

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Emanuel Čubr

O měření země. [V.]

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 4 (1875), No. 5, 209--216

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121196>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1875

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

O měření země.

Napsal

Emanuel Čubr.

(Dokončent.)

§. 31.

O velikosti základny.

Na první pohled zdá se býti nejpřirozenější vzdálenost dvou bodů triangulačních za základnu zvoliti; které body to býti mají, závisí na mnohých okolnostech, zvláště pak na povaze terrénu, v kterém se měření dítí má. Tak dělo se i skutečně při všech dřívějších triangulacích; měřeny vždy základny velmi dlouhé. Na příklad uvedeny tu budtež některé z delších základen. *)

Roku 1736:	základna	blíže Yaraqui	měřil La Condamine	6273 t.
" 1736:	"	" Tarqui	" "	5259 "
" 1736:	"	" Torney	" Maupertuis	7406 "
" 1792:	"	" Melúnu	" Delambre a	
			Mechain	. 6076 "
" 1792:	"	" Perpignanu	" Delambre a	
			Mechain	. 6006 "
" 1801:	"	Mnichov-Aufkirchen	11110 "
" 1809:	"	Solitude-Ludvigsburg	6686 "
" 1819:	"	mezi věžemi ve Špýru a	Oggers-	
		heimu	7932 "
" 1848:	"	Maclearova na mysu Dobré Naděje		6696 "
" 1859:	"	španělská blíže Madridejos	. .	7523 "

Při tom zvoleny ještě co možná krátké strany celé sítě. Neboť přímé měření tak velkých vzdáleností vyžaduje, má-li se dítí s přiměřenou zevrubností, velmi mnoho času. K tomu přistupuje ještě ta obtíž, že není vždy snadno naléztí terrén, který

*) *Jordan* „Taschenbuch.“

by v takové rozsáhlosti tak byl pravidelný, aby se měření bez velkých překážek, které důkladnosti práce vždy na újmu jsou, konati mohlo.

Professor *Schwerd* byl přítomen měření základny *Špýr-Oggersheim* a nesouhlasil s pochodem při tom zachovávaným; tvrdil, že by bylo prospěšnější, měřiti základnici krátkou, a z ní odvodit pomocí zevrubné triangulace základnu dlouhou, na kterou by se teprvé hlavní triangulace připojila; pochod ten měl by tu výhodu do sebe, že by se základna krátká mohla měřiti vícekráté, tedy s větší zevrubností, aniž by měření tak mnoho času vyžadovalo jako při základně dlouhé, jakýchž se až dosud užívalo.

Aby tvrzení své prakticky odůvodnil, měřil *Schwerd* základnu 441 tois dlouhou (nejkratší, která vůbec kdy měřena byla) a odvodil z ní dříve již měřenou základnu *Špýr-Oggersheim*. Příznivé výsledky pokusu tohoto uveřejnil ve spise: „*Die kleine Speyerer Basis oder Beweis . . . Speyer 1821.*“

Návrh *Schwerdem* učiněný brzy byl na mnoha místech prováděn; avšak vzbudil spor mezi učenci německými a francouzskými, kterýmiž otázka o délce základny velmi horlivě diskutována. V takových věcech však jedině může zkušenost rozhodovati. Protož budiž tu promluveno o některých pracích, které k platnému řešení *Schwerdem* navržené otázky vedly.

1. Při měření svém ve *Východním Prusku* *) konaném měřil *Bessel* se strojem již popsáním základnu malou a odvodil z ní zevrubnou triangulací základnu dlouhou. V obraze 16. vykreslena jest síť triangulační, kteráž zprostředkovala přechod z malé základny *Trenk-Medniken* ku straně *Galtgarben-Condehnen* hlavního trojúhelníka *Galtgarben-Condehnen-Wildenhof*. Základna *Trenk-Medniken*, jejíž délka přibližně 934 tois obnášela, měřena ve dvou částech dvakráté, první část však třikráté, poněvadž první měření nebylo dosti spolehlivé. Dle měření prvního obnášela délka její

	934 tois + 861·054 čárek,
dle druhého	934 „ + 863·156 „

*) *Bessel* und *Baeyer*, „*Gradmessung in Ostpreussen*“ etc.

Oba výsledky liší se o 2·102 čárek; jich průměr obnáší 934.99807 tois, a poněvadž střední výška základny nad hladinou mořskou 16·41 tois jest, redukuje se délka tato na zmíněnou hladinu na 934·993124 tois (poloměr křivosti 3276143 tois.) Střední chyba v základně obnáší $\pm 1\cdot816$ čárek, tedy přibližně $\frac{1}{445000}$ celé délky. Z této základny odvozena, jak již řečeno, strana *Galtgarben-Condehnen* 15168·1054 tois dlouhá.

