

Význam geodetické délkové základny Koštice – státního etalonu délky 25 m až 1 450 m

Ing. Jiří Lechner, CSc.,
Ing. Ilya Umnov,
Výzkumný ústav geodetický,
topografický a kartografický, v. v. i.

Abstrakt

Článek prezentuje jednu z důležitých činností Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického, v. v. i. (VÚGTK), směřovanou zejména do resortu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního v oblasti plnění metrologických požadavků státní a evropské legislativy. Je uvedena problematika metrologické návaznosti elektronických dálkoměrů. Jsou popsány technické parametry etalonu využívaného pro tyto účely, který byl Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví vyhlášen státním etalonem délek 25 m až 1 450 m. VÚGTK je uvedeným úřadem pověřen uchováváním tohoto etalonu.

The Importance of the Koštice Geodetic Length Base - the National Length Standard 25 m to 1 450 m

Abstract

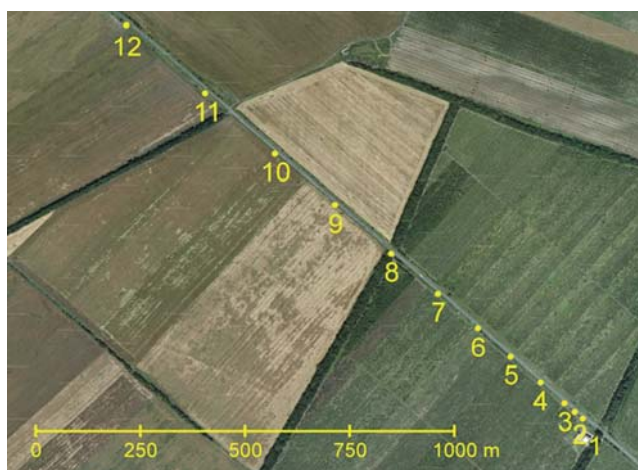
The article presents one of the important activities of the Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography, v. v. i. (VÚGTK), directed in particular to the department of the Czech Land Surveying and Cadastral Office in the area of fulfilling the metrological requirements of national and European legislation. The issue of metrological traceability of electronic distance meters is presented and technical parameters of the standard used for these purposes are described in the article. The Office for Technical Standardization, Metrology and State Testing declared this standard as a national standard for lengths of 25 m to 1 450 m and entrusted the VÚGTK with safekeeping of the standard.

Keywords: measurement uncertainty, metrological traceability, accuracy of length measurements

1. Úvod

V osmdesátých letech 20. století se začalo v České republice (ČR) v oblasti zeměměřictví a katastru nemovitostí uplatňovat v širším měřítku měření délek pomocí elektronických dálkoměrů (EDM). Technický rozvoj u této přístrojové techniky umožnil změnu v rozlišovací schopnosti měřidel, která se z dřívější hodnoty 1 cm, popř. 5 mm postupně změnila na milimetr, popř. i na desetinu milimetru. Tyto okolnosti a požadavky formulované v Usnesení vlády ke koncepci rozvoje metrologického systému České republiky [1] se zajištěním ekvivalence se systémem v zemích

Evropské unie (EU) a dále potřeba zajištění jednotnosti a správnosti měření uvedenými typy měřidel, zejména při výstavbě dálniční sítě a železničních koridorů na území ČR, vedly k zařazení řešení úkolu na zajištění etalonu pro realizaci metrologické návaznosti elektronických dálkoměrů v rámci Programu rozvoje metrologie Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) pro splnění kritérií na vyhlášení státního etalonu tzv. „velkých délek“. Záležitost byla řešena v letech 2005 až 2008, kdy byly na původní délkové geodetické základně Koštice realizovány činnosti, které vedly k vyhlášení této geodetické základny státním etalonem délky 25 m až 1 450 m (obr. 1).



Obr. 1 Schéma rozmístění bodů geodetické délkové základny a realizace bodu pilíře

2. Soustava státních etalonů ČR

Soustava státních etalonů ČR je součástí infrastruktury ČR (stejně jako například dálniční síť či energetická přenosová soustava) a vychází z aktuálních potřeb hospodářství a dlouhodobé koncepce rozvoje národního metrologického systému, která pravidelně bývá pro víceleté období přijata formou usnesení vlády. Aktuálně dne 5. 11. 2021 byla Usnesením vlády č. 961 schválena nová Koncepce rozvoje národního metrologického systému ČR pro období let 2022 až 2026 [1]. Tato koncepce navazuje na Koncepci rozvoje národního metrologického systému České republiky pro období let 2017 až 2021. Soustava státních etalonů je otevřená a mění se, modernizuje a doplňuje podle potřeb ČR, technických a ekonomických možností Českého metrologického institutu (ČMI) a dalších pověřených organizací a dostupných výsledků metrologického výzkumu. Tvoří ji především etalony základních jednotek mezinárodní soustavy jednotek SI [5] a etalony nejdůležitějších odvozených jednotek.

V ČR je možné zajistit pokrytí potřeb metrologické návaznosti na primární úrovni pomocí státních etalonů pouze u vybraných pro ekonomiku ČR nejdůležitějších, nejčetnějších či nejstrategičtějším oblastí měření včetně oblastí, kde působí více jak 300 autorizovaných metrologických středisek a více jak 100 akreditovaných kalibračních laboratoří. V řadě dalších měření je metrologická a podnikatelská veřejnost odkázána na nepopulární nutnost zajištění primární návaznosti pomocí zahraničních státních etalonů spojenou v řadě případů s vysokými ekonomickými náklady a logistickými a termínovými problémy. Na důležitosti pak získává zapojení do mezinárodní spolupráce a koordinovaného metrologického výzkumu.

Z hlediska zajištění metrologické návaznosti je nejdůležitější částí mezinárodní spolupráce v současnosti Ujednání o vzájemném uznávání státních etalonů a certifikátů měření vydávaných národními metrologickými institucemi (CIPM MRA).

V ČR je existence státních etalonů zakotvena a definována zákonem č. 505/1990 Sb. ve znění pozdějších předpisů [2], který definuje, že návazností měřidel se pro účely tohoto zákona rozumí zařazení daných měřidel do nepřerušené posloupnosti přenosu hodnoty veličiny počínající etalonem nejvyšší metrologické kvality pro daný účel, a že pro příslušný obor měření mají nejvyšší metrologickou kvalitu ve státě státní etalony.

Dle zákona o metrologii státní etalony uchovává ČMI, ovšem ve vhodných případech je možné využít existujícího potenciálu a znalostí jiné organizace než ČMI a pověřit ji uchováváním státních etalonů ČR, přičemž ČMI koordinuje budování a rozvoj státních etalonů a jejich uchovávání. Zákon dále stanovuje, že státní etalony v ČR schvaluje ÚNMZ, který též stanoví způsob jejich tvorby, uchovávání a používání.

