

SOUBORNÉ ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ KALIBRAČNÍCH MĚŘENÍ NA REFERENČNÍM ETALONU PROSTOROVÉ POLOHY Z OBDOBÍ 2009-2024

COMPLEX COMPILATION OF THE RESULTS OF GNSS CALIBRATIONS ON REFERENCE ETALON FROM PERIOD 2009-2024

Miloš Val'ko*¹

*milos.valko@pecny.cz

¹Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Ústecká 98, 250 66 Zdiby, ČR

Abstrakt

V současnosti se pro testování prostorové polohy GNSS aparatur v České republice využívá referenční etalon prostorové polohy – testovací základna GNSS Skalka. Tento referenční etalon byl vyhlášen dekretem ředitele Českého metrologického institutu vedeným pod číslem ECR 110-14 z 21.05.2009 jako referenční etalon ČR, avšak ve smyslu v současné době platných směrnic ÚNMZ a ČMI nemá tento etalon celostátní působnost a je závazný pouze v resortu, který tento etalon akceptuje ve své legislativě. Etalon je uchováván a udržován Výzkumným ústavem geodetickým, topografickým a kartografickým, v.v.i. V České republice je dosud jediným referenčním etalonem tohoto druhu. Odborným garantem referenčního etalonu prostorové polohy je Ing. Jaroslav Šimek. Od roku 2009 do současnosti bylo na etalonu vykonáno celkem 889 testování. Příspěvek pojednává o prostorové a časové stabilitě etalonu.

Abstract

Currently, the Test base Skalka is used for testing the spatial position of GNSS antennas and receiver in the Czech Republic. This reference standard was announced by the decree of the Director of the Czech Metrology Institute under the number ECR 110-14 of 21.05.2009 as the reference standard of the Czech Republic, but in the sense of the currently valid directives of the Czech Office for Standards, Metrology and Testing (ÚNMZ) and the Czech Meteorological Institute (ČMI), this standard does not have a nationwide scope and is binding only for activities that accepts this standard in its legislation. The standard is kept and maintained by the Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography (VÚGTK). It is the only reference standard of this kind in the Czech Republic so far. The expert guarantor of the reference standard of spatial position is Mr. Jaroslav Šimek. From 2009 to the present, a total of 889 tests have been performed on the standard. The paper discusses the spatial and temporal stability of the test base Skalka.

Klíčová slova

GNSS základna, Testování GNSS aparatur, Referenční etalon prostorové polohy

Keywords

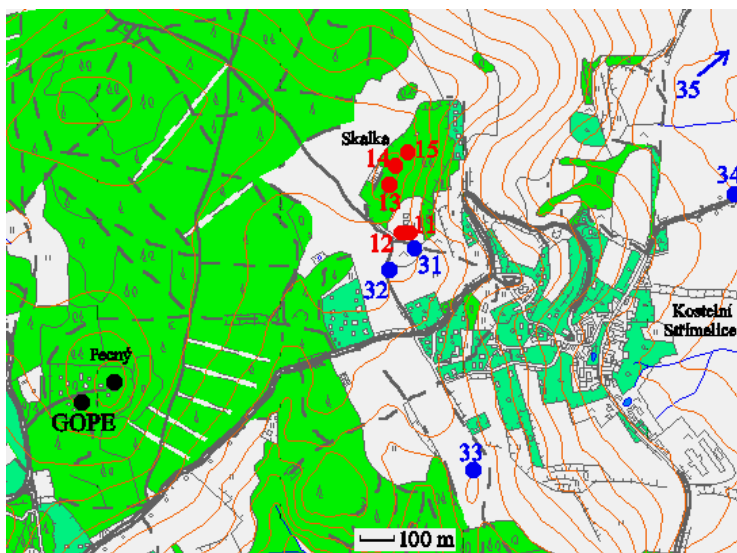
GNSS test base, Testing of GNSS antennas, Reference etalon for GNSS calibrations

