

Z historie signalizace vzdálených cílů

K 200. výročí Gaussova heliotropu

doc. Ing. Pavel Hánek, CSc.,
Fakulta stavební ČVUT v Praze a VÚGTK, v. v. i.,
Ing. Pavel Hánek, Ph.D.,
VÚGTK, v. v. i.
a Zemědělská fakulta JU v Českých Budějovicích

Abstrakt

Článek krátce připomíná různé způsoby signalizace měřických bodů observovaných na velké vzdálenosti. Uvedeny jsou zejména zrcadlové heliotropy vynalezené před dvěma sty lety C. F. Gaussem a reflektory. Dále jsou též zmíněna některá z významných použití.

From the History of Remote Target Signalling on the 200th Anniversary of the Gaussian Heliotrope

Abstract

The article briefly recalls different ways of marking of survey points observed over long distances. In particular, mirror heliotropes invented two hundred years ago by C. F. Gauss and reflectors are listed. Further some significant applications are also mentioned.

Keywords: marking of survey points, C. F. Gauss, heliotrope, signalling reflector

1. Úvod

Signalizace vzdálených cílů byla v měřické praxi vždy problémem. Do popředí zájmu se dostala zejména v 19. století při stupňových měřeních a budování trigonometrických sítí, i když mezi stanoviskem a cílem byla přímá viditelnost. Příčinou byly nároky na vyšší přesnost observace a souběžné zdokonalování technologií měření a optických i mechanických částí měřických přístrojů. Důsledkem byla rostoucí délka záměr mezi body nejvyšších řádů, pohybuující se ve vyšších desítkách kilometru.

Text vychází především ze soudobých publikací [1], [2], [3] a do určité míry navazuje na článek [4], resp. ho doplňuje. V uvedených publikacích jsou též četné odkazy na další literární prameny. Podružné citace jsou uvedeny přímo v textu článku. Následující dělení platí pro potřeby tohoto článku.

2. Signalizace mechanickými prostředky

Tyčové signály signalizačních staveb (věží, pyramid) byly podle literatury ([3], s. 15) za dobrých podmínek a kontrastního pozadí viditelné pouze na 40 km – 50 km, podle ([11], s. 116) na 20 km – 30 km. To platí i pro kvalitní přirozené signály (kostelní věže apod.).

Publikace ([1], s. 64–66) shrnující výsledky a poznatky východopruského stupňového měření, které se stalo na řadu let příkladem, uvádí pro vzdálenosti až do 100 km několik možností. Jednou z nich byly svislé bílé desky rozměru zhruba 60 cm x 60 cm se souosým svislým černým pruhem šíře asi 25 cm. Tyto terče, použitelné při dobré viditelnosti i při obloze bez slunečního svitu, byly na pilíři centrovány v trojnožce se stavěcími šrouby a libelou. Potáčením terče kolem svislé osy bylo možno relativní šíři pruhu měnit. Naopak při slunečné obloze byly používány

vyleštěné postříbené mosazné polokoule opatřené centrickým čepem pro dostředění. Slunce se na kulovém povrchu zobrazilo zářícím bodem, přičemž poloha takto určeného cílového znaku musela být podle polohy Slunce přepočítána na centr. Dosah byl zhruba 20 km při střední chybě směru zhruba 1".

3. Světelná signalizace

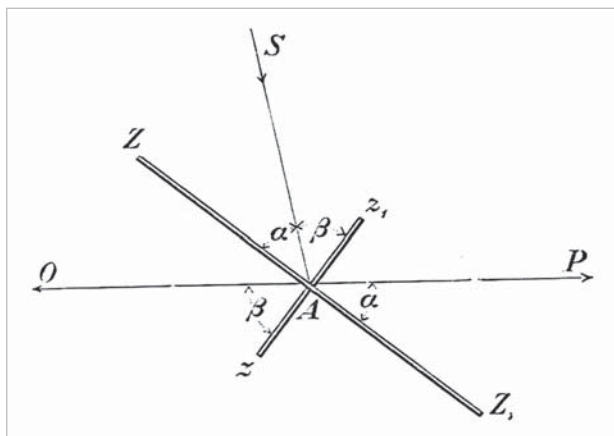
Traduje se, že v předkolumbovské době používali jihoameričtí Indiáni za bezvětří při vytyčování silnic s extrémně dlouhými příjímými úseky, případně pro překonání terénní překážky, signalizaci bodů sloupcem kouře. Při výstavbě Nového Města pražského ve 14. století za vlády Karla IV. byla ke stejnému účelu používána olejová lampa na vysoké výtyčce. Pro vyhledání, hrubé zacílení i pro měření byly v 19. století na delší vzdálenosti pozorovány například záblesky hořícího černého střílného prachu či magnézia. Při vojenských měřeních byly ve 20. století používány (zkoušeny) svisle vystřelené světlice nebo dávkou ze samopalů vypalované svítící střelivo.