3. Státní etalon délky 25 m až 1 450 m

V osmdesátých letech 20. století se začalo v ČR uplatňovat v širším měřítku měření EDM. Nutnou podmínkou kvalitního měření je při tom možnost ověření správnosti měření. To lze provést několika způsoby, např.:

- laboratorním určením parametrů měřidel,
- porovnáním s vhodným etalonem pro daný parametr.

Dlouhodobá praxe ukazuje, že uživatelé geodetické techniky upřednostňují zjišťování charakteristik měření porovnáním s etalonem, který svým charakterem odpovídá běžnému využití měřidla. Proto bylo v minulosti rozhodnuto o vybudování československé kalibrační základny. Investorem byl stát prostřednictvím Výzkumného ústavu pro hnědé uhlí a.s. (VÚHU), Výzkumného ústavu geodetického, topografického a kartografického, v. v. i. (VÚGTK) a dalších organizací. Vhodné místo bylo s ohledem na požadované geologické a terénní podmínky nalezeno u obce Koštice. Základna byla budována v letech 1979 až 1980.

Etalon tvořilo 12 fyzicky stabilizovaných bodů délkové geodetické základny Koštice a totální stanice Leica TCA 2003 s integrovaným elektronickým dálkoměrem a odrazným hranolem.

Stabilizace bodů etalonu je provedena v jedné linii po levé straně silnice č. 249 Koštice – Libčeves. Vlastní body etalonu jsou vedeny jako geodetické bodové pole. Etalon realizuje celkem 66 délek, které jsou vymezeny všemi dvojicemi ze skupiny 12 geodetických bodů. Jedná se o šikmé délky. Z praktických důvodů se používají vodorovné délky převedené do jednotného horizontu. Na základě provedení metrologické návaznosti měřidel – EDM jsou stanovovány násobná (multiplikativní) konstanta a součtová (adiční) konstanta, spolu s jejich přesnostními charakteristikami.

3.1 Technickoekonomické zdůvodnění potřeby a výběru etalonu

Etalon byl zřízen pro účely přenosu jednotky délky na etalony nižších řádů a na pracovní měřidla využívaná v ČR. Zejména se jedná o měřidla využívaná při budování plochých bodových polí, pro zajištění geometrické přesnosti staveb, zejména při výstavbě liniových staveb jako jsou dálnice a železnice, velkých průmyslových objektů a podobně. Etalon řeší přirozené potřeby státu a EU v oblasti legální metrologie pro základní fyzikální veličinu - délku. Je nutné zdůraznit, že hmotná část etalonu existuje již více než 40 let. Jedná se o dílo nemalé hodnoty, které vzniklo za prostředky ze státního rozpočtu. Geodetická základna svým provedením vyhovuje požadovaným účelům, zejména z důvodu dostatečné stabilizace a provedení nuncenace, které je pro přístrojovou techniku s rozlišovací schopností měření délek na desetiny milimetru vhodnější než centrace přístrojů nad geodetickými body stabilizovanými běžným způsobem.

Etalon slouží pro zajištění metrologické návaznosti měřidel v souladu se zákonem o metrologii a s koncepcí rozvoje národního metrologického systému ČR. Realizace a uchovávání etalonu je součástí koncepce ČMI v oblasti plnění podmínek ujednání MRA. Etalon uspokojuje široké spektrum potřeb v oblasti metrologie v celostátním a i mezinárodním měřítku. Rozsah realizací využití etalonu lze charakterizovat průměrným počtem provedených návazností 150 ks za rok, což představuje finanční tržbu cca 400 000 Kč při nákladech na uchovávání státního etalonu cca 300 000 Kč.

3.2 Vlastnictví a oprávnění k etalonu

Státní etalon délek 25 m až 1 450 m ev. č. ECM 110-13/08-041 je dán souborem pevně stabilizovaných geodetických bodů, laserového interferometru RENISHAW, elektronického

dálkoměru Leica NOVA MS 50 a laserového trackeru Leica AT401.

Terénní etalon je veden jako geodetické bodové pole podle platné legislativy, zákona č. 200/1994 Sb., v platném znění [3] a vyhlášky č. 31/1995 Sb., v platném znění [4] a podle Smlouvy o součinnosti subjektů v oblasti metrologie.

Vlastní nemovitosti, prostřednictvím kterých jsou zřízeny předmětné geodetické body, nepodléhají nutnosti vykoupení a převedení do vlastnictví státu, neboť v souladu s výše uvedeným zákonem jsou orgány státní správy oprávněny vykonávat zeměměřické činnosti a v nezbytném rozsahu užívat nemovitosti ke zřízení, udržování, přemísťování, odstraňování a obnovování značek geodetických bodů. Vlastníci nemovitostí jsou povinni strpět umístění značek na nemovitosti a zdržet se všeho, co by tyto značky poškodilo nebo učinilo nepoužitelnými.

Na základě Rozhodnutí ÚNMZ č.j. 922/08/05 ze dne 28.5.2008 je VÚGTK pověřen uchováváním státního etalonu délek 25 m až 1 450 m, ev. č. ECM 110-13/08-041. Garantem etalonu je Ing. Jiří Lechner, CSc.

Etalon byl zřízen na základě smlouvy VÚGTK s Výzkumným ústavem pro hnědé uhlí a.s. v Mostě a Zeměměřickým úřadem.

3.3 Popis a uložení etalonu

Principem etalonu je realizace návaznosti velkých délek, tj. délek v rozsahu desítek, stovek metrů, až do největší realizované na etalonu délky o velikosti 1 450 m. Délka mezi jednotlivými body je realizována pomocí tzv. nucené centrace na pilířích.

Pro vyjádření délek se používá základní jednotka soustavy SI – metr [5]. Hodnoty realizovaných délek etalonu jsou uvedeny v **tab. 1**. Geodetická základna Koštice se nachází asi 60 km severozápadně od Prahy, v okrese Louny, severně od obce Koštice. Jedná se o soubor 12 pilířů postavených v jedné linii po levé straně silnice číslo 249 Koštice – Libčeves.

