osy hlavní smyčky směrového diagramu antény odpovídá směru na vysílač.

Ve skutečnosti neurčí operátor maximum příjmu přesně, ale se střední úhlovou chybou, kterou označíme  $\sigma_{\psi}$ . Její velikost bude záviset na velikosti fluktuací výstupní veličiny, jejíž maximum operátor hledá. Fluktuace vznikají např. vlivem atmosférických i obvodových šumů. Na velikost chyby budou mít vliv též nelinearity celého přijímacího a vyhodnocovacího traktu včetně operátora, které způsobí, že zařízení bude mít konečnou rozlišovací schopnost.

Pokusme se nyní odhadnout velikost úhlové chyby  $\sigma_{\psi}$ .

Směrový diagram běžných mikrovlnných antén můžeme aproximovat funkcí [7],

$$[11]: \quad f(\psi) = \frac{\sin\left(2,8 \frac{\psi}{\theta}\right)}{2,8 \frac{\psi}{\theta}} \quad (7)$$

kde  $\theta$  je šířka hlavní smyčky směrového diagramu na úrovni polovičního výkonu.

Předpokládejme, že fluktuace signálu se řídí normálním zákonem rozložení, jsou stacionární a jejich střední kvadratická chyba je  $\sigma_N$ . Poměr signálu k šumu je dán vztahem

$$Q_{om} = \frac{U_{sm}}{\sigma_N \sqrt{2}} \quad (8)$$

kde  $U_{sm}$  je maximální napětí signálu při  $\psi = 0$ .

Chceme-li uvážit vliv konečné rozlišovací schopnosti, pak místo poměru signálu a šumu zavedeme relativní rozlišovací schopnost vztahem :

$$Q_{om}^* = \frac{U_{sm}}{U_{\Delta s}} \quad (9)$$

kde  $U_{\Delta s}$  je nejmenší rozdíl dvou již rozlišitelných napětí. Dosazením a rozložením (7) v řadu, z níž uvažujeme pouze první dva členy, dostaneme:

$$\sigma_{\delta} \doteq 0,87 \theta Q_{om}^{-\frac{1}{2}} \quad (10)$$

Jestliže signál prochází přes detektor a nízkofrekvenční filtr, musíme za  $Q_{om}$  dosadit hodnotu  $Q_{1m}$ , jejíž velikost je odvozována ve statistické radiotechnice [10]:

$$Q_{1m} = \frac{Q_{om}}{2} \left( \frac{2 B_2}{B_1} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (11)$$

kde  $B_2$  je šířka pásma propustnosti NF filtru,  $B_1$  je šířka pásma přijímače. Vztah (11) platí přesně pro kvadratický detektor; s chybou menší než 8% jej lze použít i pro lineární detektor.

Z výrazu (10) vidíme, že kromě poměru signálu ku šumu má na přesnost měření vliv hlavně šířka hlavní smyčky směrového diagramu antény. Proto lze tuto metodu s výhodou užít na velmi krátkých vlnách, kde je možné snáze realizovat vysoce směrové antény.

Jiná možnost jak zúžit hlavní smyčku směrového diagramu a tím zvýšit přesnost, je použití dvou antén zapojených tak, že jejich napětí se sčítají. Vzdálenost antén označme  $\alpha$ . Za předpokladu, že obě antény jsou totožné, je výsledný směrový diagram dvojice antén:

$$f_v(\vartheta) = f(\vartheta) \cos\left(\pi \frac{\alpha}{\lambda} \sin \vartheta\right) \quad (12)$$

kde  $f(\vartheta)$  je směrový diagram každé z antén.

Efektivní šířka hlavní smyčky výsledného směrového diagramu dvojice antén je

$$\theta_e = \frac{1}{2 \frac{\alpha}{\lambda}} \quad (13)$$

Pro srovnání uveďme, že pro parabolické antény přibližně platí:

$$\theta = \frac{1}{0,8 \frac{D}{\lambda}}$$

kde  $D$  značí průměr paraboloidu antény v uvažované rovině.



## Metoda minima

Jestliže analyzujeme vztah (10), zjistíme, že přesnost metody maxima je tak nízká, že omezuje její použití pro geodetické účely.

Nízkou přesnost vysvětlujeme tím, že okolí maxima směrové charakteristiky je ploché; proto i malá odchylka napětí od maximální hodnoty způsobí značné úhlové chyby.

Tuto nevýhodu odstraňuje další z popisovaných metod, tzv. metoda minima. Její princip je obdobný. Operátor však otáčením antény nevyhledává směr maximálního, ale minimálního příjmu. K tomu je třeba, aby anténní systém zaměřovače měl směrový diagram s ostrým minimem v některém směru. Takový anténní systém lze realizovat např. spojením dvou antén v protifázi. Směrový diagram je pak popsán funkcí:

$$f_v(\vartheta) = f(\vartheta) \sin\left(\pi \frac{a}{\lambda} \sin \vartheta\right) \quad (14)$$

Bereme v úvahu vliv šumů a konečně rozlišovací schopnosti, podobně jako u metody maxima; předpokládáme, že platí  $Q_{om} \gg 1$ . Pak pro střední kvadratickou chybu metody minima dostaneme:

$$\sigma_{\vartheta} \doteq 0,32 \frac{\lambda}{a} Q_{om}^{-1} \quad (15)$$

Při kvadratickém nebo lineárním detektoru a NF filtru dosadíme za  $Q_{om}$  z (11).

Podobně jako při metodě maxima měla rozhodující vliv na přesnost měření směrovost antény, přebírá tuto úlohu při zaměřování metodou minima poměr  $a/\lambda$ . Viděli jsme ale, že ve (13) tentýž poměr vystupoval při vyjádření efektivní šířky svazku dvojice antén. To nám umožní zhruba porovnat přesnost obou metod. Ze vztahů (10), (13) a (15) dostaneme poměr středních kvadratických chyb metody minima a maxima:

$$\frac{\sigma_{\vartheta_{min}}}{\sigma_{\vartheta_{max}}} = 0,73 Q_{om}^{-\frac{1}{2}} \quad (16)$$

Podle toho je zaměřování metodou minima podstatně přesnější než metodou maxima /poměr signálu k šumu bývá mnohem větší než jedna/.

Metoda minima se přesto samostatně používá poměrně zřídka; její nevýhodou je

prakticky nulová velikost signálu v okamžiku správného zaměření. Tím se vyřazují z činnosti některá důležitá zařízení v přijímačích, např. automatické doladování frekvence místního oscilátoru, automatické vyrovnávání zisku atd.

### Rovnosignální metoda

Jistým kompromisem mezi oběma uvedenými metodami je tzv. rovnosignální metoda. Signál v okamžiku zaměření není ani nulový, ani maximální; strmost zaměřovací charakteristiky je větší než u metody maxima, můžeme tedy očekávat i vyšší přesnost.

Při zaměřování rovnosignální metodou je třeba dvou antén, jejichž osy svírají stále úhel  $2\alpha$ . Operátor otáčí současně oběma anténami, až signály přijímané jednou i druhou anténou jsou stejné. Zaměřovaný vysílač pak leží ve směru osy úhlu  $2\alpha$ . Optimální velikost úhlu  $\alpha$  je odvozena např. v [9] a její hodnota je  $\theta/2$ . Vliv šumu můžeme vyjádřit podobně jako u předcházejících metod:

$$\sigma_{\alpha} \doteq 2,85 \theta Q_{em}^{-1} \quad (17)$$

Velikost chyby je přímo úměrná šířce směrového diagramu a nepřímo úměrná poměru signálu k šumu.

### Fázová metoda

Pro jednoduchost budeme brát v úvahu rádiové fázové zaměřovače jen se dvěma anténami /někdy známé pod názvem *interferometry*/. Jak bylo ukázáno v úvodu, je možné je používat pro zjišťování jedné úhlové souřadnice, kterou bývá nejčastěji horizontální úhel. Zaměřovače se používají ve dvojím provedení: anténní dvojice je buď pevná nebo otáčivá.

Při pevných anténách se směr zjišťuje výpočtem z fázového rozdílu napětí z obou antén, při otáčivé dvojici se hledá taková poloha, kdy je fázový rozdíl roven nule.

Oba případy se z hlediska rozboru přesnosti příliš neliší /kromě vlivu výškových chyb/, budeme si proto dále všimnout jen druhého.

Vzdálenost antén opět označme  $a$ , úhel mezi normálou spojnice antén a směrem na vysílač  $\psi$ . Pro fázový rozdíl signálů obou antén  $\varphi$  můžeme napsat vztah:

$$\varphi = 2\pi \frac{a}{\lambda} \sin \psi \quad (18)$$

pro malé úhly

$$\varphi \approx 2\pi \frac{a}{\lambda} \psi \quad (19)$$

Jedním z hlavních zdrojů chyb při měření fázovou metodou je nepřesné odečtení fázového rozdílu, způsobené nejen vnitřními, ale i vnějšími vlivy. K vnějším vlivům patří v první řadě šumy.

Jestliže změříme fázový rozdíl se střední chybou  $\sigma_\varphi$ , pak střední úhlová chyba

$$\sigma_\psi = \frac{\sigma_\varphi}{2\pi \frac{a}{\lambda}} \quad (20)$$

Ve statistické radiotechnice se odvozuje závislost střední chyby fáze na poměru signálu k šumu [3], [4], [10]:

$$\sigma_\varphi = \begin{cases} \frac{\pi}{\sqrt{3}} \exp\left\{-\frac{Q_{om}^2}{2}\right\} & Q_{om} \leq 1 \\ Q_{om}^{-1} & Q_{om} > 1 \end{cases} \quad (21)$$

V případě inerčního fázoměru platí přibližně [10]

$$\sigma_{\varphi_i} = \sigma_\varphi \sqrt{\frac{2B_2}{B_1}} \quad (22)$$

Dosaďme do (20) a dostaneme:

$$\sigma_\psi = \begin{cases} 0,29 \frac{\lambda}{a} \left(1 - \frac{1}{2} Q_{om}^2\right) & Q_{om} \leq 1 \\ 0,16 \frac{\lambda}{a} \frac{1}{Q_{om}} & \end{cases} \quad (23)$$

Ze srovnání výrazu (23) pro střední chybu fázové metody s výrazy (10), (15) a (17) vyplývá, že z hlediska vlivu šumů a konečné rozlišovací schopnosti je ze všech uvedených metod RZ nejvýhodnější metoda fázová. Po ní následuje zaměřovací metoda minima. Potíže spojené u této metody se zmizením signálu v okamžiku zaměření způsobují, jak již bylo řečeno, že metody se samostatně téměř neuvžívají.

Dostí častá - obzvlášť v monoimpulsních radiolokátorech - je kombinace metody minima a maxima [2], [12]. Pro zaměřování v jedné rovině obsahuje takové zařízení

dvě antény, jejichž signál se přivádí na speciální obvod, např. na tzv. kruhový hybrid. Na prvním ze dvou výstupů kruhového hybridu se vytváří součet signálů obou antén, na druhém jejich rozdíl. Součtový signál se vede na vstup kanálu měření délky a současně na vstup kanálu hrubého měření úhlu metodou maxima. Tento signál je v okamžiku správného zaměření maximální, proto je možné ho použít pro řízení zisku přijímače a frekvence místního oscilátoru. Pro jemné měření úhlu se využívá rozdílový signál z kruhového hybridu. Kanál jemného měření úhlu pracuje metodou minima.

Šumy nejsou jedinou příčinou vzniku směrových chyb při RZ. Velký vliv mají efekty spojené se šířením energie v prostoru. Z nich si všimneme interferenčních chyb, vznikajících při odrazech vln.

### Interferenční chyby

Pro hrubý odhad vlivu odrazů na vznik interferenčních chyb stačí uvažovat značně zjednodušenou situaci: Od vysílače se k přijímači šíří kromě přímé vlny pouze jedna odražená vlna. Úhel mezi směry těchto vln v místě rádiového zaměřovače označme  $\nu$ . U obou vln předpokládejme normální lineární polarizaci; poměr amplitudy odražené vlny k amplitudě přímé vlny označme  $q$ .

Elektromagnetické pole, které vznikne interferencí obou vln, bude pro naše účely dostatečně popsáno křivkami, na nichž je fáze vektorů pole konstantní - izofázemi. Bude-li přicházet pouze přímá vlna ( $q = 0$ ), budou izofáze tvořeny systémem rovnoběžných přímek kolmých ke směru příchodu vlny. Při  $q \neq 0$  mají izofáze tvar vlnovek /viz obr. 2 a 3/ [1]. Na obrázcích značí  $x$  a  $y$  pravoúhlé souřadnicové osy v horizontální rovině, osa  $y$  je rovnoběžná se směrem příchodu přímé vlny. Izofáze jsou symetricky rozloženy kolem osy  $x$ . Jejich délková perioda  $x_0$  závisí na úhlu  $\nu$ :

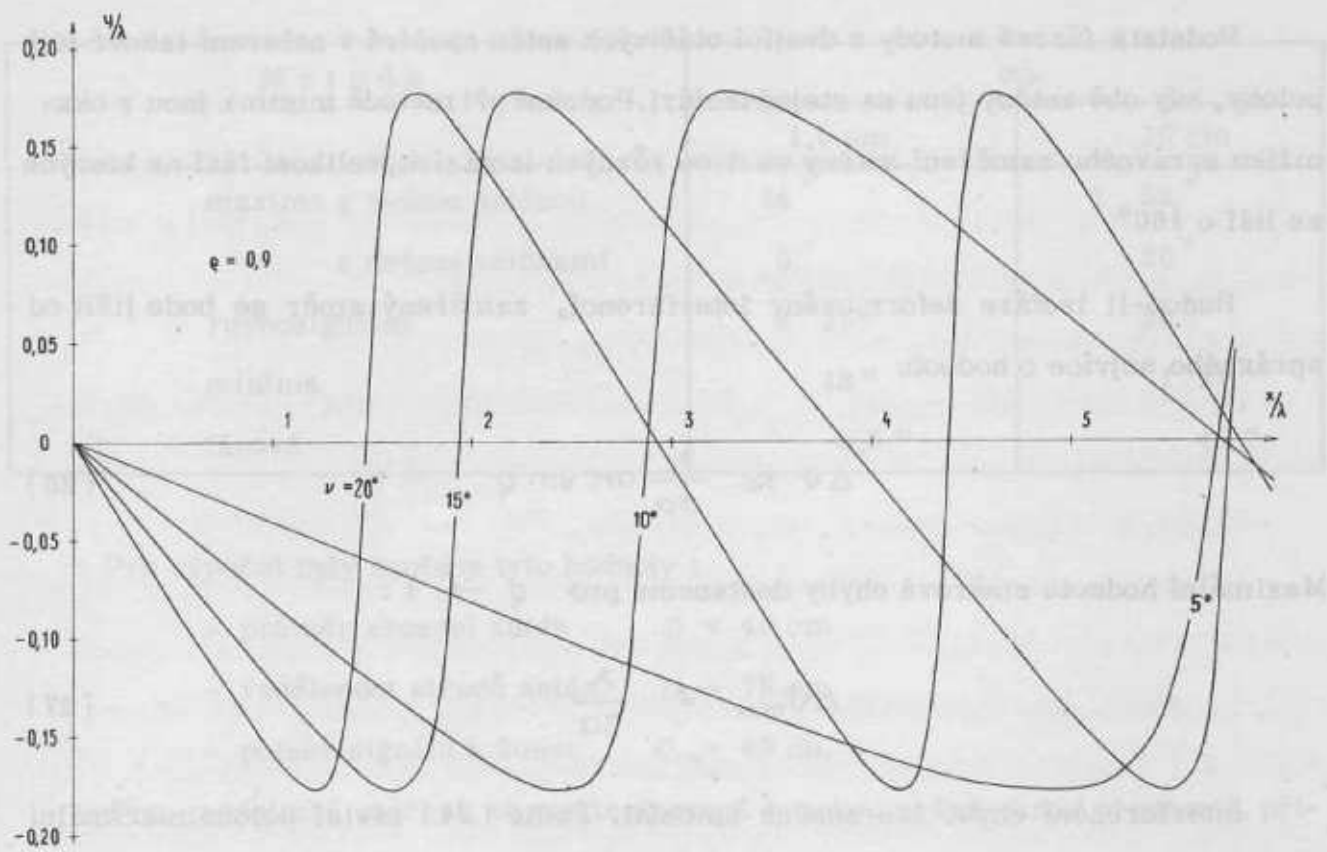
$$x_0 = \lambda \operatorname{cosec} \nu \quad (24)$$

Zajímají nás dále maximální odchylky izofází  $y_{max}$ , způsobené rušivou vlnou. Platí:

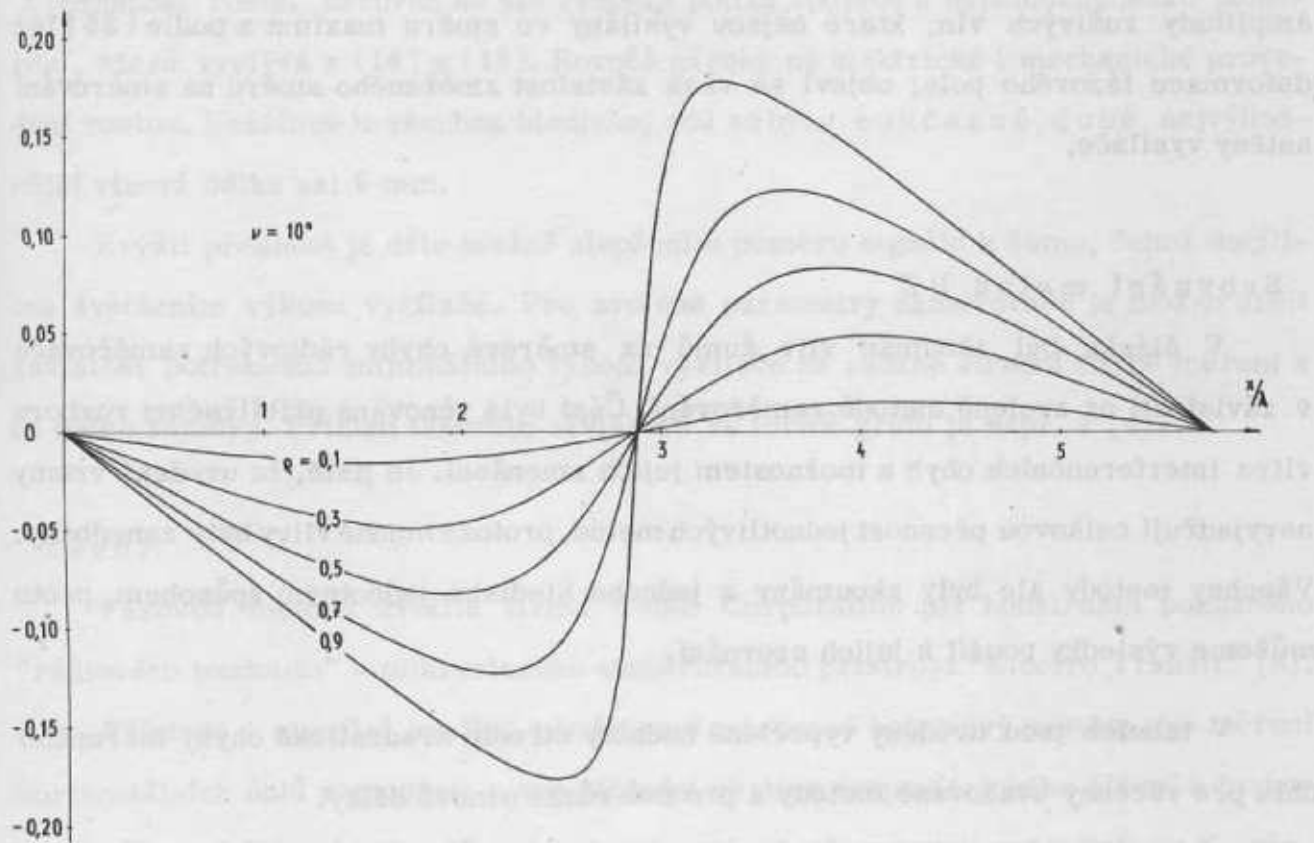
$$y_{max} = \frac{\lambda}{2\pi} \arcsin q \quad (25)$$

Čím větší je amplituda rušivé vlny, tím více se izofáze odchyľují od svých středních přímek. Největší možná odchylka se rovná  $\pm \frac{\lambda}{4}$ .





Obr. 2



Obr. 3

Podstata fázové metody s dvojicí otáčivých antén spočívá v nalezení takové její polohy, kdy obě antény jsou na stejné izofázi. Podobně při metodě minima jsou v okamžiku správného zaměření antény na dvou různých izofázích, velikost fází na kterých se liší o  $180^\circ$ .

Budou-li izofáze deformovány interferencí, zaměřený směr se bude lišit od správného nejvíce o hodnotu

$$\Delta \psi \approx \frac{\lambda}{\pi a} \arcsin q \quad (26)$$

Maximální hodnotu směrové chyby dostaneme pro  $q \rightarrow 1$ :

$$\Delta \psi_{\max} \doteq \frac{\lambda}{2a} \quad (27)$$

Interferenční chybu lze značně zmenšit. Podle (24) závisí poloha maximální odchylky izofáze na vlnové délce. Budeme-li měnit vlnovou délku v dosti širokých mezích a z jednotlivých výsledků vezmeme průměr, podstatně zvýšíme přesnost.

Snížení směrové chyby docílíme také užitím směrových antén; tím se sníží amplitudy rušivých vln, které nejsou vysílány ve směru maxima a podle (25) též deformace fázového pole; objeví se však závislost změřeného směru na směrování antény vysílače.

#### Srovnání metod RZ

V článku byl zkoumán vliv šumů na směrové chyby rádiových zaměřovačů v závislosti na zvolené metodě zaměrování. Část byla věnována přibližnému rozboru vlivu interferenčních chyb a možnostem jejich zmenšení. Je jisté, že uvedené vztahy nevyjadřují celkovou přesnost jednotlivých metod, protože mnohé vlivy byly zanedbány. Všechny metody ale byly zkoumány z jednoho hlediska jednotným způsobem, proto můžeme výsledky použít k jejich srovnání.

V tabulce jsou uvedeny vypočtené hodnoty střední kvadratické chyby měřeného úhlu pro všechny uvažované metody a pro dvě různé vlnové délky.

Metoda	$\sigma_{\beta}$	
	1,5 cm	10 cm
maxima s jednou anténou	14'	1 33'
s dvěma anténami	3'	20'
rovnosignální	4' 35"	30'
minima	13"	1' 27"
fázová	6,5"	43"

Pro výpočet byly zvoleny tyto hodnoty :

- průměr zrcadel antén  $D = 40$  cm
- vzdálenost středů antén  $a = 75$  cm
- poměr signálu k šumu  $Q_{om} = 40$  db.

Pro geodetická měření, charakterizovaná vysokou požadovanou přesností, přicházejí podle této tabulky v úvahu dvě metody: Amplitudová metoda minima a fázová metoda s otáčivou dvojicí antén. Přesnost obou těchto metod závisí na vlnové délce /přesněji na poměru  $\lambda/a$ /, jak vidíme z (15), (23) i z tabulky; se zmenšováním  $\lambda$  přesnost roste. Zároveň se ale zvětšují potíže spojené s nejednoznačností zaměření, která vyplývá z (14) a (18). Rovněž nároky na elektrické i mechanické provedení rostou. Uvážíme-li všechna hlediska, zdá se být v současné době nejvýhodnější vlnová délka asi 8 mm.

Zvýšit přesnost je dále možné zlepšením poměru signálu k šumu, čehož docílíme zvětšením výkonu vysílače. Pro zvolené parametry zaměřovače je možno určit závislost potřebného minimálního výkonu vysílače na zadané střední chybě měření a na délce záměry. Příklad takovéto závislosti ve formě grafu je např. v [4].

## Závěr

Fázovou metodu zvolila firma Cubic Corporation při konstrukci pokusného "rádiového teodolitu" - mikrovlnného zaměřovacího přístroje "Electro Transit" [8].

Přístroj i signální vysílač představují přenosný bateriový systém pro měření horizontálních úhlů v geodézii a pro základní výzkum troposférického šíření a turbulence. Vlastní úhломěrné zařízení je kombinací interferometru pracujícího v  $K_a$  pásmu /asi 8 mm vlnová délka/ s optickým teodolitem.

Protože měření úhlu je vlastně postupné měření dvou směrů, je vhodnost použití rádiových metod podmíněna malými časovými změnami směru příchodu elektromagnetických vln. Měření těchto změn byl první cíl série ověřovacích pokusů, které firma prováděla. Dalšími cíli bylo zjišťování opakovatelnosti zaměření a měření úhlové přesnosti. Výsledky pokusných měření lze shrnout:

Zaměření je opakovatelné se střední chybou  $\sigma < 1''$ ,

Střední chyba měření úhlů  $\sigma \leq 3''$ . Tato hodnota byla získána současným měřením optickým teodolitem Wild T3.

Závěrem uvedeme stručný popis přístroje.

Přístroj se skládá z nosné konstrukce /je použit nosič alhidády teodolitu s kompletním zařízením pro čtení úhlových hodnot a s pohybovými a aretačními mechanismy/, na které jsou připevněny dvě parabolické antény o průměru asi 45 cm. Vzdálenost antén je  $108 \lambda$ . Na nosné konstrukci je dále umístěn blok přijímače.

Pro vlastní měření fázového rozdílu je v přístroji užitá tzv. nízkofrekvenční metodika; fázový rozdíl se měří na nízké frekvenci, získané směřováním se signálem místního oscilátoru. Pro zmenšení vlivu odrazů je přístroj přeladitelný v pásmu širokém 1,6 GHz.



## Literatura

- [1] Baur E.: Untersuchung über die Wirkung von Interferenzfeldern ..., hab. práce, Darmstadt 1964
- [2] Carpentier M.: Sovremennaja teorija radiolokacii, Moskva 1965
- [3] Cvetnov V.V.: Porogovaja čuvstvitelnost' fazometričeskich zveněv, Radiotekhnika, t. 17, č. 1, 1962, str. 68
- [4] Cvetnov V.V.: Porogovaja čuvstvitelnost' fazovyh radiopelengatorov, Radiotekhnika, t. 17, č. 3, 1962, str. 48
- [5] Černyj F.B.: Rasprostraněnije radiovoln, Moskva 1962
- [6] Fok V.A.: Difrakcija radiovoln, Izv. Ak. Nauk SSSR, 1946
- [7] Fradin A.Z.: Anteny sverchvysokich častot, Moskva 1957
- [8] Griffin M.D.: Microwave Azimuth Measuring System, IEEE Trans., Vol. AES-2 č. 1, 1966, str. 89
- [9] Kukes I.S., Starik M.E.: Osnovy radiopelengacii, Moskva 1964
- [10] Levin B.R.: Teoretičeskije osnovy statističeskoj radiotekhniki, Moskva 1969
- [11] Markov G.T.: Antenny, Moskva - Leningrad 1960
- [12] Sborník pod red. V.E. Duleviče : Teoretičeskije osnovy radiolokacii, Moskva 1964
- [13] Stratton J.A.: Teorie elektromagnetického pole, Praha 1961

## Zákonitosti generalizace čarových prvků na československých topografických mapách

V článku jsou uvedeny výsledky zkoumání některých zákonitostí generalizace čarových prvků na postupně odvozovaných československých topografických mapách. Vzhledem k tomu, že teoretická řešení zásad kartografické generalizace nejsou zvláště u čarových prvků dostatečně rozpracována, mohou zjištěné a analyticky vyjádřené zákonitosti generalizace na stávajících mapách tvořit vhodnou součást studia celého problému.

### Použité vzorce analytického vyjádření generalizace

Generalizace čarových prvků byla vyšetřena na podkladě matematického aparátu, jehož teoretická podstata je komplexně zpracována v [1]. Zákony výběru a zeseobecnění tvarů čarových prvků při generalizaci jsou v této studii definovány obecnými rovnicemi tvaru:

$$n_{(P_{oi})} \% = e_{oi} n_{(P_o)}^{-f_{oi}} h_{(P_o)}^{g_{oi}}$$

$$n_{(P_{oi})} = \frac{e_{oi}}{100} n_{(P_o)}^{1-f_{oi}} h_{(P_o)}^{g_{oi}}$$

$$h_{(P_{oi})} \% = j_{oi} n_{(P_o)}^{-k_{oi}} h_{(P_o)}^{t_{oi}}$$

$$h_{(P_{oi})} = \frac{j_{oi}}{100} n_{(P_o)}^{-k_{oi}} h_{(P_o)}^{1+t_{oi}}$$

Každá rovnice vyjadřuje závislost mezi třemi ukazateli hustoty čarových prvků, z nichž dva se vztahují k mapě podkladové a jeden k mapě odvozené.

