

MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA



Podsystem 02

Tektonická a seizmická aktivita územia

Správa za rok 2021

Názov geologickej úlohy: **Čiastkový monitorovací systém – Geologické faktory**

Číslo geologickej úlohy: **207**

Zodpovedný riešiteľ geologickej úlohy: **RNDr. Peter Ondrus**

Zodpovedný riešiteľ podsystemu: **Ing. Ľubomír Petro, CSc.**

Spoluriešitelia: **Mgr. Marián Stercz, Mgr. Daniel Grega,
doc. Ing. Ladislav Vizi, PhD., Ing. Juraj Papčo, PhD.,
RNDr. Andrej Cipciar, Mgr. Kristián Csicsay, PhD.,
RNDr. Juraj Littva, PhD., Pavol Staník,
Mgr. Miloš Briestenský, PhD.**

Zástupca zhotoviteľa geologických prác: **RNDr. Pavel Liščák, CSc.**

Štatutárny zástupca zhotoviteľa geologických prác: **RNDr. Igor Slaninka, PhD.
generálny riaditeľ ŠGÚDŠ**

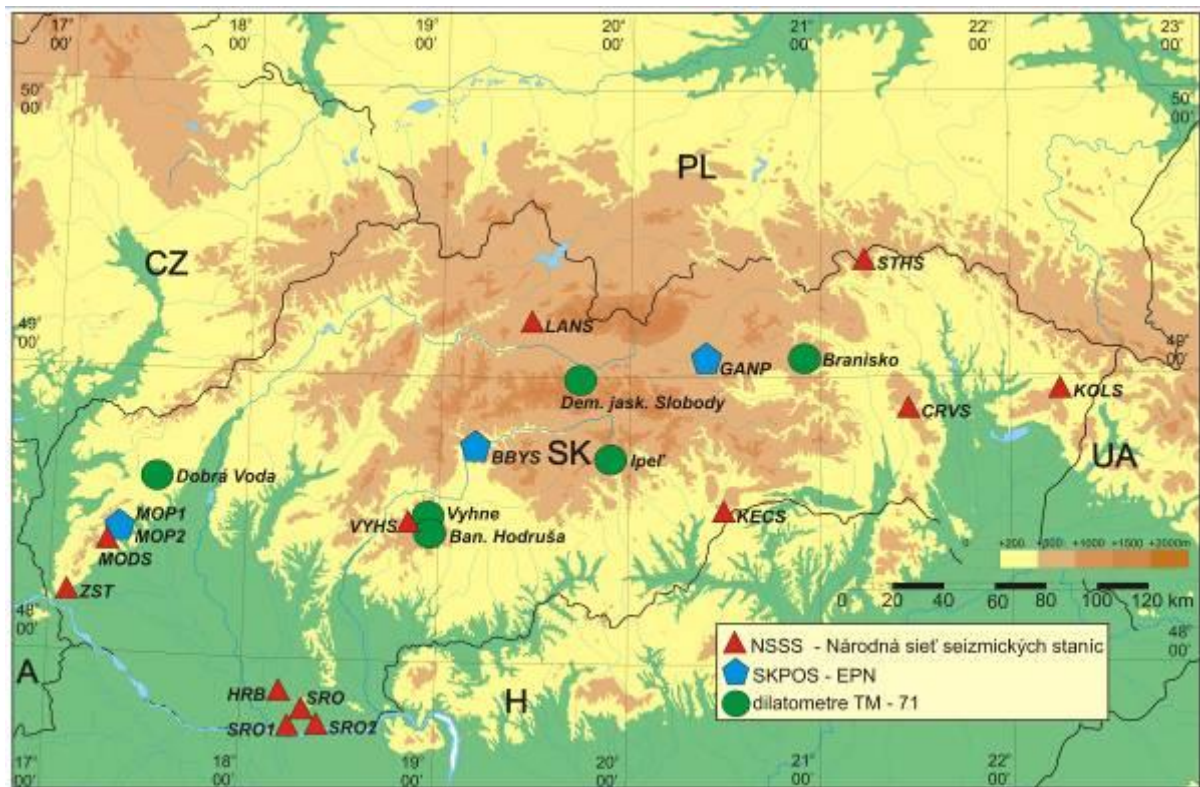
Bratislava október 2022

OBSAH

1. Úvod.....	3
2. Pohyby povrchu územia	3
2.1 Permanentný monitoring zmien na geodetických bodoch technológiou GNSS v EPN...7	
3. Pohyby pozdĺž zlomov	21
3.1 Základná charakteristika monitorovacej siete	22
3.2 Pozorované ukazovatele a metódy ich hodnotenia	25
3.3 Výsledky monitorovania	26
3.4 Diskusia.....	34
4. Monitorovanie seizmických javov	35
4.1 Dátové a spracovateľské centrum	36
4.2 Seizmometricky lokalizované zemetrasenia s epicentrom na území Slovenskej republiky.....	37
4.3 Makroseizmicky pozorované zemetrasenia na území Slovenskej republiky	37
5. Literatúra	47

1. POHYBY POVRCHU ÚZEMIA

V rámci sledovania tektonickej a seizmickej aktivity územia Slovenska (*obr. 1*) boli v roku 2021 monitorované pohyby povrchu s využitím globálnych navigačných družicových systémov (GNSS) pre určenie globálnej priestorovej polohy na vybraných hĺbkovo stabilizovaných geodetických bodoch (Slovenská technická univerzita v Bratislave – STU a Geodetický a kartografický ústav Bratislava - GKÚ). Pohyby pozdĺž zlomov boli monitorované na vybraných lokalitách pomocou dilatometrov typu *TM-71* (Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, regionálne centrum Košice). Seizmická aktivita územia Slovenska bola zhodnotená Geofyzikálnym odborom Ústavu vied o Zemi Slovenskej akadémie vied v. v. i. (ÚVZ SAV) na základe meraní za rok 2021.



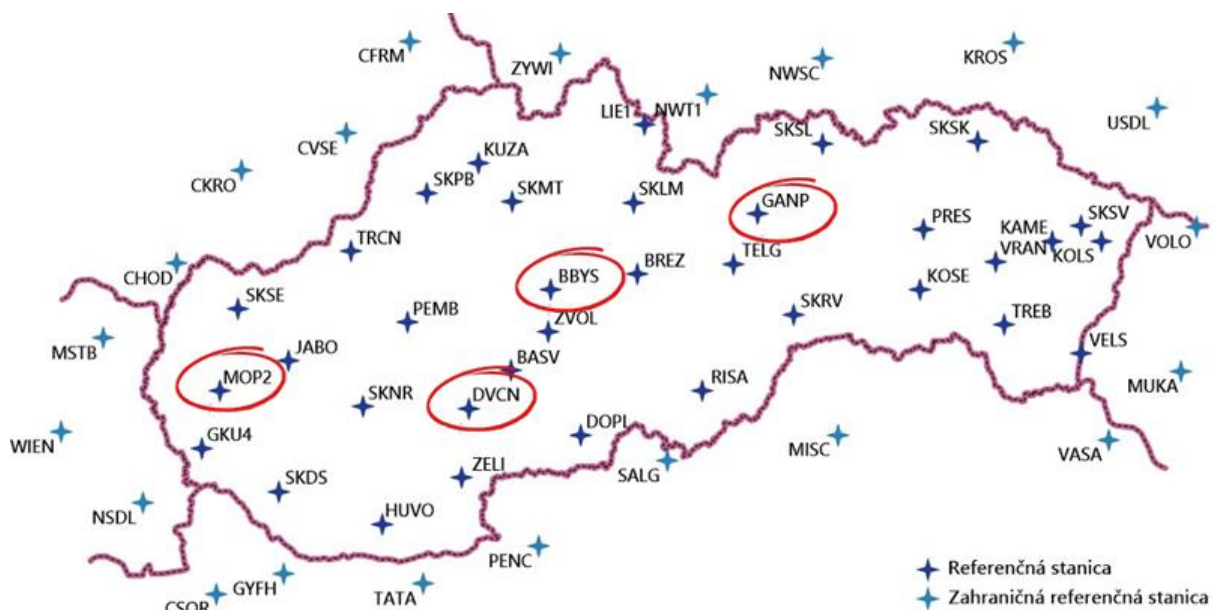
Obr. 1 Schéma rozmiestnenia lokalít monitorovaných na Slovensku v rámci geologickej úlohy Čiastkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia SR, subsystem 02 Tektonická a seizmická aktivita územia

2. POHYBY POVRCHU ÚZEMIA

Monitorovanie geodynamických prejavov vrchnej vrstvy zemskej kôry geodetickými metódami umožnili vysoko presné geodetické prístroje vybavené kvalitnou elektronikou, zvyčajne plne automatizované s objektívnym záznamom údajov vylučujúcim z procesu merania merača s jeho osobnou chybou. Na presné určenie lokalizačných parametrov (súradníc) bodov

v referenčných súradnicových systémoch sa využívajú geodetické merania, a to najmä technológia na určovanie priestorovej polohy bodom pomocou globálnych navigačných družicových systémov (*GNSS*), geometrická nivelácia a relatívne i absolútne určenie tiažového zrýchlenia. Technológia *GNSS* je efektívna metóda na relatívne určovanie polohy bodov s uvádzanou horizontálnou neistotou (x, y) 2 – 3 mm a s neistotou vo výške (z) asi 4 – 9 mm pri dodatočnom spracovaní.

Geodetický a kartografický ústav Bratislava (*GKÚ*) je prevádzkovateľom a správcom slovenskej observačnej služby *GNSS* označenej menom *SKPOS*, ktorá zabezpečuje od jesene 2006 permanentné meranie *GNSS* s príjmom signálov z družíc amerického systému *NAVSTAR GPS*, ruského systému *GLONASS*, ale už aj európskeho systému *GALILEO*, resp. čínskeho systému *BEIDOU*. Na presnú lokalizáciu, výpočet súradníc sa v roku 2021 využívali údaje z systémov *NAVSTAR GPS* a *GLONASS* a do spracovania bol zahrnutý aj systém *GALILEO*. *SKPOS* v roku 2021 tvorilo sieť 35 geodetických bodov, referenčných staníc *GNSS*, realizujúcich geodetický referenčný systém *ETRS89* na Slovensku. *ETRS89* – Európsky terestrický referenčný systém 1989 – je systém priestorových súradníc označovaný karteziánskymi súradnicami X, Y, Z alebo parametrami φ, λ, h . Bol zavedený na návrh Európskej subkomisie pre referenčné rámce (*EUREF*) pri Medzinárodnej federácii geodetov (*FIG*) Európskou úniou a direktívach *INSPIRE*. *STU* a *GKÚ* (*SKPOS*) poskytuje do spracovania Európskej permanentnej siete (*EPN*) dlhodobé údaje z 4 bodov, ku ktorým predbežne pribudla ako kandidátska stanica v Devičanoch (*DVCN*) (*obr. 2*) a z ďalších bodov aj do projektu zoskupenia *EUPOS*.



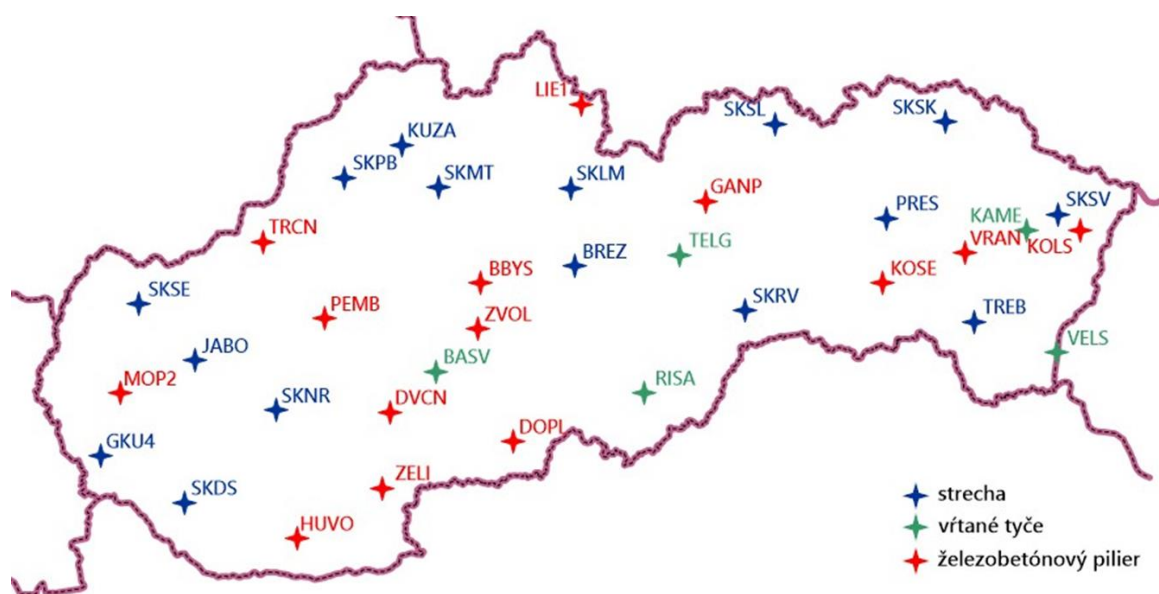
Obr. 2 Rozmiestnenie bodov *EPN* (označené) a *SKPOS* na území Slovenska (*GKÚ* 2021)

Spracovanie vybratej množiny špeciálne stabilizovaných bodov (pevne spojených s zemským povrchom) prebieha aj na Katedre geodetických základov Stavebnej fakulty STU v Bratislave, kde je realizovaný projekt Národné centrum diagnostikovania deformácií zemského povrchu na území Slovenska (Mojžeš et al., 2015).

Prvoradou úlohou SKPOS je zabezpečiť realizáciu súradnicového systému *ETRS89* pre subjekty využívajúce technológiu *GNSS*. Merané údaje *GNSS* z bodov špeciálne stabilizovaných je možné využiť aj na geodynamický monitoring.

Rozmiestnenie a vybudovanie bodov bolo realizované najmä na dosiahnutie požadovanej presnosti pri geodetických meraniach na mapovacie a katastrálne geodetické činnosti. Výsledky z dlhodobých meraní, ktoré sú prezentované v nasledujúcich grafoch a tabuľkách nám potvrdzujú, že vybrané lokality na stabilizáciu bodov preukazujú vysokú stabilitu a zmeny majú zvyčajne sezónny charakter.

Z 35 geodetických bodov zaradených do SKPOS bolo v roku 2021 už 19 bodov (obr. 3) stabilizovaných spôsobom umožňujúcim merané údaje využiť aj pre výskum (monitoring) prejavov geodynamiky na povrchu Zeme. Do siete je zaradených 14 špecializovaných geodetických bodov, ktoré sú realizované ako hĺbkové pilierové stabilizácie ukotvené do hĺbky od 3 až do 10 m so stabilizovanou geodetickou značkou. Ďalších 5 geodetických bodov realizovaných hĺbkovou tyčovou stabilizáciou podľa vzoru UNAVCO ukotvených do hĺbky 5 m. V roku 2021 boli realizované prípravné práce na vybudovanie ďalších špecializovaných geodetických bodov s hĺbkovou pilierovou stabilizáciou v lokalite Jaslovské Bohunice, a Spišské Vlachy, ktoré budú pravdepodobne zaradené do operačnej činnosti v roku 2022.



Obr. 3 Rozmiestnenie špeciálnych stabilizácií na území Slovenska (GKÚ 2021)

V roku 2021 sa pokračovalo v budovaní ďalších kolokačných staníc integrujúcich technológiu GNSS spolu s inovatívnou družicovou radarovou interferometriou pomocou pasívneho kútového odrážača alebo aktívneho radarového transpondera. Tieto boli vybudované v lokalitách Vranov n. Topľou a Gánovce (*obr. 4a*) a pokračovalo testovanie aktívneho radarového transpondera na lokalite Jaslovské Bohunice.

Najstarším bodom – stanicou GNSS na území Slovenska je *MOPI* (*obr. 4b*), v lokalite Modra – Piesok, stabilizovaný na skalnom hrebeni Tisových skál, a to od 17.11.1996 (880. týždeň GPS). *Týždeň GPS (GPS WEEK)* je oficiálne zaužívané datovanie času/týždňov od spustenia systému NAVSTAR GPS, používané na ukladanie údajov a riešenia. Od 24.8.2008 (1494. týždeň GPS) je permanentne meraný bod *MOP2*, stabilizovaný vedľa pôvodného bodu na skale pilierom. Tieto body spravuje Katedra geodetických základov Stavebnej fakulty STU v Bratislave. Bod *GANP* sa nachádza v lokalite Gánovce pri Poprade, je spravovaný GKÚ a permanentné observácie sú vykonávané od 16.11.2003 (1245. týždeň GPS). Bod *BBYS* v lokalite Banská Bystrica, ktorý je v správe Topografického ústavu Armády SR pracuje od 4.2.2007 (1413. týždeň GPS). Údaje z týchto bodov sú v reálnom čase zasielané aj do Európskej permanentnej siete (*EPN - Euref Permanent Network*), ktorú riadi EK pre referenčné rámce (*EUREF*) pracujúca v Medzinárodnej asociácii geodetov (*IAG*). Pre body *MOPI*, *MOPI2*, *GANP* a *BBYS* sú monitoring a určenie rýchlostí spracovávané v rámci *EPN*.



Obr. 4a Kolokačná stanica GNSS a InSAR, VRAN – vľavo, GANP - vpravo



Obr. 4b Body MOPI, MOP2, GANP a BBYS

2.1 Permanentný monitoring zmien na geodetických bodoch technológiou GNSS v EPN

Európska sieť permanentných staníc *GNSS* dnes spracováva údaje z cca 280 staníc *GNSS*. Na obr. 5 je schéma rozmiestnenia staníc *EPN* z európskej časti, z ktorých viaceré sú zaradené i do svetovej siete (<http://www.epncb.oma.be/networkdata/stationmaps.php>) permanentných staníc *IGS* (obr. 6).



Obr. 5 Rozmiestnenie permanentných staníc *EPN* k 31.12.2021

Výsledky monitoringu sú spracované pre jednotlivé body *EPN* vzhľadom na Medzinárodný (svetový) terestrický referenčný rámec - *ITRF2014* (*IGS14*), Európsky terestrický referenčný rámec – *ETRF2000* a *ETRF2014*. Časové rady polohových zmien upravených o skoky zo slovenských staníc v Modre - Piesku (*MOPI*, *MOP2*), v Gánovciach pri Poprade (*GANP*) a Banskej Bystrici (*BBYS*) sú prezentované v grafoch na obr. 7 až 10, resp. detailne pre rok



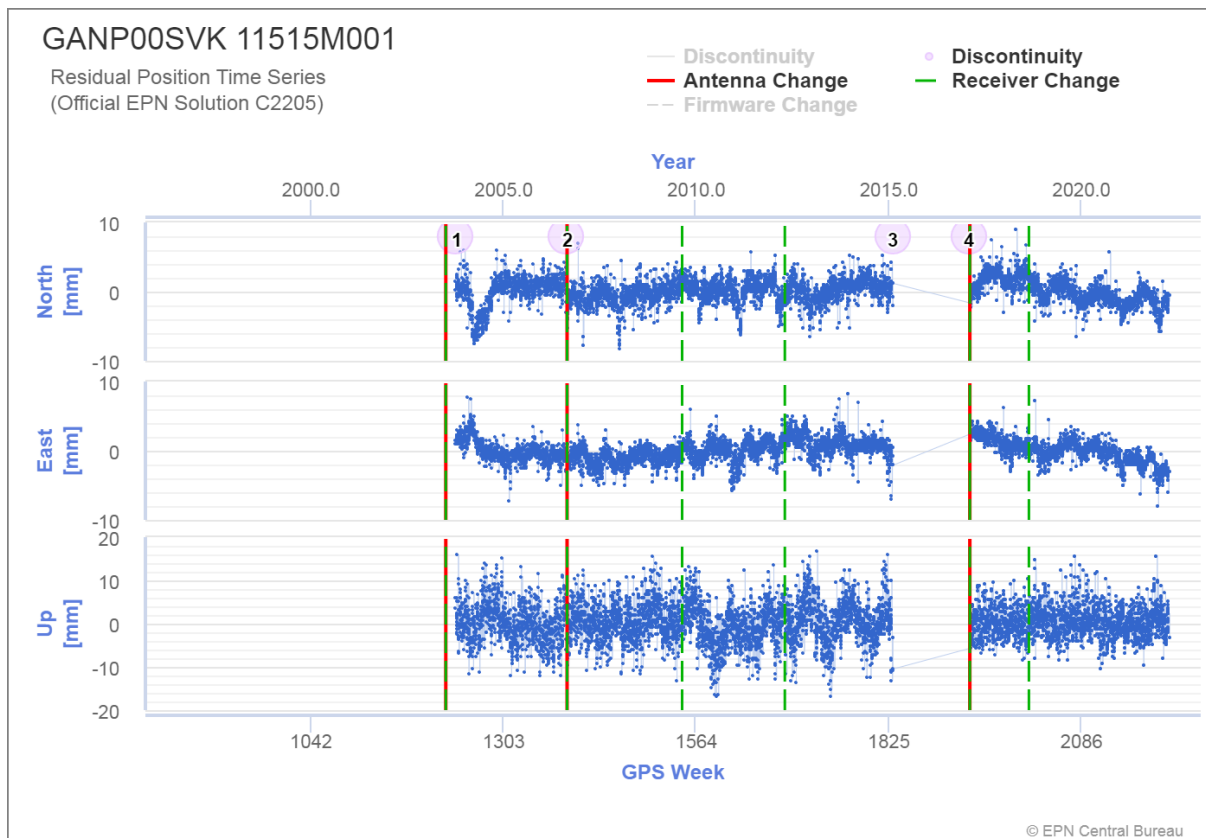
Obr. 6 Rozmiestnenie permanentných staníc EPN k 31.12.2021 a výber staníc EPN zaradených do svetovej siete IGS.