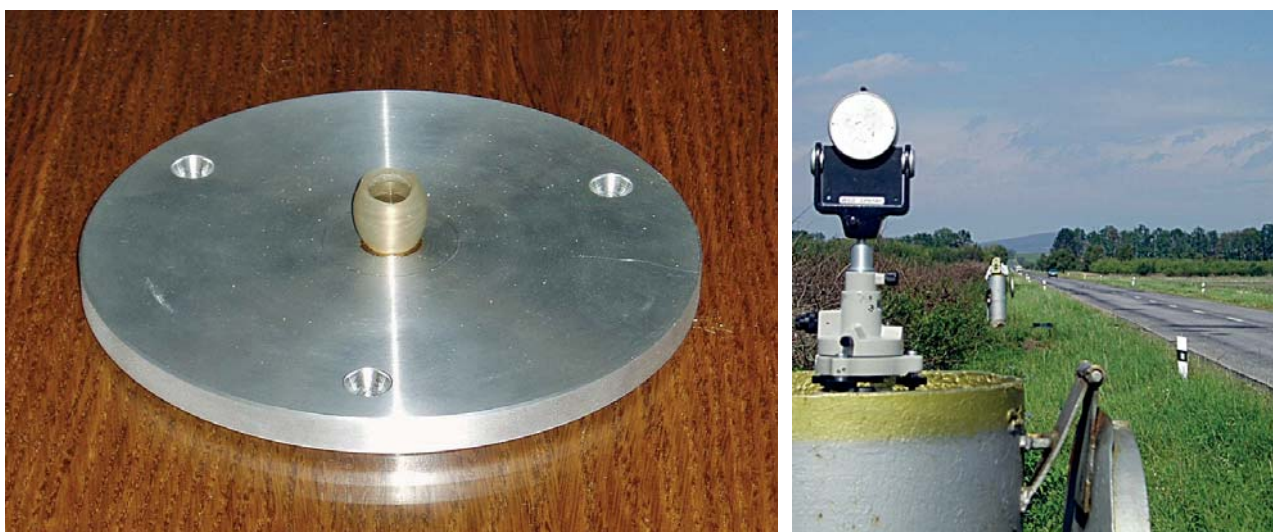
Pilíře geodetické základny jsou svislé ocelové nosníky založené ve stabilním podloží. Vystupují asi 1,2 m nad terén, na vrcholu jsou opatřeny kruhovou ocelovou a vrchní duralovou deskou se šroubem pro uchycení třínožky geodetických přístrojů jako jsou totální stanice, tj. jde o provedení tzv. nucené centrace (**obr. 2**).

Etalon realizuje šikmé délky mezi jednotlivými geodetickými body, které jsou definovány středy nucených centrací na pilířích.

Tab. 1 Hodnoty horizontálních délek mezi body etalonu

číslo bodu	vzdálenost k bodu 2 [m]	vzdálenost k bodu 3 [m]	vzdálenost k bodu 4 [m]	vzdálenost k bodu 5 [m]	vzdálenost k bodu 6 [m]	vzdálenost k bodu 7 [m]
1	25,0881	58,0519	133,8820	228,9821	332,9590	459,8596

číslo bodu	vzdálenost k bodu 8 [m]	vzdálenost k bodu 9 [m]	vzdálenost k bodu 10 [m]	vzdálenost k bodu 11 [m]	vzdálenost k bodu 12 [m]
1	608,8426	787,0672	977,8832	1199,9903	1450,0108



Obr. 2 Provedení tzv. nucené centrace na pilířích geodetické základny

V nadzemní části jsou pilíře obklopeny ochrannými ocelovými pláštěmi, který je na vrchu vybaven uzamykatelným ocelovým poklopem. Prostor mezi pilířem nucené centrace a vnitřní stěnou ochranného pláště je vyplněn sypkým materiálem, tvořícím izolaci před vlivy okolního prostředí (obr. 3). Tato část etalonu je realizována v přírodních podmínkách a je nepřenositelná. Ochranná zóna etalonu je upravena Zákonem o zeměměřičství č. 200/1994 Sb. v platném znění.

3.4 Metrologická návaznost etalonu

Délková geodetická základna Košnice je metrologicky navázána na laboratorní délkový etalon, kterým je laserový interferometr RENISHAW. Navázání se dále provádí prostřednictvím přenosných pracovních etalonů laserového trackeru Leica AT-401 a totální stanice Leica NOVA MS 50.

Měřicí rozsah laserového interferometru je omezen délkou laboratorní základny. Délkové navázání vychází z přenesení délky laboratorního etalonu na základnu Košnice tím způsobem, že vodorovné délky měřené v laboratoři jsou bezprostředně měřeny přenosným pracovním etalonem, tedy laserovým trackerem Leica AT-401 a totální stanicí Leica NOVA MS 50 na základně Košnice. Pro tyto etalony

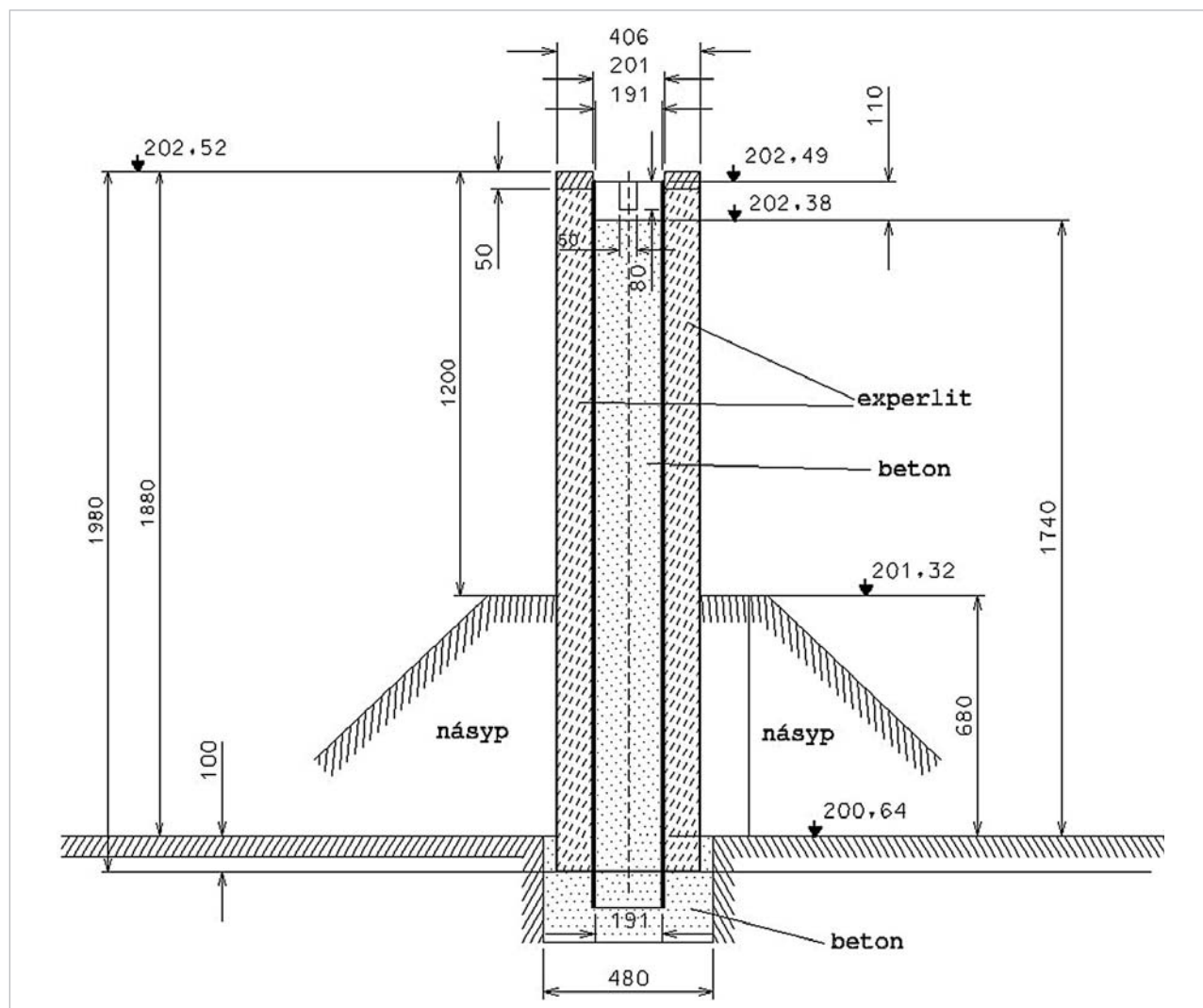
jsou určeny adiční a multifunkční konstanty. Charakteristiky přesnosti metrologické návaznosti geodetické délkové základny jsou podrobně definovány v závislosti na způsobu určení garantem etalonu a délce platnosti tohoto určení v tab. 2 a 3.