1 Úvod

Jádrum testovací základny je vnitřní základna Skalka (Obr. 1), vybudovaná v uzavřeném objektu Geodetické observatoře Pecný, areálu Skalka, který býval původně družicovou stanicí. Je určena pro nejpresnější testovací a kalibrační práce s aparaturami GNSS. Tato hlavní část testovací základny je tvořena pěti pilíři se systémem nucené centrace (Obr. 2). Tři pilíře jsou umístěny na skalním hřebenu, dva jsou dole, poblíž vstupu do areálu. Umístění pilířů je dáno požadavkem zajištění volného obzoru nad elevačním úhlem cca 10° a podmínkou vzájemné viditelnosti vždy alespoň mezi dvěma body, aby

bylo možné proměření základny klasickými metodami. Rozměry a převýšení základny jsou za těchto podmínek dány tvarem a velikostí pozemku observatoře Skalka. Maximální vzdálenost mezi pilíři je asi 230 m, převýšení asi 23 m. Nezanedbatelné převýšení je důležité pro vypovídací schopnost testovacích měření. Stabilizace bodů vnitřní základny je řešena v podobě armovaných pilířů vysokých ca 150 cm a zakotvených ve skalním podkladu (vnitřní část pilíře). Vnější část pilíře je tvořena vybetonovanou cementovou rourou o vnitřním průměru 40 cm a vnějším 50 cm. Zařízení pro nucenou centraci v horní části pilířů má podobu ocelové rovnostranné trojúhelníkové desky o straně 270 mm a tloušťce 5 mm, namontované na zapuštěných ocelových sloupcích o průměru 12 mm a výšce nad hlavou pilíře 135 mm. V horní části sloupců je závit pro dvojici matek, které umožní prvotní horizontaci a fixaci desky. V ocelové desce je uprostřed otvor o průměru 16 mm. Bod je definován jako průsečík osy otvoru s horní rovinou desky.

Vnější základna je tvořena několika běžně stabilizovanými geodetickými body (Obr. 3) v pásmu 0,5 - 10 km a jejím posláním je testování aparatur, technologií, nastavení a softwarů v podmínkách blízkých provozní praxi. Předpokládá se, že kalibrační měření jsou prováděna v režimu obdobném jako při praktickém využívání GNSS, s použitím stativu či výtyčky s pevnou délkou, měřením výšky antény od značky atd. Základna zahrnuje 3 body zkušebního fotogrammetrického bodového pole Pecný, které je v prostoru Skalka - Kostelní Sřtřmelice, 1 nivelační kámen zkušebního fotogrammetrického pole pod Kostelními Sřtřmelicemi (tím je zaručeno velké převýšení) a 1 trigonometrický bod „výběrové údržby“



ve vzdálenosti cca 10 km. Body jsou stabilizovány geodetickými znaky, kamennými hranoly 90 cm dlouhými, o průřezu 15 x 15 cm, resp. 20 x 20 cm s mosaznou centrační značkou, a doplněny ochrannými betonovými skružemi. Poloha a výška bodu je definována mosaznou značkou ve středu kříže v hlavě hranolu. Současný stav základny je výsledkem studie designu základny před jejím vybudováním (zejména [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]), pak je jejím proměřováním a analýzou výsledků (zejména [11], [12], [13], [14], [15], [16]).

Obr. 1 Schéma rozložení bodů základny pro testování GNSS aparatur.



Obr. 2 Bod vnitřní základny.



Obr. 3 Bod vnější základny.

2 Vstupní data a transformace souřadnic

Od vyhlášení referenčního etalonu Českým metrologickým institutem v roce 2009 do současnosti bylo provedených celkem 889 testování GNSS aparatur. V Tab. 1 se nachází statistika počtu testování za jednotlivé roky.

Tab. 1 Počet vykonaných testování na testovací základně za jednotlivé roky.

Rok	Počet provedených testů
2009	12
2010	60
2011	20
2012	62
2013	45
2014	41
2015	57
2016	75
2017	53
2018	52
2019	65
2020	73
2021	93
2022	83
2023	57
2024	41

Tab. 1 obsahuje výsledky testování pomocí statické aj RTK metod. Zatím se nepředpokládalo se, že by použitá metoda, elevační maska, doba měření a nastavení jiných parametrů bylo zdrojem výrazných systematických chyb, co by způsobovalo nekorektní výsledky analýzy a následnou chybnou interpretaci výsledků.

Pro potřeby analýzy byly vstupní souřadnice B , L a H bodů (kde dvě ze tří souřadnic bodu jsou vyjádřeny v úhlových jednotkách) převedeny do lokálního topocentrického souřadnicového systému n , e a u . Počátek souřadnicového systému se nachází v bodě definovaném referenčními souřadnicemi, souřadnice n je orientována na sever, souřadnice e je orientována na východ a souřadnice u směřuje nahoru. Transformační vztah mezi souřadnicemi je dán vztahy:

$$\begin{aligned}n &= (M + H_0)(B - B_0) \\e &= (N + H_0)\cos(B_0)(L - L_0) \\u &= H - H_0\end{aligned}$$

kde $M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2\sin^2B)^{3/2}}$ je meridiánový poloměr křivosti referenčního elipsoidu [1] a $N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2\sin^2B}}$ je příčný poloměr křivosti referenčního elipsoidu. Pomocí souřadnic B_0 , L_0 a H_0 každého bodu je definován počátek lokálního souřadnicového systému. Tyto hodnoty byly převzaty z [2]. Jako referenční elipsoid byl použit elipsoid GRS80.