2021 na obr. 11 až 14. Na obr. 15 až 18 sú grafy pohybu bodov v globálnom priestorovom systéme *ITRS*, realizácia *ITRF2014 (IGS14)*. Na obr. 19 až 22 sú grafy pohybu bodov v Európskom terestrickom referenčnom systéme *ETRS89*, realizácia *ETRF2014*, resp. na obr. 23 až 26 sú znázornené detaily pre rok 2021

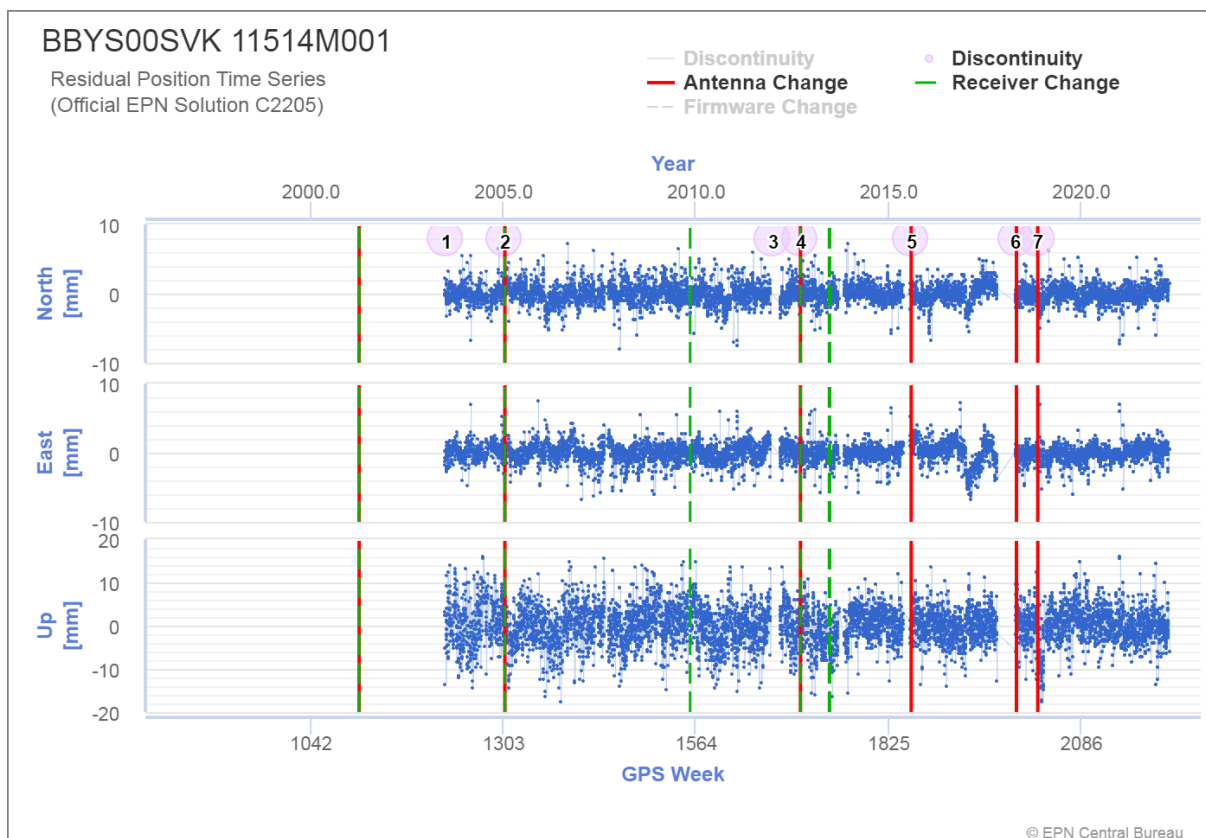
(<http://www.epncb.oma.be/productsservices/coordinates/index.php>).

Na jednotlivých obrázkoch sú znázornené vo forme grafu zmeny polohy bodu – stanice uvedenej v mm, a to v smere sever – juh (North), východ– západ (East) a vo výške (Up). Vodorovná os predstavuje časovú os datovanú v týždňoch *GPS*, zvislá os predstavuje v optimalizovanej mierke zmenu bodu v mm. Zobrazované hodnoty v grafoch sú vždy z týždenných riešení. Zvislé priamky v tabuľkách určujú dôvody skokov v časovom rade: zmenu referenčného rámca, zmenu antény alebo prijímača, resp. zmenu jeho riadiaceho softvéru (firmware).

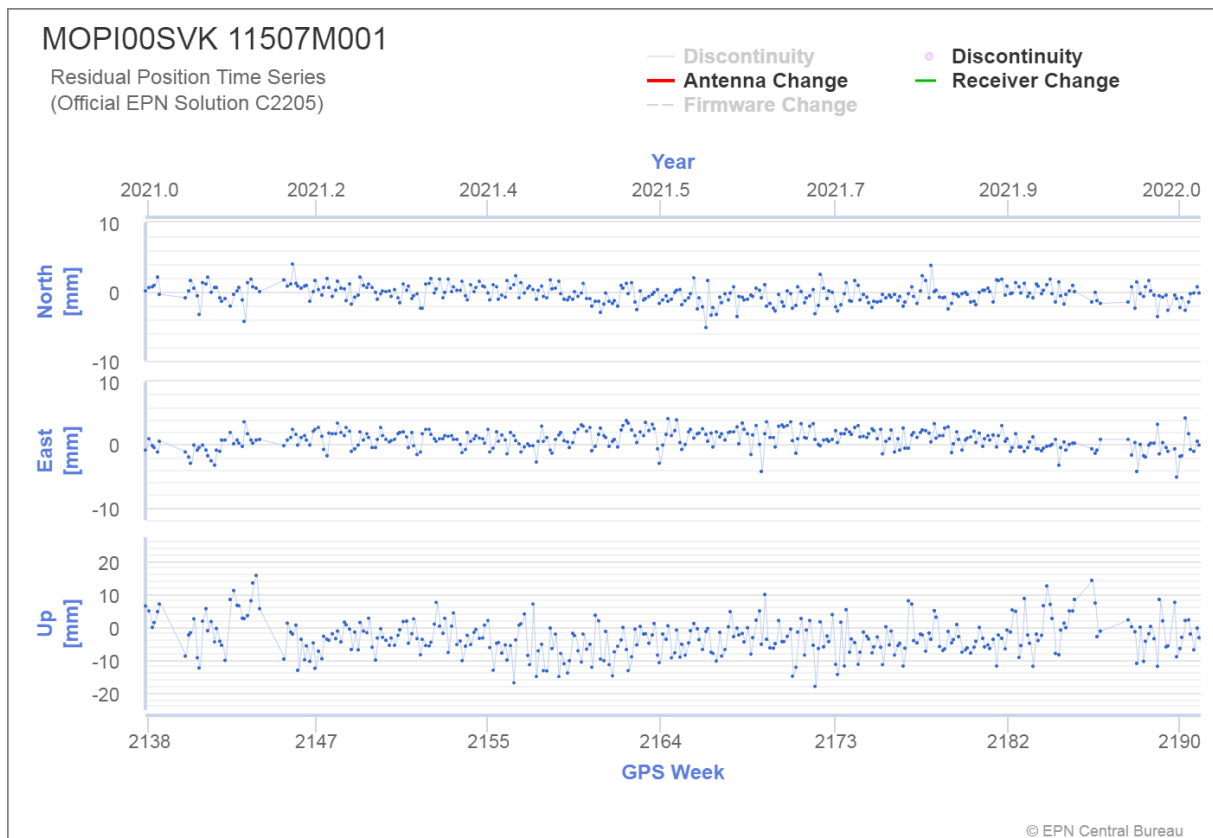
Grafy znázornenia pohybov bodov (*MOPI, MOP2, GANP, BBYS*) v medzinárodnom terestrickom referenčnom systéme (*ITRS*) majú zhodný severovýchodný trend na našom území podobne ako na väčšine staníc EPN. Za obdobie posledných 10 rokov sme v tomto SV smere zaznamenali pohyb približne 25 cm. Tento trend majú aj ostatné permanentné stanice SKPOS. Výšková zložka má väčšie variácie v rámci roka ale celkový trend je relatívne vyrovnaný. To je i dôvod na používanie ETRS pri monitoringu v rámci Európy.



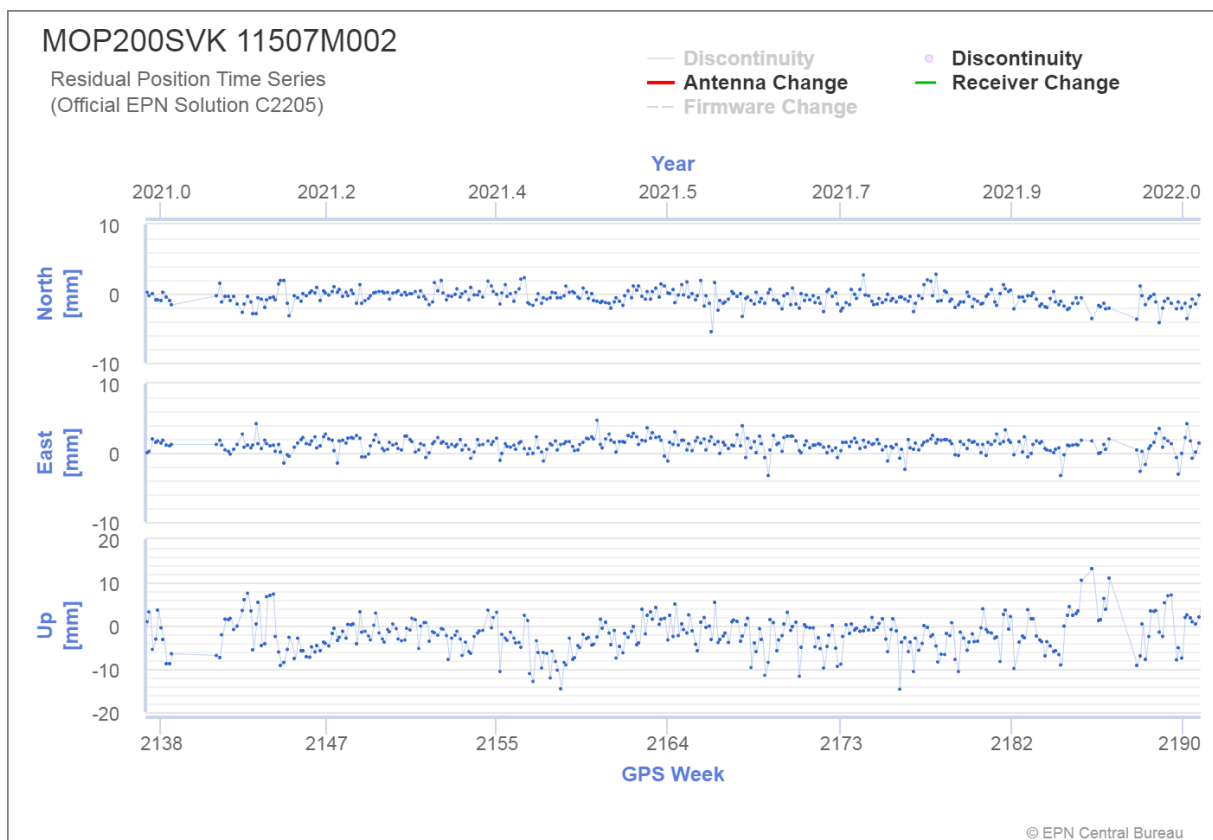
Obr. 9 Znáznornenie pohybu bodu GANP



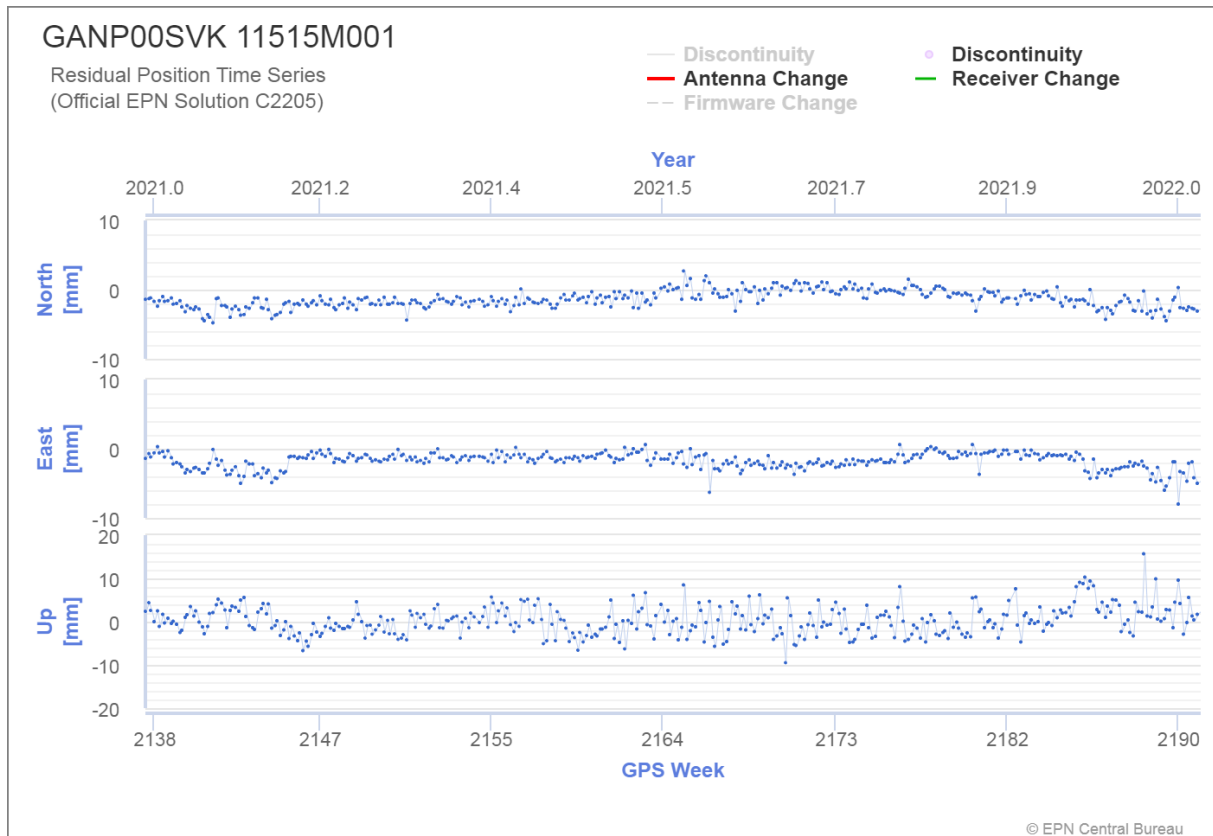
Obr. 10 Znáznornenie pohybu bodu BBYS



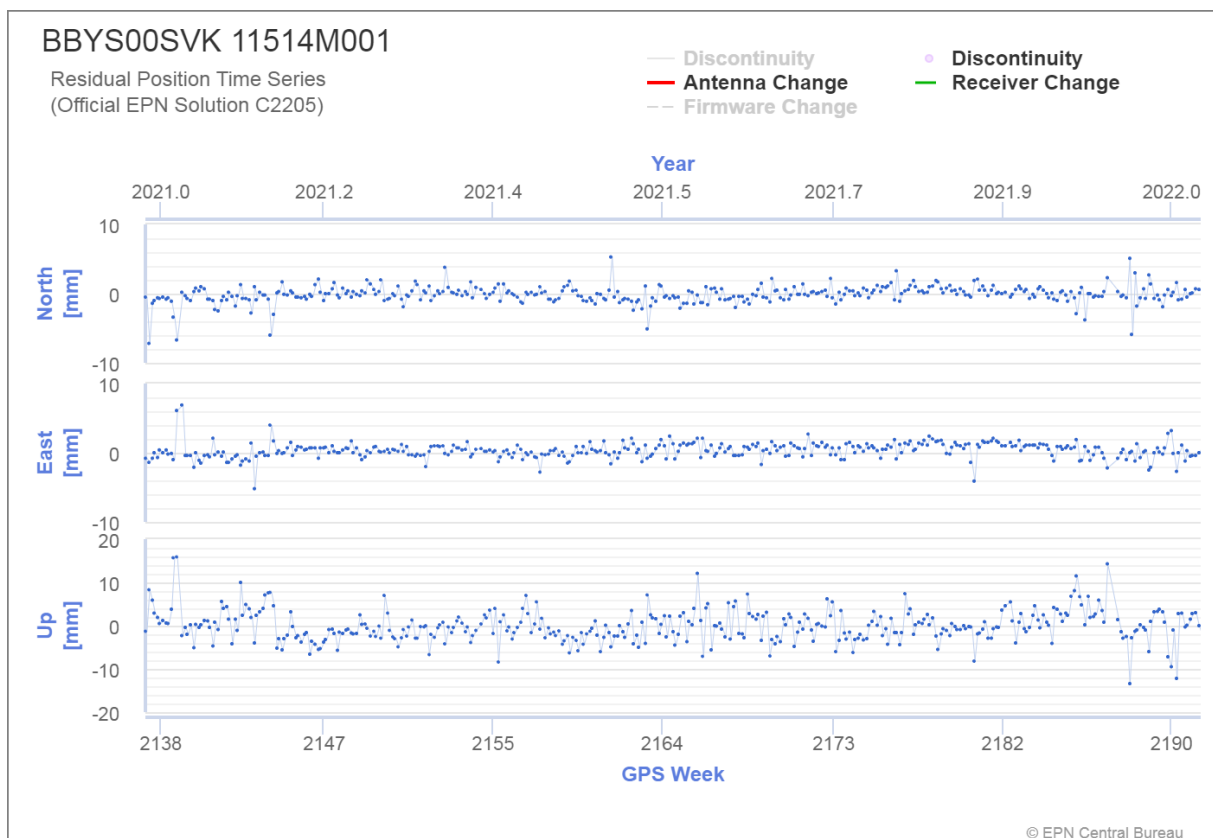
Obr.11 Znáznornenie pohybu bodu MOPI, detail pre rok 2021



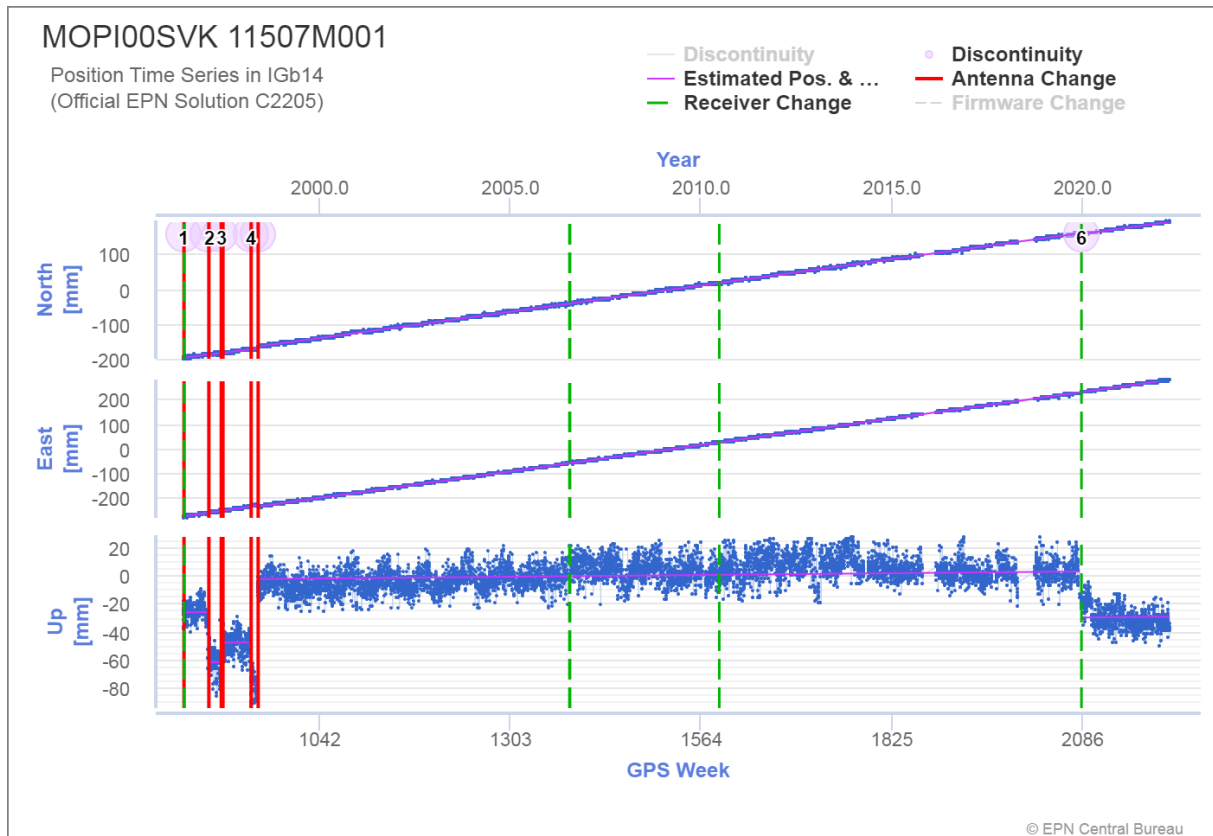
Obr.12 Znáznornenie pohybu bodu MOP2, detail pre rok 2021



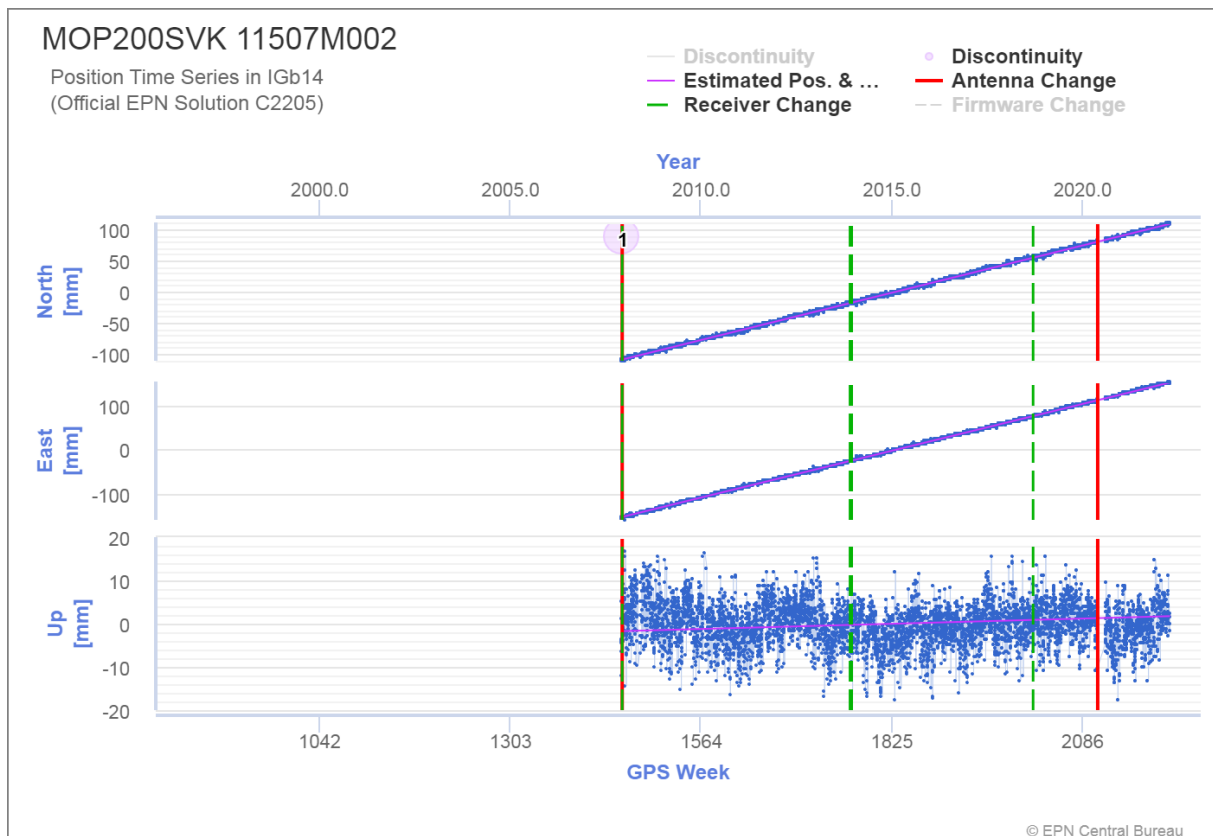
Obr. 13 Znáozornenie pohybu bodu GANP, detail pre rok 2021