3.1 Heliotrop

Vložíme-li do vyhledávačů slovo heliotrop, dostaneme v pořadí četnosti tyto odpovědi: a) barevný polodrahokam, odrůda chalcedonu, b) otočnický peruánský, nízká rostlina z rodu heliotropum, čeleď brutnákovitých, c) parfém, d) americký armádní systém pro rušení družicové navigace, e) geodetický zrcadlový přístroj odrážející sluneční paprsky daným směrem na velkou vzdálenost, který se používá k signalizaci vzdálených měřických cílů. Poslední z uvedených možností výkladu tohoto slova řeckého původu [5] je předmětem následujícího textu.

Princip zrcadlového heliotropu je prostý (obr. 1). Pokud na stanovisko A umístíme zrcadlo ZZ_1 , odrazí se paprsek přicházející ze Slunce S do cílového bodu P tehdy, pokud je zrcadlo kolmé k ose úhlu SAP a úhly α jsou shodné. Z toho plyne nutnost korigovat polohu zrcadla v souladu se zdánlivým pohybem Slunce, jenž díky rotaci Země představuje $15^\circ/1$ h. Dopadající paprsek má ve skutečnosti tvar úzkého kuželovitého svazku paprsků o vrcholovém úhlu asi $32'$ ([6], s. 117). Kruhovitý průřez svazku paprsků na vzdálenost 50 km má tedy průměr asi 460 m. Permanentní změna nastavení ovšem záležela na svědomitosti pomocníka, obsluhujícího zařízení. Ojedinelé konstrukce přístrojů, jejichž poloha zrcadla byla měněna automaticky pomocí hodinového strojku v závislosti na poloze Slunce, se v praxi pro složitost zejména v počátcích neujaly.

Heliotrop bylo možno za jasného dne používat v době, kdy se neprojevovaly silné vibrace vzduchových vrstev, tedy po ránu a později po poledni (od 15. h.) až do soumraku. Soudobá literatura popisovala možnost přerušit odražený paprsek zacloněním, a tak provozovat tzv. heliotropickou telegrafii za podmínky, že heliotropy byly na obou koncových bodech. Dohodnuté signály (krátké a dlouhé záblesky) pro různé měřické akce připomínaly Morseovu abecedu. Dosah byl udáván v poměrně širokém rozsahu 60 km až 110 km. Prostorové vztahy jednotlivých prvků heliotropu bylo samozřejmě nutno rektifikovat. V dalším textu zmíníme některé z konstrukcí, které podle našeho názoru dobře dokumentují vývoj.



Obr. 1 Princip Gaussova heliotropu, zdroj: [3], s. 17

Konstruktérem prvního heliotropu se stal v roce 1821 „kníže matematiků“ Carl Friedrich Gauss (1777–1855, též Karl F. G.), který vedl v letech 1821–1823 hannoverské stupňové měření mezi městy Göttingen a Altona. To spojilo dánskou trigonometrickou síť s jihoněmeckými sítěmi v Harcu. Rovnoběžkovým řetězcem bylo hannoverské měření připojeno na holandskou síť, a přes ni na síť francouzskou.

Gaussův portrét je např. na lícové straně německé bankovky v hodnotě 10 DM z 90. let 20. století, což je jistě projevem oficiálního uznání jeho významu (obr. 2). V pozadí bankovky je zobrazena Gaussova křivka normálního rozdělení a silueta budov univerzitní hvězdárny v Göttingenu, s níž byl spojen celý jeho život. Na reversu na bílém svíslém okraji s ochrannou průsvitkou Gaussova portrétu je zobrazen rovnoběžkový řetězec mezi Hamburkem a východofriškým ostrovem Wangerooge, v ploše pak sextant, i když Gauss měřil jedině teodolitem. Německý odborný tisk považoval ideový návrh zpracování reversu za „kuriozní a klamný“ – viz např. [7].