2. Při měření pobřeží moře baltického *) měřil *Baeyer* základnu blíže *Berlína*; tu opět přidržel se principu *Schwerdova*, o jehož příhodnosti se byl při měření předešlém přesvědčil. Nepoložil ale základnu svou do polí a luk, jak to byl *Bessel* učinil, poněvadž se ukázalo, že nedostatečná pevnost půdy zevrubnosti práce jest na újmu, nýbrž na silnici mezi *Mariendorf* a *Lichtenrade*. Základna musela se také ve dvou částech měřiti a to z té příčiny, poněvadž nebylo z jednoho konce na druhý viděti, jelikož se mezi oběma ovšem jen nepatrná výšina nalézala. Na této určen bod ve směru základny ležící, z něhož oba konce bylo viděti.

Obě tak povstalé části měřeny dvakráte, a výsledek byl tento :

Délka jižní na hladinu mořskou redukována 588.509172 tois

střední chyba $\frac{1}{505\cdot400}$ (= 1·006 čárek),

délka severní části na hladinu mořskou redukována 610 213860 t.

střední chyba $\frac{1}{594\cdot400}$ (= 0·887 čárek).

Délka celé základny na hladinu mořskou redukována 1198·723032 tois,

střední chyba $\frac{1}{772\cdot300}$ (= 1·341 čárek).

3. Rozhodný krok v řešení sporné otázky učinil španělský plukovník *Ibañez*.**) Když totiž roku 1853 nařízeno sestrojení

*) *Baeyer* „Die Küstenvermessung und ihre Verbindung mit der Berliner Basis“. (Berlin 1849.)

***) Generalbericht über die europäische Gradmessung 1869, dále „Astronomische Nachrichten, begründet von H. C. Schumacher.“ Svazek 61, číslo 1462.

mapy Španělska a práce tato vrchní dohlídce jmenovaného učence svěřena, vzal sobě tento za úkol, na práci tu všech prostředků, které věda i umění technická poskytovala, vynaložiti a tak k pokroku geodesie prospěti. *Ibañez* nesledoval při provedení uložené mu práce bezprostřední cíl, totiž sestrojení mapy nové, nýbrž měl při tom později na zřeteli též cíl, kterýž si mezinárodní společnost pro evropské měření byla vytknula.

Již upotřebením potud málo užívaného měřítka s koncovými čárkami, o jehož prospěšnosti nic určitého a spolehlivého známo nebylo, prokázal *Ibañez* vědě službu. Měřil s měřítkem takovým, které již dříve bylo popsáno, základnu v pěti odstavcích blíže městečka Madridejos; délka její obnášela 14662·885 metrů a střední chyba tohoto výsledku, kterou bylo možno určit, poněvadž se měření dvakráte konalo, jest $\pm 0\cdot0025$ metrů.

Avšak s měřením této základny spojen ještě druhý veledůležitý podnik. Střední část její (celkem bylo pět částí) spojena totiž triangulační sítí, sestávající z 45 stran a 120 trojúhelníků s ostatními čtyřmi částěmi. Za touto příčinou opětováno měření prostřední části ještě dvakráte se vši důkladností, aby délka její co nejzevrubněji byla zjištěna. Z triangulace pak vypočteny čtyry ostatní části; výsledky cestou trigonometrickou a direktním měřením obdržené shodují se způsobem podivuhodným, jak z následujícího sestavení vysvitá:

Část	Výsledek měření.	Výsledek triangulace.	Rozdíl.
1.	3077·459 met.	3077·462 met.	— 0·003 m.
2.	2216·397 „	2216·399 „	— 0·002 „
3.	2766·604 „		
4.	2723·425 „	2723·422 „	+ 0·003 „
5.	3879·000 „	3879·002 „	— 0·002 „

Celá základna: 14662·885 m.	14662 889 m.	— 0·004 m.
-----------------------------	--------------	------------

Triangulace provedena theodolitem z dílny *Repsoldovy*. Ještě třeba podotknouti, že měření tuto popsané se dělo v terénu takové práci příznivém; direktní měření celé základny vykonáno za 78 dní.

Těmito výsledky nad všechnu pochybnost dokázáno, že měření základny krátké aspoň tutěž zevrubnost jako měření skutečné základny dlouhé zaručuje.