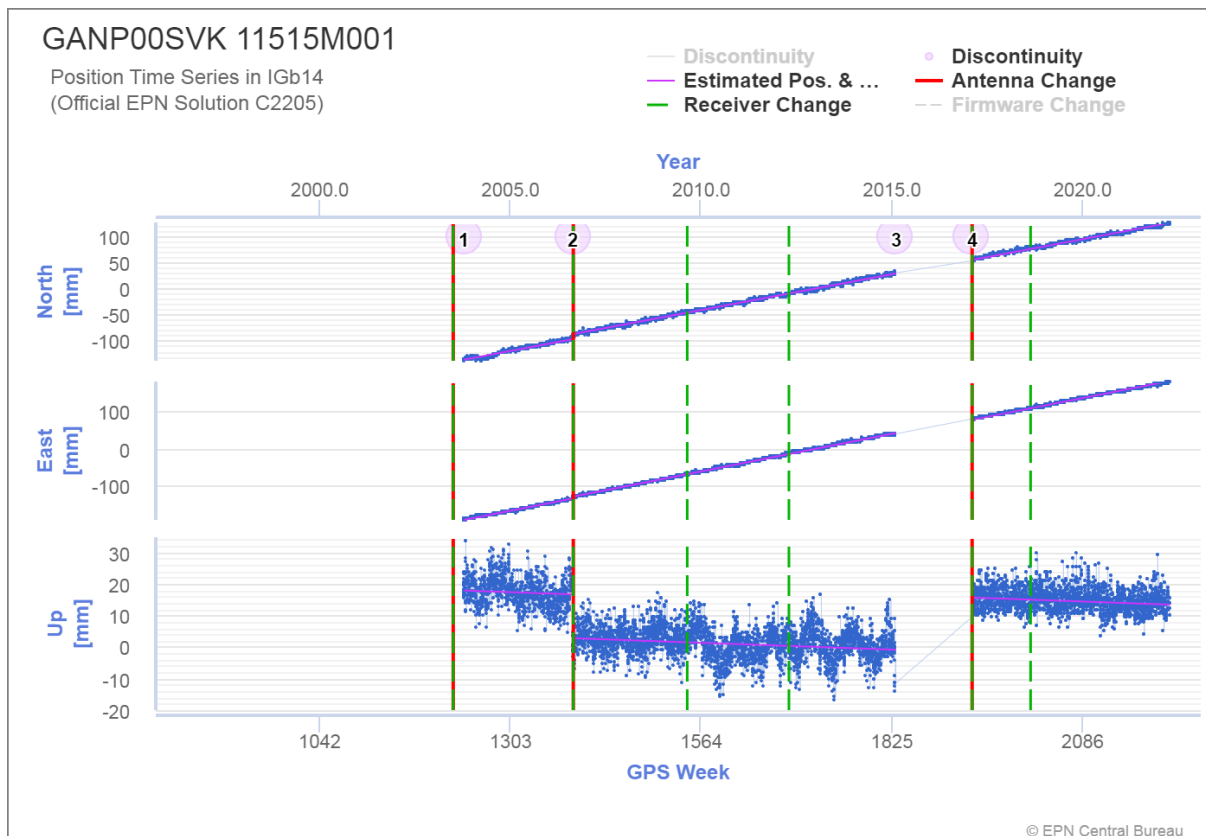
Obr. 14 Znáozornenie pohybu bodu BBYS, detail pre rok 2021



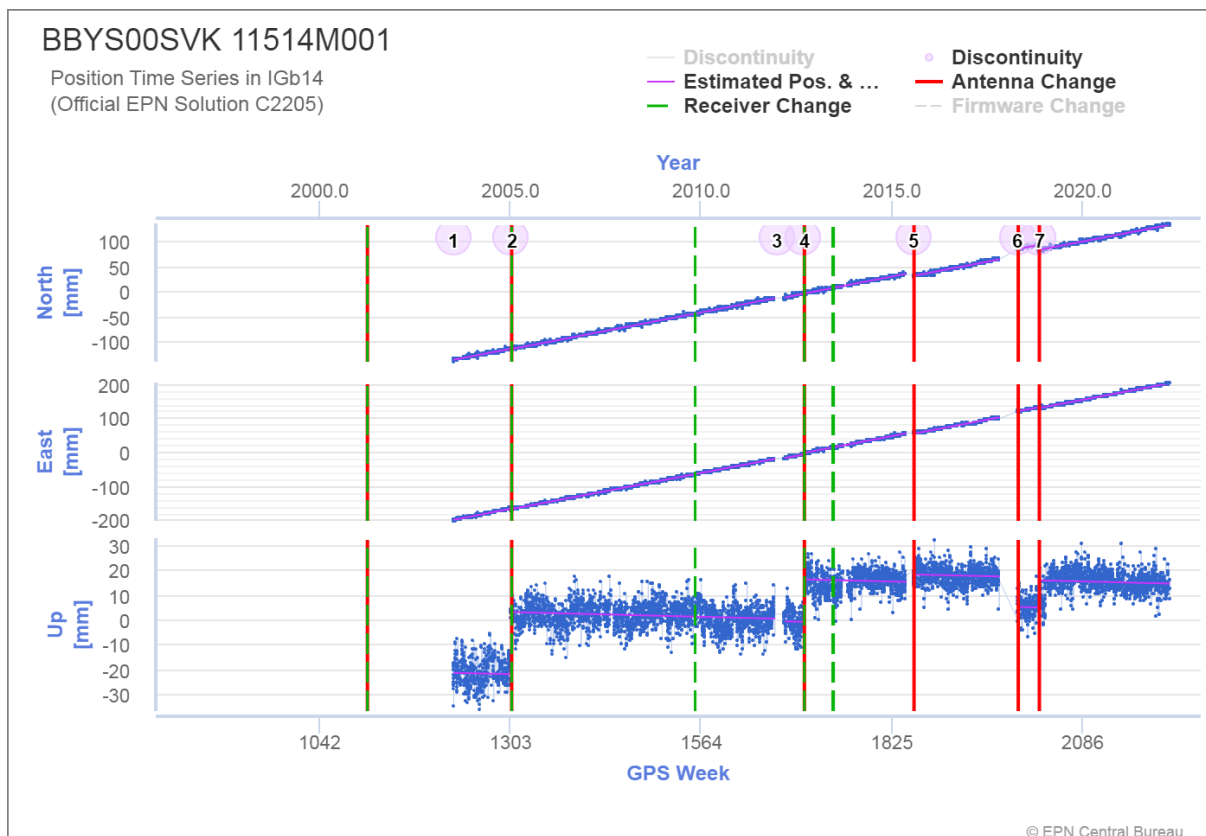
Obr. 15 Znáznornenie pohybu bodu MOPI v ITRS



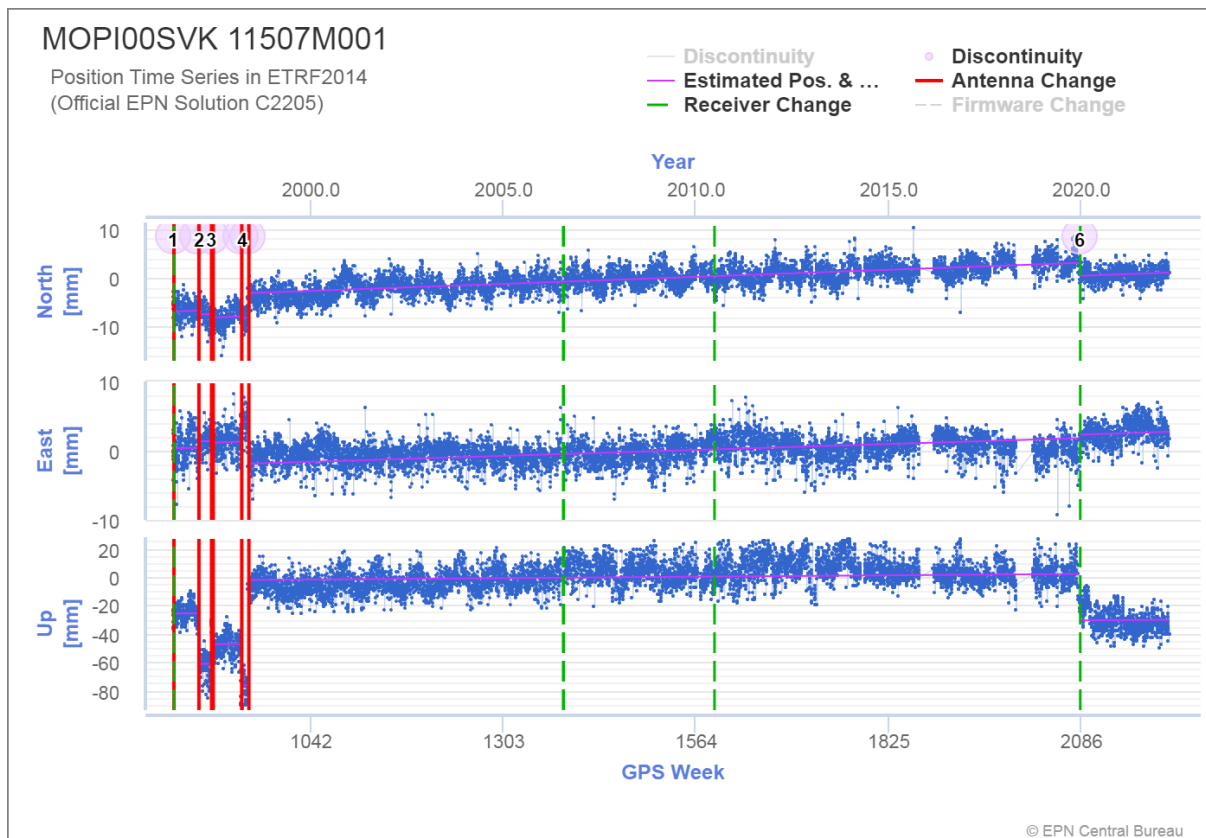
Obr. 16 Znáznornenie pohybu bodu MOP2 v ITRS



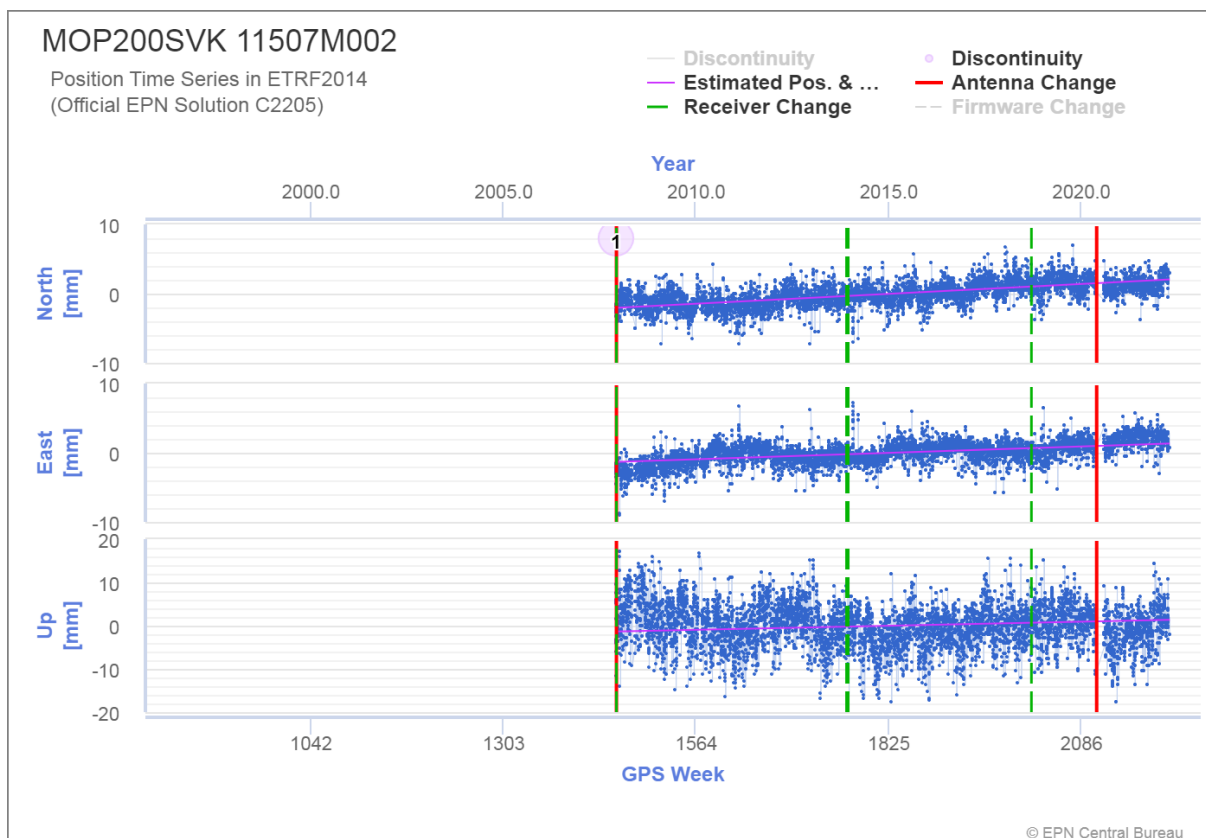
Obr. 17 Znáznornenie pohybu bodu GANP v ITRS



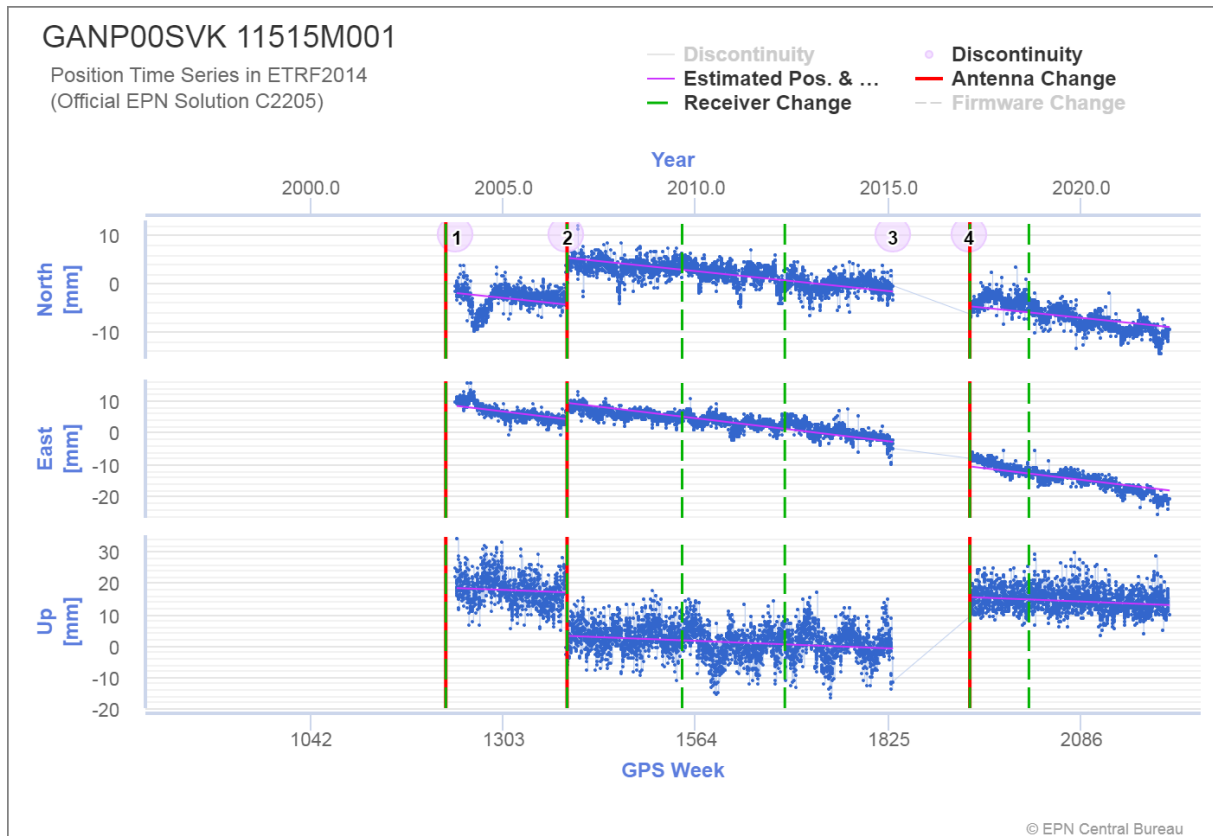
Obr. 18 Znáznornenie pohybu bodu BBYS v ITRS



Obr. 19 Znáozornenie pohybu bodu MOPI v ETRS89



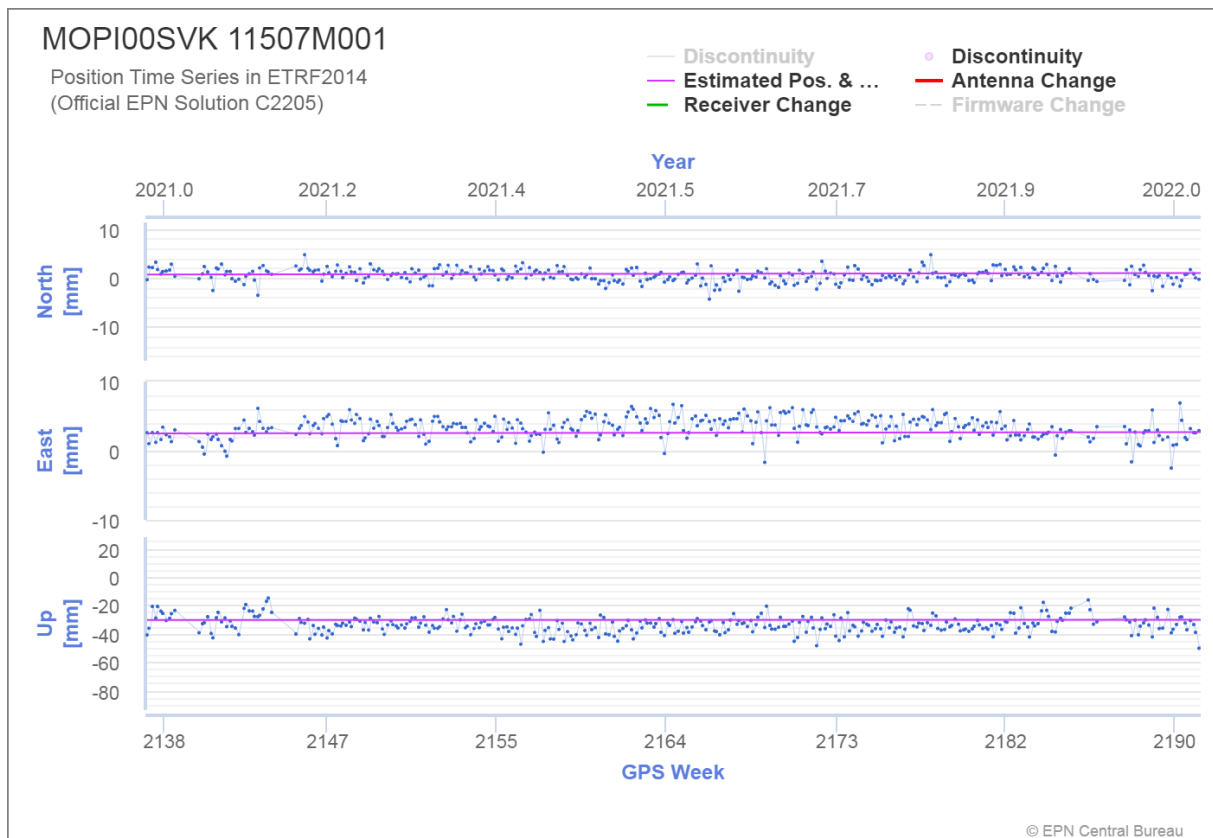
Obr. 20 Znáozornenie pohybu bodu MOP2 v ETRS89



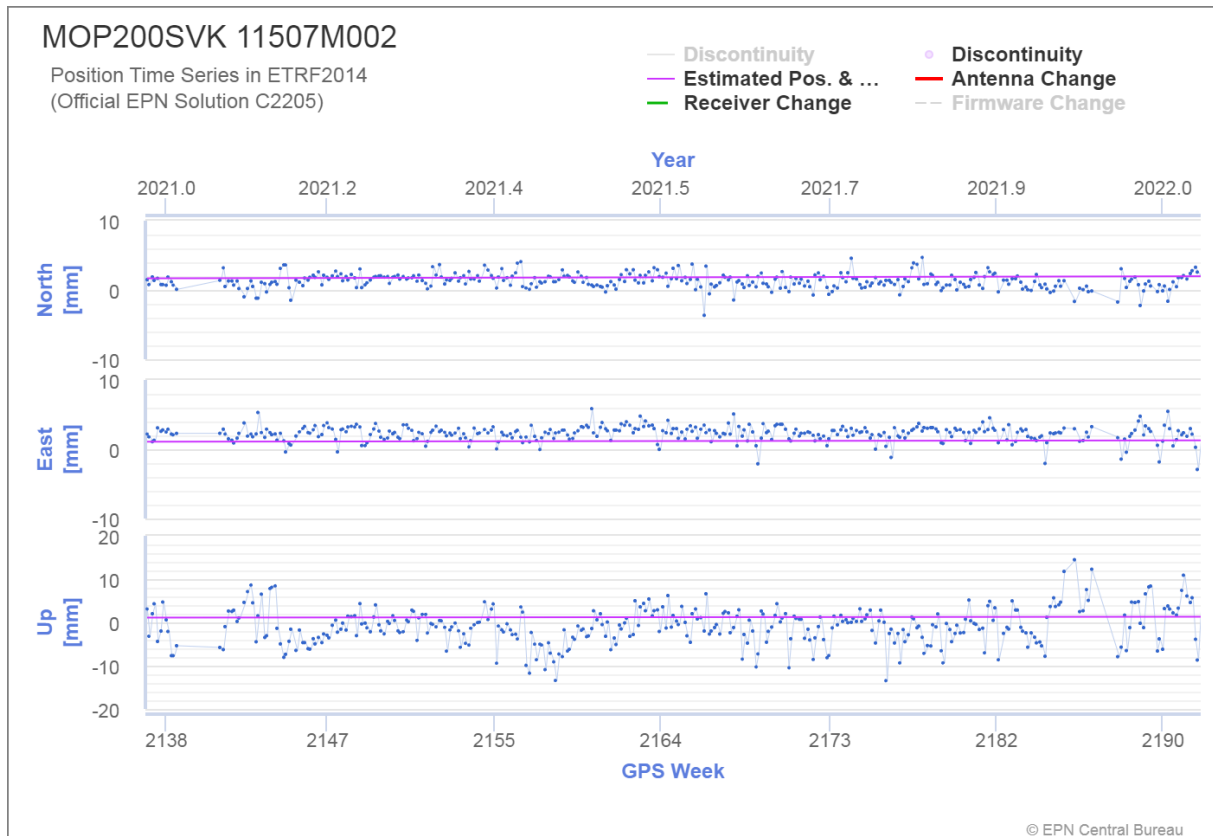
Obr.21 Znáornenie pohybu bodu GANP v ETRS89