3 Analýza výsledků testování

Výsledky testování na testovací základně Skalka byly podrobeny statistické analýze. Analýza se zabývala těmito oblastmi:

- Test, jestli jsou souřadnice bodů neměnné, nebo podléhají časovým změnám (vykazují trendovou složku)
- Test přítomnosti sezónní složky (harmonický signál s periodou 1 rok)
- Test vlivu změny meteorologických parametrů na výsledky testování.

3.1 Analýza časových změn souřadnic

Prvním testem, kterým byly časové řady souřadnic podrobeny, byl test na přítomnost časového vlivu na výsledky testování. Pro každou časovou řadu byla provedena regresní analýza s třemi faktory: úroňová konstanta a , časově závislá proměnná b , a skoková funkce

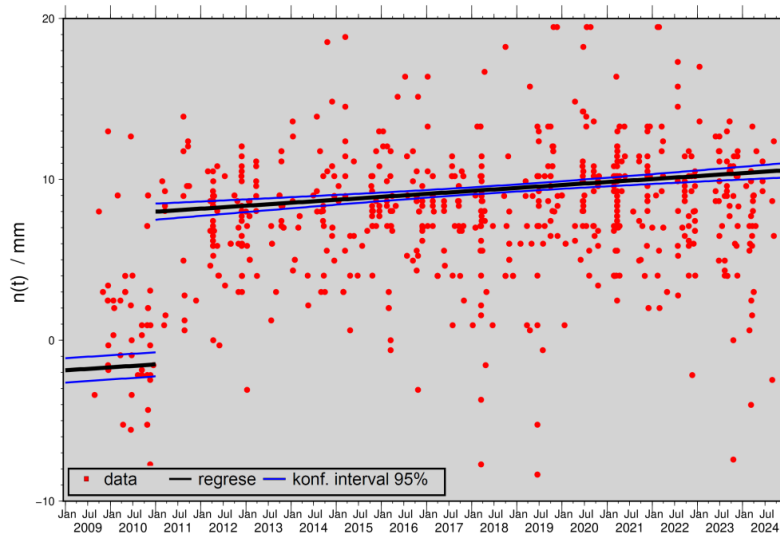
$$h(t) = \begin{cases} 0 & \text{pro } t < 2 \text{ roky} \\ 1 & \text{pro } t \geq 2 \text{ roky} \end{cases}$$

tj. časovou řadu se snažíme aproximovat pomocí polynomu prvního stupně $y(t) = a + bt + c h(t)$. Důvod zavedení skokové funkce $h(t)$ je skutečnost, že 2. ledna 2011 vstoupila do platnosti nová realizace ETRS89 [17] v ČR (nastalo nahrazení referenčního rámce ETRF89 rámcem ETRF2000), co mělo za následek skokovou změnu souřadnic permanentních referenčních stanic GNSS, co se projeví skokovou změnou všech souřadnic. Velikost tohoto skoku nelze určit analyticky, proto zde vystupuje jako neznámá veličina. Podle velikosti statistické významnosti odhadnutého koeficientu b byl učiněn závěr o časové stabilitě (neměnnosti) dané souřadnice nebo o její časové závislosti.

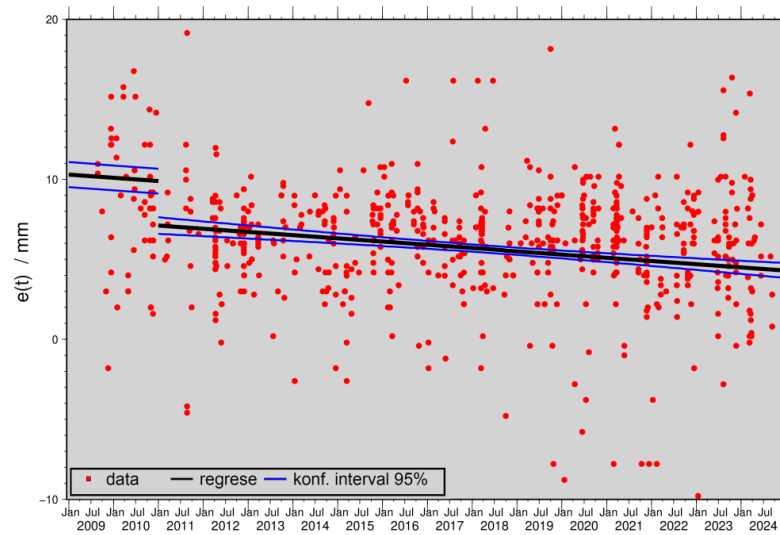
V Tab. 2 jsou shrnuty odhadnuté parametry (b a c) spolu s odhadem přesnosti koeficientů (σ) pro každou časovou řadu (n , e , u) a na Obr. 3-5 jsou znázorněny dosažené výsledky pro bod 11 (regresní přímka a konfidenční interval spolehlivosti 95 % pro regresní přímku).