Ve vzorcích značí

$n_{(P_0)}$  ,  $h_{(P_0)}$  počet, resp. souhrnnou délku čarových prvků na podkladové mapě v rámci vztažné plochy  $P_0$  ,

$n_{(P_{oi})}$  ,  $h_{(P_{oi})}$  počet, resp. souhrnnou délku čarových prvků na mapě  $i$ -tého odvození v rámci vztažné plochy  $P_{oi}$  ,

$n_{(P_{oi})}\%$  ,  $h_{(P_{oi})}\%$  tytéž údaje, vyjádřené v procentech původního počtu, resp. původní souhrnné délky prvků v podkladové mapě,

$e_{oi}$  ,  $f_{oi}$  násobné parametry rovnic,

$g_{oi}$  ,  $k_{oi}$  ,  $t_{oi}$  mocninové parametry rovnic.

Jestliže plochy  $P_0$  a  $P_{oi}$  zobrazují totožné území /totožného vymezení v terénu/, platí:

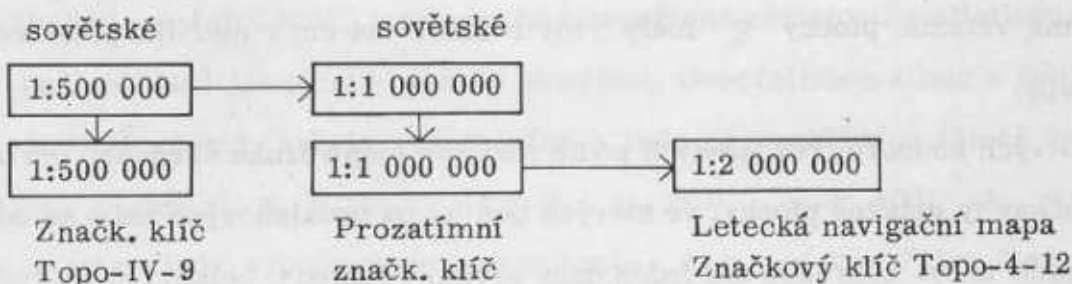
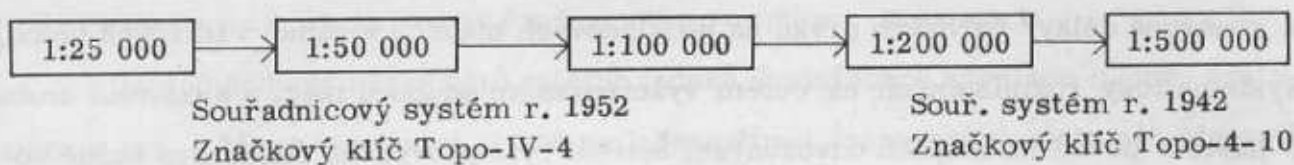
$$P_{oi} = P_0 \left( \frac{m_0}{m_i} \right)^2$$

kde  $m_0$  ,  $m_i$  jsou měřítková čísla podkladové, resp. odvozené mapy.

Uvedené vzorce vyjadřují vztah mezi mapou podkladovou a mapou bezprostředně odvozenou ( $i=1$ ), nebo mapou po několikerém odvození ( $i > 1$ ). Pro charakter /typ/ generalizace jsou rozhodující hodnoty násobných a mocninových parametrů rovnic.

### Kartometrické a výpočetní práce

Potřebné kartometrické práce kurčení parametrů v užitých rovnicích byly uskutečněny na topografických mapách nejnovějších vydání, které byly v dané době k dispozici. Přehled vyšetřovaných map ukazuje schéma:



Z přehledu je patrné, že vyšetřování probíhalo ve dvou na sebe nenavazujících měřítkových stupnicích map 1:25 000 až 1:500 000 a 1:500 000 až 1:2 000 000. Nebylo bohužel možno vytvořit souvislou řadu z celé měřítkové škály, vzhledem k současnému stavu rozpracování topografických map.

U map měřítkové řady 1:25 000 až 1:500 000 je dodržena zásada, že mapy následného měřítka byly odvozeny z map měřítka předchozího. Všechny tyto mapy mají svůj původ v mapování v měř. 1:25 000 z let 1952-57. Při odvození map souřadnicového systému r. 1942 byla sice komunikační a vodní síť doplněna novými údaji, šlo však vesměs o údaje popisné.

Méně homogenní je druhá měřítková řada map 1:500 000 až 1:2 000 000. Mapy 1:500 000 a 1:1 000 000 byly odvozeny přímo ze sovětských podkladů /z r. 1947-54/. Zčásti byly ovšem doplněny podle našeho mapování z let 1952-57.

Vyšetřovány byly základní čarové prvky obsahu map, tj. tekoucí vodstvo a komunikace /železnice, silnice, nezp. cesty, polní a lesní cesty/. Zkoumání bylo zaměřeno pouze na prvky, které při daném odvození spadaly do oblasti tzv. možného výběru. Pokud pro určitý prvek a dané měřítko platil census úplného nebo téměř úplného zobrazení, nebyl vyšetřován. Podobně nebyly vyšetřovány prvky, které se na odvozené mapě vyskytovaly jen výjimečně.

Poměrně rozsáhlé zjišťování výskytu a rozložení uvedených prvků bylo uskutečněno na mapách v rámci celého území Československa. Pouze při rozboru generalizace 1:200 000 → 1:500 000 bylo zkoumání omezeno na prostor mapového listu M-33-C, vzhledem ke stavu rozpracovanosti nových map 1:500 000 v době kartometrických prací.

Vlastní kartometrické práce spočívaly ve výběrovém zjišťování hustoty /počtu a souhrnné délky/ čarových prvků na podkladových mapách v rámci vztažných ploch, systematicky rozmístěných na celém vyšetřovaném souboru map, a sledování změn v hustotě prvků na mapách odvozených. Šetření bylo provedeno zvlášť pro každé odvození, přičemž vztažné plochy  $\rho_0$  měly vždy rozměr 4x4 cm v měřítku příslušné podkladové mapy.

Z jednotlivých souborů, rozdělených podle měřítek map a druhu čarového prvku, byly pak vyloučeny ty vztažné plochy, ve kterých buď již na podkladových nebo na odvozených mapách nebyl zobrazen ani jeden daný prvek. Přehled o celkových počtech



$N$  vyšetřovaných vztažných ploch a o počtech  $N'$  vztažných ploch statisticky zpracovaných v jednotlivých souborech, ukazuje tab. 1.

Podklad. mapa	1:25 000	1:50 000	1:100 000	1:200 000	1:500 000	1:1 000 000
Odvoz. mapa	1:50 000	1:100 000	1:200 000	1:500 000	1:1 000 000	1:2 000 000
N	400	400	350	220	200	80
Prvek	N'					
Vodní toky	296	369	335	93	200	77
Želez- nice	-	-	-	133	182	74
Silnice	-	-	-	220	200	80
Nezpev. cesty	142	247	288	71	-	-
Polní cesty	377	357	204	-	-	-

Tab. 1

Z tabulky je patrné, že rozsah statisticky zpracovaných výběrových souborů je různý u jednotlivých odvození i prvků. Z toho vyplývá i různá váha vyvozených zákonitostí generalizace. Vzhledem k tomu, že účelem zkoumání bylo jen orientační určení charakteru a stupně generalizace, je tato skutečnost v dalších úvahách zanedbána.

Hodnoty parametrů v užitých rovnicích byly určeny z kartometricky vyšetřených údajů vyrovnáním, jako dvojnásobná korelace /v každé rovnici 3 proměnné/. Vzhledem k velmi značnému rozsahu výpočetních prací bylo celé řešení naprogramováno a výpočty uskutečněny na samočinném počítači Minsk 22.

#### Vztahy mezi podkladovými a odvozenými mapami

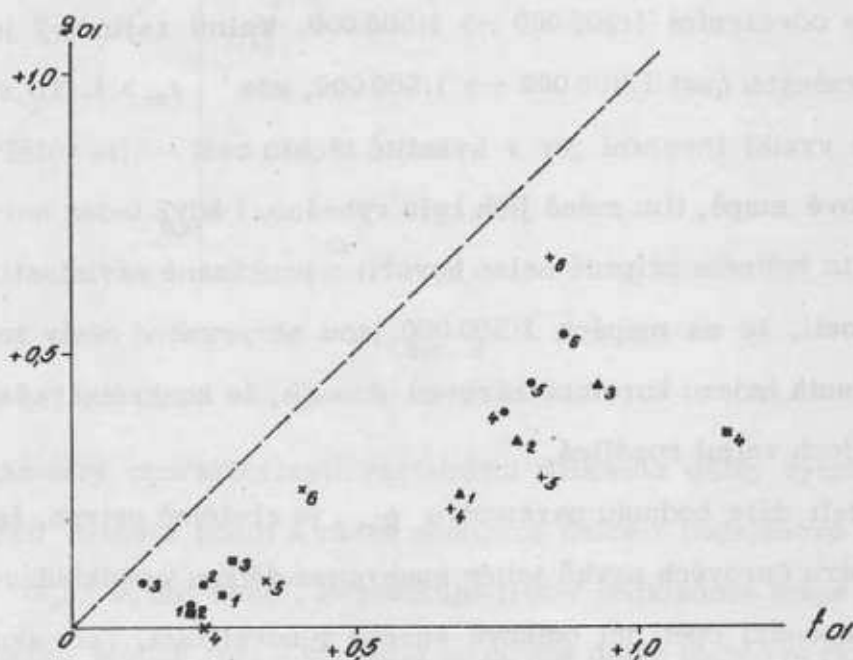
Zjištěné hodnoty parametrů, včetně indexů dvojnásobné korelace  $r$ , jsou sestaveny v tab. 2. Je pozoruhodné, že až na jeden případ /nezpevněné cesty při odvození 1:200 000  $\rightarrow$  1:500 000/, jsou všechny vypočtené závislosti statisticky prokazatelné. V řadě případů jde o velmi těsnou závislost. Generalizace silnic a železnic, do měř. 1:200 000 včetně, nebyla vyšetřována a bylo předpokládáno téměř úplné zobrazení těchto prvků /  $e_{01} = 100$ ,  $f_{01} = 0$ ,  $g_{01} = 0$ ,  $j_{01} = 100$ ,  $k_{01} = 0$ ,  $t_{01} = 0$ /. Parametry byly vypočteny pro vyjádření  $h_{(p_0)}$  v mm /1:  $m_0$ / a  $h_{(p_{01})}$  v mm /1:  $m_1$  /.

Prvek	$m_0$	25 000	50 000	100 000	200 000	500 000	1000 000
	$m_1$	50 000	100 000	200 000	500 000	1000 000	2000 000
vodní toky  ●	$r$	0,93	0,93	0,94	0,60	0,70	0,54
	$e_{01}$	87	80	73	29	35	22
	$f_{01}$	0,20	0,22	0,12	0,76	0,80	0,87
	$g_{01}$	0,05	0,09	0,09	0,40	0,45	0,54
	$r$	0,99	0,99	0,97	0,63	0,77	0,60
	$j_{01}$	42	42	42	50	80	69
	$k_{01}$	0,09	0,11	0,07	0,20	0,16	0,19
	$t_{01}$	0,04	0,06	0,05	-0,05	-0,08	-0,09
polní a lesní cesty  ▲	$r$	0,61	0,48	0,47	-	-	-
	$e_{01}$	43	26	22	-	-	-
	$f_{01}$	0,68	0,78	0,92	-	-	-
	$g_{01}$	0,26	0,36	0,46	-	-	-
	$r$	0,71	0,61	0,60	-	-	-
	$j_{01}$	28	15	24	-	-	-
	$k_{01}$	0,46	0,73	0,48	-	-	-
	$t_{01}$	0,16	0,34	0,13	-	-	-
nezpevněné cesty  ■	$r$	0,87	0,91	0,87	0,32	-	-
	$e_{01}$	79	89	65	39	-	-
	$f_{01}$	0,26	0,20	0,28	1,17	-	-
	$g_{01}$	0,07	0,04	0,13	0,35	-	-
	$r$	0,98	0,97	0,90	0,26	-	-
	$j_{01}$	47	48	38	122	-	-
	$k_{01}$	0,05	0,12	0,17	0,22	-	-
	$t_{01}$	0,00	0,01	0,06	-0,53	-	-
silnice  +	$r$	-	-	-	0,70	0,61	0,60
	$e_{01}$	(100)	(100)	(100)	91	63	9
	$f_{01}$	(0)	(0)	(0)	0,66	0,81	0,84
	$g_{01}$	(0)	(0)	(0)	0,22	0,29	0,68
	$r$	-	-	-	0,76	0,66	0,64
	$j_{01}$	(100)	(100)	(100)	93	120	73
	$k_{01}$	(0)	(0)	(0)	0,10	0,01	0,10
	$t_{01}$	(0)	(0)	(0)	-0,17	-0,46	-0,13
železnice  ×	$r$	-	-	-	0,92	0,84	0,90
	$e_{01}$	(100)	(100)	(100)	100	76	36
	$f_{01}$	(0)	(0)	(0)	0,22	0,34	0,40
	$g_{01}$	(0)	(0)	(0)	0,01	0,10	0,27
	$r$	-	-	-	0,98	0,93	0,84
	$j_{01}$	(100)	(100)	(100)	34	49	40
	$k_{01}$	(0)	(0)	(0)	0,11	0,14	0,23
	$t_{01}$	(0)	(0)	(0)	0,04	-0,01	0,06

Tab. 2

Zjištěné hodnoty parametrů poskytují řadu poznatků o stupni a charakteru generalizace, užitě při zpracování československých topografických map. Pro lepší názornost jsou v dalších úvahách hodnoty parametrů graficky znázorněny v různých vzájemných vazbách.

Mocninové parametry  $f_{01}$  a  $g_{01}$  /obr. 1/ charakterizují variabilitu stupně výběru v závislosti na počtu a délce čarových prvků v podkladové mapě.



Obr. 1

Především je patrné, že ve všech případech je  $f_{01} > 0$  což značí, že bylo užití proměnného stupně výběru, tj. závislého na počtu prvků v podkladových mapách. Proměnný stupeň výběru zobrazuje v prostorech s chudším výskytem daného prvku větší procento z jeho původního počtu a naopak. Zkresluje tedy proporcionalitu v množství prvků na jednotku plochy, což je případ v kartografické praxi běžný a teoreticky odůvodnitelný.

Výběr se blíží proporcionalitě /malá hodnota  $f_{01}$ / zejména při generalizaci vodních toků a nezpevněných cest až do odvození 1:100 000 → 1:200 000 včetně, dále u železnic při všech odvozeních. Tento jev plně odpovídá teoretickým předpokladům. Je totiž zřejmé, že nízkou hodnotu bude mít parametr  $f_{01}$  při celkově velkém stupni výběru /do odvozené mapy je vybráno vysoké procento původního počtu prvků na

mapě podkladové/, neboť v tomto případě se ani proporcionalita v hustotě prvků příliš nezkrusí. Ze stejných příčin se vyskytuje relativně menší hodnota  $f_{01}$  u generalizace vodních toků 1:100 000  $\rightarrow$  1:200 000, oproti generalizacím předchozím. Způsobuje to velmi podrobné převzetí zákresu vodní sítě z map 1:100 000 do map 1:200 000 souř. syst. 1942.

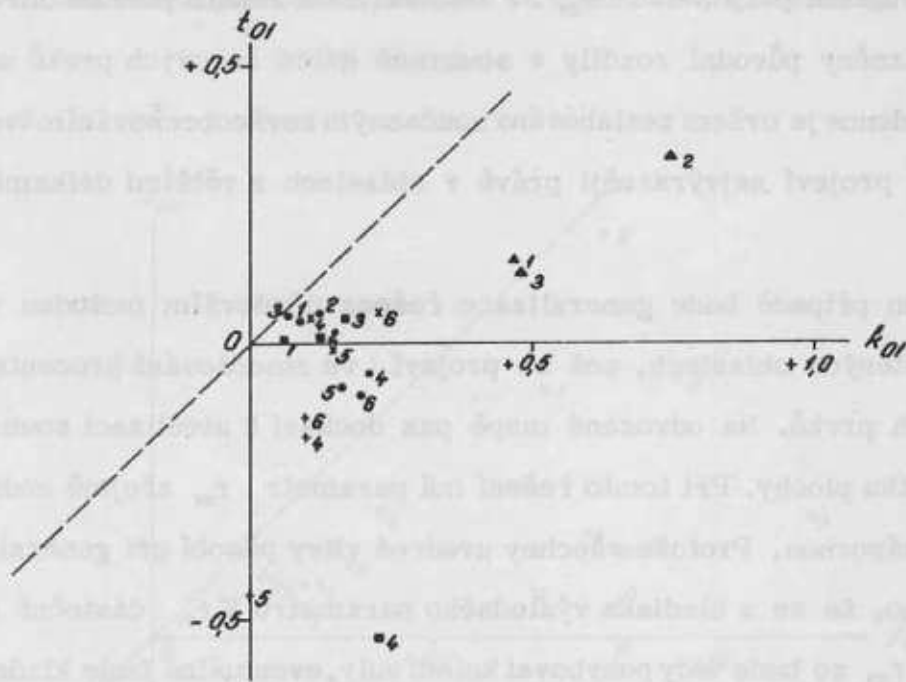
Větší hodnota parametru  $f_{01}$  se správně vyskytuje u prvků silně generalizovaných. Jde o polní a lesní cesty, počínaje již prvním odvozením a o většinu ostatních prvků, počínaje odvozením 1:200 000  $\rightarrow$  1:500 000. Velmi zajímavý je případ generalizace nezpevněných cest 1:200 000  $\rightarrow$  1:500 000, kde  $f_{01} > 1$ . To znamená, že na odvozené mapě vznikl inverzní jev v kvantitě těchto cest - čím větší bylo množství cest v podkladové mapě, tím méně jich bylo vybráno. I když index korelace ukazuje, že právě v tomto jediném případě nelze hovořit o prokázané závislosti, odpovídá výsledek skutečnosti, že na mapách 1:500 000 jsou nezpevněné cesty zobrazeny zcela výjimečně. Hodnota indexu korelace zároveň ukazuje, že konkrétní řešení byla v jednotlivých případech velmi rozdílná.

Sledujeme-li dále hodnotu parametru  $g_{01}$ , je zřetelně patrné, že ke značnému ovlivňování výběru čarových prvků jejich souhrnnou délkou v podkladové mapě /velká hodnota  $g_{01}$ / dochází opět při celkově značné generalizaci. Tato skutečnost je logická, protože význam čarového prvku při generalizaci roste s jeho délkou a to tím více, čím méně čarových prvků je celkově převzato do odvozené mapy. To je zejména opět u odvození 1:200 000  $\rightarrow$  1:500 000 a dalších, které následují. U polních a lesních cest se tento jev ovšem projevuje prakticky již při prvním odvození.

Mezi oběma mocninovými parametry  $f_{01}$  a  $g_{01}$  se projevují rovněž vcelku logické a očekávané vztahy. Růst jednoho parametru je správně doprovázen růstem parametru druhého. Dokazuje to, že čím více jsou na odvozené mapě setřeny rozdíly v původním počtu prvků na jednotku plochy /růst parametru  $f_{01}$ /, tím více jsou také stírány i rozdíly v souhrnné délce prvků /růst parametru  $g_{01}$ /. Ve všech případech je  $f_{01} > g_{01}$ , což dokazuje, že při generalizaci byly ze zobrazení vylučovány nejdříve čarové prvky nejkratší. Důsledkem je, že setření rozdílů v počtu prvků je výraznější než setření rozdílů v jejich souhrnné délce.

Řadu dalších poznatků o charakteru užití generalizace je možno vyvozovat ze vzájemného vztahu parametrů  $k_{01}$  a  $t_{01}$  /obr. 2/.





Obr. 2

Oba parametry charakterizují variabilitu procenta délky vybraných čarových prvků při jejich různém počtu a různé souhrnné délce v podkladové mapě. Ve všech případech je  $k_{01} > 0$ , což značí, že zvětšuje-li se v podkladové mapě počet čarových prvků na jednotku plochy /při konstantní souhrnné délce těchto prvků/, zmenšuje se procento počtu a tím i souhrnné délky prvků vybraných do odvozených map. Čím větší je hodnota  $k_{01}$ , tím více je procento souhrnné délky vybraných prvků nepřímo závislé na jejich původním počtu a naopak. Vyšší hodnota  $k_{01}$  se tedy správně objevuje u polních a lesních cest při všech odvozeních. Naopak u generalizace vodních toků 1:25 000 → 1:50 000 a 1:100 000 → 1:200 000, nezpevněných cest 1:25 000 → 1:50 000, silnic 1:500 000 → 1:1 000 000 a dalších je hodnota  $k_{01}$  malá.

Při vyvozování závěrů ze zjištěných hodnot parametru  $t_{01}$  je třeba vyjít ze skutečnosti, že růst souhrnné délky čarových prvků na jednotku plochy v podkladové mapě může být důsledkem růstu délky jednotlivých prvků, nebo růstu počtu prvků. V prvním případě se spíše uplatní běžná zásada generalizace, přiřkládající větší význam čarovým prvkům delším. S růstem délky jednotlivých čarových prvků v podkladové mapě, doprovázené samozřejmě i růstem souhrnné délky všech daných prvků na jednotku plochy, se bude zvyšovat procento počtu prvků, vybraných do odvozené mapy. To se projeví i ve zvýšení procenta jejich souhrnné délky, a v užitých

rovnicích pak růstem parametru  $t_{01}$ . V této variantě řešení jsou na odvozené mapě ještě zvýrazněny původní rozdíly v souhrnné délce čarových prvků na jednotku plochy. Tato tendence je ovšem zeslabována současným zevšeobecňováním tvarů prvků, což se logicky projeví nejvýrazněji právě v oblastech s většími délkami čarových prvků.

Ve druhém případě bude generalizace řešena především metodou vylučování prvků v přehuštěných oblastech, což se projeví i ve zmenšování procenta souhrnné délky vybraných prvků. Na odvozené mapě pak dochází k nivelizaci souhrnné délky prvků na jednotku plochy. Při tomto řešení má parametr  $t_{01}$  zřejmě hodnotu velmi malou nebo i zápornou. Protože všechny uvedené vlivy působí při generalizaci současně, je patrné, že se z hlediska výsledného parametru  $t_{01}$  částečně ruší.

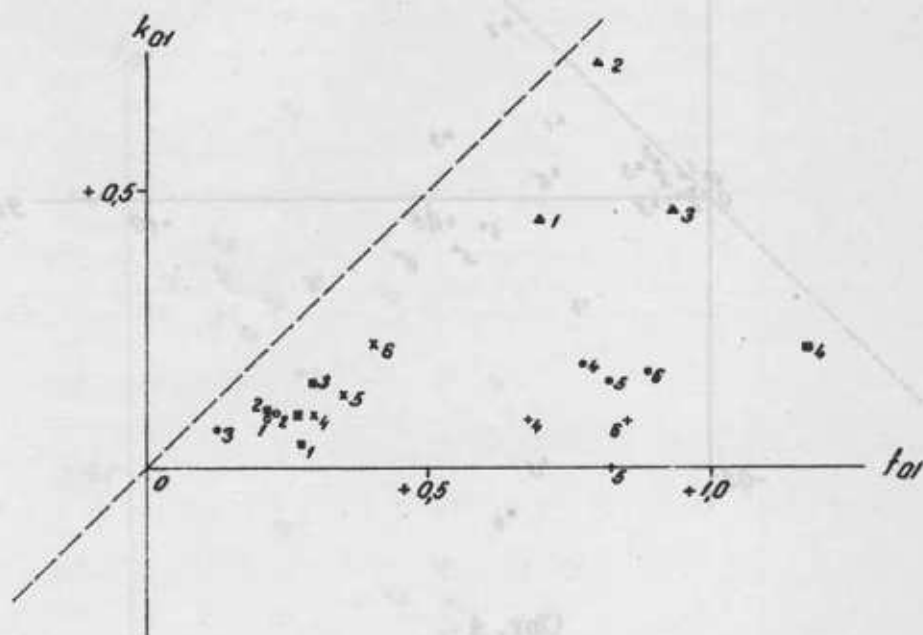
Hodnota  $t_{01}$  se bude tedy pohybovat kolem nuly, eventuálně bude kladná, zejména při relativně menším vylučování prvků ze zobrazení a při malém zevšeobecňování tvarů. Toto řešení se projevuje při generalizaci vodních toků, polních a lesních cest a nezpevněných cest na mapách velkých měřítek, nebo při generalizaci železnic a silnic na mapách středních měřítek.

Hodnota  $t_{01}$  bude naopak výrazně záporná zejména v případech, kdy dochází ke kvalitativní změně v generalizaci a ke značné schematizaci půdorysné struktury zobrazovaných prvků. Bude to zejména při větším meziměřítkovém skoku, dále při zobrazování méně významných prvků z hlediska účelu mapy, nebo jde-li o oblast se značně křivolakými čarovými prvky. Tak např. při zobrazení vodních toků je na topografických mapách až do měř. 1:200 000 včetně do značné míry zachována věrnost jejich průběhů. Generalizace je řešena především vypouštěním menšího počtu nejkratších toků. Přejít z měř. 1:200 000 do měř. 1:500 000 je již doprovázen výraznou generalizací počtu i tvaru vodních toků. To znamená, že v analytickém vyjádření této a všech dalších generalizací musí být hodnota  $t_{01}$  menší než u generalizací předchozích, což také odpovídá údajům v tab. 2. Podobně je tomu při generalizaci polních a lesních cest na rozhraní měřítek 1:100 000 → 1:200 000, nezpevněných cest 1:200 000 → 1:500 000, železnic a silnic 1:1,000 000 → 1:2,000 000.

Porovnáme-li vzájemný vztah hodnot obou mocninových parametrů, je z předchozích vývodů patrné, že růst parametru  $k_{01}$  musí být doprovázen méně výrazným růstem parametru  $t_{01}$ . Ve všech vyšetřovaných případech je skutečně  $k_{01} > t_{01}$ .

Řadu dalších úvah je možno vyvozovat ze vztahu mezi parametry  $f_{01}$  a  $k_{01}$

/obr.3/.

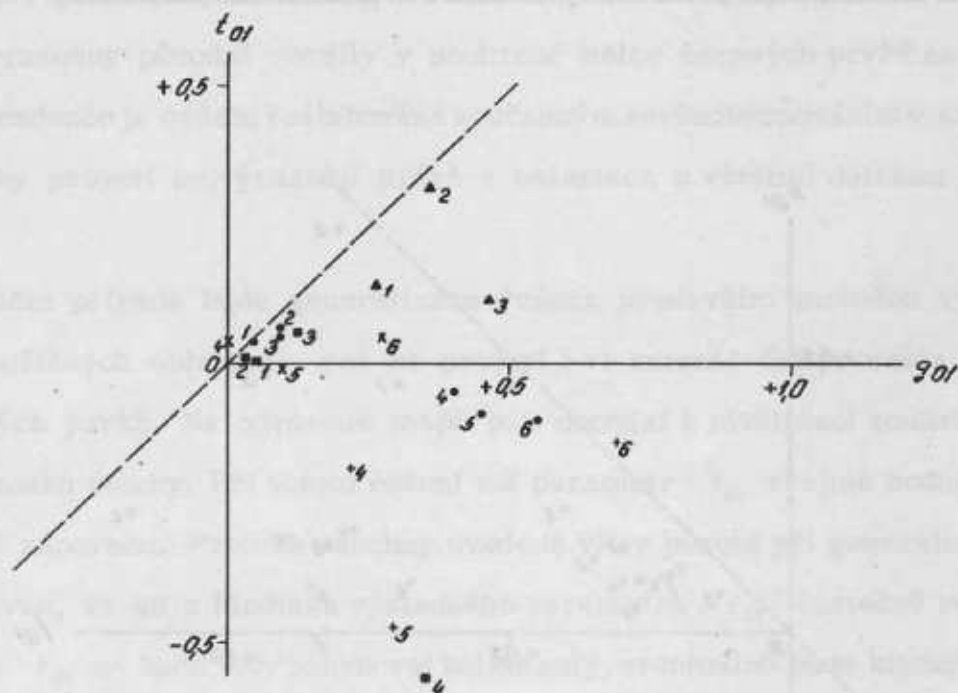


Obr. 3

Vyjdeme-li z logického předpokladu, že v oblastech s velkou hustotou prvků převládají čarové prvky kratší a naopak, a že zásadám kartografické generalizace odpovídá přednostní vylučování prvků nejkratších, lze soudit, že nivelizace rozdílů v souhrnné délce prvků na jednotku plochy by měla být méně výrazná než nivelizace rozdílů v jejich počtu. Ve všech případech je skutečně  $f_{01} > k_{01}$ , což značí, že procento zobrazené souhrnné délky prvků není skutečně tak citlivé na změny v počtu prvků na podkladové mapě, jako je tomu u procenta počtu vybraných prvků. Z obrazu 3 je rovněž patrné, že při rostoucím celkovém stupni generalizace /růst obou parametrů/ se zvětšují i rozdíly ve způsobu jejího řešení. Tak např. při generalizaci silnic 1:500 000 → 1:1 000 000 se projevuje velká citlivost procenta počtu vybraných silnic na původním počtu silnic v podkladové mapě, přičemž reakce procenta délky vybraných silnic na změny v původním počtu je téměř nulová /  $k_{01} = 0$ /. Naopak, při generalizaci polních a lesních cest se projevuje dosti výrazná citlivost procenta délky vybraných cest na jejich původním počtu.