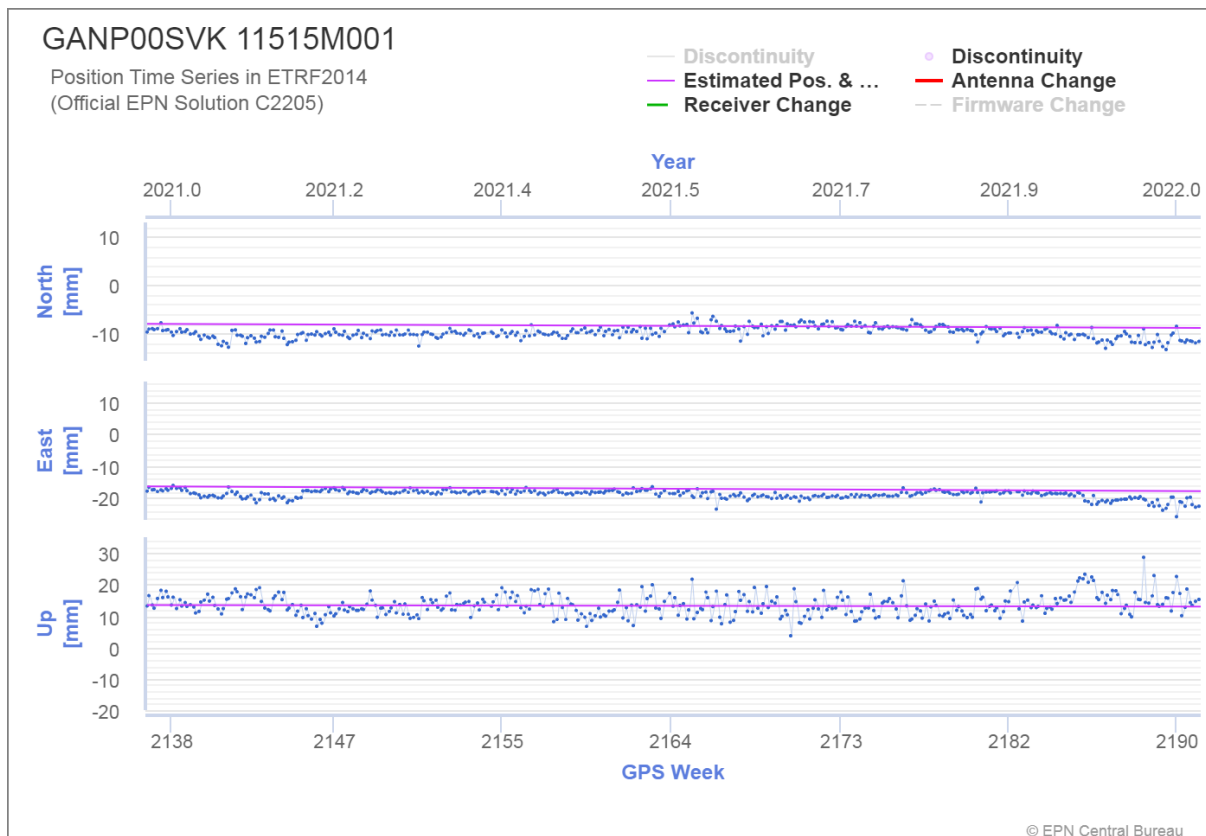
Obr. 22 Znáornenie pohybu bodu BBYS v ETRS89



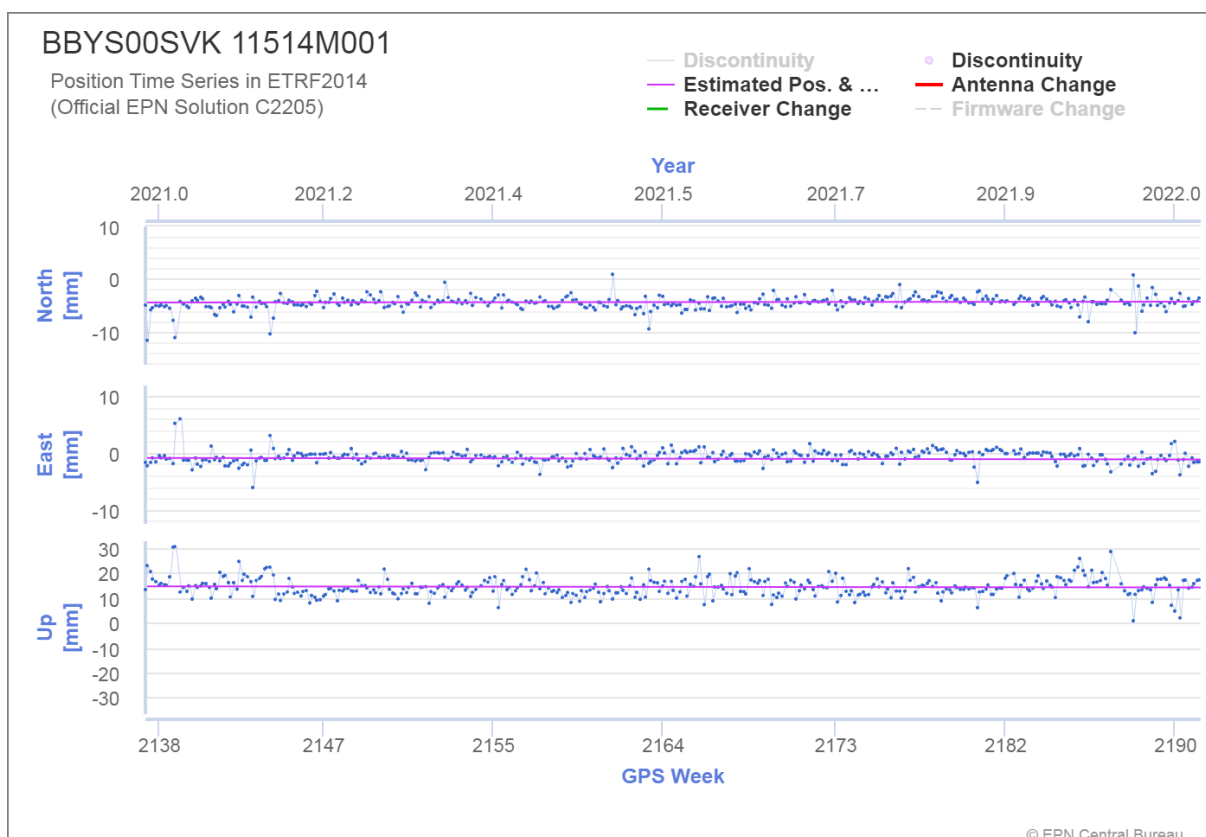
Obr. 23 Znáornenie pohybu bodu MOPI v ETRS89, detail pre rok 2021



Obr. 24 Znáornenie pohybu bodu MOP2 v ETRS89, detail pre rok 2021



Obr. 25 Znáznornenie pohybu bodu GANP v ETRS89, detail pre rok 2021



Obr. 26 Znáznornenie pohybu bodu BBYS v ETRS89, detail pre rok 2021

Z jednotlivých upravených týždenných riešení sú odhadnuté priestorové súradnice X, Y, Z a ich časové zmeny (ročné rýchlosti pohybu) v príslušnom globálnom súradnicovom systéme (systém *ETRS89*, realizácia *ETRF2014* a systém *ITRS*, realizácia *ITRF2014/IGS14*). Tieto údaje sa vzťahujú k dohodnutej strednej epoche spracovávaného obdobia. Spracovanie je vykonané pre dve kategórie bodov „A – spoľahlivý bod“ a „B – bod s výskytom väčšieho šumu“.

Na základe súčasných výsledkov môžeme vidieť, že pozorované body sú stabilné v rámci euroázijskej platne (*tab. 1*) a ich rýchlosť v rámci tejto platne nepresahuje 1 mm/rok.

Tab. 1 Referenčné súradnice a rýchlosti na staniciach EPN z územia Slovenska

MOPI00SVK - 11507M001 - trieda „A“

ETRF2014	epocha t ₀	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _X	V _Y	V _Z
355/2019 - 001/2022	001/2010	4053738.134 ± 0.000	1260571.325 ± 0.000	4744940.679 ± 0.000	-0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000
142/1998 - 341/2019	001/2010	4053738.153 ± 0.000	1260571.330 ± 0.000	4744940.705 ± 0.000	-0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000
074/1998 - 140/1998	001/2010	4053738.107 ± 0.001	1260571.323 ± 0.000	4744940.646 ± 0.001	-0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000
154/1997 - 071/1998	001/2010	4053738.126 ± 0.000	1260571.326 ± 0.000	4744940.668 ± 0.001	-0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000
034/1997 - 152/1997	001/2010	4053738.117 ± 0.001	1260571.323 ± 0.000	4744940.658 ± 0.001	-0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000
163/1996 - 032/1997	001/2010	4053738.139 ± 0.001	1260571.329 ± 0.000	4744940.685 ± 0.001	-0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000
IGS14	epocha t ₀	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _X	V _Y	V _Z
355/2019 - 001/2022	001/2010	4053737.779 ± 0.000	1260571.684 ± 0.000	4744940.887 ± 0.000	-0.0170 ± 0.0000	0.0172 ± 0.0000	0.0103 ± 0.0000
142/1998 - 341/2019	001/2010	4053737.797 ± 0.000	1260571.689 ± 0.000	4744940.913 ± 0.000	-0.0170 ± 0.0000	0.0172 ± 0.0000	0.0103 ± 0.0000
074/1998 - 140/1998	001/2010	4053737.752 ± 0.001	1260571.681 ± 0.000	4744940.854 ± 0.001	-0.0170 ± 0.0000	0.0172 ± 0.0000	0.0103 ± 0.0000
154/1997 - 071/1998	001/2010	4053737.771 ± 0.000	1260571.684 ± 0.000	4744940.876 ± 0.001	-0.0170 ± 0.0000	0.0172 ± 0.0000	0.0103 ± 0.0000
034/1997 - 152/1997	001/2010	4053737.762 ± 0.001	1260571.682 ± 0.000	4744940.866 ± 0.001	-0.0170 ± 0.0000	0.0172 ± 0.0000	0.0103 ± 0.0000
163/1996 -	001/2010	4053737.784	1260571.688	4744940.894	-0.0170 ±	0.0172 ±	0.0103 ±

032/1997		± 0.001	± 0.000	± 0.001	0.0000	0.0000	0.0000
----------	--	---------	---------	---------	--------	--------	--------

MOP200SVK - 11507M002 - trieda „A“

ETRF2014	epocha t0	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _X	V _Y	V _Z
340/2007 - 001/2022	001/2010	4053742.916 ± 0.000	1260569.389 ± 0.000	4744939.99 6 ± 0.000	-0.0001 ± 0.0000	0.0001 ± 0.0000	0.0003 ± 0.0000
IGS14	epocha t0	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _X	V _Y	V _Z
340/2007 - 001/2022	001/2010	4053742.561 ± 0.000	1260569.748 ± 0.000	4744940.20 4 ± 0.000	-0.0171 ± 0.0000	0.0172 ± 0.0000	0.0103 ± 0.0000

GANP00SVK - 11515M001 - trieda „A“

ETRF2014	epocha t0	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _X	V _Y	V _Z
055/2017 - 001/2022	001/2010	3929181.817 ± 0.000	1455236.462 ± 0.000	4793653.757 ± 0.000	0.0007 ± 0.0000	-0.0012 ± 0.0000	-0.0009 ± 0.0000
239/2006 - 040/2015	001/2010	3929181.804 ± 0.000	1455236.462 ± 0.000	4793653.745 ± 0.000	0.0007 ± 0.0000	-0.0012 ± 0.0000	-0.0009 ± 0.0000
286/2003 - 231/2006	001/2010	3929181.821 ± 0.000	1455236.463 ± 0.000	4793653.749 ± 0.000	0.0007 ± 0.0000	-0.0012 ± 0.0000	-0.0009 ± 0.0000
IGS14	epocha t0	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _X	V _Y	V _Z
055/2017 - 001/2022	001/2010	3929181.444 ± 0.000	1455236.811 ± 0.000	4793653.957 ± 0.000	-0.0170 ± 0.0000	0.0154 ± 0.0000	0.0086 ± 0.0000
239/2006 - 040/2015	001/2010	3929181.430 ± 0.000	1455236.811 ± 0.000	4793653.945 ± 0.000	-0.0170 ± 0.0000	0.0154 ± 0.0000	0.0086 ± 0.0000
286/2003 - 231/2006	001/2010	3929181.447 ± 0.000	1455236.812 ± 0.000	4793653.949 ± 0.000	-0.0170 ± 0.0000	0.0154 ± 0.0000	0.0086 ± 0.0000

BBYS00SVK - 11514M001 - trieda „A“

ETRF2014 4	epocha t0	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _X	V _Y	V _Z
317/2018 - 001/2022	001/2010	3980359.095 ± 0.000	1382291.824 ± 0.000	4772771.804 ± 0.000	-0.0003 ± 0.0000	-0.0004 ± 0.0000	-0.0002 ± 0.0000
115/2018 - 315/2018	001/2010	3980359.080 ± 0.000	1382291.822 ± 0.000	4772771.803 ± 0.000	-0.0003 ± 0.0000	-0.0004 ± 0.0000	-0.0002 ± 0.0000
214/2015 - 300/2017	001/2010	3980359.100 ± 0.000	1382291.821 ± 0.000	4772771.803 ± 0.000	-0.0003 ± 0.0000	-0.0004 ± 0.0000	-0.0002 ± 0.0000

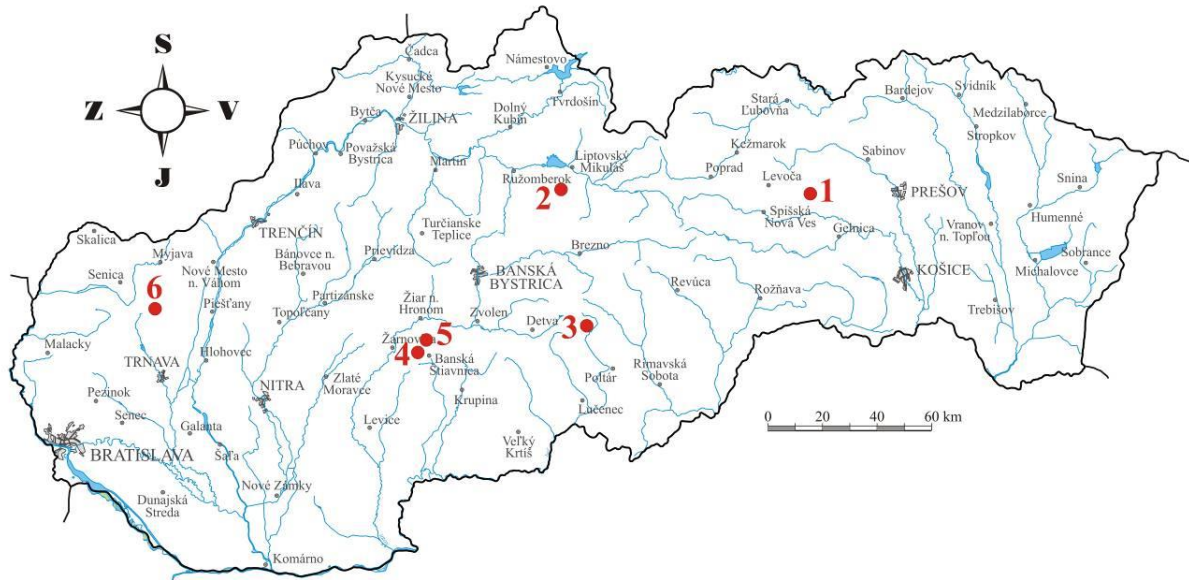
260/2012 - 139/2015	001/2010	3980359.091 ± 0.000	1382291.823 ± 0.000	4772771.805 ± 0.000	-0.0003 ± 0.0000	-0.0004 ± 0.0000	-0.0002 ± 0.0000
072/2012 - 252/2012	001/2010	3980359.082 ± 0.000	1382291.815 ± 0.000	4772771.792 ± 0.000	-0.0003 ± 0.0000	-0.0004 ± 0.0000	-0.0002 ± 0.0000
012/2005 - 343/2011	001/2010	3980359.080 ± 0.000	1382291.818 ± 0.000	4772771.795 ± 0.000	-0.0003 ± 0.0000	-0.0004 ± 0.0000	-0.0002 ± 0.0000
185/2003 - 010/2005	001/2010	3980359.064 ± 0.000	1382291.813 ± 0.000	4772771.776 ± 0.000	-0.0003 ± 0.0000	-0.0004 ± 0.0000	-0.0002 ± 0.0000
IGS14	epocha t0	Poloha (m)			Rýchlosť (m/rok)		
		X	Y	Z	V _X	V _Y	V _Z
317/2018 - 001/2022	001/2010	3980358.729 ± 0.000	1382292.178 ± 0.000	4772772.008 ± 0.000	-0.0177 ± 0.0000	0.0164 ± 0.0000	0.0095 ± 0.0000
115/2018 - 315/2018	001/2010	3980358.714 ± 0.000	1382292.175 ± 0.000	4772772.006 ± 0.000	-0.0177 ± 0.0000	0.0164 ± 0.0000	0.0095 ± 0.0000
214/2015 - 300/2017	001/2010	3980358.733 ± 0.000	1382292.174 ± 0.000	4772772.006 ± 0.000	-0.0177 ± 0.0000	0.0164 ± 0.0000	0.0095 ± 0.0000
260/2012 - 139/2015	001/2010	3980358.725 ± 0.000	1382292.176 ± 0.000	4772772.009 ± 0.000	-0.0177 ± 0.0000	0.0164 ± 0.0000	0.0095 ± 0.0000
072/2012 - 252/2012	001/2010	3980358.716 ± 0.000	1382292.168 ± 0.000	4772771.996 ± 0.000	-0.0177 ± 0.0000	0.0164 ± 0.0000	0.0095 ± 0.0000
012/2005 - 343/2011	001/2010	3980358.714 ± 0.000	1382292.171 ± 0.000	4772771.998 ± 0.000	-0.0177 ± 0.0000	0.0164 ± 0.0000	0.0095 ± 0.0000
185/2003 - 010/2005	001/2010	3980358.697 ± 0.000	1382292.167 ± 0.000	4772771.980 ± 0.000	-0.0177 ± 0.0000	0.0164 ± 0.0000	0.0095 ± 0.0000

3. POHYBY POZDĹŽ ZLOMOV

Mechanicko-optický dilatometer *TM-71* (Kostak, 1969) je prístroj schopný zaznamenávať 3D mikroposuny v prípade svahových porúch typu plazenia a zosúvania (napr. Košťák & Rybář, 1978; Kostak & Cruden, 1990; Petro et al., 1999), ale aj historických objektov (napr. Vlčko, 2002; Vlčko & Petro, 2002; Vlčko, 2004; Vlčko et al., 2009). Použitie dilatometrov na sledovanie mikroposunov na aktívnych tektonických poruchách začalo pred 38-mi rokmi v Bulharsku (Avramova-Tacheva et al., 1984) a pokračovalo v Českej republike (napr. Košťák, 1998; Štepančíková et al., 2008), Slovenskej republike (napr. Petro et al., 2004; Briestenský & Stemberk, 2008; Briestenský et al., 2007, 2010, 2011, 2014, 2018), Poľsku (napr. Kontny et al., 2005), Taliansku (Borre et al., 2003), Peru (Košťák et al., 2002), Grécku (napr. Drakatos et al., 2005; Stemberk & Košťák, 2007), Slovinsku (napr. Šebela et al., 2005; Gosar et al., 2009), Nemecku, Kirgizsku, na Špicbergoch (Stemberk et al., 2015) a ďalších krajinách sveta.

3.1 Základná charakteristika monitorovacej siete

Pohyby pozdĺž zlomov boli v roku 2021 sledované pomocou dilatometrov typu *TM-71* osadených v nasledovných lokalitách: Branisko, Demänovská jaskyňa Slobody, Ipeľ, Banská Hodruša, Vyhne a Dobrá Voda (*obr. 27*).



Obr. 27 Prehľad lokalít, na ktorých boli v roku 2021 monitorované neotektonické poruchy na území SR dilatometrami *TM-71*. 1 – Branisko, 2 – Demänovská jaskyňa Slobody, 3 – Ipeľ, 4 – Banská Hodruša- Hámre, 5 – Vyhne, 6 – Dobrá Voda.

Branisko

Lokalitu reprezentuje úniková štôlna tunela Branisko, presnejšie šindliarsky zlom, ktorý prechádza východným okrajom pohoria Branisko. Zlom má smer SSV – JJZ a oddeluje sedimenty centrálnokarpatského paleogénu (podtatranská skupina) od kryštalinika tatrika – se-



verného veporika (Polák, a Jacko, 1996). Na tomto styku bol koncom roka 2000 inštalovaný jeden dilatometer *TM-71* (*obr. 28*).

Obr. 28 Inštalácia dilatometra *TM-71* v únikovej štôlni tunela Branisko

Demänovská jaskyňa Slobody

Jaskyňa je súčasťou vyše 41 km dlhého (Bella, 2016), niekoľkoúrovňového krasového systému nachádzajúceho sa na pravej strane doliny riečky Demänovka. Jaskynný systém je najdlhší na Slovensku. Morfológicky je okolie jaskyne súčasťou Nízkych Tatier, ktorých územie je dnes národným parkom. Pohorie je budované tromi tektonickými jednotkami – tatrikom, fatrikom a hronikom (Biely et al., 1992). Tatrikom ako subautochtónna jednotka zahŕňa kryštalický fundament a obalové mezozoické jednotky. Ďalšie dve príkrovové štruktúry sú v príkrovovej pozícii a sú tvorené väčšinou vápencami a dolomitmi. Paleogénne sedimenty v širšom okolí jaskyne sú súčasťou post-tektonickej výplne Liptovskej kotliny. Jaskyňa vznikla v stredotriasových vápencoch krížňanského príkrovu fatrika dlhodobým podpovrchovým pôsobením riečky Demänovka. Podzemné chodby a priestory sa viažu na dva zlomové systémy s orientáciou SZ-JV a SV-JZ (Droppa, 1957 a 1972). Prvý systém je kvázi-parallelný s hlavným jaloveckým zlomom (Hók et al., 2000) prechádzajúcim dnom údolia.



Dilatometer *TM-71* bol inštalovaný v tzv. Čarovnej chodbe (*obr. 29*), ktorá má približne smer SZ-JV.

Na zbere údajov sa podieľali aj pracovníci Správy slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši, RNDr. Juraj Littva, PhD. a Pavol Staník.

Obr. 29 Inštalácia dilatometra TM-71 v Čarovnej chodbe (Demänovská jaskyňa Slobody)

Ipeľ

Lokalitu reprezentuje dolina horného toku Ipeľa nad obcou Ipeľský Potok, ktorá geomorfologicky patrí do Stolických vrchov. Dolinou rieky prechádza jeden z najvýznamnejších zlomových systémov Západných Karpát – muránsko-mal'covský systém (Pospíšil et al., 1986; Dvořák et al., 2005), resp. jeho južnejšia časť v podobe muránsko-divínskeho systému, ktorý pozostáva z niekoľkých parallelných SV-JZ zlomov (Pospíšil et al., 1989). Dolina Ipeľa je budovaná staropaleozoickými metamorfovanými (pararuly, ortoruly a migmatity) a magmatickými (granity, granodiority, tonality a aplity) horninami kryštalického jadra veporika (Bezák et al., 1999). Horniny vo vnútri zlomového pásma širokého viac než 600 m sú silno tektonicky porušené a mylonitizované (Ondrášik et al., 1987). Na jednom zlome systému, v bývalej prieskumnej štólňi Izabela, bol v roku 2002 inštalovaný dilatometer *TM-71* (*obr. 30*).

Banská Hodruša (Hámre)

Lokalita sa nachádza v Štiavnických vrchoch, asi 9 km na Z od Banskej Štiavnice. Na inštaláciu dilatometra *TM-71* (obr. 31) bolo vybraté miesto križovania dvoch zlomov (SV-JZ a SZ-JV) vo vnútri štólne Vŕsechsvätých (stará). Štôlna je vyrazená v SiO₂-dioritových porfýroch reprezentujúcich strednú stratovulkanickú štruktúru (Konečný et al., 1998). Orientácia zlomov a horninových dajok v banskoštiavnickom stratovulkáne odráža zmeny v smeroch paleonapätí počas neogénu (Nemčok et al., 2000). Väčšina zlomov má orientáciu SSV-JJZ.