Tab. 2 Odhady časových změn souřadnic.

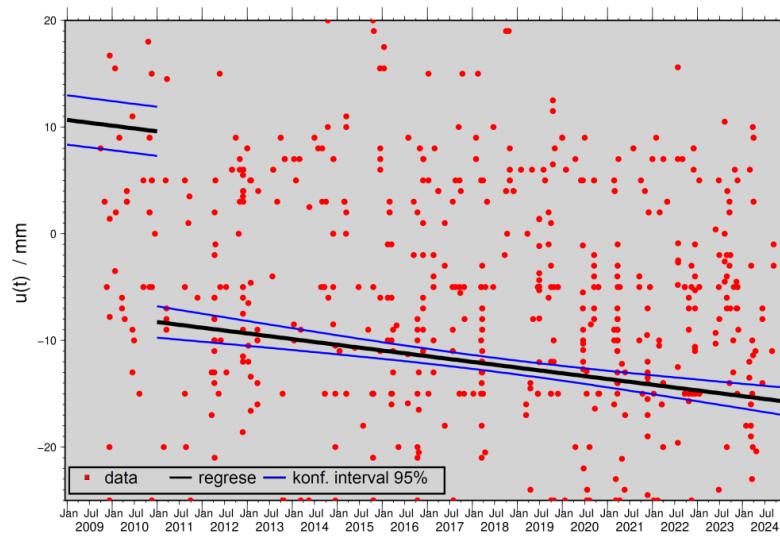
Bod	n		e		u	
	$b / \text{mm. rok}^{-1}$ c / mm	σ_n $b / \text{mm. rok}^{-1}$ c / mm	$b / \text{mm. rok}^{-1}$ c / mm	σ_e $b / \text{mm. rok}^{-1}$ c / mm	$b / \text{mm. rok}^{-1}$ c / mm	σ_u $b / \text{mm. rok}^{-1}$ c / mm
11	0,20	0,06	-0,20	0,07	-0,67	0,19
	7,16	0,88	-2,33	0,89	-10,86	2,61
12	0,20	0,06	-0,18	0,07	-0,61	0,19
	5,69	0,84	-1,79	0,91	-13,06	2,64
13	0,26	0,06	-0,12	0,06	-0,83	0,19
	-6,17	0,77	-2,37	0,82	-9,33	2,62
14	0,19	0,06	0,11	0,07	-0,02	0,20
	5,68	0,82	-3,85	0,91	-15,02	2,82
15	-0,03	0,06	-0,37	0,06	0,43	0,19
	7,84	0,82	0,49	0,87	-7,78	2,63
31	0,32	0,07	-0,05	0,07	-0,41	0,16
	5,76	1,01	-2,55	0,98	-3,46	2,19
32	0,23	0,08	-0,21	0,07	-0,84	0,16
	6,85	1,08	-4,97	1,01	-3,09	2,24
33	0,37	0,07	-0,42	0,08	-0,35	0,16
	7,97	0,98	-2,91	1,04	-6,97	2,19
34	0,23	0,08	-0,16	0,08	-0,02	0,18
	4,81	1,07	-2,19	1,03	-10,53	2,47
35	0,10	0,08	0,10	0,08	-0,13	0,21
	3,45	1,13	-1,95	1,04	-14,65	2,85



Obr. 4 Časová změna souřadnice n (složka sever-jih) pro bod 11.



Obr. 5 Časová změna souřadnice e (složka východ-západ) pro bod 11.



Obr. 6 Časová změna souřadnice u pro bod 11.

