

# VYUŽITÍ GNSS METOD PŘI MAPOVÁNÍ REGIONÁLNÍCH TEKTONICKÝCH STRUKTUR

## USE OF GNSS METHODS IN MAPPING REGIONAL TECTONIC STRUCTURES

Otakar Švábenský\*<sup>1</sup>, Lubomil Pospíšil<sup>1,2</sup>

\*svabensky.o@fce.vutbr.cz

<sup>1</sup> Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie, Veveří 331/95, 602 00 Brno, ČR

<sup>2</sup> VŠB-TU Ostrava, Katedra geodézie a důlního měřictví, Hornicko-geologická fakulta, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, ČR

### Abstrakt

Referát se věnuje analýze a interpretaci geovědních dat z území v okolí zlomového systému Rodl-Kaplice-Blanice (RKB). Systém RKB, který je aktivní od proterozoika, se v geologických a geofyzikálních mapách projevuje jako významné rozhraní. Podle výskytů ohnisek zemětřesení jde v jižní (střední) části i o seismicky aktivní zónu. Pro posouzení možné recentní aktivity byla využita data DPZ, GNSS, geofyzikální a geomorfologická, s hlavním výstupem ve formě recentně-kinematického modelu. Výsledky ukazují, že bloky na opačných stranách RKB vykazují diametrálně odlišné, protisměrné horizontální pohybové tendence, jejichž intenzita směrem k systému jihočeských křídovo-terciérních pánví narůstá.

### Abstract

The article is devoted to the analysis and interpretation of geoscientific data in the area around the Rodl-Kaplice-Blanice (RKB) fault system. The RKB system, which has been active since the Proterozoic, appears as a significant interface in geological and geophysical maps. According to the occurrences of earthquake foci, the southern (central) part is also a seismically active zone. DPZ, GNSS, geophysical and geomorphological data were used to assess possible recent activity, with the main output in the form of a recent-kinematic model. The results show that the blocks on opposite sides of the RKB show diametrically different, opposite horizontal movement tendencies, the intensity of which increases towards the system of the South Bohemian Cretaceous-Tertiary basins.