3.5 Metrologické charakteristiky etalonu

U etalonu lze pro realizaci metrologické návaznosti využít celkem 66 délek, které jsou vymezeny všemi dvojicemi ze skupiny 12 geodetických bodů. Z praktických důvodů se využívají vodorovné délky převedené do jednotného horizontu.

Důvody pro charakterizování etalonu prostřednictvím vodorovných délek vztažených k jednotné výškové hladině jsou:

- úplný výčet realizovaných hodnot veličiny se skládá z 11 délek mezi sousedními geodetickými body (tab. 1),
- délky dané jinými kombinacemi geodetických bodů než sousedními se získají prostým součtem, popř. rozdílem mezilehlých délek mezi sousedními geodetickými body,
- na základě nezávislých délkových měření všech kombinací a zřejmých součtových podmínek lze provést početní vyrovnání eliminující vliv nahodilých chyb na určování délek.



Obr. 3 Svislý řez provedení pilíře základny, bodu č. 1

Tab. 2 Nejistota státního etalonu – okamžité určení

Zdroj nejistoty	Velikost standardní nejistoty $u(x_i)$	Jednotka	Pravděpodobnostní rozdělení	Citlivostní koeficient c_i	Příspěvek k aditivní části nejistoty $u_i(y)$ [μm]	Příspěvek k multiplikační části nejistoty $u_i(y)$ [$\mu\text{m}/\text{m}$]
aditivní část nejistoty etalonu – laserinterferometru	0,01	μm	normální	1	0,0	
aditivní část nejistoty CMM	70	μm	normální	1	70	
multiplikační část nejistoty etalonu – laserinterferometru	0,22	$\mu\text{m}/\text{m}$	normální	1		0,22
multiplikační část nejistoty CMM	0,70	$\mu\text{m}/\text{m}$	normální	1		0,70
vliv nejistoty měřidla teploty vzduchu	0,1	$^{\circ}\text{C}$	normální	0,924		0,1
variace teploty vzduchu v dráze měřicího paprsku vzduchu	0,3	$^{\circ}\text{C}$	normální	0,924		0,3
vliv nejistoty měřidla atmosférického tlaku	0,25	hPa	normální	0,271		0,1
vliv nejistoty měření atmosférického tlaku v terénu	0,5	hPa	normální	0,271		0,1
vliv nejistoty určení vlhkosti vzduchu na měřenou délku	5	%	rovnoměrné	0,015		0
vlivy centrace a horizontace CMM a RRR hranolu na měřenou délku	50	μm	normální	3,0	150	
nejistota ve vodorovné délce vlivem nejistoty v převýšení	0,0471	$\mu\text{m}/\text{m}$	logaritmicko normální	1		0,0
nejistota ve vodorovné délce vlivem nejistoty v zařazení do přímky	0,00845	μm	logaritmicko normální	1	0,0	
celková nejistota					165	0,8

Poznámka redakce: CMM = coordinate measuring machines (souřadnicový měřicí přístroj); RRR = red ring reflector (typ kulového hranolu)

Tab. 3 Nejistota státního etalonu – dlouhodobé určení (platnost maximálně 3 měsíce)

Zdroj nejistoty	Velikost standardní nejistoty $u(x_i)$	Jednotka	Pravděpodobnostní rozdělení	Citlivostní koeficient c_i	Příspěvek k aditivní části nejistoty $u_i(y)$ [μm]	Příspěvek k multiplikační části nejistoty $u_i(y)$ [$\mu\text{m}/\text{m}$]
aditivní část nejistoty etalonu – laserinterferometru	0,01	μm	normální	1	0,0	
aditivní část nejistoty CMM	70	μm	normální	2	140	
aditivní část nejistoty pilířů	1000	μm	normální	1	800	
multiplikační část nejistoty pilířů	0,3	$\mu\text{m}/\text{m}$	normální	1		0,3
multiplikační část nejistoty etalonu – laserinterferometru	0,22	$\mu\text{m}/\text{m}$	normální	1		0,2
multiplikační část nejistoty CMM	0,75	$\mu\text{m}/\text{m}$	normální	1		0,8
vliv nejistoty měřidla teploty vzduchu	0,1	$^{\circ}\text{C}$	normální	0,924		0,1
variace teploty vzduchu v dráze měřicího paprsku vzduchu	0,3	$^{\circ}\text{C}$	normální	0,924		0,3
vliv nejistoty měřidla atmosférického tlaku	0,25	hPa	normální	0,271		0,1
vliv nejistoty měření atmosférického tlaku v terénu	0,5	hPa	normální	0,271		0,1
vliv nejistoty určení vlhkosti vzduchu na měřenou délku	5	%	rovnoměrné	0,015		0,1
vlivy centrace a horizontace CMM a RRR hranolu na měřenou délku	50	μm	normální	0,3	150	
nejistota ve vodorovné délce vlivem nejistoty v převýšení	0,0471	$\mu\text{m}/\text{m}$	logaritmicko normální	1		0,0
nejistota ve vodorovné délce vlivem nejistoty v zařazení do přímky	0,00845	μm	logaritmicko normální	1	0,0	
celková nejistota					836	1

Tab. 4 Nadmořské výšky bodů základny

Číslo bodu (pilíře)	1	2	3	4	5	6
Výška bodu (Bpv v m)	201,887	202,156	202,510	203,323	204,359	205,484
Číslo bodu (pilíře)	7	8	9	10	11	12
Výška bodu (Bpv v m)	206,878	208,494	210,435	212,509	214,941	222,020

Největší převýšení základny je mezi body 1 a 12 a odpovídá přibližně 20 m. Nadmořské výšky jednotlivých bodů geodetické základny jsou uvedeny v **tab. 4**.