Při svých starších měřeních používal K. F. Gauss k signalizaci bodů nejprve provizorní přístroj na stativu (tzv. Více-Heliotrop, [2], s. 35). Gaussův heliotrop se skládá ze dvou různě velkých otočných rovinných zrcadel ZZ_1 a zz_1 , vzájemně svírajících pravý úhel (obr. 1). Tato sestava, doplněná kruhovou deskou, je nasazena na objektiv dalekohledu a je otočná kolem osy kolmé k ose dalekohledu. Dalekohled, který obsluha heliotropu na bodě A zacílí na bod P , je otočný v ložiskách kolem své optické osy, přičemž před okulár lze předřadit sluneční filtr (obr. 3). Pokud není Slunce za heliotropem, nastaví obsluha pootáčením dalekohledu a pozorováním stínu vrženého kruhovou deskou velké zrcadlo kolmo na rovinu dopadajícího a odraženého slunečního paprsku. Na zrcadle ZZ_1 se odrazí do směru na cíl P , část dopadne na zrcátko zz_1 , a odrazí se k oku O . Je zřejmé, že body O, A, P leží na přímce, pokud obsluha po natočení zrcátek sama vidí v okuláru „mdlý obraz“ Slunce a deska vrhá stín ve tvaru úzkého proužku. Gaussův heliotrop vyrobila a připomíná rodinná firma Breithaupt v Kasselu existující dodnes již v 8. generaci [8]. Učebnice ([3], s. 17–19) považuje jeho hmotnost a cenu za nevýhodu oproti pozdějším konstrukcím. Jejich předností bylo, že nepoužívaly v té době drahý a choulostivý dalekohled.

K takovým typům patří v praxi rozšířený Bertramův heliotrop (obr. 4), který byl konstruován v roce 1829 a úspěšně použit v roce 1841 ve východopruském stupňovém měření ([1], s. 65); starší literatura ho někdy označuje jako



Obr. 2 Portrét C. F. Gausse, avers bankovky 10 DM, zdroj: dorotheum.com

Bayerův nebo Repsoldův. (Publikace [6], s. 40, připouští jejich spoluúčast na konstrukci; práce [9], s. 34, princip připisuje Repsoldovi do roku 1825.) Základnová deska D podepřená hroty N je dlouhá asi 50 cm, ve středu je zařízení pro centraci na stanovisku A . Sklon desky lze měnit pomocí svislého stavěcího šroubu S . Na jednom konci je umístěno zrcátko Z otočné pomocí ustanovek s kolem obou hlavních os. V jejich průsečíku je otvor O . Na protější konci je na držáku T v pouzdře V umístěn drátěný záměrný kříž C . Spojnice OC je záměrnou přímkou, kterou se zacílí (potáčením desky D a šroubem S) na protější bod. Po předsunutí záklopy M za kříž C se ustanovkami s nastaví zrcadlo tak, aby černý obraz otvoru O byl centrován na záměrný kříž. Po odsunutí záklopy je heliotrop připraven k měření. Do držáku P bylo možno vkládat barevné filtry pro úpravu intenzity světla, nebo jako dohodnutý signál. Pokud by orientace přístroje byla taková, že Slunce je za ním, odrazí se jeho paprsky na zrcátko Z pomocí dalšího zrcadla vhodně umístěného na pilíři, které je otočné ko-

lem obou os. Po roce 1879 byla konstrukce Bertramova heliotropu upravena. Na shodném principu byl postaven Reitzův heliotrop ([2], s. 36–42). Úpravu podle návrhu švýcarského měřiče Langa vyrobil v roce 1927 podnik Haag-Streit. Vlastní úpravu používal francouzský Vojenský zeměpisný ústav ([9], s. 35).