### Klíčová slova

RKB zlomový systém, GNSS, geodynamika, geofyzika, geomorfologie

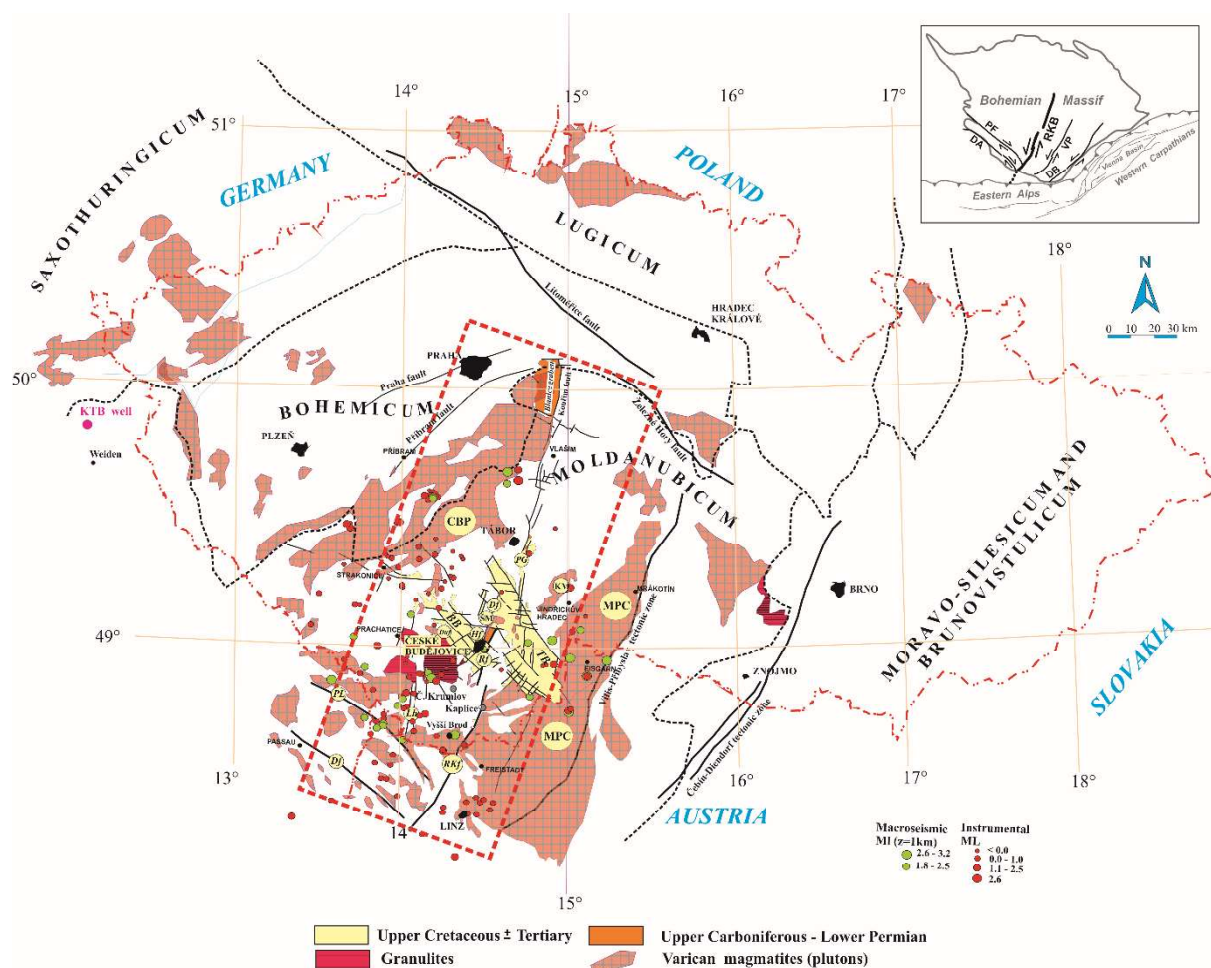
### Keywords

RKB shear zone, GNSS, geodynamics, geophysics, geomorphology

## 1 Úvod

Český masiv ve východoevropských variscidách se vyznačuje složitou mozaikovou tektonickou stavbou složenou z bloků různého řádu, velikosti, stáří a významu. Kůra zde obsahuje řadu hluboce uložených poruchových systémů oddělujících její různé segmenty.

V současnosti RKB zlomový systém nepatří mezi významné seismicky aktivní struktury [3], [4]. Avšak podél zlomového systému se kromě výsledků souvisejících s GNSS vyskytuje několik dalších náznaků nedávné tektonické aktivity. Střední část RKB systému navíc probíhá v blízkosti (<20 km) Jaderné elektrárny Temelín, která je významnou součástí české energetické infrastruktury. I s ohledem na tyto skutečnosti se jeví jako užitečněji studovat recentní pohybové chování tohoto zlomového systému.



Obr. 1 Průběh rozsáhlého zlomového systému Rodl-Kaplice-Blanice (RKB) v rámci Českého masivu doplňují hlavní tektonické systémy a zjištěná ohniska zemětřesení [5]. PL – Pfahlská linie; CBP – Středočeský plutonický komplex; MPC – Moldanubický pluton; KM – Klenovský masív; ŠM – Ševětínský masív; RKf – zlom Rodl-Kaplice; Rf – Rudolfovský zlom; Df – Drahotěšický zlom; Bf – Blanický zlom; Kf – Kouřimský zlom; Lhf – Lhenický zlom; Ksf – Karlstiftský zlom; Hf – zlom Hluboká; Sf – Stropnický zlom; BB – Budějovická pánev and TB – Třeboňská pánev, obě jsou součástí Jihočeských pánví. KTB – super hluboký vrt (až do 9,101 km) odvrtný v rámci German Continental Deep Drilling Programme.

## 2 Data a jejich zpracování

V rámci našeho zkoumání jsme provedli prostorové srovnání a primární interpretaci hlavních odpovídajících poznatků, které poskytuje geologie (rozložení horninových typů a zlomů), geofyzika (hlavní fyzikální pole, regionální seismický vzorec), geomorfologie (mladé topografické útvary) a geodézie (povrchové kinematické tendence - jak recentní vertikální pohyby z velmi přesných opakovaných výškových měření, tak horizontální pohyby jako vektory rychlosti odvozené z GNSS), některé založené na nových datech. Takto komplexní pohled může lépe objasnit geodynamický režim soustředěného zlomového systému. V souvislosti s geologickou stavbou jsme regionálně zpracovali a vyhodnotili datové soubory v rámci pásu podél systému RKB mezi středočeskou a jihočeskou částí Moldanubického plutonu, tj. cca 200×80 km rozsáhlé studijní oblasti (Obr. 1). Přestože RKB systém zasahuje v Rakousku až k Dunaji, výzkum jsme zaměřili na území ČR, protože je zde k dispozici více dat. V tomto referátu se věnujeme převážně analýze GNSS dat.