Rovněž zajímavé poznatky může poskytnout porovnání parametrů  $g_{01}$  a  $t_{01}$

/obr. 4/.



Obr. 4

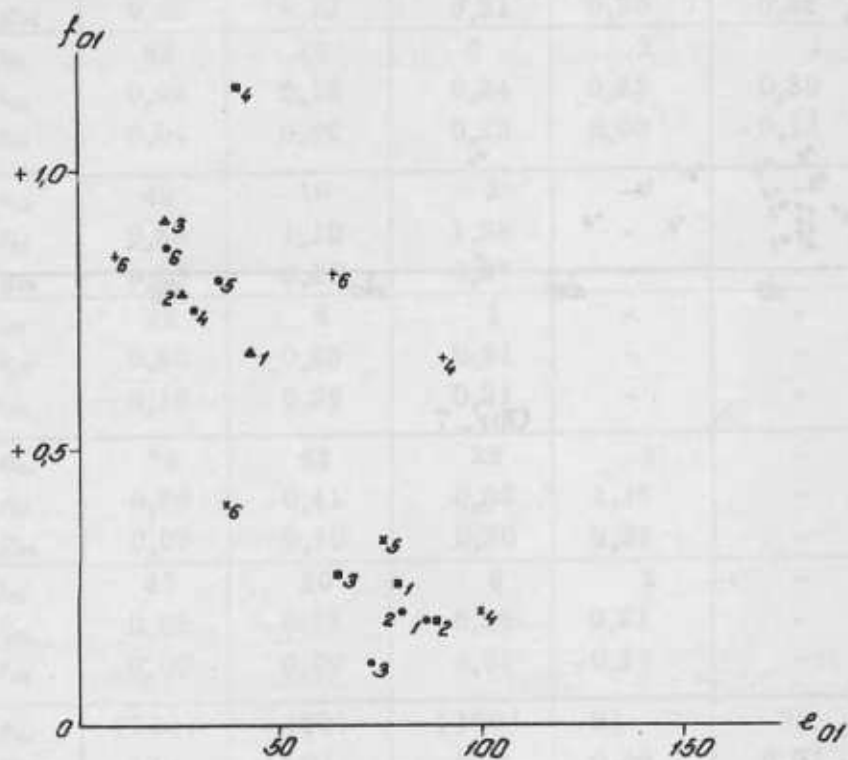
Snižuje-li se počet prvků v podkladové mapě, roste procento jejich výběru do odvozené mapy, což je doprovázeno i růstem procenta souhrnné délky vybraných prvků. V důsledku generalizace tvarů se ovšem růst procenta souhrnné délky musí opožďovat za růstem procenta jejich počtu. Procento zobrazené délky prvků by nemělo být proto tak citlivé na změny v původní délce prvků, jako je tomu u procenta počtu vybraných prvků. Musí tedy obecně platit  $g_{01} > t_{01}$ . Čím je rozdíl mezi oběma parametry větší, tím více se uplatnila generalizace tvarů a naopak. Uvedené podmínce odpovídá generalizace všech vyšetřovaných prvků. V některých případech se ovšem výběr blíží proporcionalitě /železnice 1:200 000 → 1:500 000/.

Vztah mezi násobnými parametry  $e_{01}$ ,  $j_{01}$  na jedné straně a mocninovými parametry  $f_{01}$ ,  $g_{01}$ ,  $k_{01}$ ,  $t_{01}$  na straně druhé znázorňují obr. 5, 6, 7, 8.

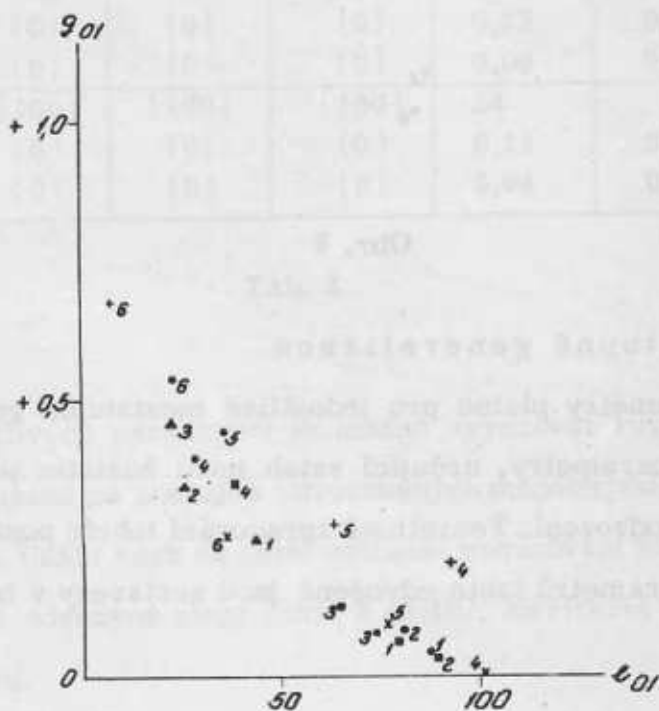
Parametr  $e_{01}$  vyjadřuje celkový stupeň výběru čarových prvků, parametr  $j_{01}$  kromě toho vyjadřuje i celkový stupeň zevšeobecnění tvarů. Z předchozích vývodů je patrné, že hodnoty mocninových parametrů se zvětšují při rostoucím stírání rozdílů v hustotě prvků na odvozené mapě. Tento jev musí být logicky doprovázen zmenšováním parametrů násobných. Z obrazů je patrné, že vztahy mezi vyšetřenými hodnotami parametrů vesměs velmi dobře tomuto předpokladu odpovídají. Z polohy bodů v obrazech by bylo možno vyvozovat řadu dalších zajímavých úvah. V podstatě



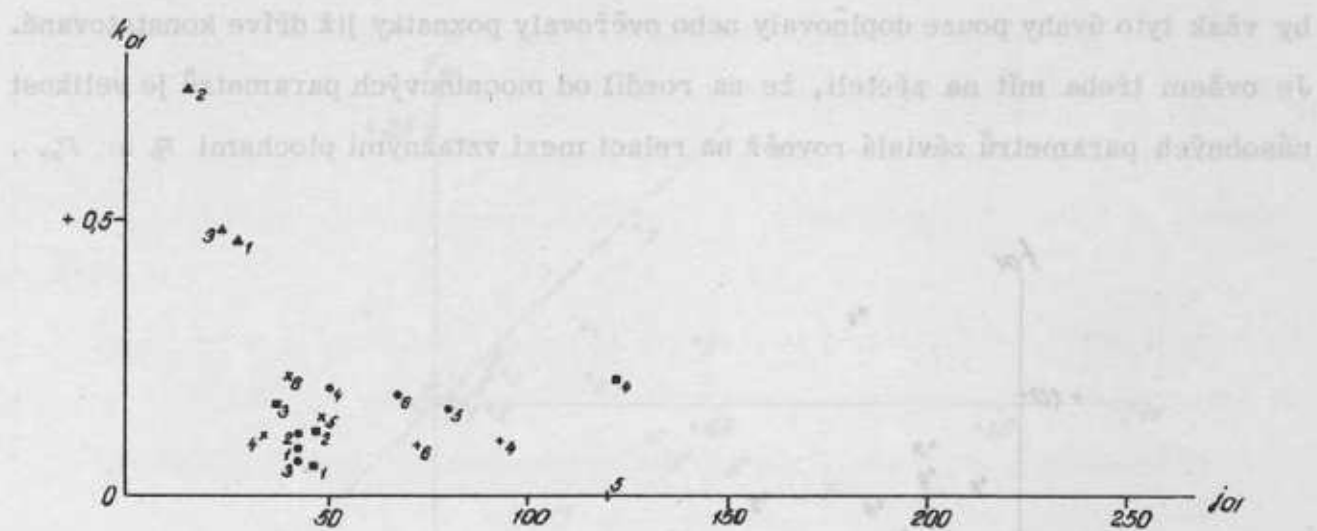
by však tyto úvahy pouze doplňovaly nebo ověřovaly poznatky již dříve konstatované. Je ovšem třeba mít na zřeteli, že na rozdíl od mocninových parametrů je velikost násobných parametrů závislá rovněž na relaci mezi vztažnými plochami  $P_0$  a  $P_{01}$ .



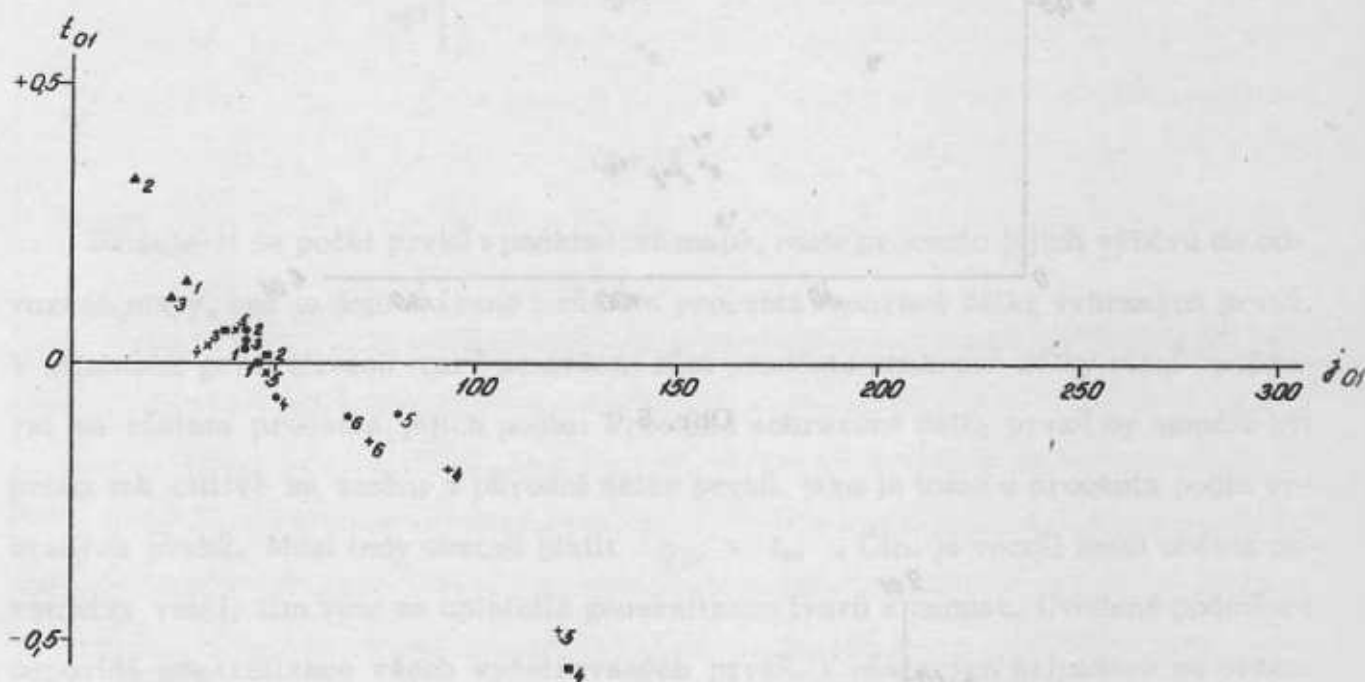
Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8

### Vyšetření postupné generalizace

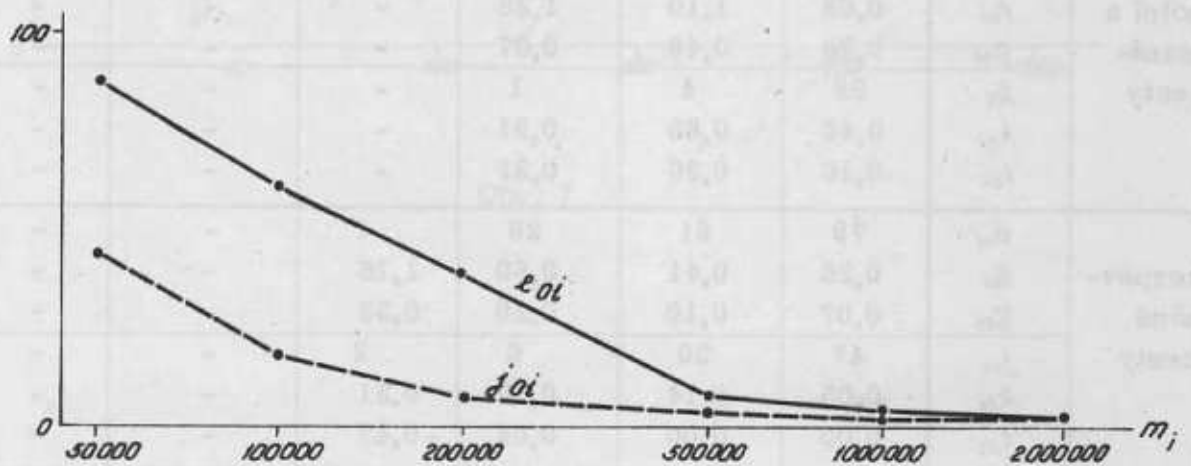
Známe-li parametry platné pro jednotlivé mezistupně generalizace, je možno postupně vyvodit i parametry, určující vztah mezi hustotou prvků na výchozí mapě a na mapě po  $i$ -tém odvození. Teoretické zpracování tohoto postupu je rovněž uvedeno v [1]. Hodnoty parametrů takto odvozené jsou sestaveny v tab. 3.

Prvek	$m_0$	25 000					
	$m_i$	50 000	100 000	200 000	500 000	1 000 000	2 000 000
vodní toky	$e_{oi}$	87	59	37	8	3	0,4
	$f_{oi}$	0,20	0,39	0,48	0,98	1,15	1,18
	$g_{oi}$	0,05	0,13	0,21	0,50	0,56	0,54
	$j_{oi}$	42	16	6	2	1	0,3
	$k_{oi}$	0,09	0,19	0,24	0,33	0,30	0,24
	$t_{oi}$	0,04	0,09	0,13	0,03	-0,13	-0,28
polní a lesní cesty	$e_{oi}$	43	10	2	-	-	-
	$f_{oi}$	0,68	1,10	1,38	-	-	-
	$g_{oi}$	0,26	0,48	0,67	-	-	-
	$j_{oi}$	28	4	1	-	-	-
	$k_{oi}$	0,46	0,85	0,91	-	-	-
	$t_{oi}$	0,16	0,36	0,31	-	-	-
nezpevněné cesty	$e_{oi}$	79	61	28	1	-	-
	$f_{oi}$	0,26	0,41	0,60	1,16	-	-
	$g_{oi}$	0,07	0,10	0,20	0,33	-	-
	$j_{oi}$	47	20	6	2	-	-
	$k_{oi}$	0,05	0,14	0,25	0,21	-	-
	$t_{oi}$	0,00	0,00	0,04	-0,47	-	-
silnice	$e_{oi}$	(100)	(100)	(100)	91	31	5
	$f_{oi}$	(0)	(0)	(0)	0,66	0,97	1,03
	$g_{oi}$	(0)	(0)	(0)	0,22	0,28	0,35
	$j_{oi}$	(100)	(100)	(100)	93	49	22
	$k_{oi}$	(0)	(0)	(0)	0,10	0,05	0,04
	$t_{oi}$	(0)	(0)	(0)	-0,17	-0,55	-0,64
železnice	$e_{oi}$	(100)	(100)	(100)	100	49	11
	$f_{oi}$	(0)	(0)	(0)	0,22	0,50	0,76
	$g_{oi}$	(0)	(0)	(0)	0,00	0,10	0,34
	$j_{oi}$	(100)	(100)	(100)	34	13	3
	$k_{oi}$	(0)	(0)	(0)	0,11	0,22	0,35
	$t_{oi}$	(0)	(0)	(0)	0,04	0,03	0,07

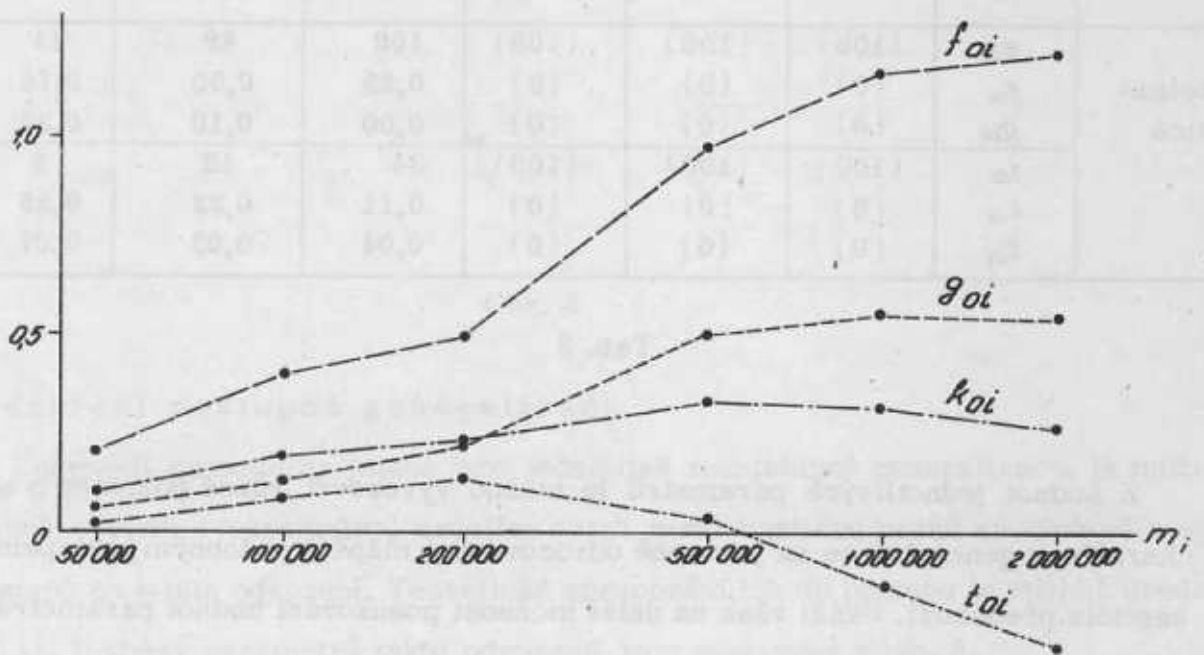
Tab. 3

Z hodnot jednotlivých parametrů je možno vyvozovat různé poznatky o stupni a charakteru generalizace na postupně odvozovaných mapách podobným postupem jako v kapitole předchozí. Ukáží však na další možnost posuzování hodnot parametrů, a to ve vazbě na měřítko odvozené mapy /obr. 9 až 18/. Měřítková stupnice je vynesena v logaritmickém tvaru.

Z graficky vynesných hodnot násobných parametrů je u všech prvků zřetelně patrné postupné snižování hustoty prvků na jednotku plochy. Ve vzájemné vazbě obou násobných parametrů je pak příznačný výraznější pokles hodnot parametru  $e_{oi}$  u map menších měřítek oproti parametru  $f_{oi}$ . Je zde vystižena skutečnost, že celkový úbytek počtu čarových prvků se zmenšováním měřítka mapy probíhá rychleji než úbytek jejich celkové délky.

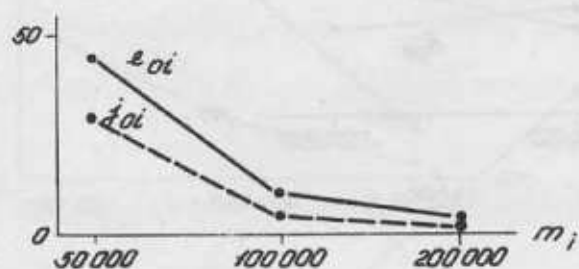


Obr. 9 Vodní toky

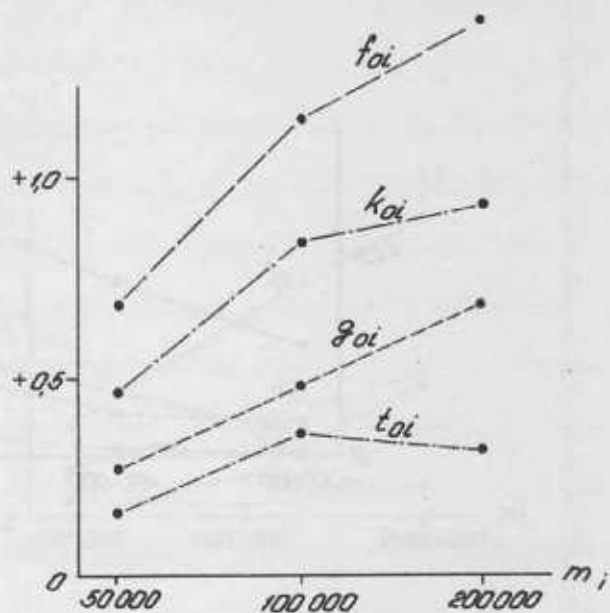


Obr. 10 Vodní toky

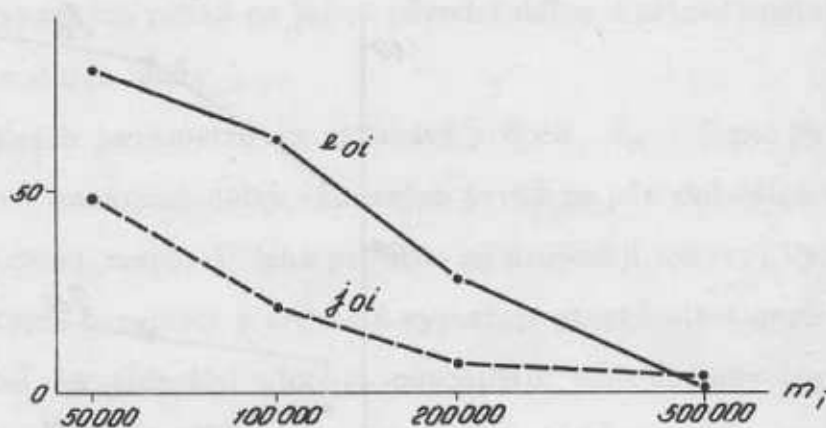




obr. 11 Polní a lesní cesty

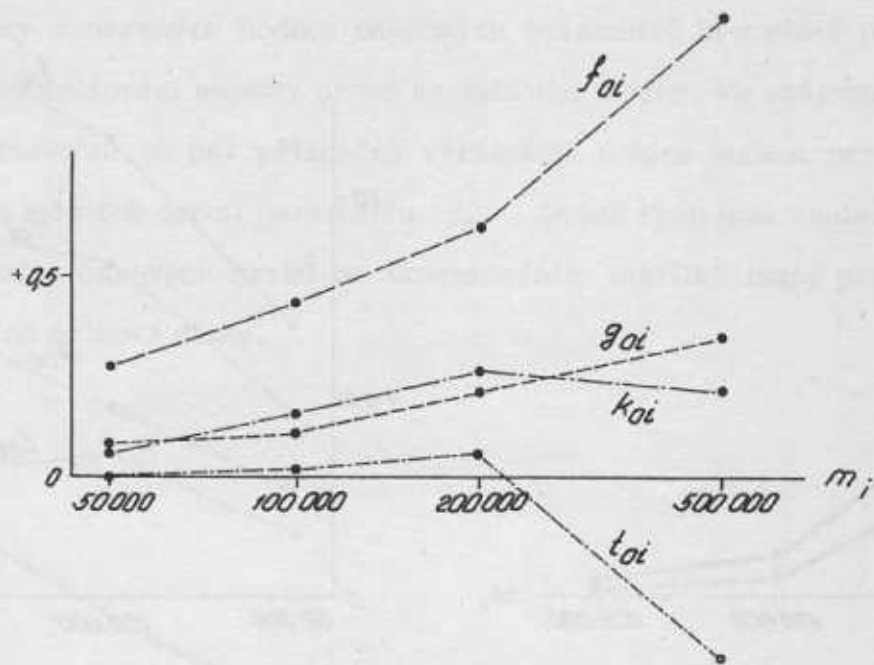


Obr. 12 Polní a lesní cesty

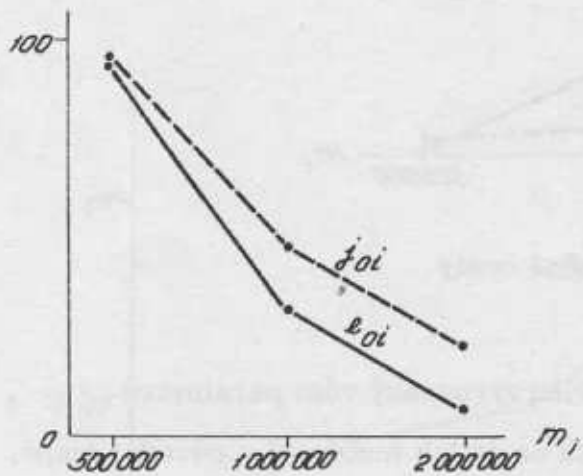


Obr. 13 Nezpevněné cesty

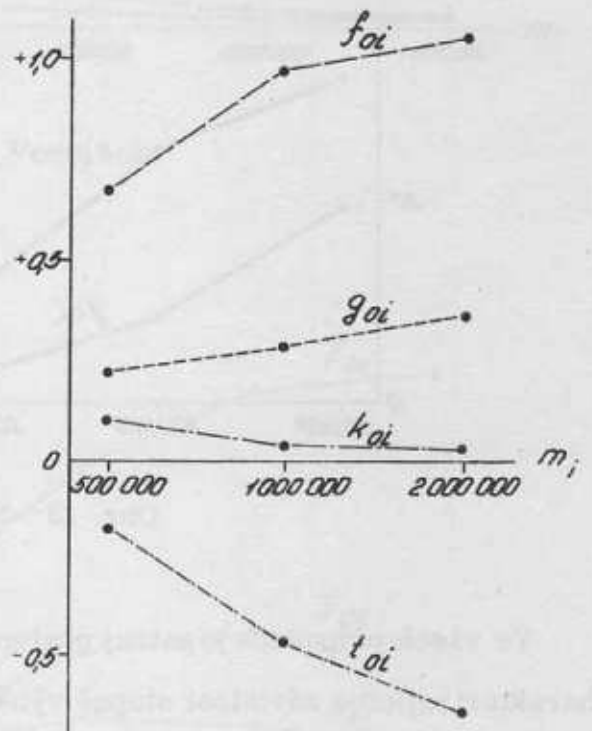
Ve všech případech je patrný postupný a vcelku vyrovnaný růst parametru  $f_{oi}$ , charakterizujícího závislost stupně výběru prvků na jejich množství v původní mapě. Největší progresivita tohoto růstu se ukazuje logicky u polních cest a nezpevněných cest. Nivelizace rozdílů v počtu prvků na jednotku plochy se však projevuje i u ostatních prvků na mapách všech měřítek. V řadě případů dokonce převyšuje parametr  $f_{oi}$  teoreticky mezní hodnotu jedna. To ukazuje, že na mapách malých měřítek se projevila všechna předchozí stírání rozdílů v počtu prvků na jednotku plochy tak výrazně, že v mapě  $i$ -tého odvození již překročila logickou mez a došlo k inverznímu jevu v rozložení hustoty prvků oproti původní mapě.