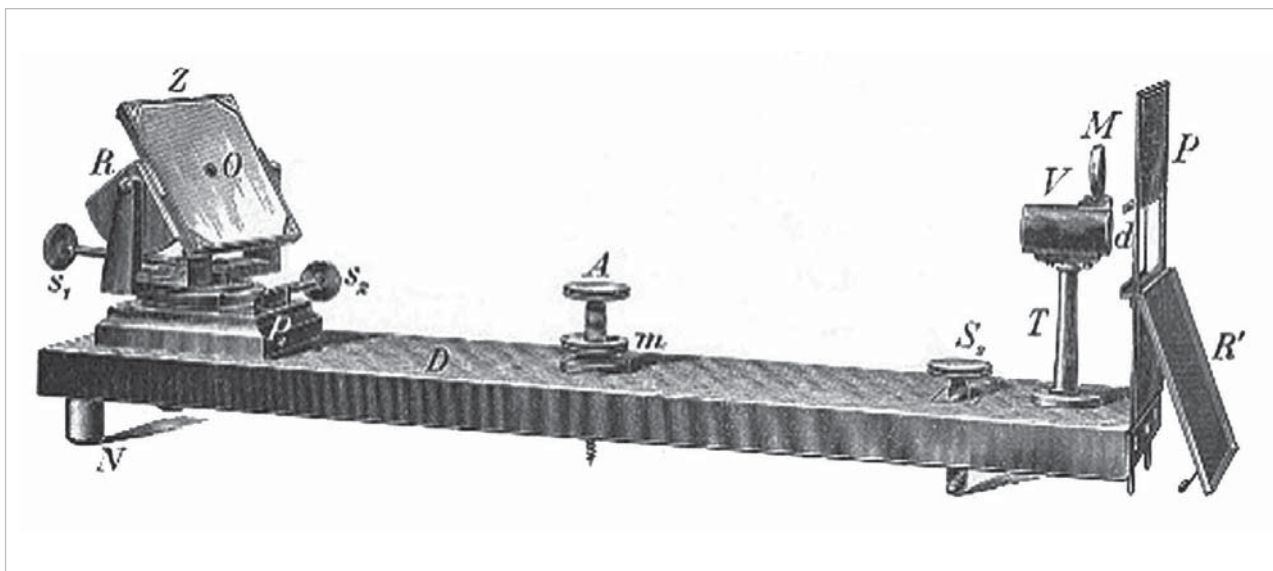
Tzv. americký heliotrop (obr. 5) byl použit při triangulaci státu New York, v roce 1887 o tom byla publikována zpráva. Americký heliotrop je tvořen dalekohledem (ten dokonce není nutnou podmínkou konstrukce) otočným a sklopným na vhodném stativu (stojanu). U okulárové části je umístěno zrcátko se středovým otvorem pohyblivé kolem své vodorovné osy. Směrem k objektivu je umístěna svislá deska s kruhovým otvorem, v němž je vypnut záměrný kříž. Jejich spojnice je rovnoběžná s optickou osou dalekohledu a slouží pro hrubé zacílení. U objektivu je další svislá deska s centrickým otvorem, který lze uzavřít záklopkou. Při přípravě heliotropu se po zacílení záměrným křížem a dalekohledem na druhý bod pohybuje



Obr. 3 Gaussův heliotrop, zdroj: wikimedia.org



Obr. 5 Americký heliotrop, zdroj: google.com



Obr. 4 Bertramův heliotrop, zdroj: [3], s. 22

zrcátkem tak, aby byl tmavý obraz otvoru zrcátka centric-ky umístěn na uzavřené záklopce. Po odsunutí záklopy je přístroj připraven k měření.

V roce 1844 byla publikována v praxi nepříliš úspěšná Steinheilova konstrukce, v níž mělo zrcadlo ve středu průhlednou (nepostříbřenou) kruhovou plošku. Zacílení přístroje bylo velmi pracné, což zřejmě vedlo k několika úpravám jiných autorů. Kromě toho práce ([6], s. 35–45) zmiňují některé další konstrukce německého původu.

Učebnice ([3], s. 24–26) popisuje Müllerův heliotrop, původně nazvaný phototrop. Na České vysoké škole technické (ČVŠT) v Praze byl v roce 1881 konstruován prof. Františkem Müllerem pro měření podzemních prostor. Práce ([10], s. 82) uvádí, že přístroj měl sloužit k signalizaci nepřístupných bodů při trigonometrickém měření. Vychází z Bertramova heliotropu, ovšem na svislé ose zrcátka je navíc umístěn dělený kruh v rozsahu 360° a na vodorovné ose segment svislého kruhu v rozsahu stupnice asi 70° . Na základnové desce je trubcová libela s buzolou. Přístroj byl kuželovitou tulejkou nasazován na čepový stativ. K praktickému použití však nedošlo, snad pro velký rozptýl paprsků.

Heliotrop, který byl úpravou Steinheilova přístroje, konstruoval a v roce 1909 publikoval prof. Jaroslav Pantoflíček na ČVŠT ([9], s. 33–34). Podle knihy ([10], s. 89, zobrazení na s. 88) o přístroj projevil zájem berlínská firma Eduarda Sprengera, která vyrobila malou zkušební sérii. Přístroje byly používány za 1. světové války německým válečným námořnictvem k signalizaci.