V novější době měřeny ještě dvě základny, při nichž téhož principu šetřeno, totiž základna *Josefovská* (pro rakouskou triangulaci), jejíž délka jest 5258 m, a základna blíž *Catanie* (pro triangulaci vlašskou) 3692 m. dlouhá.

§. 32.

Měření úhlů.

Druhou hlavní prací při triangulování jest měření úhlů. Dříve než o tom blížeji bude pojednáno, promluveno budiž v krátkosti o strojích, k tomuto účelu od vynalezení triangulace, tedy od počátku 17. století užívaných.

Z počátku měřeny úhly pomocí sektorů, kvadrantů neb polokruhů; rozměry jich byly k vůli snadnějšímu dělení a zevrubnějšímu odčítání veliké. Vynalezením přístrojů k přesnějšímu zaměření (dalekohledu s nitkovým křížem) a zevrubnějšímu odčítání (noniusu, mikroskopu mikrometrického) dosáhly znenáhla větší dokonalosti. Nástrojů takových užito ještě při měření peruánském i lapponském.

Podstatný obrat v konstrukci strojů k měření úhlů sloužících stal se, když Tobiáš *Mayer* (nar. r. 1723 v Marbachu, zemřel r. 1762) vynalezl nový způsob měření úhlů, tak zvanou metodu repetice, jejímž hlavním účelem jest zmenšení chyby v odčítání. Tím změnila se úplně tvářnost strojů; na místo dřívějších sektorů a kvadrantů vstoupily *plné kruhy* a právě v tom záležiti největší skoro pokrok. Neboť dosavadní kvadranty podrobeny byly mnohým nepravidelnostem; následkem nestejnoměrného rozpoložení hmoty působila na ně tíže a pro velikost byly nepřífucné; taktěž měly změny teploty jakož i excentričnost přístroje k zaměřování značný vliv. To při plných kruzích z velké části mizí.

Methoda repetice brzy dosáhla všeobecného rozšíření; zvlášť ve Francii se jí ujal *Borda**) a stavěl stroje pod jménem

* Arago's sämtliche Werke XIII.

„*cercles repetiteurs*“ známé; podstata těchto strojů záleží v tom, že dělený kruh (*limbus*) jakož i přístroj k zaměřování (*alhidadada*) samostatně se dají otáčet, čímž jest možno nejen jednoduchý ale i *n-násobný úhel* měřiti. Stroje, jak je *Borda* hotovil, měly dva dalekohledy, kterýmiž se limbus postavití dal do roviny měřeného úhlu; redukce na horizont děla se počtem. Noniů bylo čtvero. Takovými stroji měřili *Delambre* a *Mechain*.

V Anglicku nikdy nevešla metoda repetice v život, tam povstaly stroje zcela jinakého vzezření. Sektor také sice nahrazen plným kruhem, tento však nekladen do roviny měřeného úhlu, nýbrž stavěn vodorovně, a dalekohled s alhidadou spojený obdržel pohyb v rovině kolmé. Stroji této konstrukce dáno jméno *theodolit*. Kruh dělený byl velký; tak na příklad měly první dva theodolity, které stavěl slovutný *Ramsden*, kruhy o průměru tří anglických stop; děleny byly přímo od 10 k 10 minutám, a k odčítání sloužily dva mikroskopy o 180° od sebe vzdálené. Poněvadž jeden závit šroubu při mikrometru jedné minutě odpovídal, kotouč se šroubem spojený pak v 60 dílů rozdělen byl, bylo možná až na 1 sekundu přímo odčítati. S osou otáčení dalekohledu spojen byl vertikální kruh taktéž dvěma mikroskopy opatřený. Tentýž tvar mají nejnovější stroje opět.

V druhé polovici předešlého jakož i na počátku nynějšího století dobré stroje jediné přicházely z dílen francouzských a anglických. Roku 1804 založil *Reichenbach* vlastní dílnu a stavěl stroje, v kterých spojil princip repetice s principem strojů anglických, totiž theodolitů; stroje jeho pro výtečné dělení a solidní, zároveň elegantní konstrukci brzo dosáhly velké obliby, takže konečně „*cercles repetiteurs*“ zcela zmizely. První theodolity *Reichenbachovy* měly jen kruh horizontální, který se však dal přesaditi na jinou osu, načež sloužil co kruh vertikální; později však dal theodolitům svým zvláštní kruh vertikální a nazval je „*universálními stroji*.“ Užívá se jich ještě dosud.