Obr. 14 Nezpevněné cesty

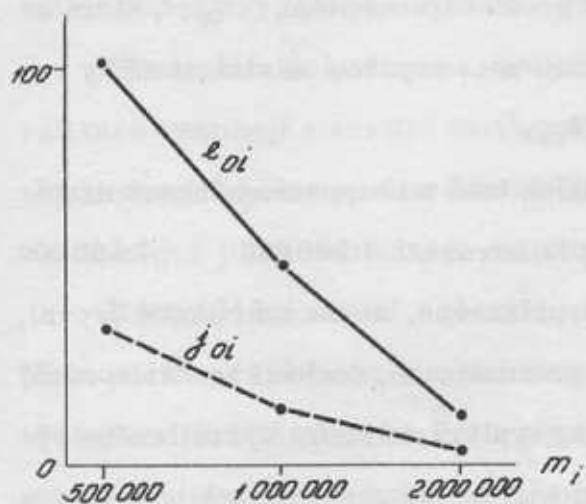


Obr. 15 Silnice

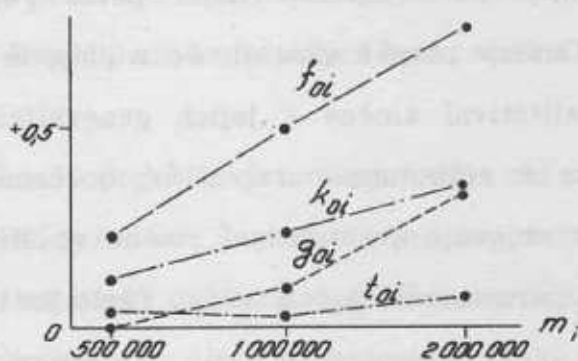


Obr. 16 Silnice

Sledujeme-li dále průběh parametru  $g_{oi}$ , vyjadřujícího stupeň závislosti počtu vybraných prvků na jejich délce ve výchozí mapě, je rovněž zřetelný jeho vcelku vyrovnaný růst, sledující s určitým zpožděním růst parametru  $f_{oi}$ . Je např. patrné, že na úrovni měř. 1:500 000 a 1:1 000 000 je výběr silnic mnohem výrazněji ovlivněn



Obr. 17 Železnice



Obr. 18 Železnice

jejich původní délkou, než je tomu u železnic. Na úrovni měř. 1:2 000 000 jsou však již hodnoty  $g_{oi}$  u obou prvků přibližně stejné. Velmi výrazně se projevuje závislost počtu vybraných prvků na jejich původní délce v případě polních cest, nezpevněných cest a vodních toků.

Z ostatních parametrů je zajímavý průběh  $t_{oi}$ . Tento parametr charakterizuje závislost souhrnné délky vybraných prvků na původní délce všech prvků daného druhu ve výchozí mapě. V jeho průběhu se projevují výkyvy. Vyjdeme-li však z poznatku, že tento parametr v podstatě vyjadřuje stupeň nivelizace souhrnné délky čarových prvků na jednotku plochy, odpovídají jeho hodnoty logické úvaze. Větších hodnot dosahuje v případech, kdy vylučování prvků ze zobrazení a zevšeobecňování tvarů je velmi malé. Při malých nebo záporných hodnotách  $t_{oi}$  je tomu opačně. Velmi zajímavý průběh tohoto parametru vykazují vodní toky a nezpevněné cesty. Zde se jeví výrazná kvalitativní změna v charakteru generalizace při přechodu z měřítka 1:200 000 do měř. 1:500 000. Je způsobena značnou podrobností map 1:200 000, souř. syst. 1942.

Sledujeme-li vzájemnou vazbu všech čtyř mocninových parametrů, je z dříve uvedeného zřejmé, že rozestup parametrů se musí zvětšovat při celkově silné generalizaci daného prvku a naopak. Na obrazech je velmi dobře patrna tendence k zvětšování rozestupu parametrů se zmenšováním měřítka odvozených map. To znamená, že na úrovni map menších měřítek přechází výběr zobrazených prvků stále více od proporcionality k proměnnému stupni. Narůstá nivelizace v počtu prvků na jednotku

plochy /růst  $f_{oi}$  / a projevuje se větší přímá závislost na původní délce prvků /růst  $g_{oi}$  /. Zvětšuje se i nivelizace v délce prvků /zmenšování  $t_{oi}$  /, která se však opožďuje za nivelizací v počtu prvků. Zvětšuje se i nepřímá závislost délky vybraných prvků na jejich původním počtu /růst  $k_{oi}$  /.

Obrazy rovněž ukazují, že v případě vodních toků a nezpevněných cest nastává kvalitativní změna v jejich generalizaci při odvození 1:200 000 1:500 000 /změna v rozestupu parametrů/. Současně je příznačné, že na měřítkové úrovni, kdy se objevuje kvantitativní změna ve stupni generalizace, dochází ke "křížování" hodnot parametrů  $g_{oi}$  a  $k_{oi}$ . Tento jev logicky vyplývá ze shora vysvětleného významu obou parametrů a z již uvedené skutečnosti, že při generalizaci jsou ze zobrazení přednostně vylučovány čarové prvky nejkratší. Vyšší hodnota  $k_{oi}$  oproti  $g_{oi}$  u polních cest na mapách všech měřítek ukazuje na silnou generalizaci, počínaje již prvním odvozením 1:25 000 1:50 000. Podobně je tomu u silnic při odvození map 1:200 000 → 1:500 000 a dalších. Z průběhu hodnot parametrů, lze naopak soudit, že kvalitativní změna ve stupni generalizace železnic by nastala patrně na úrovni měřítek menších než 1:2 000 000.

Velký rozestup parametrů u nezpevněných cest při odvození mapy 1:500 000 ukazuje na silnou nivelizaci počtu i souhrnné délky cest na jednotku plochy, doprovázenou i značným zevšeobecněním tvarů. Jde o přirozený jev, který se vyskytuje vždy, je-li daný prvek přejímán do odvozené mapy jen sporadicky. Obdobně, i když méně výrazně, se tato skutečnost projevuje u polních cest na úrovni měř. 1:200 000 a silnic, počínaje měřítkem 1:1 000 000.

Grafické znázornění vztahů mezi hodnotami parametrů postupné generalizace a měřítky odvozených map podněcuje k dalším úvahám a spekulacím. Bylo by např. možno řešit vyrovnané závislosti mezi příslušnými parametry a vytyčit tak základní kritéria pro stanovení norem postupné generalizace jednotlivých čarových prvků, zobrazených na topografických mapách.

## Z á v ě r

Vyvozené závěry o generalizaci čarových prvků na československých topografických mapách nelze absolutizovat, i když vcelku odpovídají teoretickým a logickým předpokladům. Další a obsáhlejší kartometrická šetření by patrně zjištěné výsledky upřesnila.



Za významnější přínos k řešení problému generalizace je možno spíše považovat dva poznatky, které z výsledků rozboru bezprostředně vyplývají.

Především se potvrdilo, že navržené analytické definice některých zákonů generalizace vystihují stávající kartografickou praxi a umožňují exaktněji zkoumat problémy zjednodušení mapového obrazu nejen na podkladě teoretických úvah, ale i s využitím rozborů již zpracovaných map.

Rozbory zobrazení čarových prvků na topografických mapách dále ukázaly, že přes značnou živelnost a nejednotnost dílčích řešení, je možno v jejich generalizaci vystopovat určité převládající a vesměs statisticky prokazatelné zákonitosti. Zásahu o to mají především bohaté praktické zkušenosti a poměrně jednotné návyky kartografických pracovníků.

Uvedené skutečnosti vytvářejí příznivé předpoklady k exaktnějšímu řešení teorie i praxe generalizace v kartografii.

#### L i t e r a t u r a

- [1] Srnka E.: Analytické řešení generalizace v kartografii. Brno 1968
- [2] Srnka E.: The Analytical Solution of Regular Generalization in Cartography. Internationales Jahrbuch für Kartographie 1970

Došlo dne 27. 10. 1970

### Mezinárodní mapa světa v měř. 1 : 1 000 000 – stručná historie

Když v r. 1891 na V. mezinárodním kongresu geografů v Bernu přednesl Dr. Albrecht Penck, profesor berlínské university, návrh na zpracování jednotné mezinárodní mapy světa v měř. 1:1 000 000, tlumočil tím dlouholetá přání řady předních geografů a kartografů světa. Již před ním prosazoval zpracování podobné mapy Angličan sir James, avšak bez valného ohlasu.

Společenský pokrok tehdejší doby, charakterizovaný přechodem od manufakturní výroby k pokrokovější strojové, rychlým rozvojem železniční dopravy a rozvojem obchodu, které se v průběhu předchozích desetiletí, se všemi průvodními zjevy počínajícího kapitalismu výrazně prosazovaly, měl svou odezvu i ve vědeckém světě.

Začíná se rozvíjet úsilí o poznání dosud neznámého světa, provázené snahou o ekonomické a mocenské ovládnutí kolonií. Projevují se také požadavky na mezinárodní spolupráci v různých společenských a vědních oborech.

Tyto tendence našly výraz také v geodézii, zejména v projektech pruského generála J.J. Bayera, podle nichž bylo od r. 1867 prováděno evropské stupňové vyměřování, později v r. 1886 rozvinuté do mezinárodního rozsahu.

Není pochyb, že organizace vyměřování a jeho dobré výsledky podnítily také snahy geografů o rychlejší rozvoj geografie a kartografie. Z vědeckého hlediska bylo velmi prospěšné, aby geografické poznatky a zkušenosti, většinou porůznu roztroušené, byly postaveny na jednotný základ, aby je bylo možno v celosvětovém rámci přesně prostorově identifikovat, aby byly vzájemně srovnatelné a v rámci možností maximálně objektivní. Dosažené výsledky by pak mohly být využity nejen ve vědecké činnosti, ale i při organizování mezinárodních politických nebo ekonomických záměrů.

Takovou zprostředkující funkci měla plnit mezinárodně zpracovávaná mapa celého světa v měř. 1:1 000 000 /dále jen zkratkou MMS/, která měla být samostatným, uceleným, jednotným kartografickým dílem a měla sloužit jako podklad pro nejrůznější technické, odborné a vědecké práce a pro tvorbu map všeho druhu. Návrh Penckův se původně vztahoval jen na zpracování mapy z prostoru Německa, Francie a Anglie, byl však později rozšířen na celý svět.

Při zdůvodňování návrhu zpracování MMS byla často zdůrazňována také možnost jejího využití pro vojenské účely.

Projekt MMS měl své evropské předchůdce, a to v Papenově hypsometrické mapě střední Evropy, vydané Ravensteinem v r. 1858, ve Frankfurtu n. M., dále v reliéfní mapě Francie zpracované Kleinhausovou a vydané Levasseurem, která vzbudila mimořádnou pozornost na výstavě konané v průběhu geografického kongresu v Paříži v r. 1875 a konečně Hassensteinův "Atlas Japonska", vydaný v Gothě v r. 1887; všechna tato poměrně rozsáhlá díla byla zpracována v měř. 1:1 000 000.

Návrh na zpracování MMS nebyl však některými odbornými kruhy přijímán s porozuměním; měl i dosti odpůrců.

Vyhlídky na realizaci projektu se značně zvýšily, když začal být podporován vládními kruhy některých států, nejprve Francií, pak Anglií a Ruskem.

Na bernském kongresu geografů v r. 1891 bylo však přijato jen usnesení omezeného rozsahu, které pouze zdůvodňovalo potřebu vypracovat návrh kartografického zobrazení, v němž tato mapa měla být zpracována.

O MMS se později jednalo na každém dalším mezinárodním kongresu geografů, a to v Londýně v r. 1895, v Berlíně v r. 1899, ve Washingtonu v r. 1904, v Ženevě v r. 1908, vždy byly posuzovány dosavadní výsledky výzkumu, zjišťovány potřeby a možnosti vědeckého bádání, a rozváděny požadavky příštích možných uživatelů.

Teprve na návrh gen. Ch. F. Close, šéfa geografické služby anglického generálního štábu, byla k problematice zpracování MMS svolána do Londýna v době od 16.-22.10. 1909 první mezinárodní kartografická konference, které se zúčastnilo 21 zástupců z 8 států. Na ní byly vypracovány prozatímní směrnice.

Na druhé mezinárodní kartografické konferenci o MMS konané v Paříži v době 10.-18.12. 1913, tentokrát již za přítomnosti 60 delegátů z 31 států, byla schválena konečná úprava směrnic pro zpracování MMS a byl přijat její oficiální název: "Carte internationale du monde au millionième".

Současně bylo usneseno ustavit řídicí centrum, "Comité internationale de la carte du monde", při "Ordonance Survey" v Southamptonu, které se mělo zabývat všeobecně problematikou MMS, zejména sledováním a usměrňováním postupu zpracování, vydáváním doplňujících směrnic, výročních zpráv atd. Tento orgán, vzhledem k vypuknutí 1. světové války v r. 1914, zahájil svou činnost až po válce v r. 1928.

Na podkladě prozatímních směrnic z r. 1909 bylo zpracováno několik listů MMS, které byly vystaveny v r. 1913 na kongresu geografů v Římě.

Brzy po vydání prozatímních směrnic byly proti nim vznášeny námitky, a již tehdy bylo požadováno směrnice znovu přezkoušet nebo i přepracovat. Bude proto účelné uvést z ustanovení směrnic ta, která byla nejvíce kritizována.

Již na 1. mezinárodní kartografické konferenci o MMS v Londýně v r. 1909 bylo stanoveno použití referenčního elipsoidu o poloosách

$$a = 6\,378\,240 \text{ m}, \quad b = 6\,356\,560 \text{ m}.$$

Na žádné z pozdějších konferencí nebylo toto usnesení doplněno nebo pozměněno.

Přijatý elipsoid neodpovídá svými rozměry žádnému z elipsoidů definovaných předtím Clarkem; nejvíce se blíží Clarkovu elipsoidu z r. 1880, jehož poloosy jsou  $a = 6\,378\,249,2 \text{ m}$ ,  $b = 6\,356\,515 \text{ m}$ .

Tato nedůslednost byla v průběhu historie nejednou různými autory, např. M. Ch. Lalemandem, H. F. Meyerem, A. Reytem i jinými kritizována; nebylo však nikde objasněno, z jakých důvodů, dedukcí nebo pramenů se při rozhodování vycházelo.

Postup při stanovení elipsoidu postrádá zdůvodnění a nemůže vzbuzovat příliš mnoho důvěry, zejména proto, že konečné rozhodnutí o něm bylo učiněno až po zasedání XVI. konference pro mezinárodní vyměřování Země, která zasedala v r. 1909 v Londýně a v Cambridge, a stanovila nové parametry referenčního elipsoidu ( $a = 6\,378\,388 \text{ m}$ ,  $b = 6\,356\,911,946 \text{ m}$ .)

Postup obou mezinárodních institucí nebyl zřejmě nijak zkoordinován.

Všechny výpočty týkající se MMS byly pak přirozeně prováděny s rozměry elipsoidu stanovenými na 1. mezinárodní konferenci o MMS.

Rozdíly jeho parametrů proti jiným mezinárodně definovaným elipsoidům dosahují hodnot, které by bylo možno v kartografické praxi zanedbat. Jde-li však o dílo tak velkého vědeckého a mezinárodního významu a rozsahu, mělo by být ho-



mogenní s vědeckými poznatky v geodesii, a bylo by proto reálné očekávat jeho přimknutí k hodnotám v té době mezinárodně uznávaným. Také při návaznosti MMS na jiná celosvětová kartografická díla, konstruovaná na jiných referenčních elipsoidech, mohou vznikat obtíže.

Podle Lomnického "Prozatímní směrnice" stanovily zásady:

1/ Pro dělení mapových listů:

až do vzdálenosti  $60^\circ$  sev. a již. zem. šířky mají mít rozsah  $4^\circ$  zem. šířky na  $6^\circ$  zem. délky. Dále směrem k pólům mohou být mapové listy spojovány, takže jeden list může mít rozsah až 12,18 nebo i více délkových stupňů.

2/ Pro zobrazení:

a/ Poledníky budou zobrazeny jako přímky;

b/ Rovnoběžky se zobrazí jako kružnice, jejichž střed je na prodloužení středního poledníku;

c/ Vzhledem k tomu, že mohou přicházet v úvahu různé typy zobrazení, které mohou dávat jen málo odlišné výsledky, dále vzhledem k tomu, že srážlivost papíru může značně ovlivnit přesnost odměřování, čímž je prakticky vyloučena dokonalá úhlojevnost nebo plochojevnost, není nutné klást zvláštní důraz na zobrazení z těchto hledisek. Je proto třeba volit zobrazení lehce konstruovatelné s podmínkou, aby mapové listy na sebe navazovaly bez mezer.

d/ Pro konstrukci zobrazení bylo dále stanoveno: Střední meridian má být zobrazen přímkou, na níž budou naneseny úseky jednotlivých rovnoběžek. Takto získanými body budou proloženy kružnicové oblouky, které pak představují jednotlivé rovnoběžky. Radius každé rovnoběžkové kružnice má být určen z rovnice  $r = \gamma \cotg \lambda$ , při čemž  $\gamma$  je úsek kolmice omezený zemským poledníkem a zemskou osou,  $\lambda$  je zeměpisná šířka. V současné době je pro týž pojem používána rovnice  $R = N \cotg \varphi$ . Na rovnoběžky omezující severní a jižní okraj mapového listu mají být nanášeny nezkreslené vzdálenosti jednotlivých poledníků. Odpovídající body na rámových rovnoběžkách mají být spojeny přímkami, které představují poledníky.

Stanoveným podmínkám nejlépe vyhovuje modifikované polykonické zobrazení s přímkovými poledníky.

Směrnice pro zobrazení tak závažného díla, jakým měla být MMS, poskytovaly možnost různého postupu při konkrétním provedení. Byly také velmi brzy nepříz-

nivě kritizovány. Není v nich např. nic stanoveno o úpravě zobrazení za hranicemi zón 60° sev. a již. zem. šířky, ani to, jak mají být konstruovány mapové listy v této oblasti, se zřetelem k ustanovením o dělení listů pod touto hranicí; mají i jiné nedostatky.

Kritickým zhodnocením matematických postupů při výpočtech zobrazení podle uvedených principů se zabýval Ch. Lalemand a zejména A. Lomnicki.

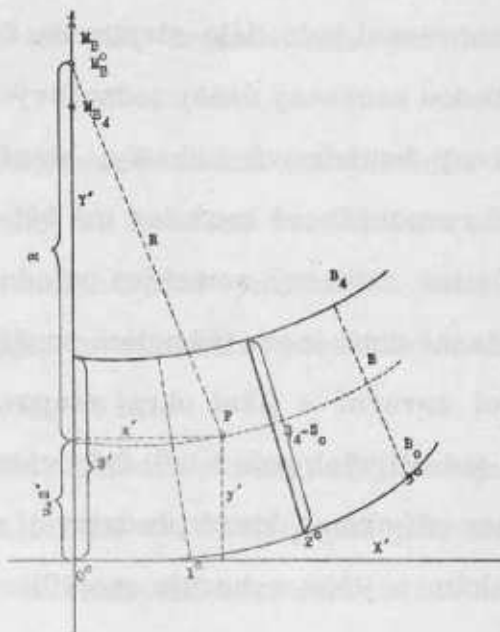
Organizace U. S. Coast and Geodetic Survey, která prováděla výpočty pro zobrazení, vycházela při nich ze stanovených základních principů, a vypracovala k tomu řadu tabulek. K výpočtům používala přibližných vzorců, protože podle znění definice zobrazení bylo by nutno při přesném matematickém postupu pro mapové listy v každém pásu odvodit příslušný souřadnicový systém.

A. Lomnicki dokazuje, že se do tehdejších výpočtů vloudily chyby. Pro přibližný výpočet souřadnicových hodnot  $x'$ ,  $y'$  na mapovém listu při polykonickém zobrazení platí:

$$x' = (1 - u) R_0 \sin \lambda_{0,l} + u R_4 \sin \lambda_{4,l}$$

$$y' = (1 - u)(R_0 - R_0 \cos \lambda_{0,l}) + u(R_4 - R_4 \cos \lambda_{4,l} + S')$$

v nichž  $x'$ ,  $y'$  jsou pravoúhlé souřadnice libovolného bodu  $(B, l)$  na elipsoidu v odpovídajícím systému mapového listu.



Obr. 1

$R_0, R_4$  - zobrazovací poloměry sev. a již. rámové rovnoběžky;

$l$  - rozdíl délek  $L$  vzhledem ke střednímu meridiánu  $L_0$ ,  $l = L - L_0$

$S, S_0, S_4$  - délky poledníků od rovníku až k elipsoidické geografické šířce  $B, B_0, B_4$ .

$u$  - poměr, v němž dělí libovolná rovnoběžka délku  $S'$ .

$$\lambda_{0,l} = l \sin B_0 = (L - L_0) \sin B_0, \quad \lambda_{4,l} = l \sin B_4 = (L - L_0) \sin B_4$$

Při výpočtu byly však použity místo hodnot  $\sin \lambda_{0,l}$ ,  $\sin \lambda_{4,l}$  nesprávné hodnoty  $\operatorname{tg} \lambda_{0,l}$ ,  $\operatorname{tg} \lambda_{4,l}$ .

Důvod postupu nebyl dosud vyjasněn; zdá se, že spočívá v nepřesném výkladu prozatímních směrnic a nesprávném názoru na výslednou přesnost. Podle Lomnického důsledek postupu spočívá v tom, že rozdíl mezi správnými a nesprávnými hodnotami vzrůstá s větším rozdílem zeměp. délek a zeměp. šířkou, takže např. největší rozdíl v rozmezí zóny  $K/B = 44^\circ$ ,  $l = \pm 4^\circ$  dosahuje hodnot  $\Delta x' = 0,378 \text{ km}$ , zóny  $N/B = 56^\circ$ ,  $l = \pm 4^\circ$   $\Delta x' = 0,419 \text{ km}$ , a dokonce pro zónu  $N/B = 56^\circ$ ,  $l = \pm 6^\circ$  dosahuje hodnoty  $\Delta x' = 1,414 \text{ km}$ , což jsou hodnoty, které při výpočtu zobrazení již nelze opominout, a které se projeví i v konstrukci geografické sítě.

Je pochopitelné, že chyby rozdílných hodnot byly zaneseny i do jiných vypočtených prvků. Uvedené nedostatky nejsou jediné, jsou však největší.

K obdobným závěrům docházejí i jiní autoři. Většina dosud vyhotovených mapových listů MMS je konstruována podle těchto nepřesných tabulek.

Nelze se proto podívat tomu, že směrnice pro MMS řada autorů značně kritizovala.

Směrnicemi o MMS byly také stanoveny podrobnosti týkající se geografické náplně mapy a jejího grafického zpracování. V nich se výrazně projevuje názor na mapu jako na produkt činnosti geografů, s malým zřetelem k názorům kartografů, což však bylo zcela pochopitelné vzhledem k celému historickému vývoji MMS.

První světová válka zastavila sice mezinárodní spolupráci na MMS, avšak vlastní vydávání jednotlivých listů mapy bylo jí spíše urychleno. Počty map v měř. 1:1 000 000 různého druhu, zpracovaných v jednotlivých státech vzhledem k potřebám armád, podstatně vzrostly. Směrnice pro MMS nebyly však vždy přesně dodržovány, a to zejména vlivem požadavků gen. štábů států vedoucích válku, i vlivem rychlosti, s níž zpravidla musely být mapy zpracovány. Vzhledem k zásadě, že do souboru MMS se započítávají pouze ta díla, která přesně odpovídají směrnícím

pro MMS, jsou vykazované počty zpracovaných listů nižší, nežli celkové počty map v měř. 1:1 000 000 v té době vydaných.

Po první světové válce bylo o MMS znovu jednáno v r. 1928 na mezinárodním kongresu geografů v Londýně a v Cambridge, kde k tomu účelu byla vytvořena kartografická komise. Diskuse se týkala zvláště strukturální náplně a grafického zpracování mapy.

Podobně bylo pokračováno v diskusích o této mapě na kongrese ve Varšavě v r. 1914, i na kongresech po druhé světové válce ve Washingtonu v r. 1950 a ve Stockholmu v r. 1960.

Druhá světová válka vzhledem k obrovskému územnímu rozsahu opětovně vyvolala potřebu map v měř. 1:1 000 000. Při jejich zpracování, diktovaném vojenskými potřebami, nebyly znovu v mnoha směrech dodržovány směrnice určené pro MMS; v důsledku toho nemohly být tyto mapy považovány za oficiální listy MMS. Protože řada zejména velkých států měla již mapy v měř. 1:1 000 000, poklesl zájem o zpracování podobných listů MMS.

Přes všechna dosti četná jednání nemohlo se zpracování MMS hnout s místa, nadto se znovu ozvaly kritické hlasy. Začalo se již také jednat o modernizaci podkladů a o mezinárodní koordinaci zpracování MMS.

Mezinárodní geografická unie se na svém generálním shromáždění v Lisabonu v r. 1949 a zejména na pozdějším ve Washingtonu v r. 1952 zabývala také možností převést řízení zpracování MMS do orgánů Organizace spojených národů /OSN/, což bylo po některých diskusích všeobecně přijato.

Dnem 30. 10. 1953 bylo "Comité internationale de la carte du monde" zrušeno a veškerá agenda přešla na "Cartographic Section Departement of Economics and Social Affairs, United Nation" /UNESCO/. Od té doby začíná nová éra vývoje tohoto kartografického díla. Kartografický odbor UNESCO nejdříve vydal znovu směrnice pro MMS, platné od r. 1913, se všemi do té doby přijatými doplňky nebo úpravami, dále vypracoval také celkový přehled o stavu zpracování MMS. Oběžníkem z 30. 4. 1954 seznámil pak členské státy se stavem MMS, a současně, ve zprávě generálního sekretáře OSN, dal k uvážení možnosti modernizace MMS, a to zejména vzhledem k současně zpracovávané mezinárodní letecké mapě světa v měř. 1:1 000 000 /dále jen zkratkou MLMS/.



Je proto třeba uvést stručně i historii zpracování této mapy.

Vývoj leteckých map úzce souvisí s rozvojem letecké techniky a letecké dopravy. Mezinárodní letecké organizace, jak první FAI /Fédération Aéronautique Internationale, ustavená v r. 1905, tak i poválečná CINA /Comission Internationale de la Navigation Aérienne/, zřízená v r. 1919, v níž již byla také organizována kartografická komise, se nejdříve orientují na mapy měřítek 1:200 000 - 1:750 000, a na tzv. generální leteckou mapu, která v geografické šířce ČSR, vzhledem k definici zobrazení, měla měřítko 1:1 207 133. Tyto organizace neměly tudíž v plánu zpracování mapy v měř. 1:1 milionu. Ostatně tehdy plánované letecké mapy se příliš nerozšířily, dokonce plánovaná mezinárodní letecká mapa 1:200 000 byla velmi brzo prohlášena za národní, jednak proto, že se mezinárodní kooperace nepodařila, hlavně však proto, že brzy leteckému provozu nevyhovovala.

Do vývoje podstatně zasáhla druhá světová válka. Neobyčejný rozsah použití letectva a velké rozšíření letecké dopravy, i perspektivy jejího dalšího rozmachu vedly k tomu, že byla již v r. 1944 založena v Chicagu prozatímní letecká organizace PICA0, která se v r. 1947 změnila v Mezinárodní leteckou civilní organizaci - "International Civil Aviation Organisation", ICAO, jež se pak stala orgánem OSN.

Pro otázky leteckých map zřídilo ICAO kartografickou subkomisi /MAP/. Tento orgán normalizoval měřítkovou řadu i náplň leteckých map, které měly být v rámci členských států zpracovány. Vydal v r. 1952 směrnice nazvané "Standards aeronautique. Annexe 4 à la Covention relative a l'Aviation civil internationale", v nichž byla definována také mezinárodní letecká mapa světa v měř. 1:1 miliónu. Pro její tvorbu byly však stanoveny základní parametry, zcela odlišné od MMS.

V citovaných směrnících nejsou uvedeny údaje o referenčním elipsoidu; bylo mlčky předpokládáno, že bude použit tehdy mezinárodně přijatý referenční elipsoid Hayfordův, o poloosách

$$a = 6\,378,388 \text{ km}, \quad b = 6\,356,912 \text{ km}$$

Pro zobrazení MLMS byly přijaty zásady:

- mezi rovníkem a 80° sev. a již. šířky je každý 4° pás /mapová řada/ zobrazen v Lambertově úhlojevném kuželovém zobrazení se dvěma nezkreslenými rovnoběžkami, které leží 40' severně a jižně od rámových rovnoběžek každého 4° pásu.

- mezi 80° a 90° zeměpisné šířky je použito stereografického polárního zobra-

zení; měřítko je dáno měřítkem na rovnoběžce Lambertova zobrazení v  $80^\circ$  zeměpisné šířky.

- každý mapový list má zásadně rozměr  $4^\circ$  zem. šířky, rozměr v zem. délce je v jednotlivých zónách určen různě, např. v zóně od  $0^\circ$  do  $32^\circ$  zem. šířky mají rozměr  $4^\circ$  z. š. x  $6^\circ$  z. d., v zóně mezi  $40^\circ$  -  $52^\circ$  z. š. rozměr  $4^\circ$  z. š. x  $8^\circ$  z. d.. Proto je třeba rozměr každého listu mapy posuzovat vždy samostatně. Vzhledem k definici zobrazení představuje každý mapový list samostatnou jednotku; obraz středního meridiánu každého listu představuje osu  $y'$ , osa  $x'$  je tangentou rovnoběžkové kružnice v bodě, kde obraz středního poledníku protíná jižní rovnoběžkovou kružnici.