Dosažené hodnoty rychlosti změn souřadnic můžeme vyjádřit jako součet dvou rychlostí:

- 1) „skupinová“ časová změna – tj. časová změna souřadnic, která je způsobena faktory, které jsou společné pro všechny body
- 2) „vlastní“ časová změna bodu – tj. časová změna souřadnic, která je charakteristická pro daný bod.

První rychlost pro každou souřadnici můžeme odhadnout jako vážený aritmetický průměr odhadů rychlostí jednotlivých bodů. Výpočtem byly odhadnuty tyto hodnoty:

- pro souřadnici n : $0,209 \text{ mm. rok}^{-1} \pm 0,023 \text{ mm. rok}^{-1}$,
- pro souřadnici e : $-0,148 \text{ mm. rok}^{-1} \pm 0,023 \text{ mm. rok}^{-1}$,
- pro souřadnici u : $-0,333 \text{ mm. rok}^{-1} \pm 0,059 \text{ mm. rok}^{-1}$.

Z Tab. 2 vyplývá, že statisticky významných hodnot vlastního pohybu bodu vůči průměrným hodnotám ve všech složkách dosahuje pouze bod 15. U bodů 14, 32, 33 a 35 se vlastní pohyb vůči průměru odlišuje pouze u některých složek.

3.2 Analýza sezónních změn souřadnic

Dalším z testů časové řady souřadnic bodů byl test na přítomnost sezónního signálu, tj. stacionárního periodického signálu s délkou periody 1 rok. Vzhledem k existenci trendu v časové řadě, byl pro analýzu použit deterministický model ve tvaru $y(t) = a + b t + c h(t) + d \cos(2\pi t) + e \sin(2\pi t)$, kde a představuje konstantu, b je velikost roční změny souřadnice, c je velikost skoku a koeficienty d a e představují velikosti kosinové a sinové komponenty sezónního signálu. V Tab. 3 jsou uvedeny hodnoty odhadů parametrů sezónního signálu d a e spolu se směrodatnou odchylkou σ parametru každé řady a analyzovaného bodu.

Tab. 3 Odhady parametrů sezónních změn souřadnic.

Bod	n	σ_n	e	σ_e	u	σ_u
	d / mm e / mm	d / mm e / mm	d / mm e / mm	d / mm e / mm	d / mm e / mm	d / mm e / mm
11	1,30	0,34	-1,95	0,34	3,87	1,00
	-0,21	0,28	0,13	0,28	-2,43	0,81
12	1,11	0,33	-1,98	0,36	4,22	1,03
	-0,19	0,27	-0,11	0,29	-1,55	0,83
13	1,14	0,30	-2,41	0,32	5,01	1,04
	0,24	0,24	-0,10	0,25	-2,55	0,84
14	1,84	0,32	-3,01	0,34	2,37	1,10
	0,36	0,26	-0,24	0,28	-2,04	0,89
15	2,00	0,32	-1,82	0,34	1,76	1,02
	0,25	0,26	0,49	0,27	-2,16	0,82
31	1,42	0,40	-2,29	0,38	2,04	0,88
	-0,01	0,32	-0,10	0,31	-2,10	0,71
32	0,88	0,43	-1,86	0,40	1,83	0,87
	0,08	0,35	0,64	0,32	-1,44	0,71
33	0,84	0,38	-1,51	0,41	3,19	0,87
	1,12	0,31	-0,19	0,33	-1,96	0,71
34	-0,19	0,42	-1,60	0,40	0,84	0,97
	-0,46	0,34	0,11	0,33	-0,54	0,78
35	0,82	0,44	-0,32	0,41	0,46	1,13
	1,04	0,36	1,37	0,33	-2,17	0,92

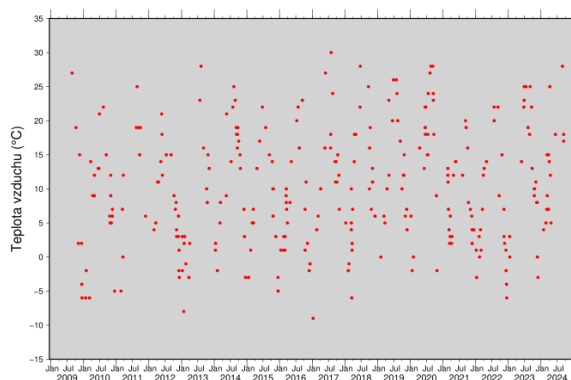
Z hodnot uvedených v Tab. 3 nelze vyvodit závěr o odlišné hodnotě průměrné amplitudy nebo průměrné fáze mezi první (body 11 - 15) a druhou (body 31 - 35) skupinou bodů.