Obr. 30 Inštalácia dilatometra TM-71 v prieskumnej štólne Izabela v lokalite Ipeľ



Obr. 31 Inštalácia dilatometra TM-71 v štólne Vŕsechsvätých (stará) na lokalite Banská Hodruša - Hámre

Vyhne

Lokalita sa nachádza asi 9 km na SZ od Banskej Štiavnice a je súčasťou banskoštiavnického stratovulkánu. Dilatometer *TM-71* bol inštalovaný v roku 2005 na S-J zlomovej poruche vo vnútri opustenej štólne sv. Anton Paduánsky (obr. 32). Štôlna bola vyrazená v tektonicky porušených porfyrických granodioritoch (tzv. vyhnianska drvená žula).



Obr. 32 Inštalácia dilatometra TM-71 v opustenej štólne sv. Anton Paduánsky na lokalite Vyhne

Výhodou tejto lokality okrem vhodných mikroklimatických podmienok (stabilná teplota a vlhkosť) je prítomnosť seizmometra (GÚ SAV / od 1. 7. 2015 Geofyzikálny odbor ÚVZ SAV), čo umožňuje koreláciu výsledkov monitoringu so seizmickými

udalostami v regióne a jeho širšom okolí. Zber údajov bol realizovaný v spolupráci s Geofyzikálnym odborom ÚVZ SAV.

Dobrá Voda

Lokalita sa nachádza v severnej časti Malých Karpát južne od Brezovej pod Bradlom. Morfológicky ide o dobrovodskú depresiu, ktorou prechádza zlom smeru SV-JZ. Podľa Maglay et al. (1999) bol zlom aktívny od stredného pleistocénu do holocénu. Oblasť Dobrej Vody je známa ako seizmicky aktívna. V minulosti tu bolo zaznamenané jedno z najsilnejších zemetrasení na našom území. Najsilnejšie známe zemetrasenie v tejto lokalite z 9. 1. 1906 malo epicentrálnu intenzitu $I_0 = 8,5^\circ$ MSK-64 (23 hod 07 min, $48,58^\circ$ N, $17,46^\circ$ E, $h = 10$ km, $M_L =$

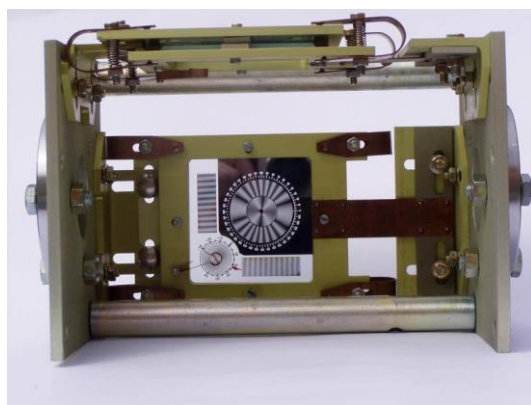


5,7). V máji roku 2004 bol Ústavom štruktúry a mechaniky hornín Akadémie Vied ČR, v. v. i. Praha (ÚSMH AV ČR) na zlome inštalovaný jeden dilatometer *TM-71* (obr. 33). Zber údajov systematicky zabezpečuje pracovník ústavu, RNDr. Miloš Briestenský, PhD.

Obr. 33 Inštalácia dilatometra TM-71 na tektonickej poruche v lokalite Dobrá Voda

3.2 Pozorované ukazovatele a metódy ich hodnotenia

Na monitorovanie posunov na vybratých neotektonických poruchách sa v rámci danej úlohy aj v roku 2021 používali mechanicko-optické dilatometry typu *TM-71* (obr. 34). Prístroj je možné merať veľmi pomalé posuny, t. j. $\leq 0,01$ mm a rotácie 0,01 gr. Merania sa rea-



lizujú v dvoch na seba kolmých rovinách, takže výpočtami možno zistiť priestorový pohyb (3D) oboch monitorovaných blokov. Na spracovanie nameraných údajov sa používa špeciálna aplikácia MSDilat V3.1 (Stercz, 2021) programovaná v jazyku Delphi pre platformu MS Windows.

Obr. 34 Mechanicko-optický dilatometer typu TM-71

Dilatometrami typu *TM-71* sa v roku 2021 zabezpečoval zber údajov na všetkých lokalitách vizuálnym odčítaním, resp. fotograficky s frekvenciou 7x – Vyhne, 4x – Branisko, Ban-

ská Hodruša-Hámre, Ipeľ, Demänovská jaskyňa Slobody, 2x – Dobrá Voda. Fotodokumentáciu prístroja vo Vyhniach zabezpečovali pracovníci Geofyzikálneho odboru Ústavu vied o Zemi SAV. Odčítanie údajov v lokalite Dobrá Voda vykonali aj v roku 2021 českí kolegovia z ÚSMH AV ČR, avšak z organizačných dôvodov len 2x. Treba uviesť, že 4 merania ročne sa pre daný typ prístroja považujú za minimálne kvôli dostatočne presnej interpretácii výsledkov vzhľadom na sezónnu dilatáciu masívu a koreláciu výsledkov so seizmickými udalosťami. Z tohto dôvodu je potrebné plánovať v budúcnosti na všetkých lokalitách najmenej 4 merania ročne.

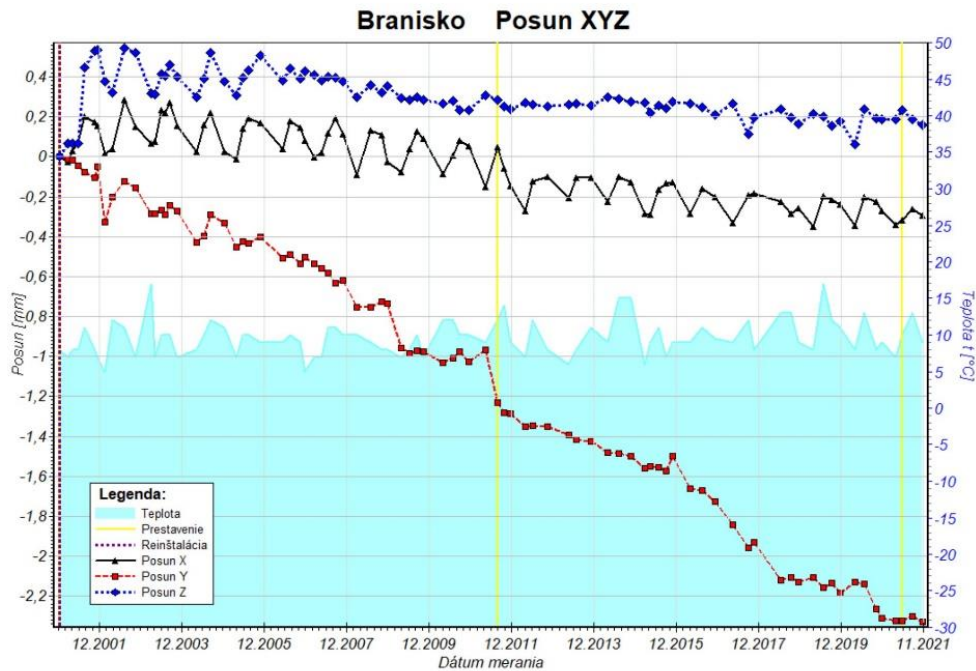
3.3 Výsledky monitorovania

Branisko

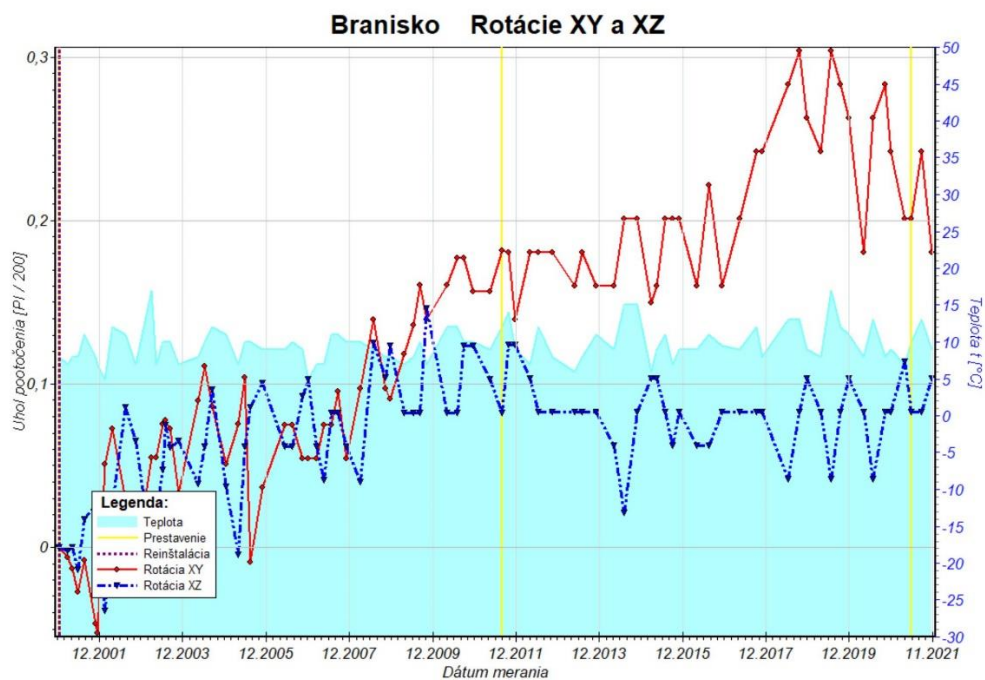
Kým výsledky meraní v roku 2020 potvrdili pretrvávajúci a zreteľný trend narastania šmykového pohybu pozdĺž šindliarskeho zlomu (v smere osi Y), v roku 2021 posun v smere tejto osi narástol iba o 0,004 mm. Berúc do úvahy vzájomnú priestorovú orientáciu dilatometra a monitorovaného zlomu je tento pohyb interpretovaný ako pravostranný posun. Jeho celková hodnota dosiahla koncom novembra 2021 hodnotu 2,328 mm (*obr. 35*). V roku 2020 narástol posun o 0,128 mm, v roku 2021 iba o 0,016 mm. Pohyb je aj napriek minimálnemu nárastu v roku 2021 progresívny a jeho priemerná rýchlosť za obdobie 21 rokov je $0,111 \text{ mm.rok}^{-1}$. Šmykový pohyb už v minulosti spôsobil vznik niekoľkých trhlín po oboch stranách zlomu v samotnej tunelovej rúre. Otváranie trhliny (pohyb v smere osi X) je veľmi pomalé, avšak jeho dlhodobý trend je zrejmy. Priemerná rýchlosť otvárania trhliny je $0,014 \text{ mm.rok}^{-1}$. Za posledných 5 rokov sa trhlina rozšírila iba o 0,087 mm. Celkové otvorenie trhliny dosiahlo na konci roka hodnotu 0,296 mm.

Trend dlhodobého poklesu (os Z) východného bloku (*hanging wall*) je veľmi pomalý, ale je zreteľný. Priemerná rýchlosť poklesávania je $0,008 \text{ mm.rok}^{-1}$. Za posledné dva roky došlo k poklesu iba o 0,018 mm. Celkový pokles za 21 rokov meraní dosiahol 0,161 mm. Zrejmy trend rotačného pohybu v rovine XY sa koncom roka 2017 zmenil na stagnáciu až opačný pohyb, v rovine XZ pohyb stagnuje od roku 2007 (*obr. 36*). V oboch prípadoch ide o zanedbateľné hodnoty (do 0,31 gr). Rotácia východného bloku prebieha proti smeru pohybu hodinových ručičiek, t. j. na JJZ .

Vzhľadom na významnosť lokality je potrebné ďalšie sledovanie pohybu na zlome. Národná diaľničná spoločnosť (NDS), ako prevádzkovateľ tunela, bude o doterajšom vývoji pohybov na zlome písomne informovaná formou krátkej správy. V prípade výrazného zvýšenia pohybovej aktivity v nasledujúcom období bude NDS ihneď poskytnutá príslušná informácia.



Obr. 35 Posun tektonických blokov pozdĺž šindliarskeho zlomu (osi X, Y, Z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 za obdobie rokov 2000 – 2021.



Obr. 36 Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 na šindliarskom zlome za obdobie rokov 2000 – 2021.

Demänovská jaskyňa Slobody

Od inštalácie dilatometra (august 2001) na zlome SZ-JV smeru do roku 2015 bola zistená mierna pohybová aktivita pozdĺž všetkých troch osí X, Y a Z (obr. 37). Slabý, ale najvýznam-

nejší pohyb, bol zistený v smere osi Z (vertikálny pohyb pozdĺž zlomovej poruchy – os Z), ktorý je interpretovaný ako pokles východného bloku (hanging wall). V priebehu týchto rokov sa trikrát trend zmenil na opačný. Pokles od roku 2015 stagnuje na úrovni cca 0,1 mm. Z dlhodobého hľadiska ide o typické oscilácie v pohybovej aktivite (roky 2008, 2011 a 2020). Otváranie trhliny (posun v smere osi X) aj šmykový pohyb pozdĺž zlomovej poruchy (os Y) od roku 2015 tiež stagnujú, pričom celkové pohyby nepresiahli 0,1 mm. Z dlhodobého hľadiska je však trend nárastu pohybu pozdĺž oboch osí napriek malým hodnotám zrejmy. Šmykový pohyb sa interpretuje ako pravostranný. Rotácie blokov v horizontálnej (XY) i vertikálnej (XZ) rovine sú zatiaľ zanedbateľné (obr. 38). V priestore indikujú rotácie pravočočivý pohyb východného bloku.

Ipeľ

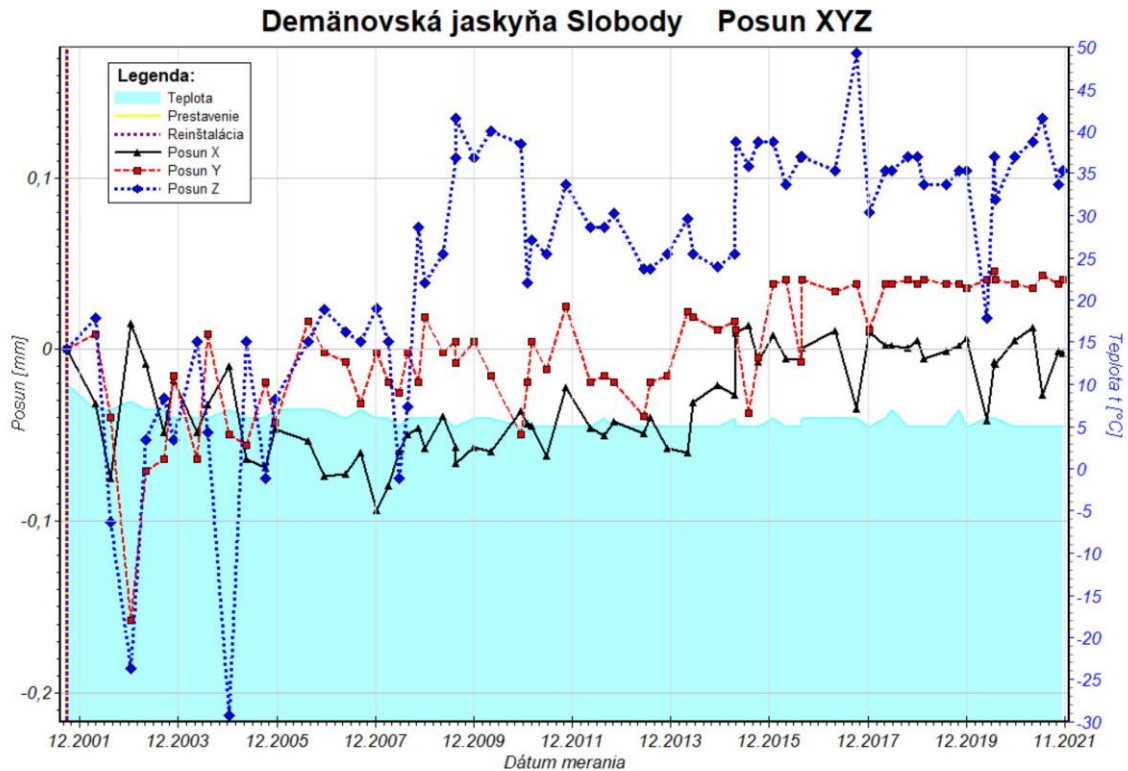
Trend dlhodobého (19 rokov) pomalého poklesávania JV bloku je zreteľný. V roku 2020 pohyb stagnoval a ustálil sa na celkovej hodnote 2,107 mm (obr. 39). V roku 2021 bol zaznamenaný zvrät v trende poklesu v hodnote -0,335 mm. Či ide o prechodnú osciláciu ukážu až ďalšie merania. Pohyb v smere osí X (otváranie trhliny) a Y (posun pozdĺž zlomu) v roku 2020 prakticky stagnoval, v roku 2021 sa dokonca otočil, hoci iba minimálne (hodnoty neprekročili 0,075 mm). Celkové doterajšie posuny v oboch osiach dosiahli 0,142 mm (X) a 0,132 mm (Y). Rotácie blokov v rovinách XY a XZ sú zanedbateľné (obr. 40).

Banská Hodruša – Hámre

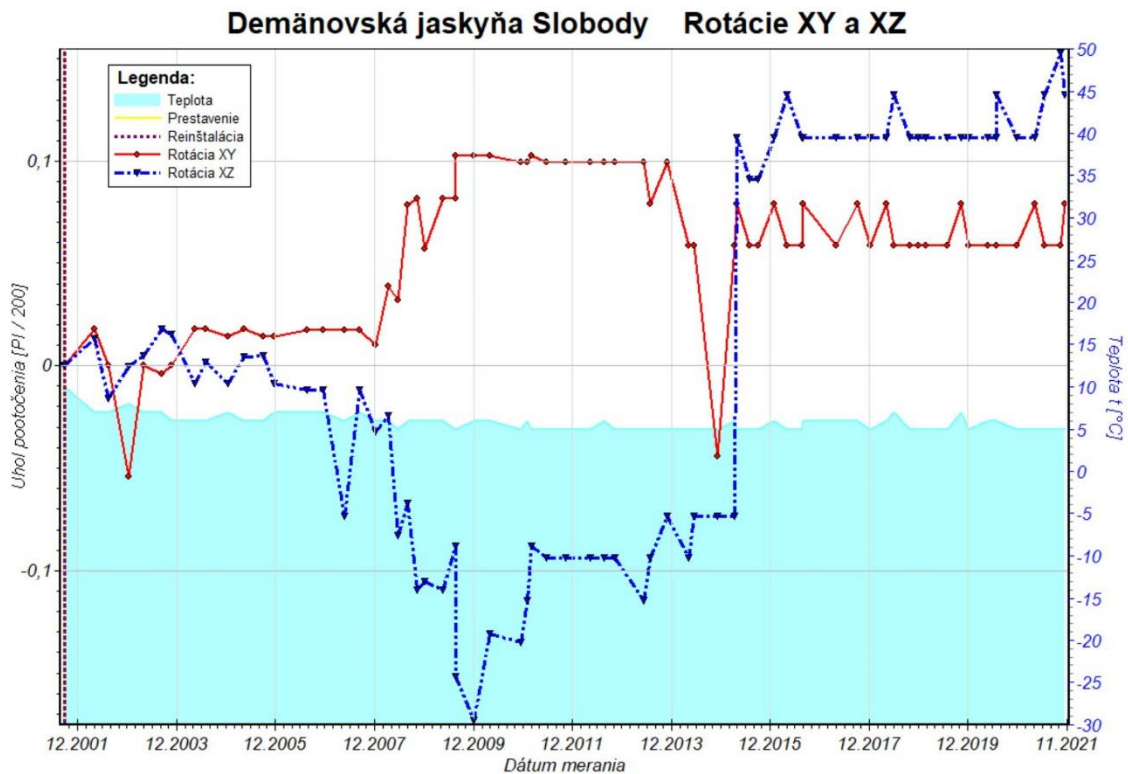
Merania mikroposunov na danej lokalite preukázali v posledných dvoch rokoch slabší pohyb blokov pozdĺž osí Y (šmykový posun pozdĺž zlomu) a X (otváranie trhliny) (obr. 41). Šmykový posun narástol v roku 2020 o 0,056 mm, v roku 2021 iba 0,013 mm a dosiahol celkovo 0,010 mm. Otváranie trhliny sa v roku 2020 zvýšilo o 0,025 mm, v roku 2021 o 0,011 mm. Dlhodobá stagnácia v smere osi Z (pokles jedného z blokov), ktorá začala v roku 2007 pretrvávala aj v rokoch 2020 a 2021 na úrovni cca 0,270 mm. Rotácie blokov v horizontálnej (XY) i vertikálnej (XZ) rovine sú zanedbateľné (obr. 42).

Vyhne

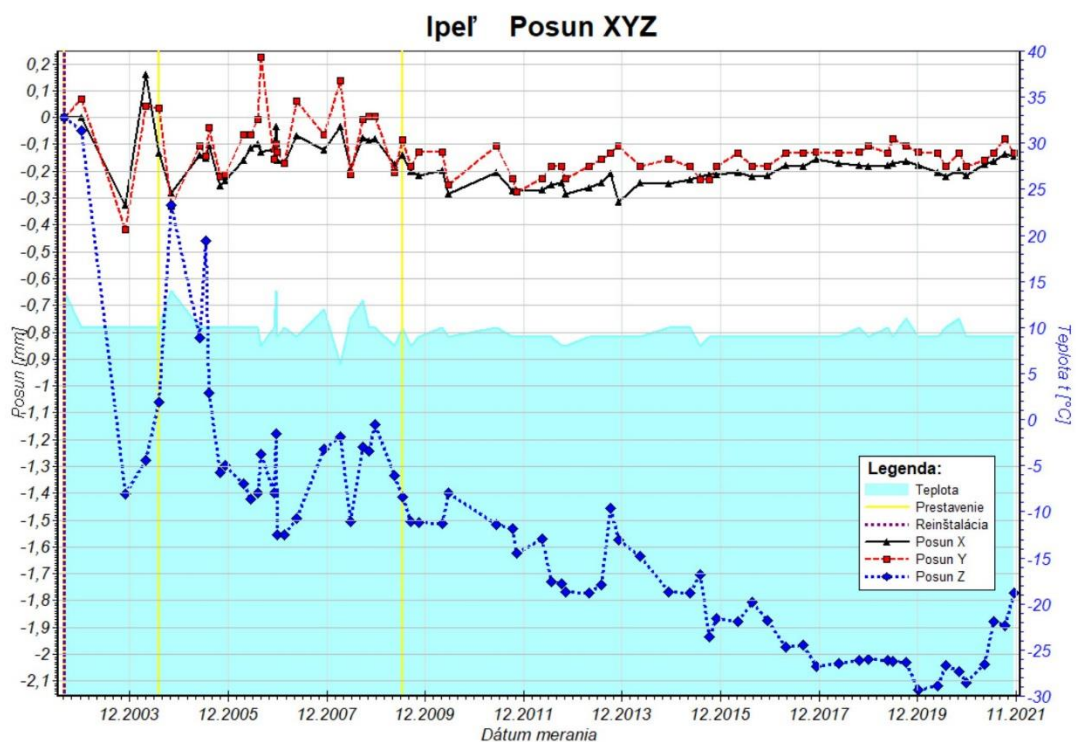
Za posledné dva roky (2020 a 2021) potvrdil prístroj stagnáciu pohybov v smere všetkých troch osí. Otváranie trhliny (os X) v podstate stagnuje od začiatku meraní, t. j. od roku 2005 okolo hodnoty 0,1 mm (obr. 43). Pokles jedného z tektonických blokov (os Z) stagnuje od konca roka 2019 na úrovni 0,2 mm, šmykový posun pozdĺž zlomu (os Y) blízko hodnoty 1 mm. Doposiaľ namerané rotácie blokov v oboch rovinách (XY a XZ) sú bezvýznamné (obr. 44).