U vlastního etalonu jsou realizované vzdálenosti od 25 m do 1 450 m. Přesnost realizovaných délek etalonu lze charakterizovat hodnotami standardních nejistot (zaokrouhlení hodnot nejistot je dle [11]):

$u = Q(0,2; 0,8 \cdot L_{[km]}]$ v mm – jedná se o okamžité určení s krátkodobou platností,

$u = Q(0,9; 1,0 \cdot L_{[km]})$ v mm – jedná se o dlouhodobé určení s platností maximálně 3 měsíců.

Tyto standardní nejistoty jsou odvozeny z rozborů přesnosti pro případ realizace metrologické návaznosti prostřednictvím laserového trackeru Leica AT 401.

Státní etalon délek 25 m až 1 450 m byl na základě Rozhodnutí předsedy ÚNMZ vyhlášen již v roce 2008. V letech 2019 a 2022 byly provedeny změny ve složení etalonu a jeho přesnostních charakteristikách, jak je v textu uvedeno.

3.6 Používání etalonu

Používání etalonu je širším způsobem popsáno v Příručce kvality akreditované kalibrační laboratoře (PK AKL) garanta etalonu, která je součástí řízené dokumentace AKL.

Hlavním využitím etalonu je získávání metrologických charakteristik navazovaných měřidel pro měření délek, zejména pro EDM. Těmito charakteristikami jsou adiční konstanta celého kompletu měřidla, obvykle jde tedy o konstantu používaného kompletu EDM a odrazného hranolu, a násobná konstanta vyjadřující závislost velikosti opravy na velikosti měřené délky. Pro násobnou konstantu se používá bezrozměrná jednotka ppm, tedy počet miliontých částí celku. Součástí metrologických charakteristik měřidla jsou tedy i charakteristiky adiční i násobné konstanty.

Při měření EDM se měří zároveň veličiny ovlivňující, kterými jsou teplota, tlak a vlhkost vzduchu v místě měření. Ovlivňující veličiny se zavedou do měření podle originálního návodu pro obsluhu EDM. U novějších EDM se hodnoty ovlivňujících veličin zavádějí přímo do programu měřicího přístroje. Některé starší přístroje vyžadují zadání korekčního koeficientu, na základě kterého se opravuje naměřená délka. Korekční koeficient se určuje na základě nomogramu dodaného pro dané účely výrobcem EDM nebo pomocí vzorce.

3.7 Údržba etalonu

Konstrukce etalonu neumožňuje umělé změny realizovaných hodnot veličiny délka. Veškeré úpravy a opravy etalonu, které lze provádět, souvisejí výhradně s konzervací etalonu a musejí být prováděny tak, aby nedocházelo ke

změněm charakteristik etalonu. Zejména je zakázáno ošetrňovat nucenou centrací abrazivními prostředky. Za dodržování pravidel používání etalonu odpovídá garant etalonu. Při používání etalonu je v souvislosti s jeho dislokací bezprostředně vedle silniční komunikace nezbytné dbát na všeobecné principy zajištění bezpečnosti práce v okolí pozemních komunikací.

Podmínky používání, uchovávání a údržby státního etalonu jsou stanoveny dokumentem VÚGTK – Pravidla používání a uchovávání etalonu – kompletu složeného z délkové geodetické základny Košnice, laserového interferometru RENISHAW, elektronického dálkoměru Leica NOVA MS 50 a laserového trackeru Leica AT401.

Vlastní uchovávání a rozvoj etalonu je podpořen z Programu rozvoje metrologie neinvestičními prostředky. Úkol je řešen pro splnění požadavků zákona o metrologii, tj. zajištění jednotnosti a správnosti měření a měřidel pro oblast velkých délek, zejména při výstavbě dálniční sítě a železničních koridorů na území ČR a v rámci integrace i v zemích EU.

K výsledkům sledování délkového vývoje u etalonu během roku, těch délek, které jsou zobrazeny na **obr. 4**, lze uvést:

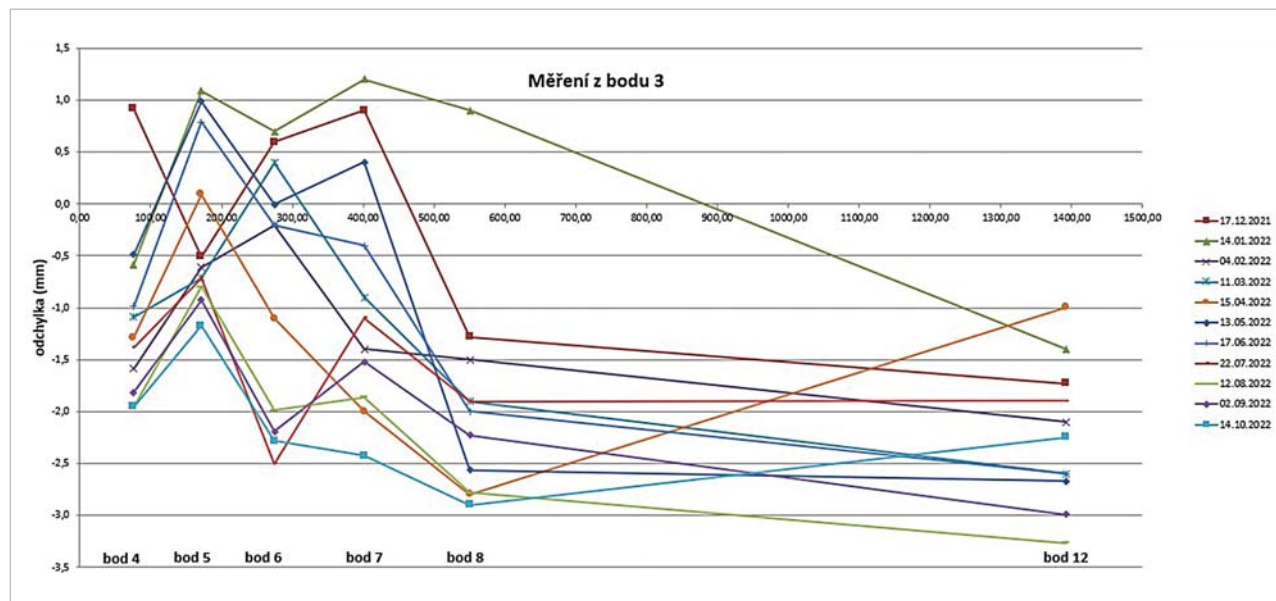
- maximální rozptyl odchylek u měřených jednotlivých délek etalonu za rok je 3,3 mm a je vztažen k pilíři č. 8,
- u pilíře 12 (ve svahu a ve vzdálenosti 1 450 m) je rozptyl u měřených jednotlivých délek do 2,3 mm,
- výsledky sice ukazují na možné časové rozdělení odchylek (zima – léto), ale není to jednoznačné. Vzhledem ke způsobu stabilizace bodů základny, kdy proti předpokladu důkladné stabilizace byla provedena jednodušší stabilizace do betonu, lze usuzovat i na vliv půdní vlhkosti.