3.3 Analýza vlivu změn meteorologických parametrů na výsledky měření

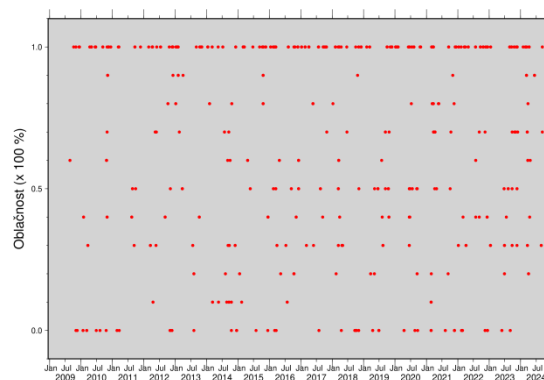
Vzhledem ke skutečnosti, že měření GNSS aparaturou se provádí ve vnějším prostředí, lze se domnívat, že výsledky měření budou do jisté míry ovlivněny aktuálními meteorologickými podmínkami během měření. Během testování jsou k dispozici informace o teplotě okolního vzduchu, míře oblačnosti, atmosférickém tlaku a relativní vlhkosti vzduchu. V tomto testu se zjišťovalo, do jaké míry ovlivňují tyto parametry výslednou hodnotu souřadnice každého bodu. Pro studium těchto vlivů byl sestaven rozšířený regresní model ve tvaru $y(t) = a + b t + c h(t) + f vzd + g obl + j (p - p_0) + k vlh$, kde vzd je průměrná teplota okolního vzduchu v jednotkách °C a obl je míra oblačnosti dosahující hodnot z rozsahu 0 (jasná obloha) – 1 (zataženo) s desetinným dělením, p je hodnota atmosférického tlaku v hPa a vlh je hodnota vlhkosti vzduchu v %. Hodnota atmosférického tlaku p byla redukována o normální hodnotu atmosférického tlaku vzduchu p_0 [3]

$$p_0 = 1013.25 (1 - 0.0065 H/288.15)^{5.2559}.$$

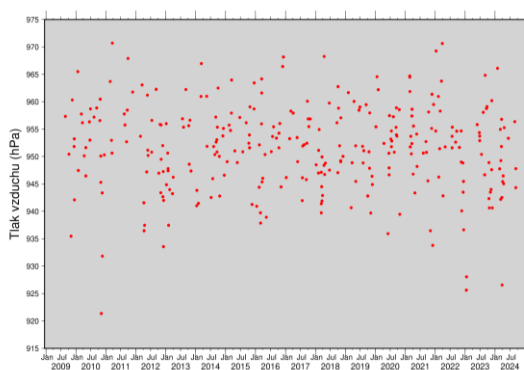
Na Obr. 7, Obr. 8, Obr. 9 a Obr. 10 vidíme hodnoty meteorologických parametrů a Tab. 4 shrnuje odhadnuté hodnoty spolu se směrodatnou odchylkou pro každý bod. Odhady vlivů hodnot meteorologických parametrů na výsledky testování mají samozřejmě platnost pouze pro tuto základnu, resp. nejbližší okolí základny.



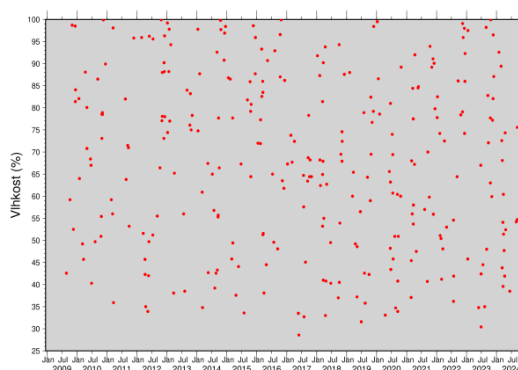
Obr. 7 Hodnoty teploty vzduchu během testování.



Obr. 8 Hodnoty oblačnosti během testování.



Obr. 9 Hodnoty atmosférického tlaku během testování.



Obr. 10 Hodnoty vlhkosti vzduchu během testování.

Tab. 4 Odhady parametrů meteorologických vlivů na souřadnice bodů.