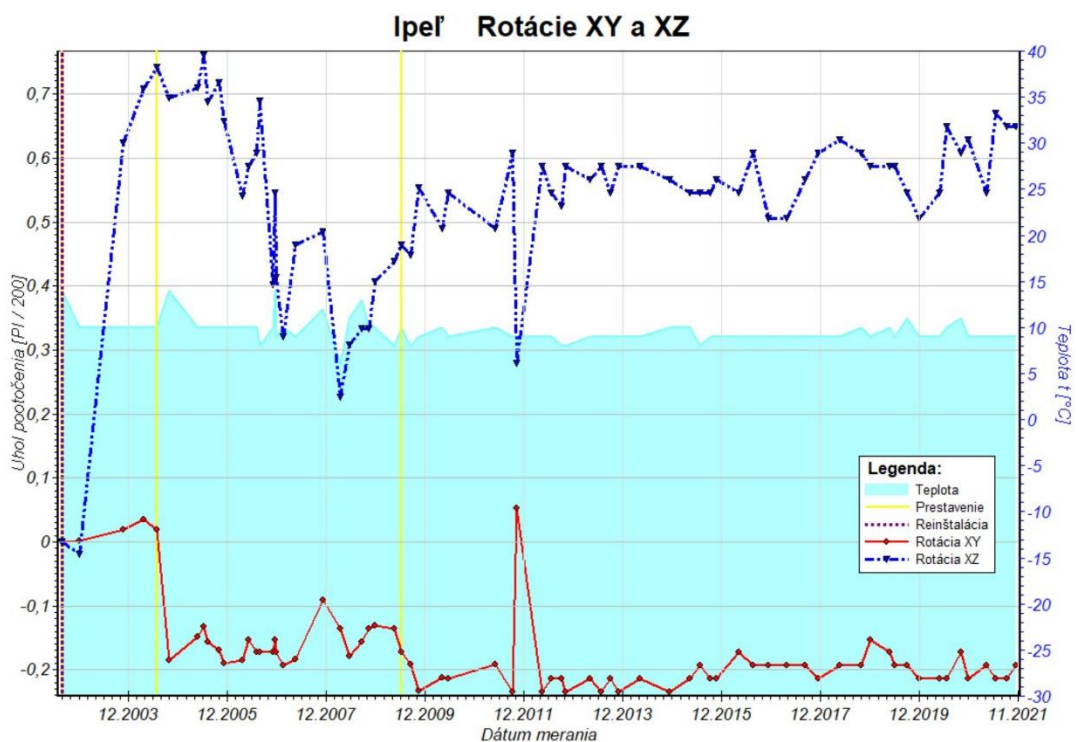
Obr. 37 Posun tektonických blokov pozdĺž jaloveckého zlomu (osi X, Y a Z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 na lokalite Demänovská jaskyňa Slobody za obdobie rokov 2001 – 2021.



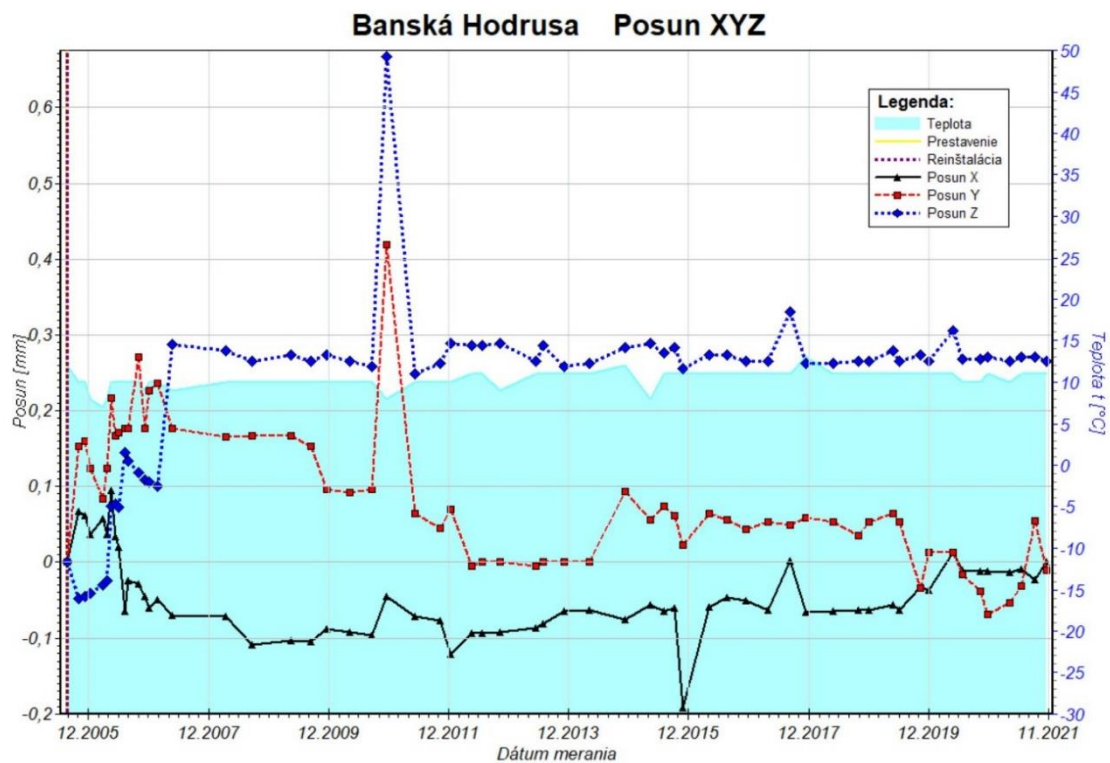
Obr. 38 Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 na jaloveckom zlome za obdobie rokov 2001 – 2021.



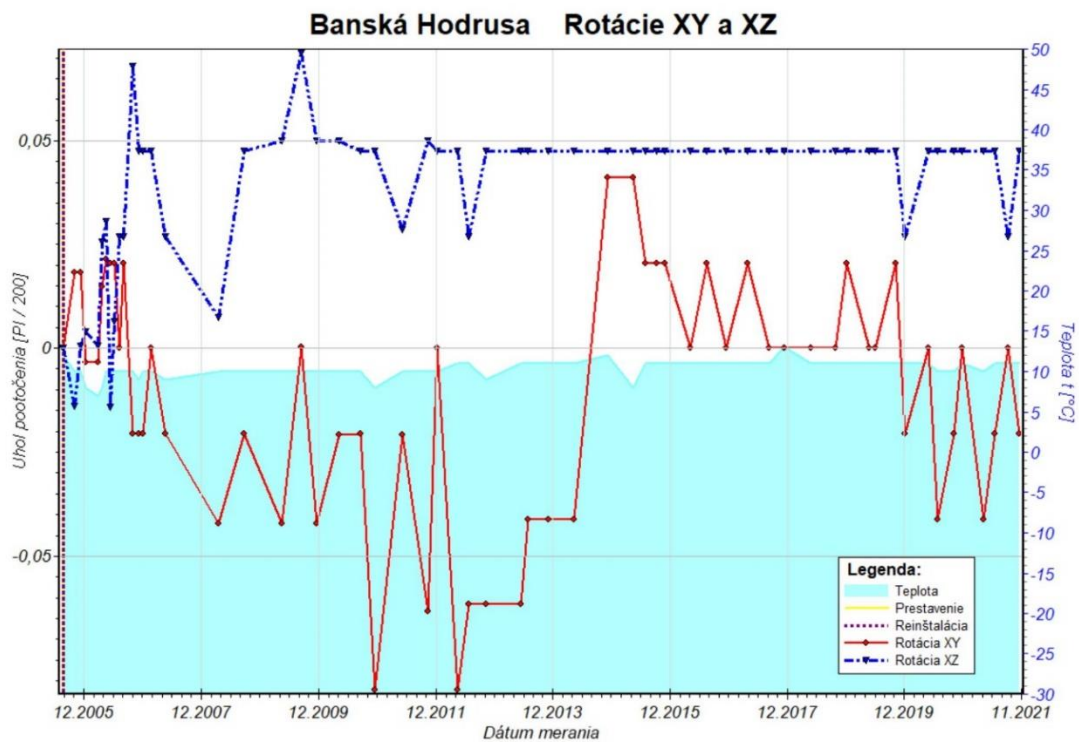
Obr. 39 Posun tektonických blokov pozdĺž jedného z muránskych zlomov (osi X, Y, Z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 v štólňi Izabela na lokalite Ipeľ za obdobie rokov 2002 – 2021.



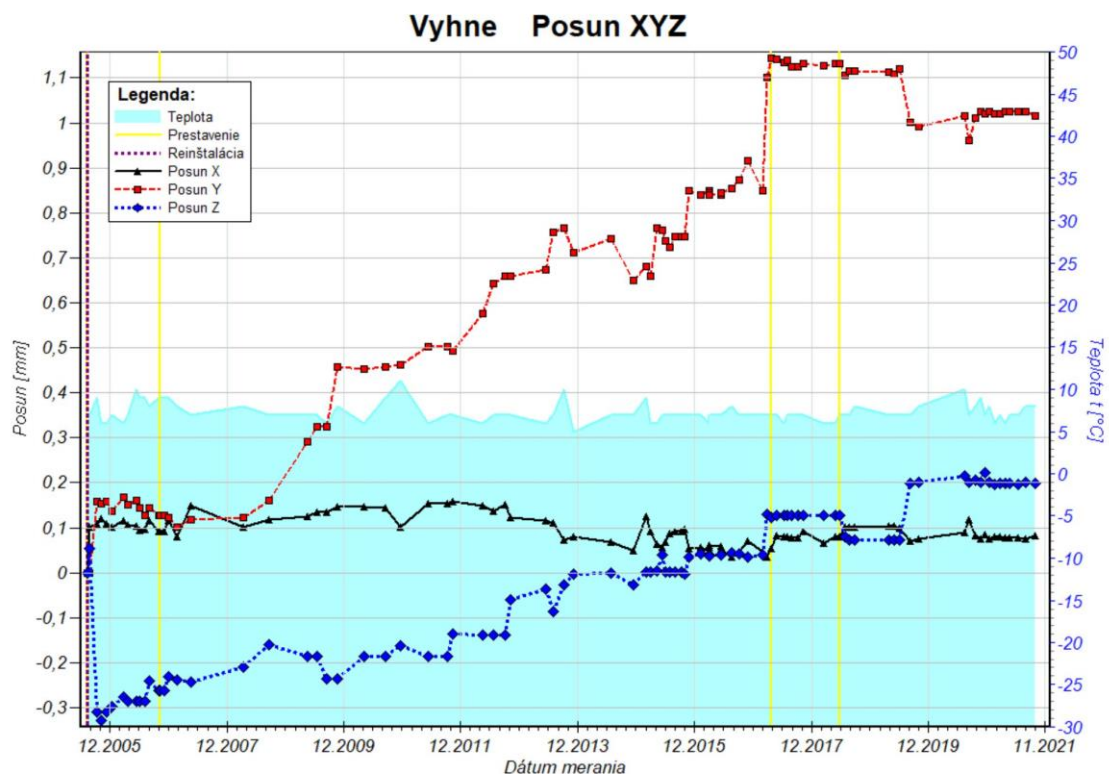
Obr. 40 Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 v štólňi Izabela na lokalite Ipeľ za obdobie rokov 2002 – 2021.



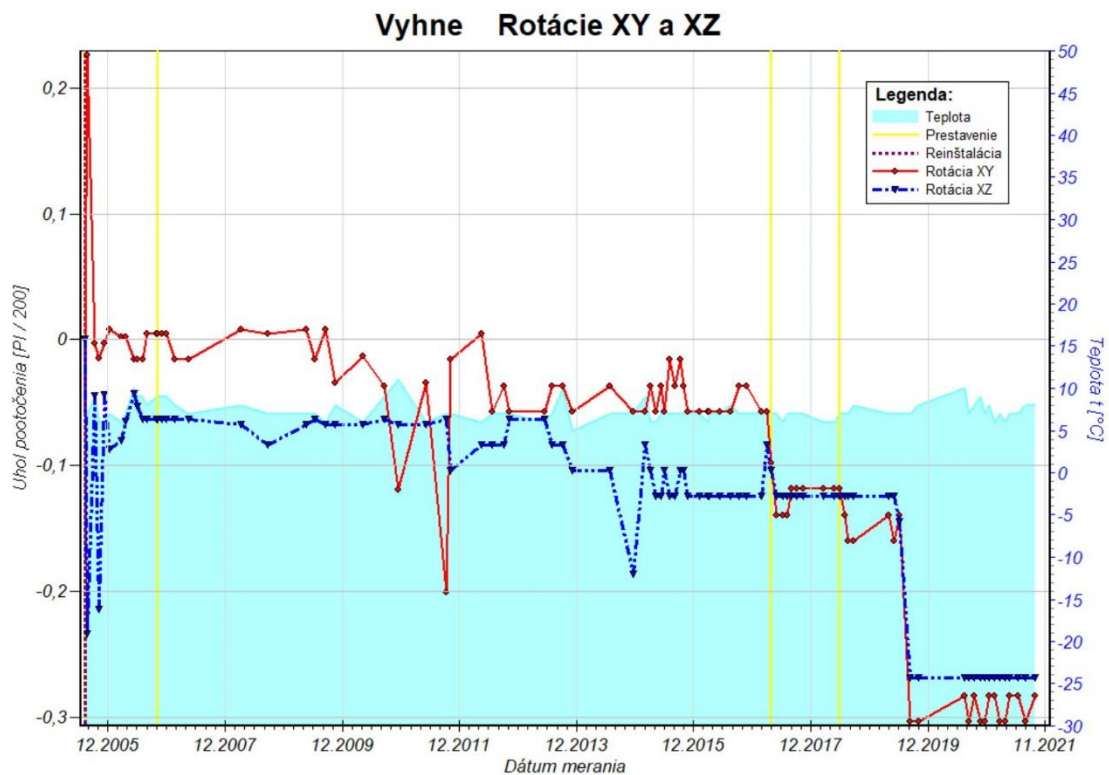
Obr. 41 Posun tektonických blokov na monitorovanom zlome (osi X, Y, Z) zistený dilatometrom TM-71 v štólňi Všechnsvätých (stará) lokalite Banská Hodruša – Hámre za obdobie rokov 2005 – 2021.



Obr. 42 Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zistené dilatometrom TM-71 v štólňi Všechnsvätých (stará) na lokalite Banská Hodruša-Hámre za obdobie rokov 2005 – 2021.



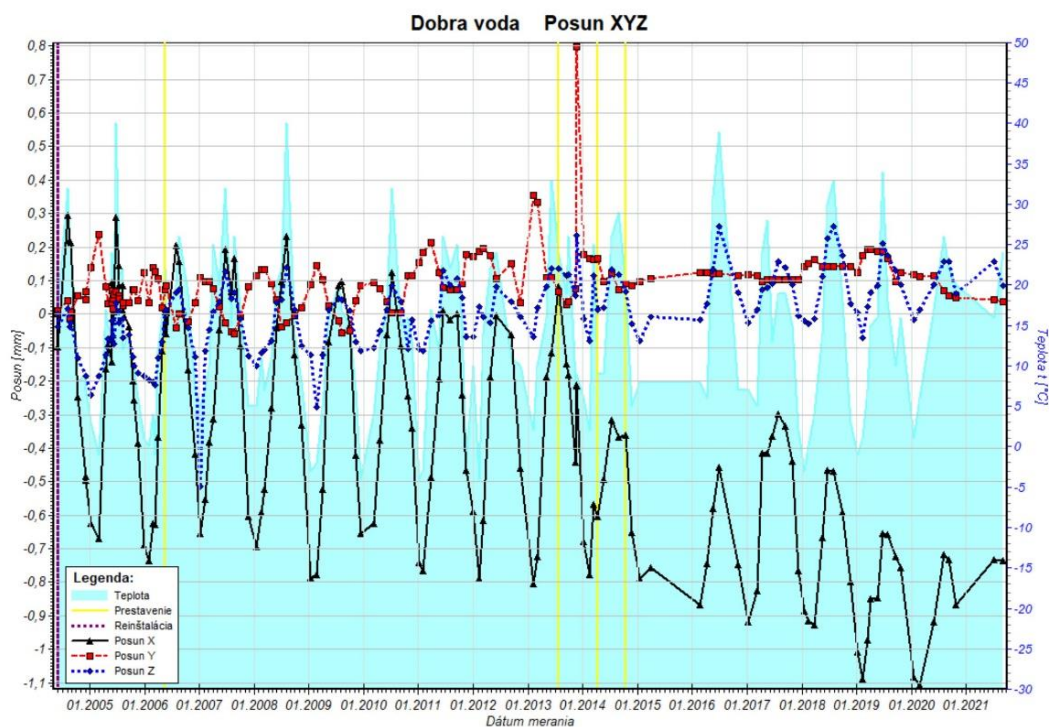
Obr. 43 Posun tektonických blokov na monitorovanom zlome (osi X, Y, Z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 v štôlni sv. Anton Paduánsky na lokalite Vyhne za obdobie rokov 2005 – 2021.



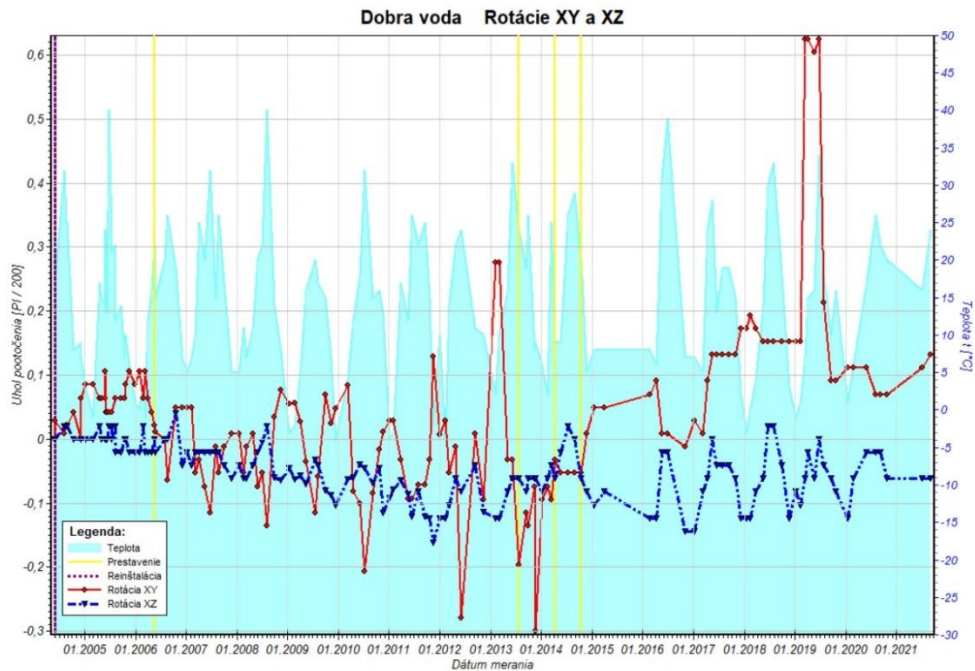
Obr. 44 Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 v štôlni sv. Anton Paduánsky na lokalite Vyhne za obdobie rokov 2005 – 2021.

Dobrá Voda

Za posledné dva roky (2020 a 2021) bol najvýraznejší posun zistený v smere osi X , čo znamená otváranie trhliny. Aj napriek silnej oscilácii spôsobenej kolísaním teplôt možno náraz hodnoty v roku 2020 odhadnúť o cca 0,1 mm. V roku 2021 boli v dôsledku technických problémov realizované českými kolegami iba dve merania (júl a september), čo nedáva celkom presný obraz o pohybovej aktivite. Trend postupného otvárania trhliny od roku 2015 je však zrejмый (obr. 45). Pokles jedného z blokov (os Z) a šmykový posun pozdĺž zlomu (os Y) od roku 2015 oscilujú okolo hodnoty 0,1 mm. Z grafu rotácií (obr. 46) je evidentný pokračujúci trend otáčania v oboch navzájom kolmých rovinách (XY a XZ), ktorý však dosahuje iba minimálne hodnoty. Zaujímavý je fakt, že v oboch rovinách došlo k zmene trendu otáčania. V rovine XY to bolo v roku 2013, v rovine XZ v roku 2016. Výkyv rotácie v rovine XY na konci roka 2012 veľmi dobre korešponduje so slabým zemetrasením ($M = 1,6$) zaznamenaným 18. 11. 2012 pri Chtelnici. Jeho epicentrum bolo iba pár kilometrov na SZ od obce, teda v smere k Dobrej Vode. Výsledky meraní posunov a súvislosť so seizmickou aktivitou územia do roku 2010 v celej oblasti Malých Karpát boli sumarizované v publikáciách Briestenský et al. (2007 a 2010).



Obr. 45 Posun tektonických blokov na monitorovanom zlome (osi X , Y , Z) zaznamenaný dilatometrom TM-71 na lokalite Dobrá Voda za obdobie rokov 2004 – 2021.



Obr. 46 Rotácie tektonických blokov vo vodorovnej (XY) a zvislej rovine (XZ) zaznamenané dilatometrom TM-71 na lokalite Dobrá Voda za obdobie rokov 2004 – 2021.

3.4 Diskusia

Výsledky dlhodobého monitorovania posunov na vybratých neotektonických poruchách na území SR, resp. v roku 2021 dilatometrami typu *TM-71* možno zhrnúť takto:

1. Na všetkých 6 lokalitách preukázali prístroje v roku 2021 veľmi slabú recentnú tektonickú aktivitu. Posuny sa pohybovali v stotínach alebo tisícinách mm, resp. stagnovali a v smere žiadnej osi nepresiahli hodnotu 0,1 mm.
2. Dlhodobé trendy pohybu za celé monitorovacie obdobia (16 – 21 rokov) sú zrejmé vo všetkých lokalitách – Branisko (šmykový posun pozdĺž zlomu – celkovo 2,328 mm), Demänovská jaskyňa Slobody (pokles jedného z blokov – celkovo cca 1 mm a šmykový posun pozdĺž zlomu cca 0,08 mm), Ipeľ (pokles jedného z blokov – celkovo cca 2 mm), Banská Hodruša-Hámre (posun pozdĺž zlomu – celkovo cca 0,25 mm), Vyhne (pokles jedného z blokov – celkovo cca 0,5 mm a šmykového posunu pozdĺž zlomu cca 1 mm, Dobrá Voda (otváranie trhliny – celkovo cca 1 mm).
3. Výsledky monitoringu majú veľký praktický význam z hľadiska stability najmä v lokalitách Ipeľ (plánovaná výstavba PVE – 700 MW), Branisko (diaľničný tunel) a Demänovská jaskyňa Slobody (NPP a jeden z najnavštevovanejších turistických objektov v SR).