K usnadnění realizace zobrazení byly vypočteny různé konstrukční hodnoty a uspořádány do tabulek.

Směrnicemi byly stanoveny rovněž podrobnosti o geografické síti a vypracovány smluvené značky pro geografickou a aeronavigační náplň mapy i forma jejího grafického a polygrafického zpracování.

Z porovnání MMS a MLMS je patrné, že základy obou mezinárodních kartografických děl jsou značně rozdílné.

Směrnice o MMS byly opětovně projednávány v r. 1955 na I. regionální kartografické konferenci UNESCO pro Asii a Dálný Východ v Musoori v Indii, které se zúčastnili zástupci některých evropských a amerických států a zástupci ICAO. I přes slabou účast se znovu ozvaly dřívější námitky proti málo zdůvodněným základům, na nichž je MMS založena, k nevhodnému zobrazení, chybám ve výpočtech apod. K nepříznivé kritice nemálo přispěla i okolnost, že tohoto mapového díla, jež mělo být podkladem k jiným dílům světového rozsahu, nemohlo být pro nedostatky použito za základ pro mezinárodní leteckou mapu v měř. 1:1 milionu. Technika leteckého provozu např. nezbytně vyžaduje, aby mapa byla úhlojevná; MMS takovou není.

O obou mapách bylo jednáno na řadě dalších konferencí, pořádaných různými orgány a organizacemi. Na konferencích se vyhranily dvě linie: první trvala na zachování a dodržování dosavadních směrnic pro MMS, druhá doporučovala, aby směrnice byly uvolněny a přizpůsobeny zásadám MLMS. Po diskusích byla přijata resoluce, v níž se konstatuje, že je třeba obě díla, MMS i MLMS, dále rozvíjet, protože každé z nich slouží jinému účelu; dále mělo být jednáno jen o přiblížení obou typů map.

Na 2. regionální konferenci UNESCO pro Asii a Dálný Východ v Tokiu v roce 1958 znovu některé státy, zejména Velká Británie, Austrálie a Egypt prosazovaly zásadu splynutí obou mapových děl; v závěru byla přijata hlavní doporučení:

- pro společné mapové listy MMS a MLMS použít Lambertovo zobrazení až do 80° sev. a již. šířky, pro polární oblasti stereografické zobrazení;
- klad mapových listů sjednotit pro MMS i pro MLMS, a obdobně také označování mapových listů.

Z uvedeného je patrné, že na konferencích se prosazovaly různé alternativy, odpovídající názorům zástupců států zúčastněných na konferencích.

Snad stojí za zmínku, že v r. 1960 na kongresu Mezinárodní geografické unie předložil anglický plukovník R. A. Gardiner návrh, aby pro MMS byl přijat celý komplex zásad vojenské mapy světa v měř. 1:1 miliónu, kterou společně zpracovávají USA a Velká Británie; návrh však neprošel.

V kartografickém odboru UNESCO bylo v průběhu času rozpracováno mnoho dokumentů, a byla zorganizována četná jednání k uvedeným problémům.

Je přirozené, že také ICAO se zabývala otázkami možného splynutí obou mapových děl. Problém byl projednáván v r. 1959 na 6. kartografické konferenci ICAO v Montrealu, na níž bylo v podstatě navrženo, aby MMS přešla zásady platné pro tvorbu MLMS a současně bylo gen. sekretáři OSN doporučeno svolat zvláštní konferenci k definitivnímu rozřešení problému.

Jiné jednání proběhlo v r. 1961 na 2. konferenci EUM /European - Mediterranean/ - regionu v Paříži. Téhož roku se také v Bangkoku uskutečnila pod záštitou UNESCO 3. regionální kartografická konference pro Asii a Dálný Východ, na níž byla problematika MMS opětovně projednávána.

Lze konstatovat, že po převedení MMS do kompetence UNESCO se nebývalou měrou rozrostla péče o to, aby bylo přijato konečné řešení pro tvorbu tohoto kartografického díla.

Rozhodnutím gen. sekretáře OSN byla svolána v době od 1. do 23. 8. 1962 do Bonnu tzv. Technická kartografická konference, řízená kartografickým odborem UNESCO, na níž mělo být přijato konečné řešení problému. Očekávaná radikální revize zásad zpracování MMS však uskutečněna nebyla. Nové směrnice zůstávají do značné míry poplatné směrnicím z r. 1913.



Celkově lze pozorovat určité uvolňování v zásadách, protože nové směrnice umožňují v různých oblastech zpracování MMS rozdílný postup.

Pokud se týče zobrazení bylo pro MMS připuštěno používat v rozmezí 84° sev. a již. šířky zobrazení zavedené pro MLMS; pro polární oblasti bylo přijato stereografické polární zobrazení s navázáním měřítek na 84° sev. šíř. /80° již. šíř./.

Použitý elipsoid je shodný s referenčním elipsoidem zavedeným pro MLMS. Tím jsou vytvořeny základní podmínky pro navázání obou kartografických děl. Zachováno bylo dělení mapových listů podle MMS s tím, že jejich rozměry mohou být podle potřeby zvětšovány až do max. velikosti 100 x 80 cm. Také označování mapových listů bylo zachováno podle MMS.

Dále byly přijaty menší změny ve smluvených značkách, v grafickém znázornění, v některých výkladech použití smluvených značek, zejména aeronavigačního charakteru, v názvosloví, použití druhů písma apod.

Nové směrnice dovolují poměrně značnou benevolenci zejména ve způsobech znázorňování terénu, terénních objektů, v transkripci a transliteraci apod..

Také na 7. konferenci ICAO v r. 1966 v Montrealu, kde na společném zasedání Letecké informační služby /AIS - Aeronautical Information Services/ a zpracovatelů leteckých map, se jednalo o úpravě MLMS vzhledem k zásadám přijatým v r. 1962 pro MMS.

Celkový výsledek lze shrnout takto:

- směrnice pro zobrazení MLMS byly přizpůsobeny novým směrnicím pro MMS;
- do budoucnosti není určena žádná pevná škála vrstevnicových stupňů; stupně mohou být voleny tak, aby terén byl zobrazen v přijatelné míře, aby skutečné tvary terénu byly zřejmé i pro výkonné letce;
- zpracovatelům map se ponechává na vůli kombinování vrstevnic, barevných vrstev apod.;
- připouští se označování map jako u MMS.

K určitému sblížení obou závažných mezinárodních mapových děl tedy skutečně došlo, zdaleka však nikoli v rozsahu, v jakém to bylo původně předpokládáno. Přispělo k tomu zvláště uvolnění v zásadách zobrazování některých prvků map.

Je otázkou, prospěje-li to kvalitě obou mapových děl; z hlediska jednotnosti zpracování - což byl původně také jeden z hlavních požadavků pro celosvětové kartografické dílo - tomu tak nebude.



Zklamání, které se po zasedání obou orgánů projevilo v kruzích některých kartografů, vedlo k novým návrhům, aby bylo vypracováno nové základní celosvětové dílo v měř. 1:1 miliónu, z něhož by pak byla odvozována jak MMS, tak i MLMS. Tato verze má však velmi málo vyhlídek na realizaci.

Již na prvních konferencích o MMS byla přijata zásada, že odpovědnost za vypracování určitého listu mapy přebírá stát, jehož území zaujímá největší část plochy mapového listu. Podle této zásady připadl po první světové válce ČSR úkol zpracovat list NM-33, který před válkou nesl označení Wien; po ní, ve smyslu přijatých zásad, byl tento list označen VZÚ názvem Praha; město Praha leží přibližně uprostřed uvedeného listu. Podobně na Polskou republiku připadlo zpracování listu NM-34, který již před válkou nesl označení Warszawa.

Je kuriózní, že v NSR dosud označují list NM-33 názvem Wien, a list NM-34 dokonce novým názvem "Ostpreussen". Komentáře není zapotřebí.

Jak je z uvedeného stručného přehledu patrné, je historie zpracování MMS velmi pestrá. Zlepšení stavu MMS bylo věnováno mnoho úsilí, o čemž svědčí četné konference i velké množství studií o ní.

Na osudu MMS a MLMS se výrazně projevuje skutečnost, že na úspěchu kartografického díla mají velmi značný podíl jeho uživatelé, a že pro jeho rozvoj nepostačuje jen odborný nebo vědecký zájem, i když je sebelépe odůvodněn.

Jde však i o další problémy.

Sovětský svaz se dosud nepodílí na zpracování MMS ani MLMS; rovněž tak ani Čína se této práci neúčastní. Z ostatních států socialistického tábora se zúčastňují jen některé.

Jak známo, státy varšavské smlouvy zpracovávají mapy v měř. 1:1 milionu, a to geografické i letecké, podle vlastních směrnic. Problém zpracování celosvětové mapy, jehož realizace se nezúčastňují státy, jejichž území představuje značnou část zemského povrchu, zůstává proto značně diskutabilní.

Dosavadní praxe se však může změnit. Sovětský svaz se stal dnem 14. II. 1970 členem organizace ICAO.

Při všeobecném trendu na sjednocení MMS a MLMS, který nadále mezi předními kartografy trvá, zdá se, že vývoj není dosud uzavřen; vzhledem ke vstupu SSSR do ICAO může být sovětskou účastí značně ovlivněn.

Je proto účelné se o vývoj MMS a MLMS zajímat.

## L I T E R A T U R A :

- [1] Böhme R.: "Möglichkeiten der Vereinigung und des Blattschnittes von Internationalen Weltkarte u. Weltluftfahrtkarte 1:1 Mil. untersucht am Beispiel Westeuropas". Deut. Geodet. Kom., R. B, 1962, H. 86.
- [2] Böhme R.: "Die Internationale Weltkarte 1:1 Mil. seit ihrer Übernahme durch die Vereinten Nationen". Kartogr. Nachr., 2/1962.
- [3] Cybulka K.: "Entwicklungslinien der Luftfahrtkartographie". Vermessungstechnik, 1967.
- [4] Devaux M. A.: "Les Cartes aéronautique a I.I.G.N." Allgem. Verm. Nachrichten, 2/1966.
- [5] Grenacher F.: "Die Internationale Weltkarte 1:1 Mil. im Zeitgeschehen". Petermanns Geogr. Mitt., 4/1957.
- [6] Gigas E.: "Automation in der Kartographie". Vermessungstechnische Rundschau, 9/1967.
- [7] Knorr H. K.: "Gedanken über die gegenseitige Ausgleicheung der Internationalen Weltkarte und Weltluftfahrtkarte im Massstab 1:1 Mil." Deut. Geodet. Kom., R. B, 1962, H. 84.
- [8] Knorr H. K.: "Zur Neustellung der Inter. Weltkarte 1:1 Mil". Kartogr. Nachrichten, 2/1962.
- [9] Knorr H. K.: "Aufgabe u. Ergebnisse der Technischen Konferenz der Vereinten Nationen über die Inter. Weltkarte im Massstab 1:1 Mil." Allgem. Verm. Nachr., 2/1963.
- [10] Knorr H. K.: "Vorschlag einer gemeinsamen Grundkarte für die Weltluftfahrtkarte ICAO u. die Inter. Weltkarte". Nachr. a. d. Karten u. Verm. Wesen, R. I, H. 34.
- [11] Knorr H. K.: "Aufgaben u. Ergebnisse der ICAO Konferenz 1966". Allgem. Verm. Nachr. 1967, R. I, H. 39.
- [12] Kranz F.: "Vorschlag für eine einheitliche Geländedarstellung in der Weltluftfahrtkarte ICAO u. der Inter. Weltkarte". Nachr. a. d. Karten u. Verm. Wesen, R. I, 1960, H. 32.

- [13] Kranz F.: "Probleme der Geländedarstellung im Massstab 1:1 Mil. unter besondere Berücksichtigung der Inter. Weltkarte u. Weltluftfahrtkarte". Deut. Geodet. Kom., R. B, 1962, H. 90.
- [14] Laclavere G.: "Propositions pour la Carte Inter. du Monde au 1:1 Mil." Paris, 1960.
- [15] Lallemand M.Ch.: "Sur les déformations résultant du mode construction de la carte inter. du monde au millionième". C. R. Acad. Sci. Paris 1911,
- [16] Lomnicki A.: "L'analyse mathématique de la projection de la carte du monde au millionième". Wiadomości Sluzby geograficznej; Warszawa, 1927.
- [17] Meine K.H.: "Flugsicherung u. Luftfahrtkarte". Nachr. a. d. Karten u. Verm. Wesen, R. I, 1956, H. 1.
- [18] Meine K.H.: "Die ICAO-Kartographie in neuer Sicht". Kartogr. Nachr., 1959.
- [19] Meine K.H.: "Die Ergebnisse der Europa-Kartenkonferenz der ICAO vom 2 - 10. 5. 1961 in Paris". Nachr. a. d. Karten u. Verm. Wesen, R. I, 1961, H. 20.
- [20] Meine K.H.: "Die Ergebnisse der ICAO-Kartenkonferenz 1959. Petermanns Geogr. Mitteilungen, 1960.
- [21] Meine K.H.: "Gegenwartsaufgaben der amtlichen Luftfahrtgeographie in Deutschland". Nachr. a. d. Karten u. Verm. Wesen, R. I, 1961, H. 19.
- [22] Meine K.H.: "Überlegungen zur Gestaltung von Weltkarten 1:1 Mil., und kleiner aus der Sicht der Luftfahrtkartographie". Deut. Geodet. Kom., R. B, 1962, H. 88.
- [23] Penck A.: "Die Weltkarte 1:1 000 000". Jahrbuch d. Kartographie, 1941.
- [24] Peucker K.: "Die drei Weltkartenprojekte". Petermanns Geogr. Mitteilungen, 1914.
- [25] Service géographique de l'Armée: "Carte du Monde au Millionième". C.R. Séances de la Deux. Conf. Inter., Paris, Décembre 1913. Paris, 1914, 2.

- [26] Schaefer K., Nischau H.: "Die Bearbeitung von Luftnavigationskarten für die Inter. Luftfahrtgesellschaft der DDR". Vermessungstechnik, 1967.
- [27] Schamp H.: "Bemerkungen zur thematischen Luftfahrtkarten". Allgem. Verm. Nachr, 4/1967.
- [28] Strzygowski W.: "Erdweite Vereinheitlichung und Landkarten". Petermanns, Geogr. Mitteilung, 3/1955.
- [29] Strzygowski W.: "Einheitlicher Schnitt für alle Landkarte der Erde".
- [30] Tehničeskije uslovija dlja meždunarodnoj millionnoj karty mira". Geodezija i kartografija, 1/1964.

Došlo dne 10. 12. 1970.



### Současný stav tiskových technik

V posledním desetiletí jsme v polygrafickém průmyslu svědky rychlého vývoje, který zasahuje do všech tiskových technik. Zatímco v jiných průmyslových oborech je vývoj, probíhající po technické i organizační linii, již do určité míry ukončen alespoň v současné fázi technické revoluce, stojí polygrafický průmysl teprve v jeho začátcích. V polygrafii se dnes prakticky jedná o industrializaci. Musíme si uvědomit, že polygrafie zaostává za vývojem průmyslu, který dnes neřeší problém industrializace, ale automatizace. Automatizace znamená úplnou mechanizaci provozů, zatímco industrializace je ve své podstatě přechod od řemeslných, ručních metod k metodám strojním. Jde o to, aby se z grafického řemesla stal grafický průmysl. Kromě ruční sazby a jednotlivých dílčích prací v reprodukční fotografii /retuš, montáž apod./ není nadále možná ruční práce bez pomoci stroje.

Důležitá otázka je standardizace veškeré produkce, které se docíluje tím, že se do jednotlivých provozů a výrobních operací zavádějí měřické metody založené většinou na principech elektroniky. Elektronika vůbec ovlivňuje řadu polygrafických oborů. Plně se prosadila v reprodukční fotografii /výtažky/, fotomechanických přenosech /výroba štočků a hlubotiskových forem/ a v sazbě jak hmotné tak i filmové, kde se rostoucí měrou používají počítače. Elektronické přístroje řídí automaticky rejstřík archových i kotoučových strojů ve všech tiskových technikách a upravují správný barevný tón. V neposlední řadě se o vývoj polygrafie zasloužil i chemický průmysl výrobou nových tiskových forem, fotomechanických vrstev, nových druhů papíru a tiskových barev, které způsobily dosažení nebývalé kvality polygrafické produkce.

V posledních deseti letech směřuje vývoj archového ofsetu k velkoformátovým

tiskovým strojem, a to vícebarevným /zejména čtyřbarevným/. Od roku 1969 je možné pozorovat růst formátu až po 100x140 cm, což je z hlediska hospodárnosti velmi výhodné. Do budoucna lze očekávat zvětšení formátu až na 110x160 cm.

Do roku 1965 převládaly v archovém ofsetu dvoubarevné stroje. V současné době se stále více prosazují čtyřbarevné stroje, které dosahují nejen poměrně větších výkonů, ale i vyšší kvality tisku. Při malých formátech /do 50x70 cm/ převládají jednobarevné stroje, při středních formátech /do 70x100 cm/ dvoubarevné stroje a při velkých formátech především čtyřbarevné stroje. To se ovšem týká strojů nově vyráběných.

Celá řada nově vyráběných strojů archových je konstrukčně řešena tak, že jich lze použít i pro nepřímý knihtisk /letterset/.

U maloformátových ofsetových strojů se dnes objevily ofsetové automaty, u nichž je celý proces automatizován včetně naložení a upevnění tiskových forem a jejich vyjmutí ze stroje. Tiskové formy jsou umístěny ve větším počtu /např. 100 kusů/ ve stohu na zvláštním nakládacím stole. Tyto ofsetové stroje mívají zařízení, které uvolňuje tiskové formy po vytištění požadovaného počtu výtisků, a zařízení, které při výměně tiskové formy automaticky umývá gumový potah válce.

Celá řada strojů se zabývá výrobou maloformátových ofsetových strojů, z nichž mnohé dosahují maximálních hodinových výkonů přes 10 000 archů. Je to např. n.p. ADAST, ČSSR; ADRESSOGRAPH-MULTIGRAPH Co., Cleveland /USA/; DAVIDSON Corp., New York /USA/; SOLNA AB PRINTING EQUIPMENT, Sollentuna /Švédsko/; ROTAPRINT /záp. Berlín/; GESTETNER Lim. London /Anglie/; A.B. DICK Co., Chicago /USA/; REX ROTARY DEUTSCHLAND, Hamburg /NSR/; ROBINCO A.G. Zürich /Švýc./, atd. Tyto stroje dnes často využívají tiskových forem zhotovených rychlými reprografickými metodami.

Ofsetové stroje středního formátu, přibližně do 70x100 cm, byly až do nedávné doby standardními stroji pro jednobarevné práce; dnes se začínají prosazovat i ve dvoubarevné verzi. Nejvyšší hodinový výkon těchto strojů je až 10 000 archů. Některé stroje jsou konstruovány jako stavebnicové a lze je doplnit přiřazením dalších tiskových jednotek na vícebarevné stroje. Vícebarevné stroje této řady bývají již vybaveny fotoelektrickým řízením archů. Např. čtyřbarevný stroj CHAMPION 442 švýcarské strojírně COLOR METAL A. G., Zürich, má zabudovanou fotoelektrickou snímací sou-

stavu firmy HELL, Kiel /NSR/, která dohlíží na přívod papíru mezi nakládacím zařízením a tiskovou jednotkou. Přesnost, s jakou toto zařízení reaguje na nesprávnou polohu archů, je udávána hodnotou 0,02 - 0,04 mm.

Nejznámějšími stroji středního formátu jsou u nás stroje vyráběné strojírnou VEB PLANETA, Radebeul /NDR/. Je to stroj PLANETA TERTIA a PLANETA SUPER TERTIA, jejichž výroba je podle posledních zpráv zastavena. Tyto stroje jsou nahrazeny typem VARIANT pro max. formát papíru 63x90 cm a 70x100 cm. Stroj je konstruován jako stavebnicový a lze jej doplnit dalšími tiskovými jednotkami až na šestibarevný stroj. Další známí výrobci ofsetových strojů středního formátu :

- švédská strojírna SOLNA má v současném výrobním programu jednobarevný stroj SOLNA 132 /585x813 mm/ a dvoubarevný stroj SOLNA 230 /585x765 mm/;
- švýcarská strojírna COLOR METAL - stroj PERLE /47x63 cm/;
- západoněmecká firma FABER u. SCHLEICHER, Offenbach a. M. - stroj ROLAND FAVORIT s fotoelektrickou kontrolou dopravy archů;
- HARRIS INTERTYPE, záp. Berlín - stroj HARRIS AURELIA;
- italská strojírna NEBIOLO, Torino - stroj INVICTA; dále firmy MARINONI, Paris /Francie/, HARRIS and SEYBOLD, Cleveland /USA/; MANN, London /Anglie/; KIEKEBUSCH, záp. Berlín, HOE and CRABTREE, London /Anglie/, atd. Většinu strojů vyráběných v současné době lze použít i pro nepřímý knihtisk, např. VARIANT, ROLAND FAVORIT, HARRIS AURELIA atd.

Velkoformátové ofsetové stroje mají formát papíru větší než 70x100 cm. Rychlostí nedosahují obvykle výkonu menších strojů, maximální rychlost činí až 8 000 archů. Většinou se jedná o dvou i vícebarevné stroje s vysokou hospodárností v provozu. Čtyřbarevný ofsetový stroj nabyl velkou důležitostí a uplatnění po zavedení ofsetového čtyřbarvotisku.

Uspořádání vícebarevných strojů je řešeno různým způsobem. Častým jevem je řadová stavba stroje, která v podstatě znamená seřazení několika jednobarevných strojů za sebou; dvoubarevné stroje tohoto typu mají 6 základních válců. Takové stroje vyrábí např. MIEHLE PRINTING CO., Chicago /USA/; HARRIS and SEYBOLD; MARINONI; MAN /NSR/; MANN /Anglie/, atd. Při jiném způsobu jsou obě tiskové jednotky členěny vedle sebe tak, že mají společný tlakový válec; dvoubarevný stroj tohoto typu má pouze 5 základních válců. Takové stroje vyrábí např. VEB PLANETA,



MANN /Anglie/, atd. Tříbarevný stroj firmy HOE and CRABTREE má tiskové jednotky členěny vertikálně; tlakový válec leží mezi dvěma gumovými válci sousedních jednotek - stroj má 8 válců. Čtyřbarevný stroj NORIS firmy FRÜHWALD u. JÄGER, Nürnberg /NSR/, má 1 velký tlakový válec a 4 skupiny válců deskových a gumových. Arch je po vytištění veden do vykládacího zařízení, které je umístěno na straně nakládací části.

Předávání archů mezi tiskovými jednotkami je řešeno různě :

- bez převáděcích válců pomocí společného tlakového válce : MANN, PLANETA, FABER u. SCHLEICHER, FRÜHWALD u. JÄGER, HOE and CRABTREE;
- pomocí převáděcích válců stejného průměru se základními válci : MIEHLE, MAN, NEBIOLO;
- pomocí převáděcích válců shodného průměru s tlakovým válcem, ale s 2 až 3x větším průměrem, než má válec deskový a gumový : HARRIS and SEYBOLD, MARINONI, FRÜHWALD u. JÄGER;
- pomocí převáděcích válců jiného průměru než má válec tlakový : PLANETA;
- pomocí řetězového systému, který předává archy od jednoho tlakového válce k druhému : FABER u. SCHLEICHER;
- pomocí průběžného řetězového systému : HOE and CRABTREE.

Různé způsoby předávání archů ovlivňují váhu a tvar stroje. Při válcovém systému se archy častěji ohýbají a je větší nebezpečí obtahování barev. Velké převáděcí válce s dvojnásobným průměrem než má válec tlakový se otáčejí poloviční rychlostí a tisková barva má více času k tomu, aby se na povrchu papíru usadila.

V oboru nátiskových strojů je novinkou čtyřbarevný nátiskový stroj RO 4-29 s maximálním formátem tisku 57x73 cm, výrobek firmy VANDERCOOK /USA/.

Kotoučové ofsetové stroje mají různou konstrukci. Buď jsou řešeny na základě systému 4 válců - dvou deskových a dvou gumových bez tlakového válce - kdy papír prochází mezi dvěma gumovými válci a je potiskován oboustranně. Tisková jednotka takto uspořádaných strojů má 4 válce, stroj může být sestaven z různého počtu tiskových jednotek. Tento stavebnicový systém používá např. MAN /NSR/, FRÜHWALD u. JÄGER, ATF /USA/, HANTSCHO /USA/, atd.

Druhý systém spočívá v tom, že rotačka je sestavena z normálních tříválcových ofsetových jednotek : používá např. POLYGRAPH /NDR/, LEVEY /USA/, HARRIS-COTRELL /USA/, atd.



V poslední době se vyrábějí také maloformátové kotoučové stroje, např. tříbarevný stroj ROTOGAZETTE pro šířku kotouče od 21 cm do 49 cm, výrobek firmy ROTAPRINT.

Kotoučové ofsetové stroje jsou velmi výkonné; jejich tisková kapacita dosahuje 25 000 výtisků v hodině, čemuž odpovídá vysoká rychlost pohybu pásu papíru - až 360 metrů za minutu.

Význam ofsetového tisku v poslední době vzrostl, což způsobily především tyto faktory :

- rychlé zhotovení kvalitních a trvanlivých tiskových forem, jejichž výroba bude ještě urychlena automatizací,
- zvýšená kvalita tisku novými barvami na natíraných papírech při sušení barev teplem,
- docílení vysoké jakosti při tisku na novinový papír.

Ofsetová tisková technika se však ve srovnání s knihtiskem a hlubotiskem hůře ovládá. Docílení rovnováhy - optimálního vztahu - mezi tiskovou barvou a vlhčícím roztokem se umožňuje zaváděním nových vlhčících roztoků /alkohol apod./, chlazením tiskové formy během tisku a zaváděním měřických metod pro zjišťování a regulaci tohoto vztahu. V současných letech dochází k přechodu novin na ofsetový tisk, což je umožněno rozvojem filmové sazby. Ofsetovému tisku novin jsou přisuzovány velké vyhlídky. Zejména v USA, Anglii a severských zemích značně vzrůstá počet deníků tištěných na ofsetových kotoučových strojích.

Některé tiskárny novin přešly ke kooperaci ofsetu s knihtiskem. Švýcarská strojírna WIFAG /WINKLER-FALLERT and Co., Bern/ vyrábí takzvaný "hybridní" kotoučový stroj, který se skládá z ofsetových i knihtiskových jednotek, takže lze současně používat obě tiskové techniky. Stroj se používá pro vícebarevný tisk novin, časopisů a propagačních tiskovin. U vícebarevných magazínů se obrazová část zhotovuje ofsetem a textová část knihtiskem. Kombinace tiskových technik umožňuje kompenzovat nedostatky jedné tiskové techniky výhodami druhé.

V současné době přejímá kotoučový ofset část zakázkové náplně archového ofsetu, který může obhájit svoji existenci zvětšením tiskového formátu a širším uplatněním čtyř a šestibarevných strojů.

Budoucnost ofsetu však bude záviset na zvýšení rychlosti tisku; kotoučový ofset

dosahuje dnes maximální rychlosti přibližně 366 metrů za minutu, rotační knihtisk 457 m/min. a rotační hlubotisk 548 m/min. Podaří-li se podstatně zvýšit rychlost tisku, pak se při současně nejrychlejší a nejlevnější přípravě tiskové formy, při dobré kvalitě tisku podmíněné novodobým papírem a barvami, při stejném počtu obsluhujících pracovníků a stejné mzdové sazbě jako v knihtisku a hlubotisku stane ofset ekonomicky a časově nejvýhodnější tiskovou technikou.

Knihtisku tak vyrůstá vážná konkurence v podobě ofsetu, způsobená hlavně rozvojem filmové sazby a zkvalitněním ofsetového tisku. Knihtisk se však této konkurenci brání zaváděním nových tiskových forem, které se zhotovují fotomechanickým způsobem a umožňují tak využívat předností filmové sazby i pro knihtisk. Mezi nejvýznamnější novinky knihtiskové techniky patří celistvá knihtisková takzvaná obepínací deska, která pomáhá zvyšovat hodinové výkony a vytváří lepší podmínky pro postavení knihtisku v konkurenci s ostatními tiskovými technikami.