Bod	n	σ_n	e	σ_e	u	σ_u
	f / mm/°C g / mm/100% j / mm/hPa k / mm/%	f / mm/°C g / mm/100% j / mm/hPa k / mm/%	f / mm/°C g / mm/100% j / mm/hPa k / mm/%	f / mm/°C g / mm/100% j / mm/hPa k / mm/%	f / mm/°C g / mm/100% j / mm/hPa k / mm/%	f / mm/°C g / mm/100% j / mm/hPa k / mm/%
11	0,080	0,049	-0,161	0,049	0,018	0,142
	0,569	0,662	-1,022	0,661	3,180	1,913
	-0,005	0,027	0,009	0,027	-0,051	0,080
	0,022	0,015	-0,008	0,015	-0,090	0,042
12	0,109	0,047	-0,204	0,050	-0,018	0,146
	0,711	0,632	-0,905	0,676	2,065	1,974
	0,067	0,026	0,011	0,028	-0,040	0,083
	0,003	0,014	-0,009	0,015	-0,125	0,043
13	0,100	0,043	-0,223	0,044	-0,048	0,152
	0,037	0,577	-0,769	0,597	3,313	2,045
	0,059	0,059	0,018	0,025	-0,059	0,086
	0,023	0,023	-0,014	0,013	-0,113	0,045
14	0,139	0,045	-0,189	0,049	-0,041	0,156
	-0,373	0,604	-0,874	0,656	3,966	2,107
	0,064	0,025	-0,005	0,027	-0,105	0,088
	0,026	0,013	-0,015	0,014	-0,120	0,046
15	0,077	0,045	-0,198	0,048	0,293	0,144
	-0,955	0,606	-1,213	0,643	4,545	1,936
	0,081	0,025	-0,009	0,027	-0,162	0,081
	0,015	0,013	-0,007	0,014	-0,039	0,042
31	0,032	0,057	-0,234	0,054	0,154	0,130
	0,163	0,767	-0,663	0,724	3,423	1,745
	0,033	0,032	0,008	0,030	0,184	0,073
	0,014	0,017	-0,021	0,016	0,017	0,038
32	0,119	0,061	-0,312	0,055	0,007	0,124
	-0,085	0,820	-0,342	0,746	3,796	1,666
	-0,012	0,034	-0,006	0,031	0,168	0,070
	0,046	0,018	-0,049	0,016	-0,017	0,037
33	0,071	0,055	-0,384	0,057	0,067	0,121
	0,125	0,734	-1,305	0,768	4,699	1,622
	0,064	0,030	-0,017	0,032	0,064	0,068
	0,038	0,016	-0,033	0,017	0,031	0,036
34	0,090	0,060	-0,231	0,057	0,314	0,138
	0,686	0,807	-0,013	0,770	3,805	1,848
	0,132	0,033	0,012	0,032	0,070	0,077
	-0,004	0,018	-0,032	0,017	0,043	0,041
35	0,046	0,063	0,106	0,058	0,046	0,158
	-0,024	0,850	-0,154	0,781	11,805	2,117
	0,119	0,035	0,002	0,032	-0,220	0,088
	0,019	0,019	-0,017	0,017	-0,046	0,047

Z Tab. 4 vidíme, že hodnoty většiny odhadnutých parametrů lze považovat za statisticky nevýznamné (s ohledem na směrodatnou odchylku) a také velikost vlivu nemusí být v praxi významná (s ohledem na požadovanou přesnost měření).

Ještě je nutno zdůraznit, že analýzou vlivu meteorologických parametrů dostáváme časovou řadu (zejména parametr a), která se vztahuje k nulové hodnotě meteorologických parametrů. Zde by asi bylo vhodné stanovit „standardní“ meteorologické parametry, které by byly blízké průměrným hodnotám teploty, vlhkosti a oblačnosti a ke kterým by se vztahovaly odhadované parametry. Také by bylo zřejmě vhodné provést několik „testovacích měření během extrémních meteorologických podmínek“, aby se každé testovací měření, pro které se vystavuje protokol, nacházelo v rozsahu, který byl již v minulosti změřen.

4 Závěr

Předložený příspěvek shrnuje dosavadní provedenou systemizaci vstupních dat z GNSS měření, statistický aparát a výsledky provedených výpočtů analýzy vstupních dat. Tato analýza je pouze prvním krokem pro detailní popis testovací základny pro GNSS aparatury. V dalších krocích bude provedena hlubší analýza naměřených dat s přihlédnutím na další parametry, jako je např. použitá metoda pro testování, délka observace na každém bodě, použitý družicový systém nebo zvolená elevační maska. Cílem analýzy bylo určení časové stability základny (referenčního etalonu), sezónního vlivu a vlivu meteorologických parametrů na výsledky měření GNSS aparaturou, co má v budoucnu sloužit jako podklad pro detekci systematických vlivů GNSS aparatur během měření.