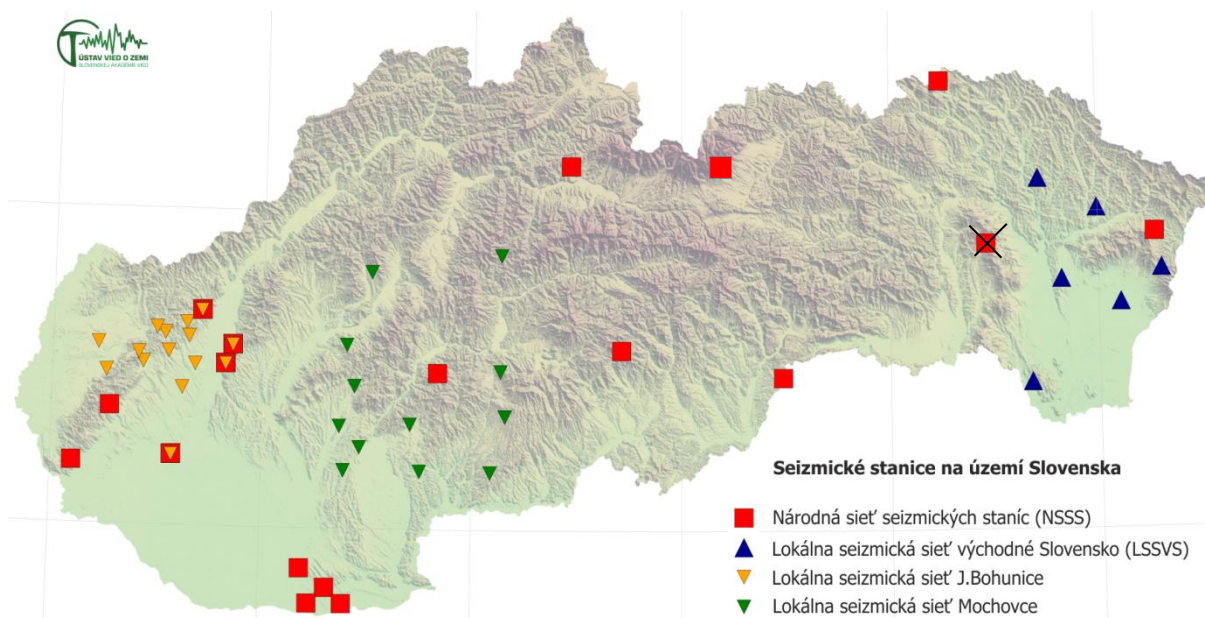
Vzhľadom na uvedenú dôležitosť lokalít navrhujeme pokračovať v monitorovacích prácach aj v roku 2022 s frekvenciou meraní minimálne 4x za rok.

4. MONITOROVANIE SEIZMICKÝCH JAVOV

Seizmické javy na území Slovenskej republiky sú monitorované seizmickými stanicami Národnej siete seizmických staníc (NSSS), ktorej prevádzkovateľom je Ústav vied o Zemi Slovenskej akadémie vied v. v. i. (ÚVZ SAV) v Bratislave. Národná sieť seizmických staníc je tvorená 14 seizmickými stanicami (tab. 2, obr. 47):

Tab. 2 Národná sieť seizmických staníc na území SR (stav v roku 2021)

Bratislava – Železná studnička (ZST)	Kolonické sedlo (KOLS)
Červenica (CRVS) – dočasne prerušená prevádzka	Liptovská Anna (LANS)
Vyhne (VYHS)	Izabela (IZAB)
Modra (MODS)	Moča (SRO2)
Hurbanovo (HRB)	Stebnícka Huta (STHS)
Iža (SRO1)	Šrobárová (SRO)
Kečovo (KECS)	Skalnaté Pleso (SPC)



Obr. 47 Seizmické stanice na území Slovenska – stav v roku 2021.

Na seizmických stanicích sa pomocou seizmometrov zaznamenáva rýchlosť šírenia seizmických vln v horninovom prostredí. Všetky seizmické stanice sú registrované v International Seismological Centre (ISC), vo Veľkej Británii. Na stanicích ZST, VYHS, KOLS, MODS a SPC sú nainštalované širokopásmové seizmometre, ostatné seizmické stanice sú vybavené krátkoperiodickými seizmometrami, seizmická stanica HRB strednoperiodickým seizmometrom.

Na území Slovenska sú okrem NSSS v prevádzke aj lokálne seizmické siete v okolí atómových elektrární Mochovce a Jaslovské Bohunice, ktoré prevádzkuje spoločnosť Progseis v

Tmave. Na východnom Slovensku je vybudovaná lokálna sieť seizmických staníc, ktorú prevádzkuje FMFI UK v Bratislave.

Zemepisné súradnice jednotlivých seizmických staníc NSSS, spolu s nadmorskou výškou a technickými parametrami a pokrytie územia Slovenskej republiky seizmickými stanicami je znázornené v Tab. 3. Z dôvodu zmeny majetkovoprávných vzťahov v dobývacom priestore opálových baní bola prevádzka seizmickej stanice CRVS v roku 2018 ukončená. Po nájdení náhradnej vhodnej lokality bude seizmická stanica premiestnená a opätovne uvedená do prevádzky.

4.1 Dátové a spracovateľské centrum

Dátové a spracovateľské centrum Národnej siete seizmických staníc sa nachádza v ÚVZ SAV v Bratislave. Centrum v reálnom čase zhromažďuje zaznamenané údaje zo staníc Národnej siete seizmických staníc a z vybraných seizmických staníc okolitých krajín. Celkovo sú v reálnom čase k dispozícii údaje z cca 55 seizmických staníc tvoriacich Regionálnu virtuálnu seizmickú sieť ÚVZ SAV.

Tab. 3 Charakteristiky seizmických staníc Národnej siete seizmických staníc SR (stav v roku 2021)

Stanica	ISC kód	Zem. šírka [°N]	Zem. dĺžka [°E]	Nadm. výška [m]	Seizmometer	DAS	Vzorkovacia frekvencia [údaj/sek.]	Registrácia, Prenos údajov	Dátový formát
Bratislava Žel. Stud-	ZST	48,196	17,102	250	3x SKD	Wave24	100	kontinuálna, v reálnom	mSEED
Červenica	CRVS	48,902	21,464	476	STS-2	Wave24	100	kontinuálna, v reálnom	mSEED
Vyhne	VYHS	48,493	18,836	450	STS-2	Wave24	100	kontinuálna, v reálnom	mSEED
Modra-Piesok	MODS	48,373	17,277	520	STS-2	Wave32	100	kontinuálna, v reálnom	mSEED
Hurbanovo	HRB	47,873	18,192	115	2x Mainka	Analog	-	začadený papier,	-
Izabela	IZAB	48,569	19,713	450	3x SM3	Wave24	100	kontinuálna, v reálnom	mSEED
Iža	SRO1	47,762	18,233	111	LE3D	PCM	20	kontinuálna, v reálnom	mSEED
Kečovo	KECS	48,483	20,486	345	LE3D	Wave24	100	kontinuálna, v reálnom	mSEED
Kolonické sedlo	KOLS	48,933	22,273	460	Guralp-6T-30s	Wave32	100	kontinuálna, v reálnom	mSEED
Liptovská Anna	LANS	49,151	19,468	710	Metrozet	Wave32	100	kontinuálna, v reálnom	mSEED
Moča	SRO2	47,763	18,394	109	Guralp-40T-1s	Wave24	100	kontinuálna, v reálnom	mSEED
Stebnícka Huta	STHS	49,417	21,244	534	LE3D	Wave24	100	kontinuálna, v reálnom	mSEED
Šrobárová	SRO	47,813	18,313	150	3x SKM-3	Wave24	100	kontinuálna, v reálnom	mSEED
Skalnaté Pleso	SPC	49,189	20,234	1751	Guralp-40T-30s	SeisComp EarthData	100	kontinuálna, v reálnom	mSEED

Dátové a spracovateľské centrum vykonáva automatické lokalizácie, ktoré sú k dispozícii do 10 minút po zaznamenaní seizmického javu. V ďalšom kroku je vykonávaná manuálna analýza, v rámci ktorej sú pre každý seizmický jav určené časy príchodov jednotlivých druhov seizmických vln (fáz) a pre vybrané zemetrasenia sú určené amplitúdy a periódy vybraných fáz, vypočítané magnitúda a vykonaná lokalizácia. **V roku 2021 bolo zo záznamov seizmických staníc národnej siete interpretovaných 10656 teleseizmických, regionálnych alebo lokálnych seizmických javov a určených bolo viac ako 40000 seizmických fáz.**

Ústav vied o Zemi SAV zhromažďuje a analyzuje okrem seizmometrických údajov aj makroseizmické údaje o zemetraseniach. Makroseizmické údaje charakterizujú účinky zemetrasenia na ľuďoch, predmetoch, stavbách a prírode. Ak má zemetrasenie makroseizmické účinky na území Slovenska, ÚVZ SAV vykonáva zber makroseizmických pozorovaní od občanov formou vyplnených makroseizmických dotazníkov prostredníctvom internetu, e-mailovej komunikácie alebo poštou.

Údaje obsiahnuté v makroseizmických dotazníkoch a prípadné ďalšie údaje sú vyhodnocované podľa 12 stupňovej makroseizmickej stupnice EMS-98. Pre každú lokalitu, z ktorej sú dostupné makroseizmické údaje, je určená makroseizmická intenzita.

4.2 Seizmometricky lokalizované zemetrasenia s epicentrom na území SR

V roku 2021 bolo zo záznamov seizmických staníc NSSS seizmometricky lokalizovaných 88 zemetrasení s epicentrom na území Slovenskej republiky. Parametre týchto zemetrasení boli určené na základe interpretácií seizmických záznamov zo staníc NSSS a ďalších staníc Virtuálnej siete seizmických staníc ÚVZ SAV využitím softwarového balíka SeismicHandler. Interpretácie záznamov zo seizmických staníc NSSS (určené seizmické fázy, časy príchodov a epicentrálna vzdialenosť pre danú seizmickú stanicu) sú archivované v databáze na ÚVZ SAV.

Zoznam lokalizovaných zemetrasení s epicentrom na území Slovenskej republiky v roku 2021 a mapa polohy epicentier týchto zemetrasení sú v *tab. 4* a na *obr. 48*.

4.3 Makroseizmicky pozorované zemetrasenia na území Slovenskej republiky

V roku 2021 bolo na území Slovenska makroseizmicky pozorovaných 7 zemetrasení.

Tab. 4 Seizmometricky lokalizované zemetrasenia s epicentrom na území SR v roku 2021

Deň	Čas (UTC) hh:mn:sec	Geograf. súradnice dĺžka šírka	Hĺbka (km)	M _L	I ₀ (EMS)	Lokalita / Oblasť
-----	------------------------	--	---------------	----------------	-------------------------	-------------------

Január

20	02:18:52.35	48,56 N	17,33 E	0	-		Malé Karpaty
24	21:37:41.78	48,66 N	18,74 E	0	0,3		Vtáčnik
27	23:01:51.22	48,46 N	17,26 E	0	0,2		Malé Karpaty
27	23:14:53.74	48,45 N	17,08 E	0	-		Záhorie
28	00:28:04.36	48,44 N	17,05 E	0	-		Záhorie
28	01:27:53.65	48,48 N	17,05 E	0	-		Záhorie
28	01:37:29.08	48,46 N	17,08 E	0	-		Záhorie
28	02:44:55.01	48,48 N	17,08 E	0	-		Záhorie
28	03:00:59.20	48,48 N	17,08 E	1	-		Záhorie
28	08:16:44.31	48,66 N	18,70 E	3	3,2	3	Vtáčnik
28	20:51:05.56	48,46 N	17,07 E	0	-		Záhorie
29	00:31:13.23	48,45 N	17,09 E	0	-		Záhorie

Február

2	19:37:47.29	48,26 N	17,43 E	0	1,2		Malé Karpaty
6	20:22:07.28	48,60 N	20,54 E	18	0,8		Slovenský kras
6	20:22:08.12	48,62 N	20,46 E	14	-		Slovenský kras
11	00:44:12.93	48,59 N	17,49 E	3	0,6		Malé Karpaty

Marec

5	00:41:24.09	47,89 N	18,04 E	13	1,9		Šamorín-Komárno-Štúrovo
9	15:08:37.63	49,24 N	19,74 E	12	1,4		Vysoké Tatry
10	22:28:59.52	48,54 N	17,49 E	2	-		Malé Karpaty
22	17:29:16.98	49,14 N	19,48 E	0	2,1		Liptov
30	09:19:41.75	48,69 N	22,14 E	0	1,1		Východoslovenská rovina

Apríl

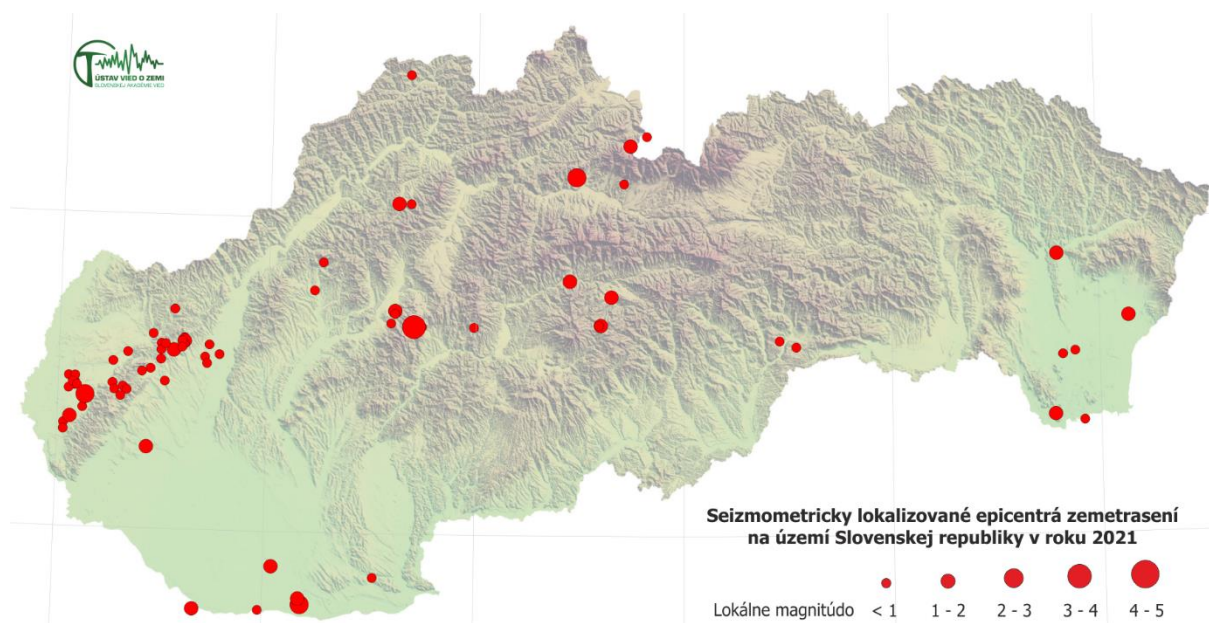
12	15:35:15.47	49,05 N	18,68 E	0	0,9		Malá Fatra
21	23:28:56.57	48,55 N	17,70 E	2	0,2		Malé Karpaty

Máj

11	20:55:33.62	48,60 N	17,59 E	3	0,9		Malé Karpaty
11	21:27:51.12	48,60 N	17,60 E	2	0,8		Malé Karpaty
12	00:57:04.50	48,53 N	17,71 E	0	-		Malé Karpaty
12	00:58:45.03	48,60 N	17,59 E	4	-		Malé Karpaty
12	01:30:23.00	48,59 N	17,60 E	4	-		Malé Karpaty
12	01:35:54.65	48,61 N	17,60 E	2	0,1		Malé Karpaty
12	01:37:03.29	48,59 N	17,60 E	4	0,2		Malé Karpaty
12	01:37:39.69	48,60 N	17,59 E	3	-		Malé Karpaty
12	01:39:21.04	48,60 N	17,59 E	3	0,4		Malé Karpaty
12	02:39:15.07	48,59 N	17,60 E	3	0,4		Malé Karpaty
12	02:44:29.33	48,60 N	17,59 E	4	-		Malé Karpaty
12	03:29:34.11	48,60 N	17,59 E	5	-		Malé Karpaty
12	03:30:15.27	48,60 N	17,59 E	4	-		Malé Karpaty
12	10:32:38.98	48,59 N	17,60 E	3	0,8		Malé Karpaty

14	16:50:58.48	48,59 N	17,60 E	3	0,7		Malé Karpaty
14	18:18:49.65	48,60 N	17,60 E	4	1,4		Malé Karpaty
14	18:36:36.17	48,59 N	17,60 E	4	-		Malé Karpaty
14	18:40:28.22	48,59 N	17,60 E	4	0,2		Malé Karpaty
16	00:51:42.30	48,60 N	17,59 E	3	0,4		Malé Karpaty
Jún							
19	18:03:52.56	48,57 N	17,55 E	5	-		Malé Karpaty
19	18:04:31.29	48,57 N	17,55 E	2	1,5		Malé Karpaty
23	21:15:57.33	48,56 N	17,77 E	0	0,7		Malé Karpaty
29	15:22:01.77	48,51 N	17,44 E	3	-		Malé Karpaty
Júl							
1	09:40:03.10	48,67 N	19,60 E	0	1,2		Veporské vrchy
1	19:29:37.14	48,67 N	19,59 E	0	0,7		Veporské vrchy
6	00:41:11.37	48,57 N	17,49 E	2	-		Malé Karpaty
21	00:22:08.95	48,77 N	18,22 E	2	0,7		Strážovské vrchy
28	01:22:53.69	48,70 N	17,55 E	2	0,3		Malé Karpaty
29	07:58:17.82	48,76 N	19,65 E	18	1,9		Veporské vrchy
August							
2	20:36:15.97	47,86 N	18,52 E	1	0,4		Šamorín-Komárno-Štúrovo
3	03:35:39.00	48,58 N	17,59 E	3	0,1		Malé Karpaty
4	18:49:01.34	48,33 N	17,03 E	2	0,7		Malé Karpaty
13	13:16:27.11	48,38 N	21,78 E	12	1,3		Zemplínske vrchy
19	03:16:03.38	48,45 N	17,31 E	4	0,2		Malé Karpaty
21	01:46:34.53	49,46 N	18,67 E	10	0,3		Kysuce
29	21:57:30.22	47,77 N	18,18 E	0	2,0	3	Šamorín-Komárno-Štúrovo
31	06:02:59.85	48,44 N	17,33 E	0	0,6		Malé Karpaty
September							
2	02:03:00.62	49,12 N	19,71 E	0	0,1		Vysoké Tatry
7	01:49:40.28	48,59 N	17,72 E	2	0,9		Malé Karpaty
7	21:48:41.67	48,86 N	18,26 E	10	0,6		Strážovské vrchy
9	11:07:53.42	47,75 N	17,67 E	12	1,8		Šamorín-Komárno-Štúrovo
11	05:20:35.88	48,38 N	17,12 E	0	0,8		Malé Karpaty
13	20:12:53.35	48,66 N	18,99 E	0	-		Kremnické vrchy
Október							
3	13:41:36.62	48,71 N	18,61 E	0	1,1		Vtáčnik
6	04:06:30.16	48,42 N	17,13 E	1	2,0	3	Záhorie
6	16:42:47.36	48,70 N	18,61 E	1	0,3		Vtáčnik
6	21:57:07.11	48,67 N	18,59 E	3	-		Vtáčnik
6	22:32:31.93	48,44 N	17,27 E	3	0,4		Malé Karpaty
9	04:10:34.52	48,53 N	17,26 E	2	0,0		Malé Karpaty
11	00:12:28.78	48,62 N	17,45 E	2	0,8		Malé Karpaty
13	01:02:14.20	48,81 N	19,45 E	0	1,8	5	Horehronie

13	11:16:43.07	48,50 N	17,40 E	0	-	Malé Karpaty
15	15:53:39.74	48,89 N	21,80 E	4	1,4	Vihorlat
17	21:47:42.01	48,47 N	17,51 E	1	0,6	Malé Karpaty
18	12:33:15.82	47,75 N	17,98 E	0	-	Šamorín-Komárno-Štúrovo
November						
8	18:51:07.60	48,58 N	21,88 E	2	0,8	Východoslovenská rovina
8	23:59:07.58	48,57 N	21,82 E	0	0,9	Východoslovenská rovina
22	23:03:21.43	49,05 N	18,62 E	0	1,0	Rajecká dolina
25	10:11:20.18	48,36 N	21,92 E	0	-	Východoslovenská rovina
25	18:07:05.33	49,27 N	19,82 E	0	0,7	Vysoké Tatry
December						
15	03:18:10.68	48,35 N	17,06 E	0	1,1	Malé Karpaty
15	03:21:03.12	48,31 N	17,03 E	0	0,3	Malé Karpaty
29	18:22:20.73	48,59 N	17,51 E	1	-	Malé Karpaty
31	05:36:50.09	47,79 N	18,17 E	2	1,0	Šamorín-Komárno-Štúrovo
31	12:40:37.92	48,42 N	17,30 E	0	0,2	Malé Karpaty



Obr. 48 Seizmometricky lokalizované epicentrá zemetrasení na území SR v roku 2021

Zemetrasenie dňa 6.1.2021 o 17:01 UTC bolo zaznamenané siedmimi seizmickými stanicami NSSS - KECS, KOLS, LANS, MODS, SRO, VYHS a ZST. Na základe záznamov zo seizmických staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia. Keďže epicentrum zemetrasenia bolo v Chorvátsku, lokalizácia bola prevzatá z medzinárodného seizmického dátového centra EMSC-CSEM. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum 6.1.2021
čas vzniku [UTC] 20:42:26.23

epicentrum: zemepisná šírka 48,51° N
zemepisná dĺžka 16,21° E
hĺbka ohniska 8 km
lokálne magnitúdo 4,9

Zemetrasenie bolo pocítené v 1 lokalite na území SR, pre ktoré má ÚVZ SAV k dispozícii 2 makroseizmické pozorovania. Makroseizmické intenzity v stupňoch makroseizmickej stupnice EMS-98 určené pre jednotlivé lokality sú uvedené v nasledujúcej tabuľke. Najvyššia makroseizmická intenzita zemetrasenia dosiahnutá na území Slovenska je 3° EMS-98.

Tab. 5 Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie dňa 6.1.2021 o 17:01 UTC.

	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
Bratislava	48,163	17,126	2	3

Zemetrasenie dňa 28.1.2021 o 08:16 UTC bolo zaznamenané piatimi seizmickými stanicami NSSS - LANS, MODS, VYHS, KECS a KOLS. Na základe záznamov zo seizmických staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia $M_L=3,2$. Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná programovým balíkom SeismicHandler. Epicentrum zemetrasenia sa nachádzalo v oblasti pohoria Vtáčnik. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum 28.1.2021
čas vzniku [UTC] 08:16:44.31
epicentrum: zemepisná šírka 48,66° N
zemepisná dĺžka 18,7° E
hĺbka ohniska 3 km
lokálne magnitúdo 3,2

Zemetrasenie bolo pocítené v 29 lokalitách na území Slovenska, pre ktoré má ÚVZ SAV k dispozícii 212 makroseizmických pozorovaní. Makroseizmické intenzity v stupňoch makroseizmickej stupnice EMS-98 určené pre jednotlivé lokality sú uvedené v nasledujúcej tabuľke. Určená epicentrálna intenzita zemetrasenia I_0 je 3° EMS-98.

Tab. 6 Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie dňa 28.01.2021 o 08:16 UTC.