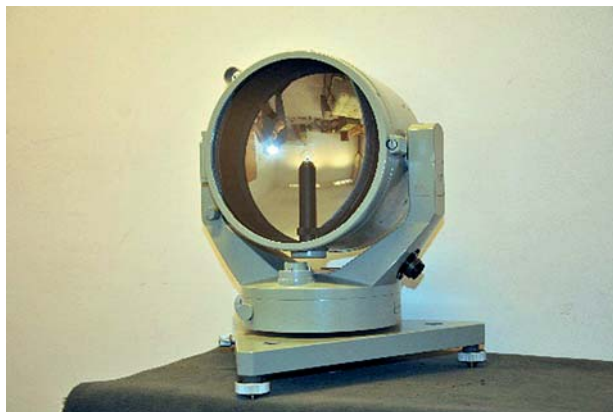
V tzv. sbírce akademika Františka Čechury na VŠB-TU v Ostravě, jejíž část je nyní vystavena v Moravském kartografickém centru ve Velkých Opatovicích, je uložena úprava amerického heliotropu. Vyrobila ho v roce 1912 pražská firma Josef a Jan Frič podle návrhu Františka Köhlera, profesora Báňské akademie v Příbrami.

V 50. letech 20. století konstruoval Karel Kučera ve VÚGTK tzv. permanentní zábleskový heliotrop ([11], s. 117–118), který nevyžaduje stálou obsluhu. Hlavní součástí jsou tři různě skloněná, vzájemně pootočená kovová zvlněná zrcátka, která při otáčení kolem společné svislé osy vysílají záblesky prakticky po celém horizontu i při značných výškových rozdílech bodů. Heliotrop se upevňuje na signalizační tyč měřické věže, otáčení zajišťují duté polokoule, stejně jako u anemometru. K otáčení dále postačuje slabý vánek, který lze předpokládat vždy. Přístroj se osvědčil při polské výpravě na Špicberky v roce 1957. Záblesky byly viditelné za jasného počasí do 40 km, při slabě zatažené obloze do 18 km.

3.2 Reflektor

V roce 1806 v rámci prodloužení pařížského stupňového měření až na Baleárské ostrovy použili významní francouzští vědci François Jean Dominique Arago a Jean Baptiste Biot pro noční signalizaci bodů jednoduchého zdroje umělého světla – olejovou lampu umístěnou v ohnisku parabolického zrcadla. Při východoindickém měření použil světelnou signalizaci plk. George Everest [4]. Práce ([3], s. 33) uvádí, že reflektory s petrolejovou lampou postačují do vzdálenosti 50 km. Po vynálezu Gaussova heliotropu (část 3.1) nastala v dalším vývoji reflektorů přestávka.

Změnu přinesl rok 1874 při již čtvrtém stupňovém měření pařížského poledníku iniciovaného francouzskou Akademií věd. K signalizaci bodů byly za dne používány heliotropy, v noci tzv. kolimátory (kollimateur). Ty jsou tvořeny spojnou čočkou průměru 20 cm s ohniskovou vzdáleností



Obr. 6 Elektrický reflektor Zeiss TSG 200, zdroj: google.com

$f = 60$ cm. V ohnisku byla umístěna magnéziová lampa. Přístroj na jednoduchém stativu byl otočný kolem svislé i vodorovné osy.

V roce 1879 došlo k propojení trigonometrických sítí Španělska a Alžírsko. (Poznámka: francouzská kolonizace Alžírsko započala roku 1846.) Na pobřeží každé z obou zemí byla zřízena dvojice bodů se vzdálenostmi zhruba 83 km, resp. 105 km. V takto vzniklém čtyřúhelníku byly z každého bodu v noci observovány zbývající tři body, přičemž úhlopříčky byly dlouhé 257 km a 270 km. Práce vedli španělský generál Carlos Ibañez de Ibero a velitel měřické služby francouzské armády plk. François Perrier. Pro signalizaci byly používány přístroje dvou typů ([3], s. 31–32). Prvním byl již zmíněný kolimátor. Druhý, tzv. projektor (projecteur, opět francouzské konstrukce), se skládal z aplanačnického zrcadla, tvořeného vypuklo-dutou čočkou (průměr 30 cm, $f = 60$ cm) postříbřenou na zadní vypuklé ploše. (Aplanačnické zrcadlo bylo výrobně jednodušší a levnější než též možné parabolické zrcadlo.) U obou přístrojů byla do ohniska umístěna elektrická uhlíková lampa, přičemž vycházející paprsky byly vzájemně rovnoběžné.