Literatura

- [1] CIMBÁLNÍK, M., MERVART, L.: VYŠŠÍ GEODÉZIE 1. *České vysoké učení technické v Praze, Praha, 2002.*
- [2] ŠVÁBENSKÝ, O.; WEIGEL, J.: *Zaměření a určení bodů testovací základny GNSS Skalka metodou GPS. Technická zpráva. Vysoké učení technické v Brně, září a říjen 2008.*
- [3] *U.S. Standard Atmosphere, 1976. NASA-TM-X-74335, NOAA 77-16482. 1976.*
- [4] KARSKÝ, G.: *K problematice systému ověřování výsledků měření GPS. Výzkumná zpráva č. 997. Ondřejov, listopad 1999.*
- [5] KARSKÝ G.: *Testovací základna pro technologii GPS. Výzkumná zpráva č. 1007. Ondřejov, listopad 2000.*
- [6] ŠIMEK, J., SKOUPÝ, V., FILLER, V.: *Návrh referenčního etalonu polohy. Technická zpráva č. 1135/2008, Zdiby, VÚGTK 2008.*
- [7] FILLER, V., ŠIMEK, J.: *Metrologie v zeměměřictví: příprava etalonu polohy. Geos 2007: 2nd International trade Fair of Geodesy and Geoinformatics Conference Proceedings. Prague, Czech Republics, 1st – 2nd March, 2008.*
- [8] ŠIMEK, J.: *Some Metrological Issues of GNSS Positioning: Case Study for the Czech Republic. Symposium of the IAG Subcommission for Europe – EUREF, Vilnius, Lithuania, June 4 – 7, 2014. https://epncb.oma.be/_documentation/papers.php.*
- [9] ŠIMEK, J.: *Testování aparatur GNSS v kontextu metrologického systému ČR a metrologického řádu ČÚZK. Tatry 2009 – Globální navigační družicové systémy jako efektivní prostředek na určovanie priestorovej polohy. Tatranská Lomnica 29. – 30. 9. 2009.*
- [10] FILLER, V., ŠIMEK, J.: *Metrologie v zeměměřictví: příprava etalonu polohy. Geos 2007: 2nd International trade Fair of Geodesy and Geoinformatics Conference Proceedings. Prague, Czech Republics, 1st – 2nd March, 2008.*
- [11] KOSTELECKÝ, J.: *Geodetická observatoř Pecný – experimentální základna pro výzkum v geodézii. Sborník referátů semináře s mezinárodní účastí “GNSS v geodetické praxi”, Brno, 3. února 2011. VUT v Brně, fakulta stavební, ústav geodézie. str. 5-9, ECON Publishing s.r.o., Brno, 2011.*
- [12] FILLER, V., KOSTELECKÝ, J.: *Určení fázových center antén kalibrovaných na GO Pecný v letech 2001-2005 a testování přesnosti kalibrací. Technická zpráva č. 1099/2006. Ondřejov, květen 2006.*

- [13] FILLER, V.: *Zpracování GPS kampaně 2000 na testovací základně Skalka v absolutním modelu fázových center a porovnání s předchozími řešeními. Technická zpráva č. 1103/2006. Ondřejov, listopad 2006.*
- [14] KOSTELECKÝ, J.: *Porovnání výsledků GNSS a pozemních geodetických měření na testovací základně Skalka v období 2000 – 2007 : technická zpráva č. 1137. Zdíby, VÚGTK, 2008.*
- [15] LECHNER, J., ČERVINKA, L., UMNOV, I., KRATOCHVÍL, J.: *Délkové, výškové a polohové určení geodetické bodové sítě VÚGTK v areálu Skalka : (za rok 2007) : technická zpráva č. 1134. Zdíby, VÚGTK, 2008.*
- [16] SKOUPÝ, V.: *Souborné zpracování měření GNSS na testovací základně GNSS Skalka v období 2000 – 2007. Technická zpráva č. 1136/2008. Ondřejov, říjen 2008.*
- [17] <https://cuzk.gov.cz/Zememericvi/Geodeticke-zaklady-na-uzemi-CR/GNSS/Nova-realizace-systemu-ETRS89-v-CR.aspx>.
- [18] VAŤKO, M.: *Uchovávání a rozvoj referenčního etalonu prostorové polohy. Program rozvoje metrologie PRM č. II/5/24. Praha, listopad 2024.*

Recenzováno: 4. 1. 2025