Celistvá knihtisková forma obsahuje textové i obrazové prvky, dá se namontovat na válec nebo na formový vozík. Zhotovuje se podobně jako ofsetové formy fotomechanickým způsobem z filmové montáže. V současné době jsou známé desky NYLOPRINT firmy BASF /NSR/ a desky DYCRIL firmy Du PONT /USA/, atd. Je třeba poznamenat, že finanční náklady na tyto desky jsou vysoké. Např. cena desky DYCRIL /materiál a zpracování/, která je určena pro tiskové náklady vyšší než 100 000 výtisků, je 7 až 8x vyšší než cena ofsetové desky určené rovněž pro tak vysoký náklad /např. OZASOL P 6 firmy Kalle/. Deska NYLOPRINT je naproti tomu pouze 3x dražší než uvedená ofsetová deska.

V knihtisku jsou náklady na zhotovení tiskové formy stejné bez ohledu na počet výtisků, které z ní mají být vytištěny. V ofsetu je podstatný rozdíl mezi cenou desek určených pro nízké náklady /např. papírové formy pro několik set výtisků/ a cenou forem určených pro vysoké náklady /např. vícekovové formy/.

Knihtiskové archové rotační stroje, u nichž je formové i tlakové těleso válcové, mají všeobecně o něco vyšší hodinový výkon než archové ofsetové stroje. Oblá tisková forma se pro tyto stroje zhotovuje stereotypí odléváním z písmoviny; pro vyšší náklady se odolnost stereotypu zvyšuje galvanickým poměděním nebo poniklováním. Kromě kovu se pro zhotovení stereotypu používá guma, PVC i jiné plastické hmoty. Celistvé obepínací desky jako je NYLOPRINT, DYCRIL apod. se používají pro tisk textů i obrazů.

Pro tisk nákladu do 30 000 výtisků je výhodnější archový ofset /předsensibilizované formy/, protože nižší finanční náklady na zhotovení desky nejsou kompenzovány vyšším výkonem knihtisku. Náklady přes 100 000 výtisků jsou pro knihtisk příznivější při stejném formátu a téže rychlosti tisku jako v ofsetu, zejména v případě oboustranného tisku.

Jednou z posledních novinek, jimiž se knihtisk snaží obhájit svoji existenci, je nepřímý knihtisk - letterset - při němž se kresba z tiskové formy přenáší nejprve na gumový válec a teprve pak na papír. Tato tisková technika nevyžaduje speciální strojové vybavení; k tisku se používá ofsetový stroj bez vlhčícího zařízení s určitými konstrukčními změnami, protože tiskové formy mají obvykle větší tloušťku než ofsetové desky.

Tiskové formy pro nepřímý knihtisk se zhotovují leptáním tenkých zinkových, hořčíkových a měděných desek pomocí rychloleptacího zařízení. Dále se používají fotopolymerové, nylonové a acetátové desky, které lze snadno ovinout kolem válce: reliéfní deska KODAK, deska NYLOPRINT, DYCRIL, TILON, atd.

Výhody nepřímého knihtisku jsou nesporné. Poněvadž se při tomto způsobu nepoužívá vlhčení tiskové formy, nedochází k emulzifikaci tiskové barvy ani k rozměrovým změnám papíru, způsobeným přijímáním vlhkosti během tisku. Náklady na zhotovení tiskových forem jsou značně vyšší ve srovnání s náklady na zhotovení ofsetové desky; tiskové formy však vydrží statisícové náklady při vysoké kvalitě tisku.

Pronikání ofsetu do oblasti, která byla ještě nedávno vyhrazena pouze knihtisku /novinová a knižní produkce/, bylo umožněno rychlým rozvojem filmové sazby, která v současné době dosahuje těžko představitelných výkonů. To ostatně vyplývá z jednoduchého srovnání: schopný ruční sazeč vysází až 1 500 písmen hladké sazby za hodinu, maximální hodinový výkon řádkových sázecích strojů je 31 000 písmen /LINOTYPE CONTINENTA QUICK/, fotosázecí stroje klasické konstrukce dosahují až 28 000 znaků za hodinu /FOTOSETTER při využití systému TELETYPESETTER/, fotosázecí stroje nové konstrukce přes 70 000 znaků za hod., /LINOFILM SUPER QUICK, LUMI-TYPEPHOTON 713, atd./, fotosázecí stroje řízené samočinným počítačem až několik miliónů znaků v hodině /LUMIZIP 900, DIGISET, FOTOTRONIC CRT, atd./. Při těchto vysokých výkonech se však naráží na hranice lidských a organizačních možností, protože pro zásobování těchto strojů perforovanými nebo magnetickými páska-



mi by muselo být neustále v provozu velké množství perforátorů. Např. fotosázecí stroj DIGISET, výrobek firmy HELL, Kiel /NSR/, ve spojení s elektronickým počítačem DIGICOM má výkon 1000 znaků za vteřinu, tj. 3 600 000 znaků v hodině. Má-li perforátor výkon přibližně 9 000 znaků za hodinu, pak by pro plynulý provoz tohoto fotosázecího stroje bylo třeba 400 perforátorů.

Sazba pro tisk novin se v současné době zhotovuje jen na málo druhích fotosázecích strojích :AFT FILMSETTER, LINOFILM, LINOFILM QUICK, INTERTYPE FOTO-TRONIC a fotosázecí stroje firmy PHOTON.

Rychlý vývoj je možné sledovat i v oblasti titulkových fotosázecích strojů. Na trhu jsou k dispozici automaty používající matricových kotoučů s různým druhem a velikostí písma, které samy zpracovávají osvětlený film. Je to např. stroj HEADLINER, výrobek firmy COXHEAD, New York /USA/, DIATYPE firmy BERTHOLD, záp. Berlín, atd. Jiné typy titulkových fotosázecích strojů jsou podobné zvětšovacímu fotografickému přístroji, písmo z matricového kotouče nebo rámečku se promítá na film nebo papír; zpracování fotografického materiálu se děje odděleně od přístroje. Je to např. přístroj LETTERPHOT firmy GUTTENBERG, Ismaning /NSR/, dále STAR-SETTOGRAPH a STAROMAT firmy FILM-KLISCHEE, München /NSR/, atd.

Některé fotosázecí stroje jsou založeny na sazbě textu z negativních matic do speciálního sázítka - celá řádka se pak snímá na film nebo papír : HADEGO holandské firmy QUOD BONUM, Haarlem.

Pozornost si zaslouží i takzvané konverzní způsoby, při nichž se filmová sazba zhotovuje z hotové kovové sazby - z knihtiskových forem. Firma 3 M COMPANY, St. Paul /USA/ vyvinula materiál SCOTCHPRINT - polyesterovou fólii, která je na jedné straně pokryta bílou vrstvou dobře přijímající tiskovou barvu. V nátiskovém stroji se zhotoví ze sazby obtah na tuto fólii a z ní kontaktem kopie na film.

Firma FAG, Heidelberg /NSR/ vyrábí speciální papír a barvy pro zhotovení obtahu ze sazby. Obtah se pak spojí na vakuové vyhřívací desce se speciálním negativním filmem, na němž vznikne po chemickém zpracování negativní obraz písma.

Způsob CONVERKAL je založen na použití speciálního filmu, který obsahuje neprůsvitnou asfaltovou vrstvu na polyesterové podložce. Film se přiloží na vyhřátou sazbu, účinkem teploty a tlaku vznikne negativní obraz písma.

Mechanickou metodu SILVERTYPE vyvinula firma IAES /USA/. Obtah se zhotoví



speciální barvou na plastickou fólii, která se pak vystaví účinku zmáčedla a stříbrných solí. Tyto soli se uchytí na netisknoucích místech; tisková barva se pak smyje, takže tisknouce místa jsou průhledná.

I soudobý hlubotisk je charakteristický změnami, které mají za úkol odstranit zejména obtížnost ve zhotovení hlubotiskové formy, což je dosud nejkomplikovanější fotomechanický způsob ze všech tiskových technik. Vývoj posledních let směřuje k autotypickému a bezpigmentovému hlubotisku. Místo hlubotiskové sítě se používá autotypická síť a fotomechanický přenos se děje postupným kopírováním síťového i polotónového pozitivu. Výsledkem jsou různě veliké a různě hluboké body v měděném válci. Nespolehlivý pigmentový papír je nahrazován rozměrově stálými fóliemi /ROTOFILM/ nebo nanášením citlivé vrstvy přímo na válec.

Firma HELL, Kiel /NSR/ vystavovala již v roce 1962 elektronický stroj pro rytí hlubotiskových válců HELIOKLISCHOGRAPH, jehož rycí hlava má výkon 0,3 m<sup>2</sup> za hodinu.

Italská strojírna CERUTTI dala podnět ke studiu využití laseru k rytí hlubotiskových forem a první přístroje založené na tomto principu byly již vyvinuty.

Hlubotisk nezůstává dnes omezen na tisk ilustrovaných časopisů nebo knižních ilustrací, ani na tisk barevných uměleckých reprodukcí, pohlednic a poštovních známek. Dnes se hlubotiskem rozmnožují barvotiskové magazíny, katalogy, prospekty i jiné náborové tiskoviny. Nejnápadnější rozšíření výrobního programu se projevuje v oblasti potiskování obalových prostředků.

Hlubotisk vyžaduje ze všech tiskových technik největší tlak - asi 100 kg na cm<sup>2</sup> a to proto, aby se papír vmáčkl do vyhloubených tiskových jamek a převzal z nich veškerou barvu. Rychlostí tisku předčí všechny tiskové techniky - soudobá maximální rychlost tisku se udává na 548 m za minutu, což odpovídá přibližně počtu 33 000 otáček za hodinu. Kvalita hlubotisku se v posledních letech značně zvýšila zejména zásluhou kvalitnějších papírů. Přesto i nadále zůstává problémem nečistý tisk, způsobený nedostatečnou přizpůsobivostí papíru - nedostatečným kontaktem mezi povrchem papíru a buňkami tiskové formy. Tento problém byl vyřešen v USA v roce 1966 vyvinutím systémem, při němž se na rubové straně potiskovaného papíru vytváří elektrostatické pole, vlivem něhož se barva prakticky beze zbytku vytahuje ze zahlubněných buněk. Důsledkem tohoto opatření je možnost snížit tiskový tlak na 1/3 až 1/4 dosavadní

hodnoty. Anglická firma CROSSFIELD vyrábí na základě licence zařízení HELIOSTAT, které se montuje do hlubotiskových strojů.

Jelikož pořizovací a provozní náklady hlubotisku jsou daleko vyšší než u ostatních tiskových technik, je hlubotisk rentabilní při nákladu vyšším než 100 000 výtisků. Soudobé zvýšení hlubotiskové produkce způsobil rostoucí zájem o barevný obraz.

Podobně jako v knihtisku se i v hlubotisku zavádí nepřímý hlubotisk - gravure ofset. U strojů používaných v této technice lze tisknout jak z hlubotiskového válce, tak i z reliéfní desky nebo z gumotiskového válce. Na jednom stroji je tedy možno aplikovat tři tiskové techniky.

Vyhledky hlubotisku do budoucna jsou velmi slibné, protože zájem o čtyřbarvotisk se neustále zvyšuje a současně rostou nároky na téměř luxusní výpravu obalových prostředků. Hlubotisk však musí počítat s konkurencí kotoučového ofsetu, který v oboru čtyřbarvotisku dosáhl vynikajících výsledků, srovnatelných po stránce kvality s knihtiskem i hlubotiskem.

Světlotisk zůstává stále technikou, s jejímž bohatstvím a rozsahem tónů se nemůže měřit žádná jiná tisková technika. Doménou světlotisku zůstávají umělecká díla, pohlednice, umělecké a technické katalogy, díla historické a archeologické povahy, obrazy z oboru lékařství, prostě díla, u nichž se klade důraz na nejvěrnější podání i těch nejjemnějších podrobností. Světlotisk je zatím nejpomalejší tiskovou technikou, z ekonomického hlediska je nejvýhodnější výše nákladu do 2000 výtisků. Světlotisk prožívá v současné době období renesance. Stoupající nároky na vysoce kvalitní čtyřbarvotisk vedly v USA ke vzniku techniky "offset-collotype", při níž se chromovaná želatina nanáší na ohebné podložky, které mohou být upevněny na válci. Tisk se provádí jako v ofsetu prostřednictvím gumového válce. Podle dosavadních zpráv vydrží vrstva rychlost tisku 5000 archů/hod. a má trvanlivost 25 000 výtisků.

Světlotisk zůstane, jak se zdá, i nadále vedoucí tiskovou technikou, při rozmnožování uměleckých děl, vědeckých, archeologických a lékařských obrazů.

Polygrafický průmysl prodělává v posledních letech bouřlivý vývoj, který je ovlivněn zejména rozvojem elektroniky, chemie i jiných oborů. Vyhraněný charakter klasických tiskových technik se postupně stírá, na jedné straně dochází k ostré konkurenci tiskových technik, na druhé straně k jejich spolupráci. Projevuje se velké úsilí o zhospodárnění a vyšší efektivnost polygrafické produkce /zvvyšování výkonu strojů,

tiskového formátu, počtu tiskových jednotek/, které probíhá současně se zvyšováním kvality tisku používáním nových materiálů /papír, barvy, tiskové formy/ a zaváděním kontrolních a regulačních elektronických systémů. Cílem všech těchto opatření je snaha o uspokojení stále rostoucích požadavků na vysoce kvalitní tiskoviny ve všech oborech lidské činnosti a zájmů člověka.

Ne všechny soudobé technické vymoženosti naleznou uplatnění při tisku map, který se ve srovnání s převažující polygrafickou produkcí vyznačuje nízkými tiskovými náklady. Tato skutečnost vylučuje použití kotoučových strojů a finančně nákladných tiskových forem určených pro vysoké náklady, máme-li na mysli dosažení vysoké efektivnosti výroby map.

Pro tisk map zůstávají nejvýhodnější archové stroje pokud možno s elektronickou kontrolou a regulací rejstříku. Nebylo by účelné zvětšovat tiskový formát nad u nás dosud užívané parametry. Při zvětšení formátu by nevyhnutelně docházelo k potížím v soutisku, způsobeným rozměrovou nestálostí fólií z plastických hmot, užívaných při výrobě tiskových podkladů map a při jejich montáži. Z ekonomických důvodů by bylo vhodné tisknout topografické mapy na čtyřbarevných ofsetových strojích zejména v tom případě, že by byl zaveden tisk map pomocí zkrácené stupnice barev - žlutá, purpurová, modrozelená a černá. Tento postup by si ovšem vynutil změnu v barevném vyjádření obsahu map. Je však zřejmé, že by tato nová technologie přinesla pronikavé úspory finančních nákladů a zvýšení produktivity práce.

Kvalitu tisku map lze zvýšit zlepšením způsobu vlhčení tiskové formy nebo zavedením nepřímého knihtisku; moderní ofsetové stroje jsou upraveny pro použití této tiskové techniky. Je však třeba si uvědomit, že náklady na pořízení tiskových desek pro tuto techniku jsou mnohonásobně vyšší než u způsobů dosud v ofsetu používaných. Fotopolymerové tiskové desky na polyamidové a polyakrylátové bázi, vhodné pro tento účel, se dnes již vyrábějí i v SSSR. Prvním krokem ke zvýšení efektivnosti tisku map u nás musí být odstranění zinkové zahloubené kopie a její nahrazení hliníkovou eloxovanou deskou s moderní fotomechanickou vrstvou.

S výjimkou NDR nejsou v tomto článku uvedeny výrobky a technický stav v ostatních socialistických státech. Je to způsobeno tím, že v dostupné technické literatuře nejsou údaje o novinkách v polygrafickém průmyslu např. v SSSR, a není k dispozici ani prospektová literatura.

Došlo dne 15. 10. 1970



## Reprodukce topografických map na suché fototechnické materiály s podložkami z plastických hmot

Řadu let se již v našem polygrafickém průmyslu a v zahraničí i v kartografické polygrafii využívají suché fototechnické materiály místo dříve používaného mokrého procesu kolodiového jodidostříbrného na skleněných deskách. Reprodukce se tak zbavila používání jedovatých ustalujících látek, odstranily se nečistoty vznikající užíváním kolodia a zcitlivovací lázně, odstranilo se znečišťování reprodukčních aparátů uvedenými roztoky, zkrátil se postup zhotovení negativu o práce spojené s čištěním, odkysličováním a podpreparací skleněných desek a nebezpečné práce se skladováním vrstev k získávání stříbra apod.

I když jsou výsledné negativy na vhodně zvolených suchých fototechnických materiálech přesnější a jednotnější, neuplatňují se ještě tyto materiály pro reprodukci topografických map v plné míře, což je především z těchto důvodů :

1/ Menší zkušenosti se stabilizací fotoreprodukčních prací na suché fototechnické materiály. Suchý fototechnický materiál je proti mokřým kolodiovým deskám vysoce citlivý a vyžaduje proto přesnější práci reprodukčního fotografa, neboť žádné přílišné zeslabování ani zesilování suchému fototechnickému materiálu nijak neprospívá. Je proto pochopitelné, že ani reprodukční fotografové, kteří pracovali s mokrokolodiovými deskami, kdy se jim podařilo "zachránit" i horší negativ dodatečným zeslabováním a zesilováním, nemohou dosti dobře chápat bezpodmínečnou nutnost stabilizace fotoreprodukčních prací při reprodukci pérových předloh, která zabezpečuje optimální podmínky pro zpracování suchého fototechnického materiálu.

Při stabilizaci reprodukčních prací na suché fototechnické materiály je třeba dodržet nejvhodnější podmínky osvětlení, zvolit optimální expozici s ohledem na další reprodukovatelnost zhotovených negativů, zvolit clonu k výtahu fotoreprodukčního



aparátu v určitém poměru /Např. expoziční systém firma Gevaert pro reprodukci pérovek volí buď 1/64, je-li fototechnický materiál méně citlivý, originály tmavší a intenzita světelného zdroje menší, nebo 1/90, je-li fototechnický materiál citlivější, předloha světlejší a intenzita světelného zdroje větší; sovětský expoziční systém volí pro všechny typy předloh poměr mezi velikostí clony a výtahem fotoreprodukční kamery 1/70/. Stabilizace dále vyžaduje, aby se zpracování fototechnického materiálu provádělo zásadně v té vývojce, kterou doporučuje výrobce pro ten který fototechnický materiál, stejně jako dodržování té teploty a té doby vyvolávání, které se doporučují. To platí i o ostatních pracovních lázních. Tím se dosáhne toho, že při minimálním zásahu zeslabovače /pouze pro pročištění kresby/ budou zhotovené negativy při reprodukci rozdílných předloh v různém poměru zmenšení nebo zvětšení a na rozdílných reprodukčních aparátech při konstantní expozici shodné, co do optické hustoty kresby a optické hustoty pozadí. /Podrobněji viz VTO č. 2/1959, str. 146-165 [9]./

Stabilizaci reprodukčních prací při zpracování suchých fototechnických materiálů si vyžaduje nejen zkvalitnění výroby a zvýšení kapacity fotoreprodukčního oddělení, ale také hospodárné využívání těchto dovážených a drahých suchých fototechnických materiálů, zejména na podložkách z novodobých plastických hmot, typu polystyrénu, polycarbonátu a polyesteru.

2/ Potíže s rozměrovou stálostí suchých fototechnických materiálů s filmovými podložkami. Od materiálů, které se používají jako podložky pro suché fototechnické materiály, se požaduje především dostatečná rozměrová stálost, transparence, určitá jakost povrchu /tvrdost a hladkost/ a trvanlivost proti jevům stárnutí.

Nejzávažnějším ukazatelem u těchto suchých fototechnických materiálů pro jejich využití v kartografii je jejich rozměrová stálost, čímž rozumíme tu vlastnost podložky a citlivé vrstvy, že co nejméně reagují na vnější nebo vnitřní vlivy, tj. vlhkost /na našem území se hodnota relativní vlhkosti vzduchu pohybuje mezi 35 % v zimě a 95 % na jaře a v létě/, teplotu, chemikálie, použité při výrobě podložky a při její preparaci citlivou vrstvou a vnitřní pnutí.

Působením těchto vlivů při výrobě, skladování, laboratorním zpracování se suché fototechnické materiály buď prodlužují nebo smršťují, čímž dochází k rozměrovým změnám v podélném a příčném směru.

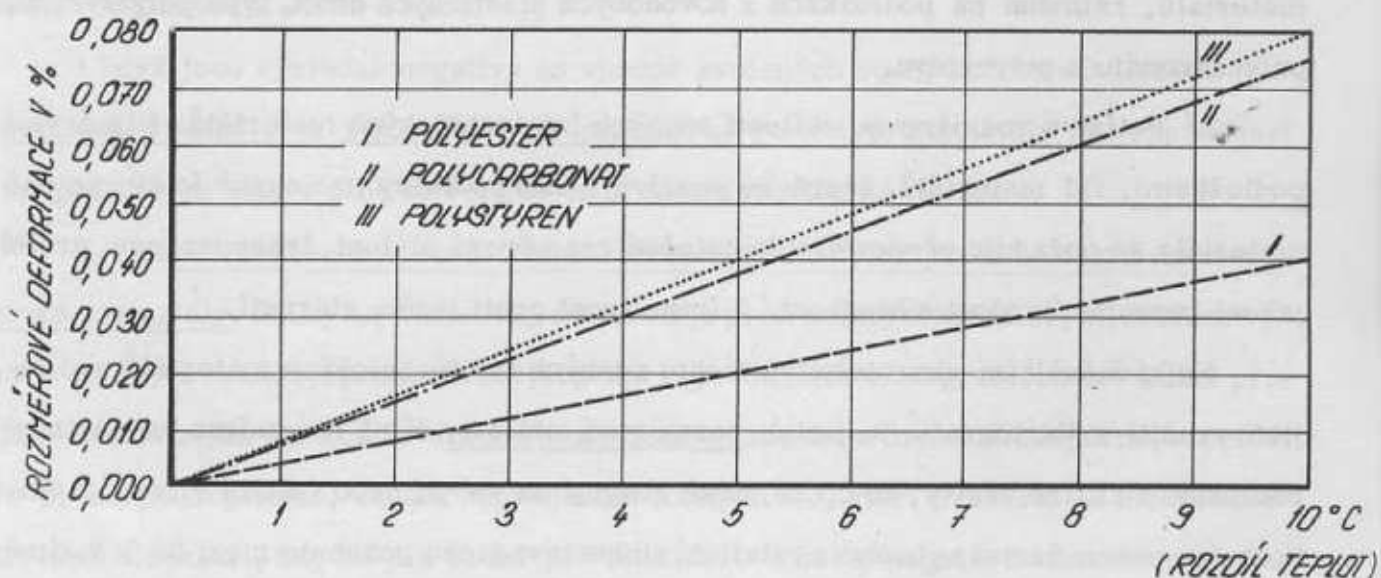
Rozměrově nejstabilnější podložkou, která splňuje nejlépe uvedené požadavky, je

sklo, neboť jeho koeficient lineární roztažnosti vlivem teploty o  $1^{\circ}\text{C}$  se pohybuje od 8,0 do  $10 \cdot 10^{-6}$  cm/cm, takže se skleněná deska 1 m dlouhá při oteplení o  $1^{\circ}\text{C}$  změní o hodnotu 0,01 mm a při oteplení o  $10^{\circ}\text{C}$  o hodnotu 0,1 mm, které lze zanedbat.

Používání suchých fototechnických materiálů na skleněných podložkách je však nevýhodné, protože skleněné desky jsou zvláště ve větších formátech příliš těžké a ztěžují tak manipulaci při práci.

Proto se dnes vyrábějí fototechnické materiály převážně na filmových podložkách nitrocelulóзовých, acetylcelulóзовých /acetobutyraťových, triacetátových/, polystyrénových /polymerát vinylbenzenu/, polykarbonátových /polykondenzát fosgenu a difenol-acetonu/ a polyesterových /polykondenzát kyseliny tereftalové a ethylenglykolu/, tj. polyethyltereftalátových /PET-/ foliích.

Uvedené fólie vykazují určité rozměrové změny vlivem kolísání teploty a vlhkosti vzduchu, a to zejména okolního prostředí. Tyto změny se zjišťují jednak při konstantní vlhkosti vzduchu /obvykle při 65 % RVV/ a proměnlivé teplotě, čímž se zjistí tepelný koeficient roztažnosti, který vykazuje lineární závislost se snižováním a zvyšováním teploty /viz obr. 1/.

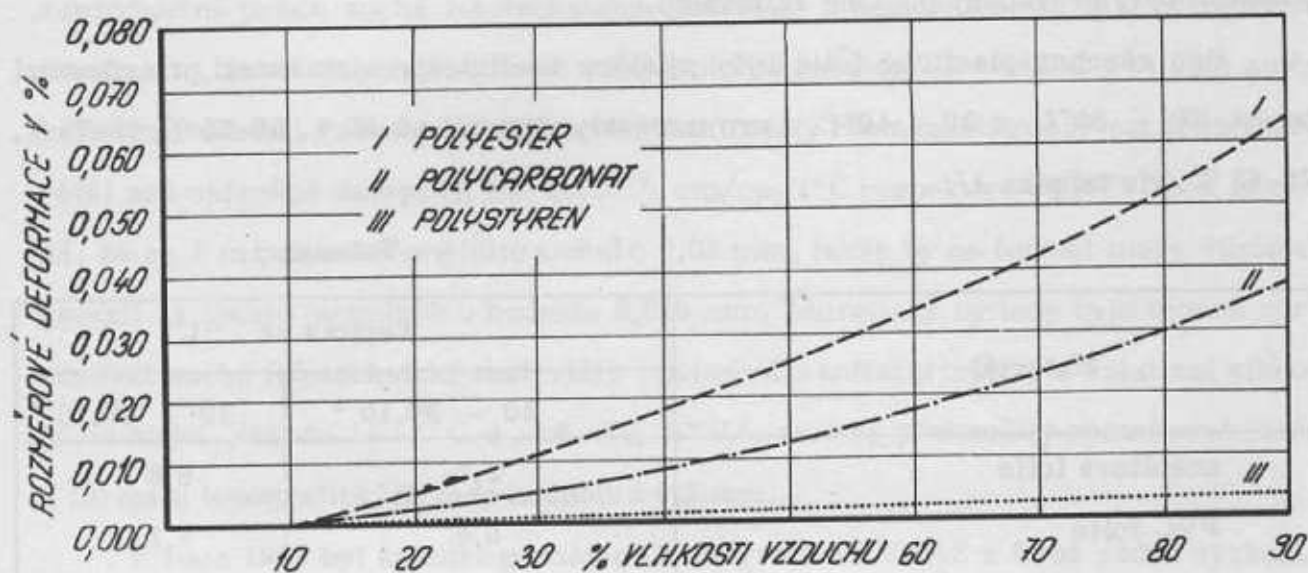


Rozměrové deformace fólií z plastických hmot při zvyšování teploty a konstantní relativní vlhkosti vzduchu /lineární teplotní koeficient roztažnosti/

Obr. 1

Sleduje-li se rozměrová stálost u těchto filmových podložek při konstantní teplotě /obvykle  $20^{\circ}\text{C}$ / a různé relativní vlhkosti vzduchu, obdržíme křivky změn rozměrů

těchto filmových podložek vlivem kolísání relativní vlhkosti vzduchu /viz obr. 2/.



Rozměrové deformace fólií z plastických hmot při různých relativních vlhkostech vzduchu

Obr. 2

Experimentální zkoušky k určení koeficientů roztažnosti uvedených plastických hmot samotných a ovrstvených citlivými fototechnickými vrstvami nebo chromátovými kopírovacími vrstvami vlivem kolísání teploty a kolísání relativní vlhkosti vzduchu - prováděla kartografická služba v Potsdamu /H. Finger/, západoněmecký úřad pro kartografii /výsledky shrnul R. Blanck/ a fyzikální laboratoře společnosti Dynamit, Nobel, Troisdorff /Dr. Numann/ společně s Ústavem pro užitou geodézii ve Frankfurtu /Moh. /J. Becke/ - /viz grafy v obrázcích 1 a 2/. Pro určení hodnot rozměrových deformací využívali speciálních zařízení s možností klimatizace na uvedenou konstantní teplotu nebo relativní vlhkost vzduchu.