	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
Prievidza	48,772	18,626	53	3
Handlová	48,723	18,75	46	3
Žiar nad Hronom	48,582	18,853	18	3
Lovčica-Trubín	48,618	18,79	16	3
Janova Lehota	48,659	18,784	11	3

Nováky	48,725	18,544	9	3
Lehota pod Vtáčnikom	48,698	18,606	8	3
Cigeľ	48,716	18,645	4	3
Koš	48,745	18,581	4	3
Podhradie	48,668	18,175	4	3
Bojnice	48,786	18,593	3	3
Horná Ždaňa	48,569	18,751	3	3
Partizánske	48,641	18,589	3	3
Kosorín	48,65	18,808	2	3
Prestavky	48,585	18,756	2	3
Zemianske Kostolany	48,69	18,521	2	3
Banská Bystrica	48,733	19,143	4	3
Hliník nad Hronom	48,536	18,778	1	3
Horná Trnávka	48,579	18,759	1	3
Hostie	48,483	18,456	1	3
Hronec	48,759	19,561	1	3
Lutila (Žiar nad Hronom)	48,615	18,842	1	3
Oslany	48,618	18,502	1	3
Partizánske	48,641	18,589	1	3
Turčianske Teplice	48,864	18,857	1	3
Sebedražie	48,733	18,631	5	pozorované
Nová Lehota	48,674	18,733	4	pozorované
Prochot	48,612	18,708	2	pozorované
Kopanice-Prievidza	48,781	18,641	1	pozorované

Zemetrasenie dňa 30.3.2021 o 16:25 UTC bolo zaznamenané piatimi seizmickými stanicami NSSS - SRO, MODS, VYHS, KECS a KOLS. Na základe záznamov zo seizmických staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia $M_L=4,2$. Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná programovým balíkom SeismicHandler. Epicentrum zemetrasenia sa nachádzalo na území Rakúska. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum	..... 30.3.2021
čas vzniku [UTC]	..... 16:25:01.50
epicentrum: zemepisná šírka	..... 47,73° N
zemepisná dĺžka	..... 16,17° E
hĺbka ohniska	..... 10,8 km
lokálne magnitúdo	..... 4,2

Zemetrasenie bolo pocítené v 13 lokalitách na území Slovenska, pre ktoré má ÚVZ SAV k dispozícii 72 makroseizmických pozorovaní. Makroseizmické intenzity v stupňoch makroseizmickej stupnice EMS-98 určené pre jednotlivé lokality sú uvedené v nasledujúcej tabuľke. Najvyššia makroseizmická intenzita dosiahnutá na území Slovenska je 3° EMS-98.

Tab. 7 Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie dňa 30.3.2021 o 16:25 UTC.

	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
Bratislava 5	48,068	17,119	19	3
Bratislava 1	48,145	17,103	12	3
Bratislava 2	48,14	17,174	12	3
Bratislava 4	48,165	17,073	10	3
Bratislava 3	48,207	17,147	7	3
Pezinok	48,298	17,270	3	3
Modra	48,347	17,313	2	3
Šamorín	48,025	17,339	2	3
Chorvátsky Grob	48,226	17,262	1	3
Dunajská Lužná	48,083	17,265	1	3
Malinovo	48,141	17,313	1	3
Rovinka	48,098	17,237	1	3
Hamuliakovo	48,039	17,251	1	pozorované

Zemetrasenie dňa 19.4.2021 o 22:57 UTC bolo zaznamenané štyrmi seizmickými stanicami NSSS - MODS, VYHS, KECS a KOLS. Na základe záznamov zo seizmických staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia $M_L=4,1$. Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná programovým balíkom SeismicHandler. Epicentrum zemetrasenia sa nachádzalo na území Rakúska. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum	..... 19.4.2021
čas vzniku [UTC]	..... 22:57:12.11
epicentrum: zemepisná šírka	..... 47,72° N
zemepisná dĺžka	..... 16,19° E
hĺbka ohniska	..... 12,3 km
lokálne magnitúdo	..... 4,1

Zemetrasenie bolo pocítené v 14 lokalitách na území Slovenska, pre ktoré má ÚVZ SAV k dispozícii 188 makroseizmických pozorovaní. Makroseizmické intenzity v stupňoch makroseizmickej stupnice EMS-98 určené pre jednotlivé lokality sú uvedené v nasledujúcej tabuľke. Najvyššia makroseizmická intenzita dosiahnutá na území Slovenska je 4° EMS-98.

Tab. 8 - Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie dňa 19.04.2021 o 22:57 UTC.

	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
Komárno	47,766	18,118	1	4
Hamuliakovo	48,039	17,251	1	3-4
Bratislava 4	48,165	17,073	47	3
Bratislava 5	48,068	17,119	42	3
Bratislava 2	48,14	17,174	36	3
Bratislava 1	48,145	17,103	29	3
Bratislava 3	48,207	17,147	17	3
Pezinok	48,298	17,27	6	3
Šamorín	48,025	17,339	4	3
Slovenský Grob	48,256	17,279	1	3
Topoľčany	48,561	18,174	1	3
Zálesie	48,169	17,274	1	3
Čenkovce	48,106	17,434	1	3
Nová Ves pri Dunaji	48,191	17,362	1	pozorované

Zemetrasenie dňa 29.8.2021 o 21:57 UTC bolo zaznamenané tromi seizmickými stanicami NSSS - SRO, MODS a VYHS. Na základe záznamov zo seizmických staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia $M_L=2,0$. Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná programovým balíkom SeismicHandler. Epicentrum zemetrasenia sa nachádzalo v ohniskovej zóne pri Komárne. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum	..... 29.8.2021
čas vzniku [UTC]	..... 21:57:30.22
epicentrum: zemepisná šírka	..... 47,77° N
zemepisná dĺžka	..... 18,18° E
hĺbka ohniska	..... 0 km
lokálne magnitúdo	..... 2,0

Zemetrasenie bolo pocítené v 3 lokalitách na území Slovenska, pre ktoré má ÚVZ SAV k dispozícii 30 makroseizmických pozorovaní. Makroseizmické intenzity v stupňoch makroseizmickej stupnice EMS-98 určené pre jednotlivé lokality sú uvedené v nasledujúcej tabuľke. Určená epicentrálna intenzita zemetrasenia I_0 je 3° EMS-98.

Tab. 9 Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie dňa 29.8.2021 o 21:57 UTC,

	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
--	----------------------	----------------------	------------------	--------------

Komárno	47,766	18,118	27	3
Aňalské Záhrady	47,941	18,149	1	3
Aňala	47,957	18,136	2	pozorované

Zemetrasenie dňa 6.10.2021 o 04:06 UTC bolo zaznamenané tromi seizmickými stanicami NSSS - MODS, SRO a VYHS. Na základe záznamov zo seizmických staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia $M_L=2,0$. Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná programovým balíkom SeismicHandler. Epicentrum zemetrasenia sa nachádzalo na Záhorí. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum	..... 6.10.2021
čas vzniku [UTC]	..... 04:06:30.16
epicentrum: zemepisná šírka	..... 48,42° N
zemepisná dĺžka	..... 17,13° E
hĺbka ohniska	..... 0,2 km
lokálne magnitúdo	..... 2,0

Zemetrasenie bolo pocítené v 2 lokalitách na území Slovenska, pre ktoré má ÚVZ SAV k dispozícii 2 makroseizmické pozorovania. Makroseizmické intenzity v stupňoch makroseizmickéj stupnice EMS-98 určené pre jednotlivé lokality sú uvedené v nasledujúcej tabuľke. Určená epicentrálna intenzita zemetrasenia I_0 je 3° EMS-98.

Tab. 10 Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie dňa 6.10.2021 o 04:06 UTC,

	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
Borinka	48,264	17,021	1	3
Modra	48,347	17,313	1	3

Zemetrasenie dňa 13.10.2021 o 01:02 UTC bolo zaznamenané siedmimi seizmickými stanicami NSSS - KECS, VYHS, LANS, MODS, SRO, STHS a KOLS. Na základe záznamov zo seizmických staníc bolo vypočítané lokálne magnitúdo zemetrasenia $M_L=1,8$. Lokalizácia epicentra zemetrasenia bola vykonaná programovým balíkom SeismicHandler. Epicentrum zemetrasenia sa nachádzalo na Horehroní, pri obci Predajná. Seizmometrické parametre zemetrasenia sú:

dátum	..... 13.10.2021
čas vzniku [UTC]	..... 01:02:14.20
epicentrum: zemepisná šírka	..... 48,81° N
zemepisná dĺžka	..... 19,45° E
hĺbka ohniska	..... 0 km
lokálne magnitúdo	..... 1,8

Zemetrasenie bolo pocítané v 8 lokalitách na území Slovenska, pre ktoré má ÚVZ SAV k dispozícii 41 makroseizmických pozorovaní. Makroseizmické intenzity v stupňoch makroseismickej stupnice EMS-98 určené pre jednotlivé lokality sú uvedené v nasledujúcej tabuľke. Určená epicentrálna intenzita zemetrasenia I_0 je 5° EMS-98.

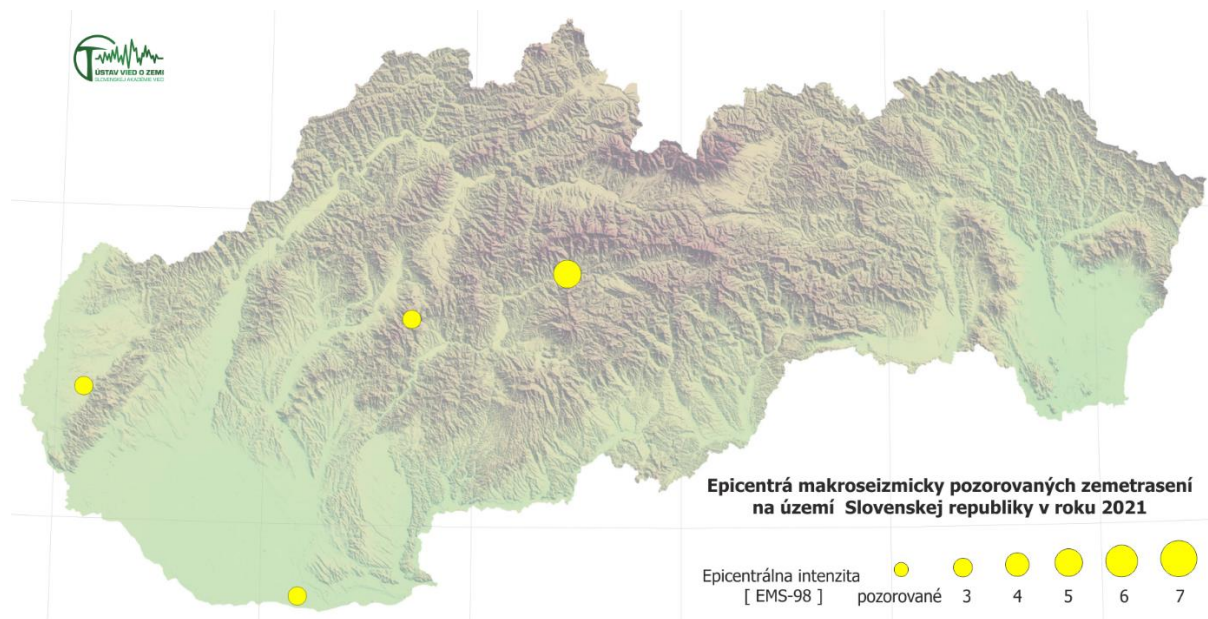
Tab. 11 Makroseizmické pozorovania pre zemetrasenie dňa 13.10.2021 o 01:02 UTC.

	Zemepisná šírka [°N]	Zemepisná dĺžka [°E]	Počet pozorovaní	I [° EMS-98]
Predajná	48,820	19,463	18	5
Dubová	48,815	19,427	3	4-5
Jasenie	48,863	19,447	3	4-5
Podbrezová	48,815	19,522	1	4-5
Lopej	48,818	19,496	6	4
Nemecká	48,812	19,435	6	4
Ráztoka	48,821	19,403	3	4
Pohronský Bukovec	48,835	19,379	1	pozorované

Do katalógu makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenskej republiky vstupujú pre rok 2021 nasledujúce parametre:

DÁTUM			ČAS [UTC]			HYPOCENTRUM			M_L	I_0	LOKALITA
rok	mes	deň	hod	min	sek	[°N]	[°E]	h [km]			
2021	01	06	17	01	43,9	45,43	16,21	8	4,9	3*	Chorvátsko
2021	01	28	08	16	44,3	48,66	18,70	3	3,2	3	Vtáčnik
2021	03	30	16	25	01,5	47,73	16,17	11	4,2	3*	Rakúsko
2021	04	19	22	57	12,1	47,72	16,19	12	4,1	4*	Rakúsko
2021	08	29	21	57	30,2	47,77	18,18	0	2,0	3	Komárno
2021	10	06	04	06	30,2	48,42	17,13	0	2,0	3	Záhorie
2021	10	13	01	02	14,2	48,81	19,45	0	1,8	5	Horehronie

* ... najvyššia makroseizmická intenzita zemetrasenia dosiahnutá na území Slovenska



Obr. 49 Epicentrá makroseizmicky pozorovaných zemetrasení na území Slovenskej republiky v roku 2021. Na mape sú zobrazené len tie zemetrasenia, ktoré mali epicentrum na území Slovenska

5. LITERATÚRA

- Avramova-Tacheva, E., Vrablyansky, B. & Kostak, B., 1984: An attempt to detect recent movements along seismogenic faults. *Review of the Bulgarian Geological Society XLV (3)*, 276–288 (in Bulgarian).
- Bella, P., 2016: Jaskyne na Slovensku – genetické typy a morfológia. *Speleologia Slovaca*, 6, s. 15. Vyd. VERBUM – Katolícka univerzita Ružomberok.
- Bezák, V., (Ed.), Dublan, L., Hraško, Ľ., Konečný, V., Kováčik, M., Madarás, J., Plašienka, D. & Pristaš, J., 1999: Geologická mapa Slovenského rudohoria – záp. časť M 1:50 000. *Ministerstvo životného prostredia SR; Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava.*
- Biely, A. (Ed.), Beňuška, P., Bezák, V., Bujnovský, A., Halouzka, R., Ivanička, J., Kohút, M., Klinec, A., Lukáčik, E., Maglay, J., Miko, O., Pulec, M., Putiš, M. & Vozár, J., 1992: Geologická mapa Nízkych Tatier M 1:50 000. *Ministerstvo životného prostredia SR; Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava.*
- Borre, K., Cacoń, S., Cello, G., Kontny, B., Kostak, B., Andersen, H. Likke, Moratti, G., Piccardi, L., Stemberk, J., Tondi, E. & Vilimek, V. 2003: The COST project in Italy: analysis and monitoring of seismogenic faults in the Gargano and Norcia areas (central-southern Apennines, Italy). *Journal of Geodynamics*, 36, 3–18.
- Briestenský, M., Stemberk, J. & Petro, Ľ., 2007: Displacements registered around the 13 March 2006 Vrbové earthquake M=3.2 (Western Carpathians). *Geologica Carpathica*, 58, 487–493.
- Briestenský, M. & Stemberk, J., 2008: Micromovements monitoring in caves of western Slovakia. *Slovenský kras*, 46/25, 77–83 (in Slovak).
- Briestenský, M., Košťák, B., Stemberk, J., Petro, Ľ., Vozár, J. & Fojtíková, L., 2010: Active tectonic fault microdisplacement analyses: A comparison of results from surface and underground monitoring in Western Slovakia. *Acta Geodyn. Geomater.*, 4(160), 387 – 397.

- Briestenský, M., Stemberk, J., Michalík, J., Bella, P. & Rowberry, M.D., 2011: The use of a karstic cave system in a study of active tectonics: fault movements recorded at Driny Cave, Malé Karpaty Mts. (Slovakia), *J. Cave Karst Stud.*, 73, 114–123.
- Briestenský, M., Thinová, L., Praksová, R., Stemberk, J., Rowberry, M.D. & Knejflová, Z., 2014: Radon, carbon dioxide, and fault displacements in central Europe related to the Tōhoku Earthquake, *Radiat. Prot. Dosim.*, 160(1-3), 78–82.
- Briestenský, M., Hochmuth, Z., Littva, J., Hók, J., Dobrovič, R., Stemberk, J., Petro, Ľ. & Bella, P., 2018: Present-day stress orientation and tectonic pulses registered in the caves of the Slovenský kras Mts. (south-eastern Slovakia). *Acta Geodyn. Geomater.*, 15, 2(190), 93–103.
- Drakatos, G., Petro, Ľ., Ganas, A., Melis, N., Košťák, B., Kontny, B., Cacoń, S., & Stercz. M., 2005: Monitoring of strain accumulation along active faults in the Eastern Gulf of Corinth: Instruments and Network setup. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 2(137), 37–43.
- Droppa, A., 1957: Demänovské jaskyne. Krasové zjavy Demänovskej doliny. Vyd. SAV, Bratislava, 1–289 (in Slovak with German Summary).
- Droppa, A., 1972: Geomorfologické pomery Demänovskej doliny. *Slovenský kras*, 10, 9–46 (in Slovak with German Summary).
- Dvořák, P., Pospíšil, L., Hotovcová, J., Mojzeš, M. & Papčo, J., 2005: Geo-analýza horizontálnych pohybových tendencií na východnom Slovensku. *Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment*, 12, 9–22 (in Czech with English Abstract).
- Gosar, A., Šebela, S., Košťák, B. & Stemberk, J., 2009: Surface versus underground measurements of active tectonic displacements detected with TM 71 extensometers in Western Slovenia. *Acta Carsologica* 38, 213–226.
- Hók, J., Bielik, Kováč, P., & Šujan, M., 2000: Neotektonický charakter územia Slovenska. *Mineralia Slovaca, Bratislava*, 32, 459–470.
- Konečný, V., (Ed), Lexa, J., Halouzka, R., Dublan, L., Šimon, L., Stolár, M., Nagy, A., Polák, M., Vozár, J., Havrila, M., Pristaš, J., 1998: Geologická mapa Štiavnických vrchov a Pohronského Inovca (Štiavnický stratovulkán). *Ministerstvo životného prostredia SR; Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava*.
- Kontny, B., Cacoń, S., Košťák, B. & Stemberk, J., 2005: Methodic analysis of data obtained by monitoring micro-tectonic movements with TM71 crack gauges in the Polish Sudeten. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 3(139), 57–67.
- Kostak, B., 1969: A new device for in-situ movement detection and measurement. *Experimental Mechanics. SESA (American Society for Experimental Stress Analysis) Journal* 9, 374–379.
- Košťák, B., 1998: Evidence of active tectonic movements in the Krušné Hory Mts. (NW Bohemia). *Journal of the Czech Geological Society*, 43, 287–297.
- Košťák, B. & Rybář, J., 1978: Measurements of the activity of very slow slope movements. *Grundlagen u. Anwendung d. Felsmechanik. Trans Tech. Publ., Clausthal*, 191–205.
- Kostak, B. & Cruden, D.M., 1990: The Moire´ crack gauges on the crown of the Frank Slide. *Canadian Geotechnical Journal*, 27, 835–840.
- Kostak, B., Vilimek, V. & Zapata, M.L., 2002: Registration of microdisplacements at a Cordillera Blanca fault scarp. *Acta Montana, IRSM ASCR, Ser. A 19 (123)*, 61–74.
- Maglay, J. (Ed.), Halouzka, R., Baňacký, V., Pristaš, J., Janočko, J., 1999: Neotektonická mapa Slovenska 1:500 000. Vyd. MŽP SR a Geologická služba SR, Bratislava.
- Mojzeš, M. et al., 2015: Národné centrum diagnostikovania deformácií zemského povrchu na území Slovenska. *Zborník príspevkov na medzinárodnom sympóziu Geodetické základy a geodynamika 2015*, Kočovce, ISBN 978-80-227-4466-9.

- Nemčok, M., Konečný, P. & Lexa, O., 2000: Calculations of tectonic, magmatic and residual stress in the Štiavica stratovolcano, Western Carpathians: implications for mineral precipitation paths. *Geologica Carpathica*, 51, 19–36.
- Ondrášik, R., Hovorka, D. & Matejček, A., 1987: Prejavy muránsko-divínskej poruchovej zóny vo veporickom kryštaliniku v štôlni PVE Ipeľ. *Mineralia Slovaca* 19, 29–44.
- Petro, Ľ., Košťák, B., Polaščinová, E., & Spišák, Z., 1999: Monitoring blokových pohybov v Slanských vrchoch. *Mineralia Slovaca*, 31, 549–554 (in Slovak with English summary).
- Petro, Ľ., Vlčko, J., Ondrášik, R. & Polaščinová, E., 2004: Recent tectonics and slope failures in the Western Carpathians. *Engineering Geology*, 74, 103–112.
- Polák, M., Jacko, S. (Eds.), Vozár, J., Vozárová, A., Gross, P., Harčár, J., Sasvári, T., Zacharov, M., Baláž, B., Kaličiak, M., Karoli, S., Nagy, A., Buček, S., Maglay, J., Spišák, Z., Žec, B., Filo, I., Janočko, J., 1996. Geologická mapa Braniska a Čiernej hory 1:50 000. Vyd. Geologická služba SR, Bratislava.
- Pospíšil, L., Nemčok, J., Graniczny, M. & Doktor, S., 1986: Príspevek metod dálkového průzkumu k identifikaci zlomů s horizontálním posunem v oblasti Západných Karpat. *Mineralia Slovaca*, 18, 385–402.
- Pospíšil, L., Bezák, V., Nemčok, J., Feranec, J., Vass, D. & Obernauer, D., 1989: Muránsky tektonický systém – významný príklad horizontálnych posunov v Západných Karpatoch. *Mineralia Slovaca*, 21, 305–322.
- Stemberk, J., Košťák, B., 2007: 3-D trend of aseismic creep along active faults in western part of the Gulf of Corinth, Greece. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 4 (145), 53–65.
- Stemberk, J., Briestenský, M., Cacoń, S., 2015: The recognition of transient compressional fault slow-slip along the northern shore of Hornsund Fjord, SW Spitsbergen, Svalbard. *Polish Polar Research*, 2, 36, 109-123.
- Stepančíková, P., Stemberk, J., Vilímek, V., Košťák, B., 2008: Neotectonic development of drainage network in the East Sudeten and monitoring of recent displacements on tectonic structures (Czech Republic). *Geomorphology*, 102, 68–80.
- Šebela, S., Gosar, A., Košťák, B. & Stemberk, J., 2005: Active tectonic structures in the W part of Slovenia – setting of micro-deformation monitoring. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 2 (137), 45–57.
- Stercz, M., 2021: MSDilat V3.1 – aplikácia na vyhodnocovanie 3D meraní dilatometrom TM-71 programovaná v jazyku Delphi pre platformu MS Windows.
- Vlčko, J., 2002: Monitoring – an effective tool in safeguarding the historic structures. In: Sassa, K. (Ed.), Proc. of the Inter. Symp. on Landslide Risk Mitigation and Protection of Cultural & Natural Heritage, Kyoto, Japan. *Publ. UNESCO/Kyoto Univ. Press*, 267–278.
- Vlčko, J., 2004: Extremely slow slope movements influencing the stability of Spis Castle, UNESCO site. *Landslides*, 1-1, 67–71.
- Vlčko, J., Petro, Ľ., 2002: Monitoring of subgrade movements beneath historic structures. In: J.L. van Roy & C.A. Jermy (Eds.) „Proc. of 9th Int. Congress IAEG”, Durban, South Africa, (CD-ROM), 1432-1437.
- Vlčko, J., Greif, V., Gróf, V., Jezný, M., Petro, Ľ., Brček, M., 2009: Rock displacement and thermal expansion at historic heritage sites in Slovakia. *Environmental Geology*, 58, 1727–1740.

Internetové zdroje:

EPN – http://www.epncb.oma.be/_networkdata/stationmaps.php.

EPN – <http://www.epncb.oma.be/productsservices/timeseries/>

EPN – <http://www.epncb.oma.be/productsservices/coordinates/>

EPN –

http://www.epncb.oma.be/productsservices/coordinates/pdf/ETRF_Monitoring_Firenze_Brockmann.pdf