Na přelomu 19. a 20. století byly vyráběny signalizační reflektory s parabolickým zrcadlem a malou žárovkou v jeho ohnisku. Poloha žárovky byla rektifikovatelná a k napájení sloužil akumulátor nebo jiný zdroj elektrické energie. Některé pozdější modely byly opatřeny reostatem pro regulaci jasu záření. Tato zařízení vyráběla řada firem, mezi nimi i firma Josef a Jan Frič na žádost Ministerstva financí. Reflektory lze používat po celý den, jako nevhodnější doba je udáván čas od 1 hodiny po západu Slunce až do 3. hodiny ráno.

Při budování Jednotné trigonometrické sítě katastrální byly v Československu používány reflektory s acetylenovou lampou, po roce 1933 reflektory s automobilovou žárovkou 35W nebo 50W napájenou dynamem na šlapací pohon ([10], s. 23). Ve 2. polovině 20. století byly u nás používány světlomety TSG 200 firmy Carl Zeiss Jena (obr. 6). Přístroj o hmotnosti 8 kg byl osazen žárovkou 5 W / 6 V a vybaven zaměřovacím dalekohledem a centrační podložkou se stavěcími šrouby. Do praxe se dostaly i běžné nebo upravené automobilové či ruční reflektory, případně jen zavěšené žárovky. Společnou výhodou bylo použití za horších podmínek bez nutnosti obsluhy s výjimkou dohledu na zdroj elektrického proudu. V 50. letech 20. století byl k dispozici francouzský reflektor spojený s heliotropem, vybavený vodorovným kruhem, svislou stupnicí a automatickým pootáčením. V učebnici ([11], s. 119) je zařazen obrázek obdobného přístroje.

4. Závěr

Přístroje zmiňované v tomto textu jsou v dnešní době již jen významnou součástí zeměměřické historie. Hesla heliotrop, reflektor, světlomet nejsou obsažena ani v Terminologickém slovníku zeměměřictví a katastru [12]. Různorodost a nápaditost vědeckého a technického řešení téhož problému však podle našeho názoru stojí za připomenutí.

Poznámka:

Text vznikl v rámci grantového projektu Ministerstva kultury České republiky NAKI II, č. DG18P02OVV054 *Zeměměřické a astronomické přístroje používané na území ČR od 16. do konce 20. století*.

LITERATURA:

- [1] BESSEL, F. W.-BAEYER, J. J.: *Gradmessung in Ostpreußen und ihre Verbindung mit Preußischen und Russischen Dreiecksketten*. Berlin, 1883. Reprint: Milton Keynes, Wentworth Press 2018. 455 s. ISBN-13: 978-0270884654.
- [2] JORDAN, W.: *Handbuch der Vermessungskunde*. 3. díl. Stuttgart, J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung 1890.
- [3] NOVOTNÝ, F.: *Kompéndium geodézie a sférické astronomie. Geodézie vyšší*. I. díl. Praha, Česká matice technická 1909.
- [4] HÁNEK, P.: *Besselův elipsoid 1841*. Geodetický a kartografický obzor 67/109, 2021, č. 11, s. 255-261.
- [5] WIKIPEDIE, Otevřená encyklopedie. Heliotrop (rozcestník). [online]. Dostupné na: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Heliotrop_\(rozcestník\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Heliotrop_(rozcestník)). Cit. [2021-06-06].
- [6] JORDAN, W.-EGGERT, O.: *Handbuch der Vermessungskunde*. 3. díl, 1. svazek. 8. upravené vydání. Stuttgart, J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, 1939.
- [7] HÁNEK, P.: Historie a peníze. Geodetický a kartografický obzor 40/82, 1994, č. 2, s. 40-41.
- [8] Breithaupt Kassel, Company History: Cooperation with Gauss. [online]. Dostupné na: <http://www.breithaupt.de/en/company/history/#eventcooperation-with-gauss>, cit. [2021-05-03].
- [9] RYŠAVÝ, J.: *Vyšší geodesie*. Praha, Česká matice technická 1947.
- [10] PROCHÁZKA, E.: *Úvod do dějin zeměměřictví VII. Novověk, 5. část*. (Skripta) Praha, ČVUT 1991. ISBN 90-01-00546-1.
- [11] VYKUTIL, J.: *Vyšší geodézie*. Praha, Kartografie 1982.
- [12] Terminologická komise Českého úřadu zeměměřického a katastrálního: Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí. [online]. Dostupné na: <http://slovníkuczku.eu>, cit. [2021-06-06].

Do redakce došlo: 13. 6. 2021

Lektoroval:
Ing. Antonín Švejda,
Národní technické muzeum