3.8 Přehled a analýza mezinárodních porovnávaní

Jednou z nutných podmínek existence státního etalonu je i jeho začlenění do programu mezilaboratorních porovnávacích zkoušek, prostřednictvím kterých se prokazuje odborná způsobilost laboratoře, která etalon uchovává a dále se tím potvrzují zveřejněné přesnostní charakteristiky etalonu.

Takovýchto porovnávacích zkoušek ve vztahu k etalonu bylo v minulosti provedeno již několik, např. mezinárodní porovnávací zkoušky s laboratoří Universität der Bundeswehr München v letech 2001 a 2006, kdy tyto zkoušky proběhly i na národním délkovém etalonu v oboře Hvězda a na úhlovém Azimutálním etalonu Židovské pece.

Poslední mezinárodní porovnávací zkoušky vykonala AKL VÚGTK s referenční laboratoří National Land Survey of Finland, Finnish Geospatial Research Institut FGI, Department of Geodesy and Geodynamics, National Standards



Obr. 4 Příklad vývoje odchylek délek etalonu v roce 2022 [12] (měřeno z bodu č. 3)

Laboratory v roce 2018. Vyhodnocené výsledky měření nezávislou organizací (Českým metrologickým institutem) jsou uvedeny v **tab. 5**. Všechny koeficienty E_n jsou v absolutní hodnotě nižší než 1, mezilaboratorní porovnání (MPZ) tedy bylo vyhovující. Ve sloupci Ulab je uvedena rozšířená nejistota měření (mezní odchylka).

3.9 Systematická měření náklonů na vybraných bodech etalonu

V souvislosti s určitou nestabilitou pilířů etalonu vzniká požadavek vysvětlení příčiny vzniku změn v délkách mezi pilíři a bylo přistoupeno k měření náklonů na pilíři č. 3 pomocí snímače náklonů JN 2201 od německé firmy IFM electronic.

Volba pilíře č. 3 byla ovlivněna volným prostorem pro instalaci snímače na pilíři a dále důležitou okolností, že měření délek mezi pilíři 2-3 a 3-4 lze provádět bezprostředně laserovým trackerem a také z důvodu v minulosti zjištěnými posuny mezi uvedenými pilíři.

Vlastní měření náklonů je doprovázeno měřením teplot pomocí zařízení ALMEMO 2590 od firmy AHLBORN se záznamem naměřených dat.

Vzhledem k energetické náročnosti u daného typu inklinometru bylo přistoupeno k měření hodnoty náklonu v týdenním intervalu. V tomto režimu probíhá měření náklonu a teplot od listopadu 2020. Z hlediska přesnosti měření náklonů a ve vztahu ke skutečným náklonům je daný inklinometr vhodný. Jeho vysoká energetická náročnost však neumožňuje jeho trvalý monitorovací režim.

Z toho důvodu byla ve VÚGTK projednána a realizována možnost nákupu jednoho kusu inklinometru s menší energetickou náročností a vyšší přesností měření typu Senceive FlatMesh s rozlišením $0,0001^\circ$ a opakovatelností výsledku měření $\pm 0,0005^\circ$ ($\pm 0,009$ mm/m). Tento inklinometr Senceive FlatMesh je instalován na pilíři č. 1 a je rovněž v provozu v nepřetržitém monitorovacím režimu. Pokud to bude možné, je žádoucí realizovat měření náklonu na pilíři č. 3 a č. 8 stejným typem čidel jako na pilíři č. 1 s cílem zjednodušit měření a vyhodnocení, docílit

homogenity výsledků měření a uskutečnit nepřetržitý monitoring náklonů pilířů. Pro přímé porovnání měření náklonů a délek jsou dále prováděna délková měření mezi pilíři 1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4 a 3-4 laserovým trackerem Leica AT 401, tj. s přesností charakterizovanou standardní nejistotou měření u $\leq 0,030$ μm . Z analýzy výsledků vyplývá, že délková měření a měření náklonů spolu určitou měrou souvisí a pro stanovení konkrétní závislosti se tato měření budou provádět i nadále. Předmětem dalších prací bude i zjištění závislosti změn náklonu pilířů na působení půdní vlhkosti. Pro další zjednodušení realizace měření náklonů na pilířích je navrženo měření na pilíři č. 8 stejným způsobem jako na pilíři č. 1 spolu s měřením půdní vlhkosti (**obr. 5, 6 a 7**).

Pozornost byla také věnována možné závislosti změny teploty okolního prostředí na změně náklonů. V tomto případě však bylo testováním zjištěno, že změny těchto dvou veličin spolu nekorelují.