Tak např. H. Finger, VEB Kartographischer Dienst, Potsdam [6] měl k dispozici pro měření speciálně zkonstruovaný komparátor s měřícím mikroskopem, jehož odečítací přesnost byla  $\pm 0,001$  mm. Toto délkové měřící zařízení lze umístit do termostatu, kde je nastavena požadovaná zkušební teplota. Pomocí komparátoru lze změřit délky transparentního materiálu 100; 143; 357; 400; 500; 600; 643; 1000 mm, které se porovnávají s délkami ocejchovaného měřítka na zrcadlovém skle, u něhož je znám koeficient roztažnosti. Pro stanovení koeficientů roztažnosti byla provedena série tří zkoušek. Série 1. byla provedena při konstantní relativní vlhkosti vzduchu a různé teplotě, série 2. při konstantní teplotě a různém intervalu RVV, série 3. byla



uskutečněna za podmínek pracovní místnosti a přepočtena na teploty 20°C a 65 % RVV. Zkoušky byly prováděny po dobu 12 měsíců.

Pro všechny plastické fólie byly zjištěny koeficienty roztažnosti pro rozmezí teplot 20 - 30°C a 30 - 40°C a pro intervaly vlhkosti 40-50 %, 50-65 %, 65-75 %, 75-85 % /viz tabulka 1/.

Tabulka 1.

Materiál	Teplota ve °C	
	20 - 30.10 <sup>-5</sup>	30 - 40.10 <sup>-5</sup>
acetátové fólie	2,7	6,8
PVC fólie	6,4	7,1
polykarbonátové fólie	3,8	5,6
polyesterové fólie	2,2	3,3

	RVV v %				
	65-75.10 <sup>-5</sup>	75-85.10 <sup>-5</sup>	85-90.10 <sup>-5</sup>	65-50.10 <sup>-5</sup>	50-40.10 <sup>-5</sup>
acetátové fólie	12,7	9,3	14,8	-6,2	-11,5
PVC fólie	-1,7	1,0	1,3	-0,4	- 0,6
polykarbonát. fólie	-1,6	1,2	0,7	-1,8	- 0,6
polyesterové fólie	-1,0	1,1	1,4	-1,3	- 0,2

Provedené zkoušky ukázaly, že rozdílná tloušťka plastických fólií a druh povrchu jen velmi málo ovlivňují rozměrovou stálost a že i nerovnoměrné změny v podélném a příčném směru jsou pro nepatrné odchylky zanedbatelné.

Nejméně vhodné se pro kartografické a kartoreprodukční práce podle provedených zkoušek kartografickou službou v Potsdamu ukázaly acetátové fólie, i když jsou zatím nejběžnějšími podložkami citlivého materiálu, neboť zejména jejich koeficient délkově roztažnosti vlivem změněné relativní vlhkosti vzduchu je příliš vysoký /  $\alpha = 50-160 \cdot 10^{-6}$  cm/cm 1% RVV/; délková změna je nepravidelná, rozdílná při mokřem zpracování a po usušení; tyto fólie nevykazují bezezbytkovou reverzibilitu po účinku uvedených vlivů.



Nejvhodnější jsou podle těchto provedených zkoušek pro kartografické a kartoreprodukční práce suché fototechnické materiály s podložkami na bázi polyethylen-tereftalátu, neboť vykazují vlivem změny teploty v rozmezí 35 - 60°C a vlivem změny relativní vlhkosti vzduchu z 30% na 70% koeficienty roztažnosti pouze asi trojnásobně větší než skleněné desky, tj. asi  $30 \cdot 10^{-6}$  cm/cm.1°C respektive 1% RVV, což znamená, že se 1 m polyesterové fólie změní o 0,03 mm, takže by se formát mapy 50x50 cm změnil za těchto podmínek o hodnotu 0,015 mm. Teoreticky by tedy bylo možné zpracovávat suché fototechnické materiály i při větším kolísání teploty a relativní vlhkosti vzduchu /až do  $\pm 6 - 7^\circ\text{C}$  a  $\pm 6 - 7\%$  RVV/, aniž by překročily rozměrové změny u formátu topografických map hodnotu  $\pm 0,2$  mm.

V roce 1969 byl katedře geodézie a kartografie na VAAZ v Brně zadán výzkumný úkol, který se měl zabývat reprodukcí map na suché fototechnické materiály s podložkami z plastických hmot.

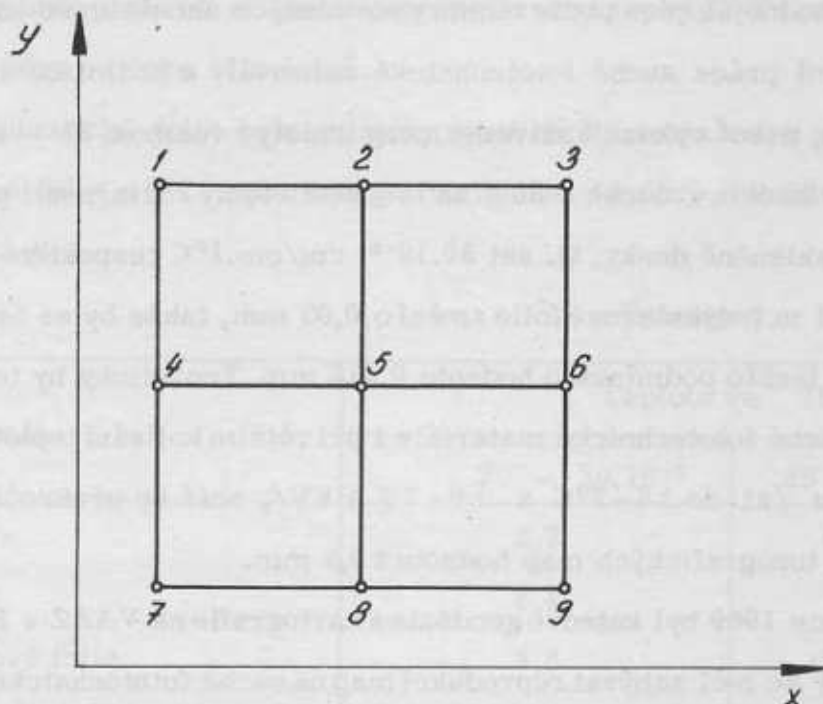
Protože nebylo k dispozici speciální komparační zařízení, byla pro experimentální určení rozměrových deformací u suchých fototechnických materiálů ORWO FO.6, ORWO FO 6p /výrobce - ORWO, Wolfen, NDR/, GEVALITH ORTO 081p /výrobce - společnost Agfa-Gevaert, NSR-Belgie/, FERRANIA-3M LITH ORTO film /výrobce - společnost Ferrania- Minnesota Mining and Manufacturing, Itálie-USA/ aplikována metoda Fomina [7], [8], která porovnává šest úseček ve směru podélném a šest úseček ve směru příčném na etalonu s odpovídajícími úsečkami na zhotovených kopiích /viz obr. 3/ a určuje tzv. koeficienty systematické /pravidelné/ rozměrové deformace ve směru podélném  $S_x = l'_x - l_x$  a ve směru příčném  $S_y = l'_y - l_y$  a jejich střední kvadratické chyby ze vztahů :

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{[\Delta x_i \Delta x_i]}{n-1}}, \quad m_y = \pm \sqrt{\frac{[\Delta y_i \Delta y_i]}{n-1}}$$

$$\text{kde} \quad \Delta x_i = S_{x_i} - \frac{\sum S_x}{n} \quad ; \quad \Delta y_i = S_{y_i} - \frac{\sum S_y}{n},$$

$$\text{kde} \quad n = 6 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

U fototechnického materiálu ORWO FO 6 je citlivá vrstva nanášena na acetátové podložce, ostatní tři typy fototechnických materiálů mají citlivé vrstvy nanášeny na podložkách z polyesterových fólií o tloušťce 0,10 mm.



Obr. 3

Pro určení a výpočet rozměrových deformací u materiálů ORWO FO 6, GEVALITH ORTHO 081p a FERRANIA -3M LITH ORTHO byly ve směru podélném porovnávány s etalonem úsečky  $\overline{1'2'} = \overline{2'3'} = \overline{4'5'} = \overline{5'6'} = \overline{7'8'} = \overline{8'9'} = 200$  mm a ve směru příčném úsečky  $\overline{7'4'} = \overline{4'1'} = \overline{8'5'} = \overline{5'2'} = \overline{9'6'} = \overline{6'3'} = 200$  mm.

Fototechnický materiál ORWO FO 6p byl k dispozici jen ve formátu 30x40 cm, a proto byly ve směru podélném a příčném porovnávány pouze úsečky dlouhé 175 mm.

Vlastní čtvercová síť, která sloužila jako etalon pro kopírování a reprodukci na uvedené fototechnické materiály, byla vyryta s krokem 2,5 cm do fotografické citlivé vrstvy Agfa Phototechnische Platte B se skleněnou podložkou pomocí koordinátografu HAAG STREIT č. 77. Šířka vyrytých čar byla přeměřena na vertikální vrtačce VEB Feinmaschinenbau, Dresden, a činila 0,053 mm, neboť zařízení dovoluje pomocí optického nastavení a optického mikroskopu přesně odečítat na hodnotu 0,001 mm, s odhadem až na 0,0005 mm.

Také délky úseček na etalonu byly zaměřeny na uvedeném typu vertikální vrtačky a rozdíl v délce 200 mm nebyl větší než  $\pm 0,010$  mm.

Pro stanovení koeficientů rozměrových deformací  $S_x$  a  $S_y$  byl zhotovený etalon nakopírován v pneumatickém rámu fotoreprodukčního přístroje Olymp-Lux na uvedené typy fototechnických citlivých materiálů při osvětlení žárovkou 15 W ze vzdálenosti 7 m.

Při zhotovování negativů etalonu v poměru 1:1 ve fotoreprodukčním přístroji byl etalon snímán v diapositivním zařízení při osvětlení ze zadní strany uhlíkovými lam-

pami. Fototechnický materiál byl přitom lepen zadní stranou na skleněnou desku nebo vložen mezi dvě skleněné desky.

Po expozici byly fototechnické materiály vyvolány v paraformaldehydové vývojce ORWO 82 při vyvolávací době 3,5 minuty. Po ustálení a praní byly všechny kopie a negativy sušeny ve vertikální poloze zavěšeny na kratší straně.

Během celého laboratorního zpracování fototechnického materiálu byla snaha dodržet v mezích možností stejnoměrné tepelné a vlhkostní podmínky v místnostech, kde se kopie zpracovávaly a sušily, a teplotu vývojky a ustalovače. Teplota místnosti se během zpracování pohybovala mezi 17°C až 20°C při relativní vlhkosti vzduchu 40-45% a 64-69%. Teplota pracovních roztoků při fotolaboratorním zpracování byla 17-18°C.

Vzdálenosti na kopiích byly odečítány na pravoúhlém koordinátografu firmy HAAG STREIT, Bern, na němž je možné odečítat s přesností  $\pm 0,1$  mm a při odhadování posledního dílku /poměr 1:1000/ na  $\pm 0,02$  mm.

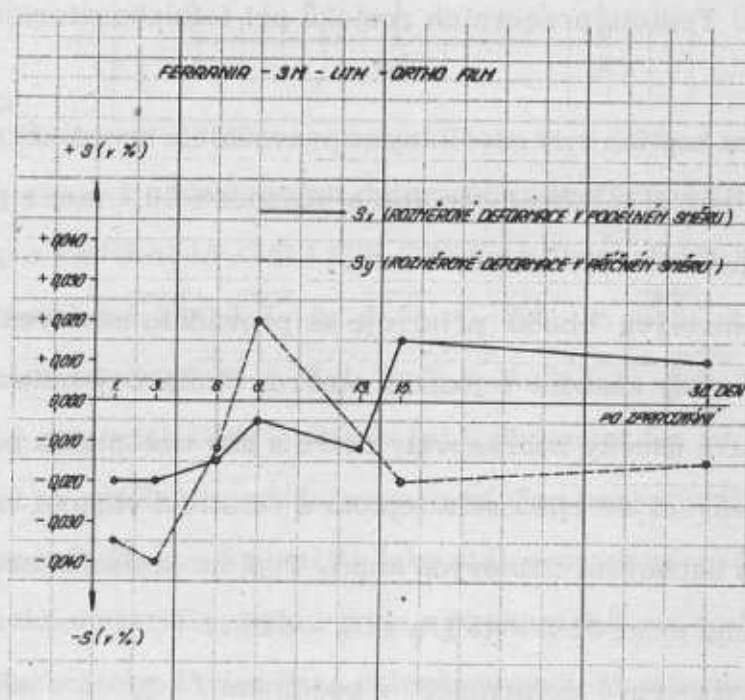
K vyloučení mrtvých chodů přístroje se provádělo nastavení na daný průsečík jemným způsobem vždy zásadně v jednom směru. Okulárový mikroskop byl nastaven tak, aby se jednotlivé úsečky zobrazovaly ostře a aby nevznikala paralaxa.

V průběhu měření se zjišťovala teplota a relativní vlhkost vzduchu v místnosti odečítání úseček a uschování filmových kopií. Teplota kolísala mezi 18-23°C a relativní vlhkost vzduchu mezi 38% - 45% a 67% - 69%.

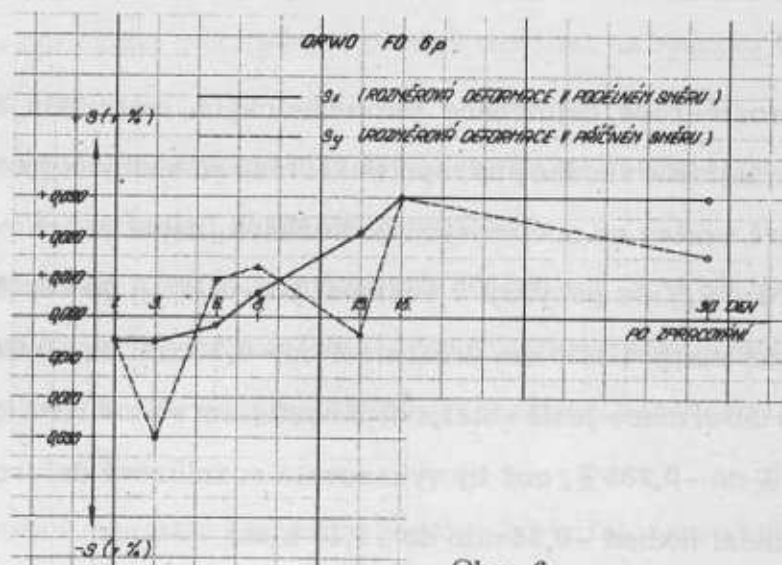
Vypočtené rozměrové deformace v podélném /  $S_x$  / a v příčném /  $S_y$  / směru, zjištěné měřeními 1., 3., 6., 8., 13., 15. a 30. den po zpracování a usušení u kontaktních kopií jsou pro zkoumané fototechnické materiály zachyceny v grafech na obrázcích 4, 5, 6, 7.

Vypočtené rozměrové deformace fototechnických materiálů a jejich grafický průběh ukazují, že nejméně vhodné pro reprodukci map ze suchých fototechnických materiálů jsou citlivé vrstvy na acetátových podložkách, neboť jejich rozměrové změny v podélném směru /  $S_x$  / se pohybují v rozmezí od -0,125% do -0,180%, což činí pro formát topografické mapy 40x50 cm deformaci od -0,50 mm do -0,62 mm. V příčném směru budou tyto deformace ještě větší, neboť koeficient rozměrové deformace se pohybuje od -0,165% do -0,235%, což by vykazovalo rozměrové deformace na topografické mapě v rozmezí hodnot -0,56 mm do -1,18 mm.

Mezi třemi fototechnickými materiály na polyesterové podložce /Orwo FO 6p, Gevalith Ortho 081p, Ferrania 3M lith ortho/ není v rozměrových deformacích podstatného rozdílu, i když u materiálu ORWO FO 6p je mezi šestým až osmým dnem po zpracování sklon k protažení v podélném i příčném směru, zatímco u fototechnického materiálu Gevalith Ortho 081p se projevuje poměrně trvalé a stejnoměrné smrštění v obou směrech. U obou jmenovaných materiálů nepřesáhly v průběhu měření koeficienty rozměrových deformací v obou směrech maximální hodnotu  $\pm 0,045\%$ , což by na formátech topografických map vykázalo rozměrové změny od  $\pm 0,18$  mm do  $\pm 0,225$  mm.

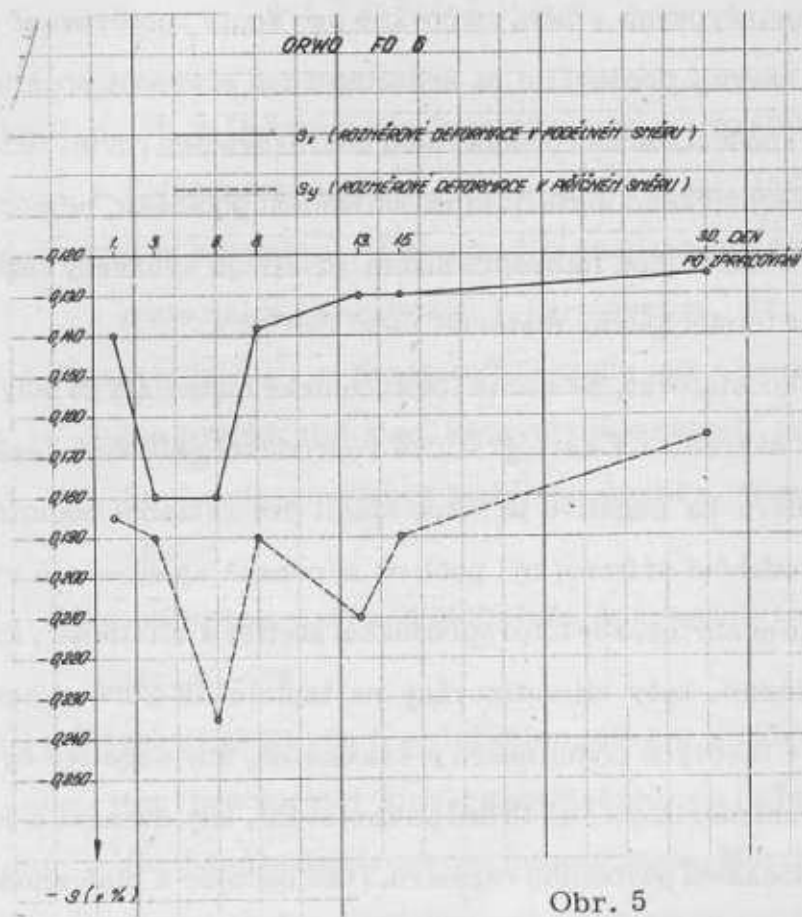


Obr. 4

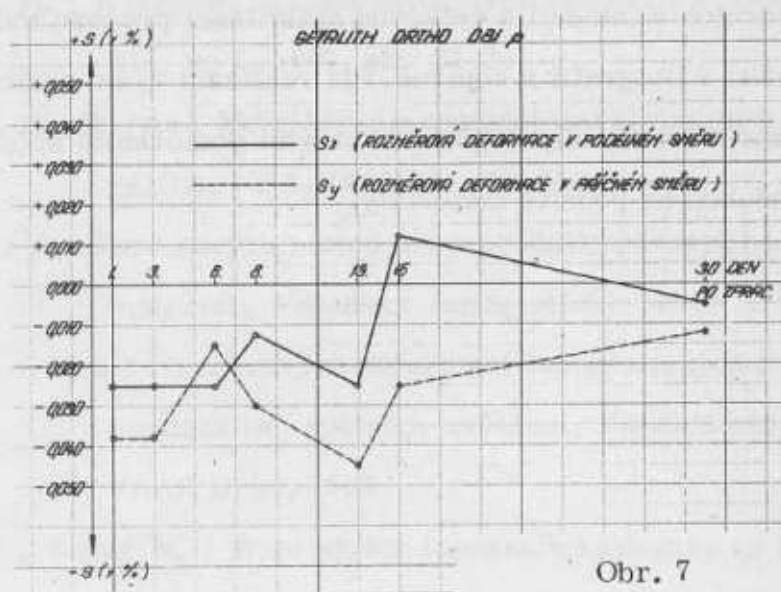


Obr. 6





Obr. 5



Obr. 7

Koeficienty rozměrových změn, určované pro kopie zhotovované ve fotoreprodukčním přístroji, ukazují především na nedostatečnou přesnost použitého fotoreprodukčního přístroje /nedostatečná rovnoběžnost zobrazovacích rovin, nedokonalá rovinnost lepeného fototechnického materiálu na skleněnou podložku, nemožnost přesného zastavení apod./. Pokud nejsou fotoreprodukční přístroje vybaveny vakuovou kazetou, je vhodnější vkládat fototechnický materiál mezi dvě skla.

Závěrem lze konstatovat, že suché fototechnické materiály na polyesterové podložce jsou schopny nahradit i v kartografické reprodukci skleněné desky. K dosažení požadovaného rozměru na negativu je nutno splnit dvě základní podmínky. Předně je třeba, aby fotoreprodukční přístroj byl pečlivě a přesně zjustován a vybaven vakuovou kazetou. Dále je nezbytné, aby fotoreprodukční ateliér a místnosti, kde se negativy zpracovávají a ukládají, byly klimatizovány na teplotu 18-20°C a relativní vlhkost vzduchu 60-65%. I v takových podmínkách je však nutné, aby negativy byly využity pro další práce /zhotovení mezikopií/ až 15 dnů po zhotovení, kdy dochází k jejich reverzibilitě, tj. snaze po dosažení původního rozměru. I tak nedojde k plné shodě s původními rozměry, odchylky však nepřekročí povolenou toleranci  $\pm 0,2$  mm, jak ukazují předcházející grafy.

Zavedení suchých fototechnických materiálů si tedy vyžádá určité úpravy kartoreprodukčních provozních místností a celkovou stabilizaci procesu zhotovení negativů a jejich dalšího využití v litografii a kopírně. Při realizaci výše uvedených zásad budou suché fototechnické materiály s polyesterovými podložkami splňovat požadavky kartografické reprodukce na použité materiály.

- [1] Alexapolskij N. M. : Deformacija čuvstvitelnovo fotografičeskovo materiála, Fotogrammetrija, I., Moskva, 1956, str. 150-161
- [2] Afremov, Knorozov a kolektiv : Deformacija emulzionovo sloja fotografičeskich materiálov, Geodezija i kartografija, 11, 1966, str. 52-57
- [3] Becke J. : Masshaltigkeit von Kunststoffolien die mit Chromat-Kopierschichten beschichtet sind, Fachvorträge beim II. Internationalen Kurs für Landkartendruck und Reproduktion, München 1961, str. 93-106
- [4] Becke J. : Masshaltigkeit von Kunststoffolien, Angewandte Geodasie, Heft N-75, str. 93-106
- [5] Blanck R. : Masshaltigkeit von Kunststoffolien, die mit photographischen Schichten beschichtet sind, Fachvoträge beim II. Internationalen Kurs für Landkartendruck und Reproduktion, München 1961, str. 83-92
- [6] Finger H. : Bestimmung der Ausdehnungskoeffizienten von Plastfolien für geodatisch-kartographische Arbeiten, Vermessungstechnik 12, 1964, Heft 5, str. 189-191
- [7] Fomin J. M. : K voprosu ob učetě deformacii aeroplenok, Geodezija i kartografija, No 1, 1967, str. 32-34
- [8] Fomin J. M., Budyla : Metričeskaja něstabilnost aeroplenok, Geodezija i kartografija, No 6. 1965, str. 43-51
- [9] Ježek J. : Aplikace nových metod při reprodukci pérovek na suchý reprodukční materiál, Vojenský topografický obzor 2/1959, str. 146-165
- [10] Ježek J. : Studie rozměrových deformací topografických map při mikrodokumentaci a zpětném zvětšení, Kandidátská disertační práce, VAAZ Brno, 1969
- [11] Ježek J. , Kosař K. : Reprodukce topografických map na suché fototechnické materiály, Výzkumná zpráva, VAAZ Brno, 1970, str. 50
- [12] Knorr H. : Einfluss der Gravurschicht, des Schichtträgers und der Gravierwerkzeuge auf die Qualität der Schichtgravur, Fachvoträge beim II. Internationalen Kurs für Landkartendruck und Reproduktion, München 1961, str. 165-195

- [13] Mühle H. : Die Schichtgravurverfahren, Schichtgravur, Ergebnisse des 5. Arbeitskurses, Niederdollendorf, 1964, Mannheim 1965, str. 27-61
- [14] Stump H. : Glass als wesentliches Grundlagematerial für die Kartographische Reproduktionstechnik, Fachvorträge beim II. Internationalen Kurs für Landkartendruck und Reproduktion, München 1961, str. 107-117.

Došlo dne 29. 10. 1970



### Zkušenosti z používání suchých obtisků v kartografické výrobě ve VZÚ

V poslední době byla grafická výroba obohacena o další technickou novinku - suché /propisovací/ obtisky. Tato technika podstatně usnadňuje práci architektům, výtvarníkům, grafikům, kartografům, kartolitografům, montážníkům, propagačním pracovníkům a jiným technickým pracovníkům a službám používajícím písmo, různé značky, symboly, bodové a linkové rastry apod. Kromě uvedených profesí najde jistě uplatnění i v mnoha dalších oborech /administrativě, školství atd./ Naskýtá se možnost využití obtisků nejen v kartoreprodukci při opravách tiskových podkladů, ale i v mírových a bojových podmínkách VTS. Předpokladem tohoto rozvoje je snadná práce s obtisky a podstatné zvýšení produktivity práce /zkrácení termínů, zjednodušení technologie/.

Princip suchého /propisovacího/ obtisku /dále již jenom obtisku/ spočívá v jednoduchém a rychlém přenesení určitého znaku nebo písmene z připraveného potištěného archu na zvolenou podložku. Přenesení se provádí tlakem pomocí tříče /hrotem propisovací tužky apod./, takže proti dřívějšímu způsobu, tj. vyřezání značky, nanesení lepidla a přilepení na podložku, je práce s obtisky snadnější a přináší vzhledem k širokým možnostem použití značné úspory časové i finanční.

Již před několika lety novou techniku suchého obtisku vypracovaly některé západoevropské firmy, např. anglická LETRASET, rakousko-švýcarská ALFAC, západoněmecká TRANSOTYPE aj. /obr. č. 1/ Známý je i výrobek NDR JUSAFIX /výrobce August Juttner KG 68 Saalfeld/ několikabarevné suché obtisky.

V ČSSR na základě několikaleté výzkumné práce propracovaly Obchodní tiskárny n.p. Kolín a ve své provozovně v Hradištku zhotovily podle vlastní technologie výrobek zvaný PROPISOT, který je podle vyjádření předních odborníků i podle na-



Obr. 1

šich praktických zkušeností ve Vojenském zeměpisném ústavu srovnatelný s výše uvedenými zahraničními obtisky. Rovněž podnik DÍLO /tj. organizace Českého fondu výtvarných umění v Praze/ zahájil v loňském roce výrobu suchých obtisků v zahraniční licenci firmy TRANSOTYPE.

Možnosti využití suchých obtisků jsou velmi široké a podle toho je organizována i výroba. Podle charakteru použití se obtisky člení na dvě základní skupiny: standardní /universální/ a individuální. Svou universálností jsou standardní obtisky předurčeny pro všestranné použití různými organizacemi. Tyto se potom ještě dělí tématicky na několik skupin podle vydaných katalogů. Jsou to především grafická písmena a číslice provedené v různých řezech /typech/ a v celé řadě výškových gradací vyjádřených v mm. Dále pak jsou to různé technické značky zahrnující nejčastěji používané symboly v projekční a technické praxi. Tyto standardní obtisky se dodávají ve formátech A 4.

Druhou skupinu tvoří individuální obtisky. Jsou zhotoveny na zvláštní objednávku podle individuálních požadavků. Z jakých předpokladů se vychází při přípravě objednávky? Především je nutno vzít v úvahu největší možnou potištěnou plochu obtisků a ta je 240x185 mm. Výrobce doporučuje podélné i příčné vynechání cca 5 mm

/uprostřed/ na prostříhnutí archu pro snazší manipulaci. Na základě našich praktických zkušeností se s tímto návrhem ztotožňujeme. Ve smyslu těchto údajů je nutno zhotovit předlohu. Nejvhodnější předlohou je kvalitní pérový diapozitiv v originální velikosti. Jestliže není v možnostech objednatele zhotovit si dokonalý pérový diapozitiv, doporučuje výrobce vykreslit předlohu v měřítku 4:1 na křídový karton nebo kladívkovou čtvrtku černou tuší. Kresba musí splňovat základní reprodukční požadavek: ostrá hrana a dobré krytí. Kromě uvedeného formátu A 4 je možno výjimečně požadovat zhotovení obtisků i na formát A 3.

V současné době se obtisky PROPISOT vyrábějí v barvě černé, polomatné. V tomto roce však výrobce zavádí výrobu obtisků v dalších pěti barvách - červené, modré, zelené, žluté a zlaté.