Také pro velké měření ruské*) hotovil *Reichenbach* theodolity; s jedním z těchto strojů měřil *Struve* v roce 1822 a létech následujících úhly na 7 triangulačních bodech jižně od *Derptu* ležících. Již dříve o tom pochyboval, že by výsledky

*) Arc du Méridien en $25^\circ 20'$... par *F. G. W. Struve*. Tome I.

repeticí dosažené skutečně odpovídaly teorii této metody; neboť není vše vyplněno, co tato předpokládá. Předně jest kov, z něhož jednotlivé části stroje sestávají, pružný, protož častým otáčením alhidady a limbusu změní relativní svou polohu; dále pak nikdy nepřilehá osa otáčení úplně k ložisku; konečně se také nedá předpokládati, že by podstavec, na kterýž jest stroj postaven aneb připevněn, po celou dobu měření polohu svou úplně zachoval.

Abys se přesvědčil, jaký vliv tyto okolnosti mají, změnil *Struve* při zmíněném měření pochod práce; dal totiž limbusu polohu pevnou, a jedině otáčením alhidady měřil úhly v stanovisku se sbíhající a souhrnem 360° tvořící; bylo jich celkem pět. Po té pak měřil při nezměněné poloze limbusu tytéž úhly, otáčeje alhidadu ve směru k prvému opačném; i shledal, že kdykoli měřil od levé k pravé, byl součet všech úhlů větší nežli 360° , měřil-li je pak ve směru opačném, objevil se součet menší než 360° ; v následující tabulce sestaveny jsou výsledky prvního pokusu, v měsíci červnu 1822 konaného.

Úhel	Při otáčení alhidady od levé k pravé (<i>P</i>)	Při otáčení opačném (<i>N</i>)	$\frac{P+N}{2}$
1	30° 48' 35.5"	30° 48' 34.8"	30° 48' 35.1 "
2	64° 27' 25.2"	64° 27' 23.0"	64° 27' 24.1 "
3	31° 51' 26.7"	31° 51' 24.5"	31° 51' 25.6 "
4	73° 22' 38.1"	73° 22' 34.2"	73° 22' 36.15"
5	159° 29' 58.8"	156° 29' 57.7"	159° 29' 58.25"
Součet	360° 0' 4.3"	359° 59' 54.1"	359° 59' 59.2 "

Součet úhlů *P* jest tedy o 4.3" větší, součet úhlů *N* o 5.9', menší než součet theoretický, kdežto se mu součet středních hodnot na 0.8" přibližuje. Podobných úspěchů docílil *Struve* i na ostatních 6 bodech, a právě tato okolnost přiměla ho k tomu, že od repetice upustil; od roku 1823 řídil se dle nového spů-

sobu, kterýž nazval „*měřením dle směrů.*“ Tak učinili všichni při měření ruském zaměstnaní měřičové. Brzy na to počal také *Littrow* ve Vídni o metodě repetice pochybovati, a když i *Gauss* při měření hanoverském nového způsobu užil a výsledky bezprostředního měření dle metody nejmenších čtverců spracoval, tu počalo měření úhlů repetováním vždy více mizeti, a nyní se ho při zevrubnějších pracích již jen velmi zřídka užívá. Nový způsob dosáhl časem určité formy, a rychlému rozšíření napomáhala zvláště ta okolnost, že tak všeobecně rozšířené theodolity pro repetici také pro novou metodu jsou spůsobilé.

Měření úhlů dle směrů čelí předně k tomu, aby se vliv odstranil, který má neúplná nehybnost děleného kruhu při otáčení alhidady, dále pak neúplná nehybnost podstavce, na němž stroj připevnen, na měřené úhly. Toho možná dosáhnouti tím, že se měří (tedy alhidada otáčí) ve dvou opačných směrech. Za druhé se mají eliminovati co možná chyby v děleném kruhu. Toho dosáti lze tím, že se měří tentýž úhel na rozličných místech děleného kruhu, pročez se musí tento sám o sobě otáčeti. Také se při měření dalekohled překládá, aby se odstranil vliv, který povstává z nesprávné polohy optické osy dalekohledu vzhledem k ose, o kterouž se tento otáčí. *)

Jestliť vůbec nyní principem vyššího měřictví, že se nečeká k úplnému odstranění chyb v stroji — to vůbec není ani možno — nýbrž příhodnou methodou pozorovací hledí se vliv jejich vyloučiti.

*) Arc du Méridien... par *Struve*, I.; Gradmessung in Ostpreussen von von *Bessel*; Küstenvermessung v. *Baeyer*.