4. Závěr

Základními principy organicky spojenými s působením metrologie v národním hospodářství se staly podpora podnikání a ochrana veřejného zájmu v závazkových vztazích (z velké části ochrana spotřebitele), a to i v podmínkách globální ekonomiky. Po vstupu ČR do EU/Evropského hospodářského prostoru (EHP) je nutné vyhovět i požadavkům tohoto uskupení a aktivně se zapojit do evropské integrace (jednotný trh, evropský prostor výzkumu a vývoje). Kvalita zeměměřických činností bezprostředně souvisí s úrovní jejich metrologického zabezpečení. Toto platí zejména pro práce ve veřejném zájmu v rámci působnosti státních organizací, právnických osob i fyzických osob. Jedním ze způsobů, jak prokázat splnění požadavků státní a evropské legislativy na zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření je realizace metrologické návaznosti formou kalibrací, tj. provedením souboru úkonů, kterými se za specifikovaných podmínek stanoví vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřicím

Tab. 5 Vyhodnocení MPZ

Příloha ke Zprávě o DMPZ 156-18

MĚŘENÍ VELKÝCH DÉLEK

Číslo: 0318-ZV-C156-18

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

T1	Vyhodnocení výsledků měření pomocí E_n skóre
----	--

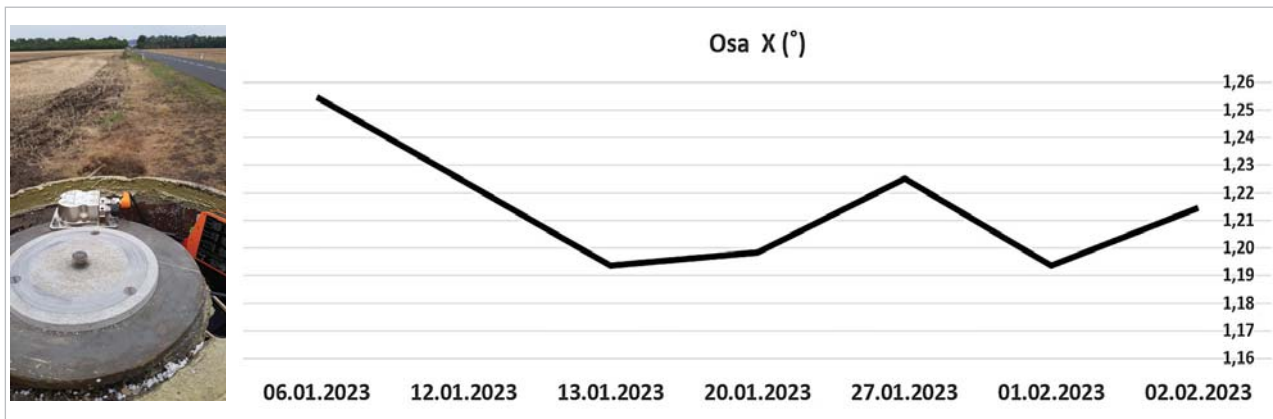
Zkušební položka:	Geodetická délková základna Nummela (Finsko)
Výrobce:	National Land Survey of Finland, Finnish Geospatial Research Institute
Typ:	6 pozorovacích pilířů ve vzdálenostech 0, 24, 72, 216, 432 a 864 m
Výrobní číslo:	neuveveno

Pilíř č. - Pilíř č. (označení FIN)	x_{lab} (mm)	U_{lab} (mm)	x_{ref} (mm)	U_{ref} (mm)	$x_{lab} - x_{ref}$ (mm)	E_n	Hodnocení
1-2 (0-24)	24033,6	0,4	24033,25	0,35	0,35	0,66	A
1-3 (0-72)	72015,2	0,4	72015,45	0,35	-0,25	-0,47	A
1-4 (0-216)	216055,2	0,8	216055,66	0,35	-0,46	-0,53	A
1-5 (0-432)	432099,7	1,2	432099,14	0,35	0,56	0,45	A
1-6 (0-864)	864133,3	1,4	864132,82	0,35	0,48	0,33	A
2-3 (24-72)	47982,1	0,4	47982,20	0,35	-0,10	-0,19	A
2-4 (24-216)	192022,1	0,8	192022,41	0,35	-0,31	-0,36	A
2-5 (24-432)	408066,6	1,0	408065,89	0,35	0,71	0,67	A
2-6 (24-864)	840100,4	1,4	840099,57	0,35	0,83	0,58	A
3-4 (72-216)	144040,5	0,6	144040,22	0,35	0,28	0,40	A
3-5 (72-432)	360084,3	1,0	360083,70	0,35	0,60	0,57	A
3-6 (72-864)	792118,4	1,4	792117,37	0,35	1,03	0,71	A
4-5 (216-432)	216042,8	0,8	216043,48	0,35	-0,68	-0,78	A
4-5 (216-864)	648077,9	1,2	648077,16	0,35	0,74	0,59	A
5-6 (432-864)	432034,0	1,2	432033,68	0,35	0,32	0,26	A

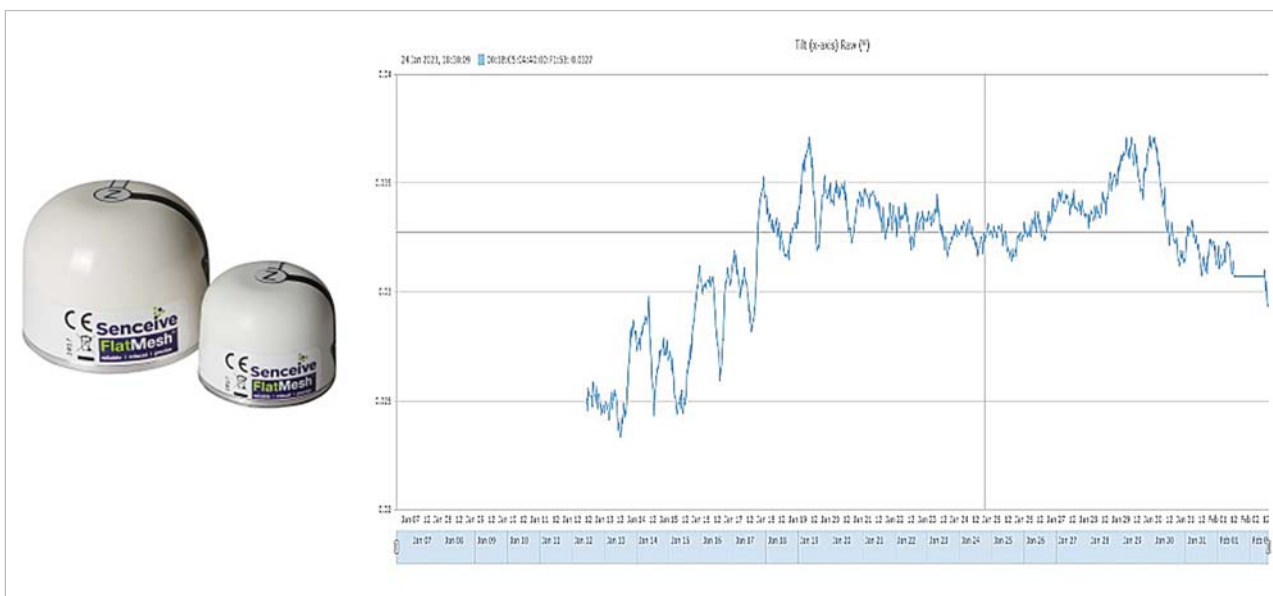
x_{lab}, x_{ref}	naměřená hodnota	U_{lab}, U_{ref}	nejistota měření
--------------------	------------------	--------------------	------------------