Další zajímavostí ve výrobě obtisků je možnost jejich umístění na zvláštním nosném filmu, který usnadňuje přenos i velmi jemného znaku nebo písmene. Je výhodné využít této technologické možnosti u jemných členitých obtisků nebo schémat s mnoha detaily.

Technika přenosu obtisků je velmi jednoduchá. Zkušenosti z provozu však ukazují, že k dosažení perfektního výsledku je nutno získat určitou praxi. V průměru potřebovali pracovníci na zapracování asi 3 dny. V této době si každý upravil svůj vlastní tříč, tímto tříčem nacvičil správný tlak na přenášenou značku a její umístování.

Postup při přenosu značek je tento:



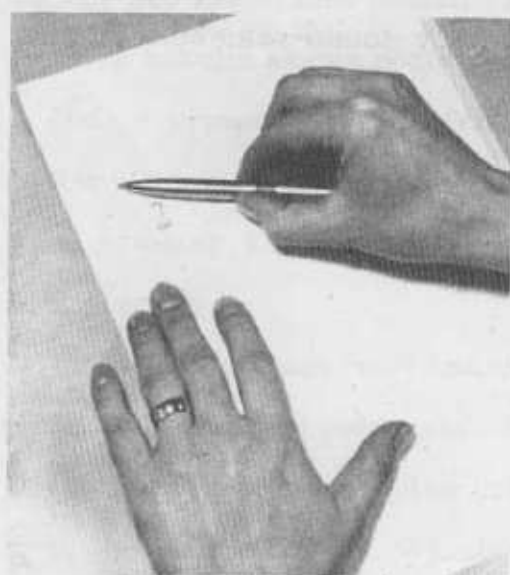
- odstraní se ochranný silikonový papír a obtiskový arch se přiloží na zvolené místo rubovou stranou dolů /znak je v tomto okamžiku čitelný/



- jemným a citlivým způsobem se pomocí tříče /hrotem propisovací tužky/ přešrafuje celá plocha značky. Přitom je možno pozorovat postupné oddělování značky jako mírné šednutí kresby



- nosný arch se opatrně odloupne od podložky a získáme zvolený obraz kresby v plném barevném krytí



- nakonec se provádí tzv. fixace tlakem. Rozumí se tím přihlazení přeneseného obtisku přes ochranný silikonový papír rukojetí tříče, nehtem apod.



Výrobce uvádí, že obtisky PROPISOT jsou určeny k přenosu značek, symbolů a písmen zejména na různé druhy papírů a montážní fólie /astralon, sicoprint apod./. V našem ústavu jsme provedli zkoušky přenosu na čistý papír, do modrokopie polohopisu na různých materiálech /korektostat, astralon/, na průsvitky, do tisku barevné mapy a konečně i na fólie plastických hmot PVC /astralon, sicoprint/ a PET /hostaphan/. Všechny tyto zkušební obtisky byly reprodukovány a vytištěny. Výsledky byly až překvapivě dobré a získali jsme celou řadu zajímavých poznatků. Např. při zkušebním kopírování obtisků přes vrstvu podložky /astralon 0,3 mm/ byl obraz kresby ostrý a nebyla nutná žádná retuš nebo jiný zásah kartolitografa.

Na základě provedených zkoušek jsme se rozhodli využít této nové techniky pro zpracování nadstavby mapy MTZ, což nám umožnilo provést zásadní změny v technologii výroby a dosáhnout materiálových i časových úspor.

Pro zachování kvality obtisků je nutné, aby byly skladovány za normálních klimatizačních podmínek /20°C, 55 - 65% RV/. Nedoporučujeme dlouhodobé uskladňování na slunečním či zářivkovém světle a za vyšší teploty /v blízkosti topných těles/.

Suché obtisky jsou dodávány v papírových krabicích a proto je nejvhodnější je v nich ponechat, pokud se s nimi nezačne pracovat. Všechny uvedené podmínky a zkušenosti jsou platné pro dlouhodobé uskladňování. Provedli jsme zkoušky kvality přenosu obtisků při krátkodobém uskladnění v extrémních podmínkách a to při teplotě -7°C a +45°C. V tomto prostředí byly obtisky po dobu 9 dní, aniž by jejich kvalita utrpěla. Výrobce předpokládá, že bude možno v dohledné době počítat s prodloužením trvanlivosti v prvotřídní kvalitě u nepřenesených obtisků za výše uvedených podmínek /pro dlouhodobé uskladňování/ na 2 roky, /zatím 1 rok/. Nebere však záruku na životnost přenesených obtisků /obdobně jako zahraniční výrobci/, poněvadž podmínky, jakým jsou tyto obtisky vystaveny, např. při kopírování apod., jsou nesrovnatelné. U nás používáme k zabezpečení kvality přenesených obtisků proti mechanickému poškození ochranného laku. Do prodeje má být dán speciální ochranný lak v aerosolové formě.

K zabezpečení potřeb ČSLA zpracoval a vydal VZÚ vzorník obtisků taktických a jiných vojenských speciálních značek, slovních výrazů, zkratek a běžně používaných tabulek v různých velikostech i barevném provedení. Tyto obtisky se objednávají u VÚ-7371 Praha.

Suché obtisky dávají široké pole působnosti. Jejich použití umožňuje provést výrazné zásahy do technologie grafické výroby. Tato technika je přínosem i pro kartografickou tvorbu, což první výsledky ve VZÚ plně potvrzují.

Došlo 20. 5. 1971

## Historie počátků užití fotogrammetrických metod ve vojenství

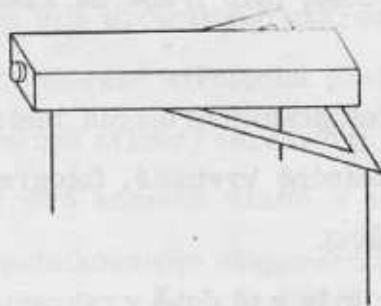
Jedním z hlavních důsledků první světové války v dělostřelectvu bylo používání nepřímé palby na vzdálené cíle. K dosažení příznivých výsledků bylo nezbytné určovat relativně přesně polohu palebného postavení a cíle. Vedle geodetických metod přicházely v úvahu i nově rozvíjené metody fotogrammetrické.

V československé armádě byly k tomu již v r. 1926 vytvořeny potřebné organizační předpoklady v útvech dělostřelectva, v nichž bylo začleněno i fotogrammetrické družstvo. Kromě toho se některými teoretickými problémy použití fotogrammetrie ve vojscích zabýval také VZÚ.

Fotogrammetrické družstvo bylo motorizováno a vybaveno přístroji, které jsou dále podrobněji popsány. Uvedené družstvo mělo přiměřený spojovací materiál, výpočetní a kreslicí potřeby jako pětimístné logaritmické tabulky, logaritmická pravítka, úhlooměry, pravítka apod. Jeho úkolem bylo pořizovat panoramatické fotografie a vyhodnocovat letecké snímky.

Pro pozemní panoramatické snímkování sloužily tyto komory:

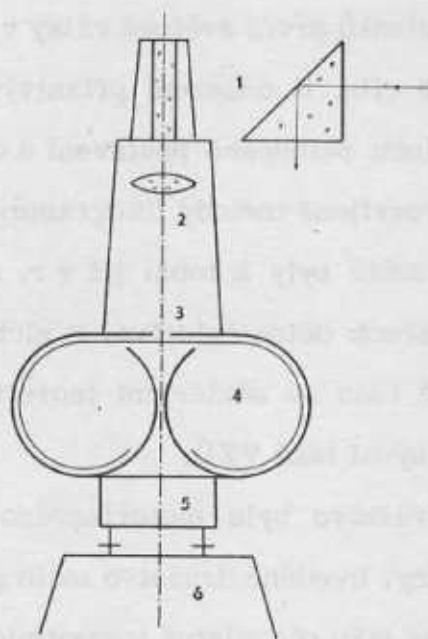
1. Zeissova komora o  $f = 300$  cm na skleněné desky formátu 13x18 cm, kterou se postupně pořizovaly dílčí snímky v řadě, případně i nad sebou. Předek komory byl otáčivý na čepu a zadní část se posunovala po liště /obr. 1/. Jednotlivé



Obr. 1 Náčrt Zeissovy panoramatické komory,  $f = 300$  cm

snímky se pak slepovaly v pás a sestavené panorama se opatřilo dílcovou stupnicí. Takto zhotovený obraz byl velmi kvalitní i při fotografování na velké vzdálenosti. Manipulace s komorou byla však obtížná a vyžadovala zvláštní kryt nebo maskování.

2. Automatická pásová komora Kolář byla periskopická o  $f = 150$  cm. Hodinový stroj otáčel komorou kolem její svislé osy rychlostí závislou na době osvitů a současně synchronně posunoval pod štěrbinou 18 cm široký film. Dílcové dělení se na filmu značilo automaticky. Manipulace s komorou byla snadná. Periskopické zařízení usnadňovalo krytí. /Obr. 2/.



Obr. 2 Náčrt Kolářovy periskopické panoramatické komory,  $f=150$  cm, 1 hranol, 2 objektiv, 3 štěrbinu, 4 pohybující se film, 5 hodinový stroj, 6 stativ

3. Wildova panoramatická komora, která byla vlastně částí Wildova fototeodolitu. Měla obrazovou vzdálenost  $f = 237$  mm a formát 10x15 cm pro skleněné desky. Panorama se sestavovalo z několika sousedících snímků. Jelikož měla poměrně malou obrazovou vzdálenost, bylo třeba na každý snímek překopírovat křivočarý dílcový grafikon.

Na rozdíl od pozemních fotogrammetrických metod, které pro střelecké účely bylo možno pokládat za dostatečně vyvinuté, fotogrammetrii leteckou bylo třeba pro tyto účely teprve propracovávat.

Prostorové letecké snímky byly v té době v zahraničí vyhodnocovány na stereoplaniografu fy. Zeiss, autografu fy. Wild a na přístrojích několika dalších firem /Nistri, Santoni, SOM, Heyde aj./.



V ČSR byl u dělostřelectva používán snímkoměrný teodolit Heyde, ve VZÚ Orlův stereoautograf, u soukromých firem stereoautograf a do roku 1926 stereokartograf Hegershoff-Heyde, a na německé technice v Praze aerosimplex Heyde. Překreslovače byly ve VZÚ /Zeiss 18x24 cm, model 1927/, ministerstvu veřejných prací /Heyde/, ČVÚT /Roussilhe/, Vys. škole zemědělské v Brně /Scheinpflug/ a u dělostřelectva /Lüsegang/.

Neúplné a nejednotné vybavení přístroji pro vyhodnocování leteckých snímků jednotlivých ústavů nebylo jen důsledkem subjektivních názorů při nákupu, avšak i nedostatečně ukončeným vývojem a úspornými opatřeními. Tento stav nebyl v civilním a vojenském sektoru z hlediska potřeb armády příznivý; již tehdy bylo nutno počítat s tím, že strojové zařízení civilních odborných organizací bude za války využíváno armádou. Roztříštěnost přístrojového vybavení tuto možnost značně omezovala. Pro odbornou činnost v polních jednotkách platila všeobecná směrnice, že speciální pracovní prostředí bojového útvaru vyžaduje co nejjednodušší pomůcky s nenáročnou obsluhou, snadno přemístitelné a nahraditelné v případě vyřazení. Hlavním úkolem přitom bylo:

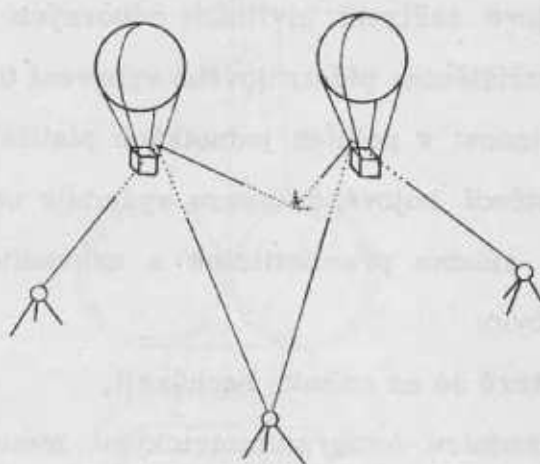
- vyhodnotit cíle, které se na snímku nacházejí,
- určit jejich souřadnice fotogrammetrickými metodami, pokud možno bez použití polního vyměřování,
- vypočítat vzdálenosti palebného postavení a zjištěných cílů,
- určit odměr /úhel/ od vztažných bodů.

V tomto smyslu byly vedeny vývojové práce, z nichž nejzávažnější je grafické a početní vyhodnocování balónových a leteckých snímků, překreslování, konstrukce fotoplánů a postavení univerzálního překreslovače Mahr-Kolář.

Poloha jednotlivých bodů byla z leteckých snímků běžně určována graficky proužkovou metodou a čtvercovou sítí projektivně zakreslenou do snímku. Z odměřovaných hodnot byly počítány požadované střelecké prvky. Tyto metody se však hodily pouze pro rovinný nebo jen mírně zvlněný terén. Ing. K. Mahr pracoval na rozšíření bodového vyhodnocování též pro hornaté území a za tím účelem byla konána řada pokusných prací. Postupem publikovaným Hegershoffem byla v roce 1932 počítána vnější orientace snímku se sklonem  $30^\circ$ . Vycházelo se z přibližných hodnot směrů na fotografované pevné body. Tyto směry byly změřeny snímkoměrným teodolitem Hegershoff-Heyde.

Výsledek nebyl příznivý, protože ani několik dlouhotrvajících iterací se neblížilo nějaké konečné hodnotě. K usnadnění podobné úlohy byla s dobrým výsledkem zkoušena tzv. balónová triangulace [1].

V okamžiku expozice byla dvěma teodolity na znamení praporcem zaměřena komora v balónu a po přeletu balónu na druhé kotviště se zaměření opakovalo. Protínáním vpřed byla pak vypočítána poloha obou balónových stanovišť, čímž odpadlo složité počítání prostorového protínání zpětného. Směrová orientace komor byla odvozena ze dvou ofotografovaných známých bodů. Poloha nových /určovaných/ bodů se počítala protínáním vpřed ze snímkových souřadnic převedených na směry s ohledem na vnější orientaci snímků. /Obr. 3/.



Obr. 3 Balónová triangulace

Nebylo však dobře možné postupovat obdobným způsobem při fotografování z letadla, protože jeho rychlý pohyb znemožňoval přesné zacílení v okamžiku osvětlení. Byl proto zkoušen výpočet prostorového protínání zpětného podle [7].

V roce 1931 byl na polním cvičení technicky a takticky vyzkoušen námět na kombinaci pozemních panoramat a fotoplánů pro střeleckou přípravu. Tak například mělo fotogrammetrické družstvo během 24 hodin od vydání rozkazu doručeného o 7. hodině ranní:

- zhotovit fotoplán území o rozloze přibližně 80 km<sup>2</sup> v měřítku 1:10 000,
- pořídit panorama ze dvou pozorovatelů.

Druhá část úkolu byla jednoduchá.

První část, zhotovení fotoplánu, byla velitelstvím fotogrammetrického družstva organizována takto:

V dopoledních hodinách zaujalo družstvo stanoviště na trigonometrických bodech v okolí zaměřovaného prostoru a připravilo se k zaměřování pevných bodů pro překreslování podle dispozic později dodaných.

Po 11. hodině bylo území ofotografováno komorou 13x18 cm v měřítku 1:25 000 a exponované desky byly shozeny padákem poblíž polní fotografické laboratoře. Po vyvolání a zhotovení kopií byla na nich označena místa, ve kterých by bylo třeba protínáním vpřed zaměřit lícovací body. Kopie pak byly doručeny měřičům, aby podle nich určili potřebné body.

Mimosouřadnice několika trigonometrických bodů byla ještě k dispozici stará topografická mapa 1:25 000. Protože terén měl převýšení asi do 60 m, byly fotogrammetrickým družstvem v odpoledních hodinách učiněny přípravy pro fasetování a překreslování po vrstvách; na kopiích a na mapě byly vyznačeny plochy, podle kterých by se mělo překreslovat. Ve 20 hodin byly dodány vynesené body, na které měly být snímky lícovány. Těch bylo však málo a některé z nich nevyhovovaly. Překreslování po částech vyžadovalo více než 4 body na snímek a do všech prostorů nebylo z pozorovatelů vidět. Nezbyvalo než doplnit síť podle topografické mapy. Bylo rozhodnuto přezkoušet její kresbu proužkovou metodou. Během konstrukce převodu snímků do mapy se ukázalo, že je účelnější graficky určit nové body v nejvhodnějších místech pro překreslování bez ohledu na mapu. Překrývající se snímky byly proužkovou metodou spojeny v jeden celek a ten pak opět proužkovou metodou přizpůsoben trigonometrickým a nově zaměřeným bodům. Obrazy všech transformovaných bodů byly předem na snímcích posunuty směrem do středu o hodnoty odpovídající převýšení podle topografické mapy; střed snímku byl pokládán za jeho nadir. Tím se získal dostatek bodů pro překreslování. Pracovalo se na přístroji Lüsegangově. Překreslené části snímků byly pak nalepeny na karton s vnesenými pevnými body v měřítku 1:10 000 ve fotoplán, který byl doplněn kilometrovou sítí a reprodukován. Práce skončila v 6 hodin ráno, tedy 1 hodinu před termínem. Fotoplán měl přesnost  $\pm 1$  mm, což bylo uznáno za vyhovující daným účelům. Výpočet přesnosti a zhodnocení provedl orientační důstojník vyššího velitelství.

Význačným přínosem fotogrammetrické vědě byla Mahrova konstrukce univerzálního překreslovače, který byl postaven firmou Kolář v Modřanech a předán vojenské správě v prosinci roku 1931. Byl to první překreslovač na světě, který měl

všechny volnosti a maximální automatizaci pro transformaci svislých i šikmých leteckých snímků vodorovných i skloněných terénních ploch do vodorovné zobrazovací roviny.

V té době byl pokládán za nejlépe vybavený překreslovač firmy Zeiss z roku 1927 [4], který měl automatické zaostřování. Ručně se otáčelo negativem v jeho rovině, posunovalo jím ve směru osy  $x$  /rovnoběžně s klopnou osou průmětny/ a nakláněl objektiv, aby jeho rovina procházela průsečnicí rovin negativu a průmětny /Scheinflugova podmínka/. Nebylo možno posunovat negativem ve směru osy  $y$  /Odenocrantsův posun/. Pro polní službu se tento přístroj nehodil pro své velké rozměry a váhu /4 m vysoký, 450 kg váhy/, choulostivou justací a neúplnou automatizací.

Dr. Odenocrants odvodil a v roce 1924 v "Aktech švédské akademie válečných věd" publikoval vzorce vyjadřující podmínky i pro překreslování šikmé roviny do vodorovného průmětu. Vzorce zní:

1. Sklon roviny negativu  $\sin \varphi = \frac{mF}{V} \sin \omega$

2. Sklon roviny průmětny  $\sin \varphi' = \frac{F}{V} \sin \omega$

3. Vzdálenost negativu od objektivu překreslovače  $X = F \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi'}$

4. Vzdálenost průmětny od objektivu překreslovače  $X' = F \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{\operatorname{tg} \varphi}$

5. Posun negativu ve směru osy  $y$

Zde značí 
$$\sigma = \frac{X - X_0}{\sin \varphi} = \frac{X}{\sin \varphi} - \frac{f}{\operatorname{tg} \omega}$$

$m$  - poměr mezi negativem a průmětnou

$f$  - ohniskovou vzdálenost fotogrammetrické komory

$F$  - ohniskovou vzdálenost objektivu překreslovače

$V$  - výšku letu

$\omega$  - sklon osy komory při překreslování

$X_0$  - průmět vzdálenosti hlavního bodu negativu od ohniska objektivu překreslovače do jeho optické osy

$X$  - vzdálenost průsečíku optické osy překreslovače s rovinou negativu od ohniska objektivu.

Ing. K. Mahr učinil ve vzorcích předpoklad, že ohniskové vzdálenosti komory



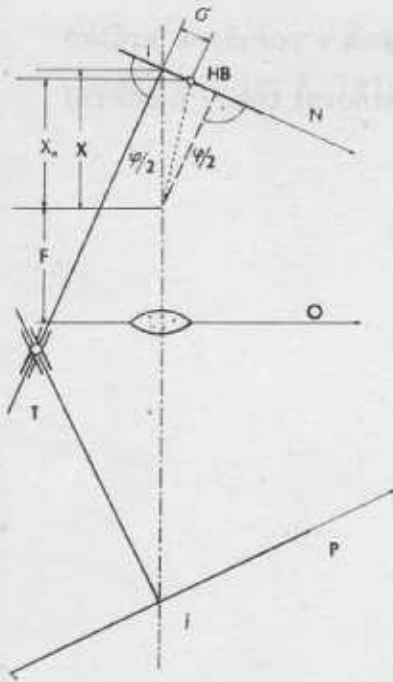
a překreslovače jsou stejné,  $f = F$ . Pak

$$\varphi' = \omega, \quad X_0 = X \cos \varphi,$$

$$\alpha = \frac{X - X_0}{\sin \varphi} = \frac{X - X_0 \cos \varphi}{\sin \varphi} = \frac{X (1 - \cos \varphi)}{\sin \varphi} = X \operatorname{tg} \varphi / 2.$$

To znamená, že hlavní bod negativu musí ležet na paprsku půlícím úhel mezi optickou osou překreslovače a kolmicí spuštěnou z ohniska objektivu překreslovače na rovinu negativu.

Tato anomálie Odencrantsova posunu byla u Mahrova překreslovače plně automatizována, právě tak jako zaostřování pomocí Pythagorova inversoru a dodržení Scheinpflugovy podmínky pomocí inversoru Carpentierova. Mechanizační zařízení má možnost změny ohniskové vzdálenosti při výměně objektivu. V obr. 4 je znázorněn princip přístroje a obr. 5 představuje hotový překreslovač, [2, 3, 6].

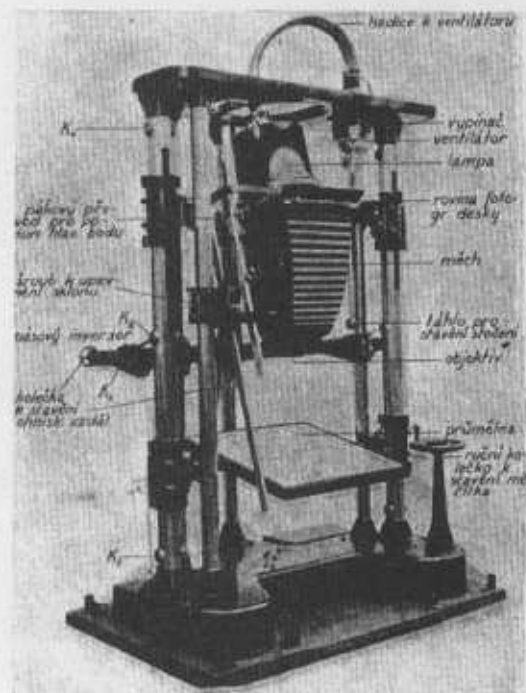


Obr. 4

Geometrické vztahy Mahr-Kolářova překreslovače

N rovina negativu, O rovina objektivu, P rovina průmětny,

$\alpha$  automatisovaný posun,  $i, T_j$  Carpentierův inversor



Obr. 5 Mahr-Kolářův překreslovač

K přístroji náležela sada výměnných objektivů od  $F=15$  cm až po  $F=30$  cm. Zvětšování v poměru až 1:5 a zmenšování až 5:1. Negativ byl prosvětlován sedmi žárovkami chlazenými ventilátorem. Pohybové soustrojí bylo umístěno v nosných sloupech a podlažní desce a zvedané součásti byly vyváženy hodinovými pery. To umožnilo zmenšení rozměrů a váhy přístroje asi na  $100 \times 80 \times 220$  cm a 400 kg. Do podrobností účelně promyšlená konstrukce a aretace přístroje, jednoduchost a tuhost obalu umožnily pak rychlé nakládání a převážení autem. Obsluha byla jednoduchá a dosahovalo se kvalitních výsledků geometrických i fotografických. Nutno litovat, že unikát takovéto hodnoty zmizel beze stopy.

Účelem fotoplánů a panoramat bylo usnadnit a urychlit zjišťování střeleckých prvků v zakrytých i hornatých prostorech. Přesný, spolehlivý a maximálně automatizovaný překreslovač s velkým rozsahem sklonu snímku a zvětšování měl pak být hlavní pomůckou k získávání topografických dat.

Tím je v podstatě vyčerpán popis hlavních prací vykonaných v poměrně krátké době na samém počátku období, kdy se začínaly v ČSR uplatňovat tehdy moderní fotogrammetrické metody.

## L i t e r a t u r a

- [1] K. Mahr: Fotogrammetrie z upoutaného balonu, Techn. obzor 1932
- [2] K. Mahr: Restituční přístroj Mahr-Kolář, Zeměměř. věstník 1933
- [3] S. Sousedík: Nový restituční stroj čs. původu, Zeměměř. věstník 1932
- [4] O. v. Gruber: Ferienkurs in Photogrammetrie, Stuttgart 1933
- [5] O. v. Odencrants: Omformnings villkoren, Stockholm 1924
- [6] O. Weibrecht: Über die Möglichkeiten zur Erfüllung der Perspektivbedingungen an Entzerrungsgeräten, Jenaer Jahrbuch 1960/1
- [7] K. Tomsa: Prostorové protínání zpětné, Techn. obzor 1930
- [8] Ústní informace: Ing. K. Capoušek, VTÚ, Ing. N. Němčenko, VZÚ

Došlo dne 10. 2. 1970

## СОДЕРЖАНИЕ

К 50-летию председателя редакционного совета «Военского топографического обзора» полковника инженера <b>Владимира Вагалы, CSc.</b>	1
<b>Матейка:</b> За последовательную реализацию заключенный XIV съезда КПЧ	5
<b>Канский:</b> 20 лет со дня основания Военно-топографического института	7
<b>Храстил:</b> 20 лет преподавания геодезии и картографии в ВА-АЗ	9
<b>Выкутил:</b> Геодезическая референц-система 1967	13
<b>Бурша:</b> К современному состоянию геодезии	22
<b>Храстил:</b> 10 лет обязательной международной действительности волнового определения метра	27
<b>Прахарж:</b> Значение и вклад ИСЗ в решение основных геодезических заданий	42
<b>Хмелик:</b> Возможности радионамерения углов в геодезии	70
<b>Срнка:</b> Закономерности генерализации штриховых элементов на чехословацких топографических картах	86
<b>Клима:</b> Международная миллионная карта мира - краткая история	106
<b>Косарж:</b> Современное состояние печатных процессов	121
<b>Ежек:</b> Репродукция топографических карт на сухие фототехнические материалы с пластическими прокладками	132
<b>Коштял-Снопек:</b> Опыт по применению декалькирования в картографическом производстве ВГИ	145
<b>Томса:</b> История начала использования фотограмметрических методов в военном деле	151

## INHALT

Zum 50. Geburtstag des Vorsitzenden des Redaktionskollegiums der Militär-topographischen Rundschau - Obersten Ing. <b>Vladimír Vahala, CSc.</b>	1
<b>Matějka:</b> Für die konsequente Realisation der Beschlüsse des 14. Parteitages der KPČ	5
<b>Kánský:</b> Zum 20. Jahrestag der Entstehung des MTI	7
<b>Chrastil:</b> 20 Jahre des geodätisch-kartographischen Studiums auf der MA-AZ	9
<b>Vykutíl:</b> Das geodätische Referenzsystem 1967	13
<b>Burša:</b> Zum gegenwärtigen Stand der Geodäsie	22
<b>Chrastil:</b> 10 Jahre der verbindlichen internationalen Gültigkeit der Wellendefinition von Meter	27
<b>Prachař:</b> Die Bedeutung und der Beitrag der künstlichen Erdsatelliten für die Lösung der geodätischen Grundaufgaben	42
<b>Chmelík:</b> Die Möglichkeiten von Radiowinkelmessungen in der Geodäsie	70
<b>Srnka:</b> Die Gesetzmäßigkeiten der Generalisation von Linienelemente in den tschechoslowakischen topo- graphischen Karten	86
<b>Klíma:</b> Die Internationale Weltkarte 1:1 000 000 - kurze Historie	106
<b>Kosař:</b> Der gegenwärtige Stand der Drucktechniken	121
<b>Jažek:</b> Die Reproduktion von topographischen Karten auf trockene fototechnische Materialien mit Unter- lagen aus plastischen Kunststoffen	132
<b>Košfál - Sнопек:</b> Die Erfahrungen mit trockenen Abziehbildern im kartographischen Betrieb des MGI	145
<b>Tomsa:</b> Die Geschichte der Anfänge der photogrammetrischen Methoden im Militärwesen	151