Vyhodnocení:	
Počet hodnot:	15
Počet A:	15
Počet N:	0
Celková úspěšnost:	100,0

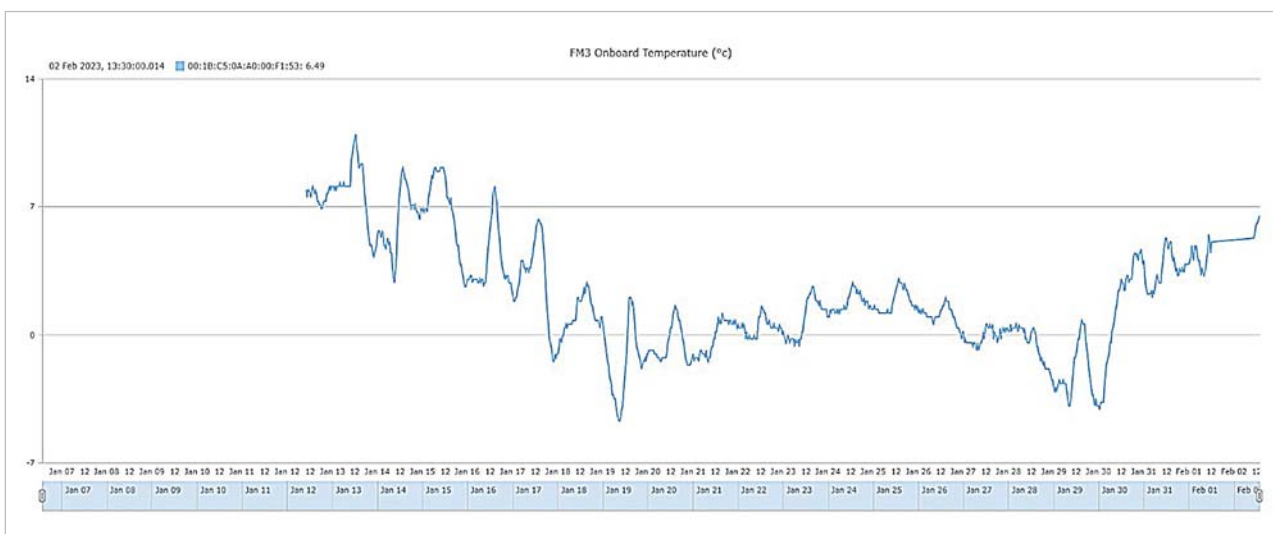
Legenda:		
A	znamená	vyhovující výsledek měření
N	znamená	nevhovující výsledek měření
Celková úspěšnost	$\geq 90 \%$	účastník splnil podmínky stanovené pro toto DMPZ
Celková úspěšnost	$< 90 \%$	účastník nesplnil podmínky stanovené pro toto DMPZ



Obr. 5 Čidlo náklonu na bodě č. 3 a ukázka podélného náklonu ve (°) a v čase cca 1 měsíce



Obr. 6 Ukázka monitoringu podélného náklonu pilíře č. 1 ve (°) a v čase cca 1 měsíce



Obr. 7 Ukázka monitoringu teplotního režimu na pilíři č. 1 v časové ose cca 1 měsíce

systémem nebo měřicím přístrojem nebo hodnotami reprezentovanými ztělesněnou mírou nebo referenčním materiálem a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony. Státní etalon délek 25 m až 1 450 m nepatří ke stabilním etalonům, jako jsou etalony založené do skalního podloží v Rakousku, popř. v Německu. Tato nestabilita je vyvážena určitými pozitivy, jako jsou délka geodetické základny a její dostupnost. Vlastní nestabilitu etalonu je nutné eliminovat mnohem častějším určením jeho aktuálních charakteristik. Státní etalon délek 25 m až 1 450 m v současné době z hlediska své přesnosti plně vyhovuje veškerým potřebám zeměměřických činností, o čemž svědčí jeho využívání pro potřeby státních organizací, právnických osob i fyzických osob. Slouží pro realizaci metrologických návazností délkových měřidel ve formě kalibračních listů, které jsou prostřednictvím akreditované kalibrační laboratoře akceptované v rámci celé EU. Pro další technický rozvoj u tohoto etalonu, zejména pro zpřesňování jeho parametrů a pochopení měřítka působení vnějších vlivů na jeho parametry, se realizuje i monitoring dalších vlivových faktorů, jakými jsou náklony pilířů v důsledku možného vlivu teplotního a vlhkostního režimu v jejich okolí.

LITERATURA:

- [1] Usnesení vlády č. 961/2021 Koncepce rozvoje národního metrologického systému České republiky pro období let 2022 – 2026.
- [2] Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění zákona č. 119/2000 Sb., zákona č. 137/2002 Sb. a zákona č. 13/2002 Sb., v platném znění.
- [3] Zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, v platném znění.
- [4] Vyhláška č. 31/1995 Sb., kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením, v platném znění.
- [5] Vyhláška č. 264/2000 Sb. o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování, v platném znění.
- [6] Metrologický řád resortu ČÚZK, č. j. ČÚZK 1558/2009-22, účinnost od 1. 9. 2009.
- [7] ČSN ISO 17123-1. Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřicích přístrojů – Část 1: Teorie.
- [8] ČSN ISO 17123-4. Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřicích přístrojů – Část 4: Elektrooptické dálkoměry.
- [9] ČSN ISO 17123-5. Optika a optické přístroje – Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřicích přístrojů – Část 5: Elektronické tachymetry.
- [10] ČSN EN ISO/IEC 17025:2018. Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří.
- [11] EA-04/02 M:2013 EA-04/02 M: 2013. Methodology for the expression of measurement uncertainties during calibrations.
- [12] LECHNER, J.-VOLKMANN, M.-UMNOV, I.-LATOVÁ, D.: Uchování státního etalonu délky 25 m až 1 450 m – kompletu složeného z délkové geodetické základny Košice, laserového interferometru Renishaw, laserového trackeru Leica AT-401 a totální stanice MS 50.: Technická zpráva VÚGTK č. 25-1323/2022. Zdiaby: VÚGTK, 2022, s. 14.
- [13] LECHNER, J.-VOLKMANN, M.: Kalibrace měřidel jako nástroj pro prokazování přesnosti měření. In: Měření v průmyslu: Sborník přednášek ze semináře. Brno: Český svaz geodetů a kartografů, 2018. S. 27-35. ISBN 978-80-02-02781-2.

Do redakce došlo: 18. 4. 2023

Lektoroval:
Ing. Peter Korčák,
VÚGTK v Bratislave