### 2.1 GNSS data

Pro hodnocené období 2005–2021 byla použita pouze GPS data. Do analýzy tendencí recentních horizontálních pohybů byla zahrnuta data permanentních stanic GNSS sítí EPN, CZEPOS, Trimble VRS Now, VESOG, GEONAS a TopNET nacházející se v širší oblasti RKB zlomového systému. Základní informace o použitých GNSS datech jsou v Tab. 1.

Tab. 1 GNSS data použita v analýze recentních horizontálních pohybů.

stanice	sít'	rozpětí dat (r)	přijímač	anténa	kryt
CBUD	CZEPOS	8	Leica GR30	LEIAR25.R4	LEIT
CJHR	CZEPOS	6	Leica GR30	LEIAR25.R4	LEIT
CKAP	CZEPOS	7,5	Leica GRX1200	LEIAR25.R4	LEIS
CPRI	CZEPOS	12	Leica GR30	LEIAR25.R4	LEIT
CPRA	CZEPOS	13	Leica GR30	LEIAR25.R4	LEIT
CPRG	CZEPOS	12	Leica GR30	LEIAR25.R4	LEIT
CZBO	VRS Now	11	Trimble NETR9	TRM55971.00	-
CZKO	VRS Now	11	Trimble NETR9	TRM55971.00	-
CZPR	VRS Now	11	Trimble NETR9	TRM55971.00	-
CZSL	VRS Now	10	Trimble NETR9	TRM55971.00	-
CZST	VRS Now	10	Trimble NETR9	TRM55971.00	-
CZUS	VRS Now	11	Trimble NETR9	TRM55971.00	-
PLZN	VESOG	6	Trimble NETR9	TRM59900.00	SCIS
TBEN	TopNET	12	TPS NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
TCBU	TopNET	11	TPS NETG3	TPSCR3_GGD	CONE
TMIL	TopNET	11	TPS NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
TRYN	TopNET	11	TPS NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
TSUS	TopNET	11	TPS NET-G3A	TPSCR.G3	TPSH
VACO	GEONAS	11	TPS NETG3	ASH701946.2	SNOW

Objem zpracovávaných dat zahrnoval v každém roce dva po sobě jdoucí dny (2 x 24 hodin) na jaře a také v podzimním období, které jsme měli k dispozici pro dostupné části příslušného časového rozpětí. Data byla početně zpracována po jednotlivých dnech s využitím přesných efemerid CODE. Souřadnicové řešení každého dne v referenčním systému ITRF14 (IGS14) bylo získáno propojením na fiduciální stanice WTZR, GOPE (sít' IGS) a CLIB, CPAR, CTAB, LINZ, POUS (sít' EPN) minimálně vázaným vyrovnáním. Použili jsme vědecký software BSW 5.2 [2] a podpůrné produkty reprocessingu CODE (REPRO 2015).

Pro získání úvodní informace o trendech recentních horizontálních pohybů ve zkoumaném regionu byly regresní analýzou odhadnuty lineární tendence změn délek vektorů mezi stanicemi. Následně byly z časových řad výsledků jednotlivých dnů určeny složky vektorů rychlostí horizontálního posunu jednotlivých stanic redukované o průměrný pohyb Eurasijské tektonické desky [1]. Odhadnuté parametry (složky a vektory rychlosti) jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2 Horizontální pohyby permanentních GNSS stanic.

stanice	V <sub>N</sub> (mm/r)	V <sub>E</sub> (mm/r)	A (deg)	v (mm/r)	σ <sub>v</sub> (mm/r)
CBUD	0,4	0	4,97	0,4	0,2
CJHR	0,4	0	4,03	0,4	0,3
CKAP	0,1	0,3	14,29	0,3	0,4
CPRI	0	0,3	86,90	0,3	0,2
CPRA	-0,2	-0,4	243,54	0,4	0,2
CPRG	0,2	0,2	42,88	0,3	0,1
CZBO	-0,2	-0,2	221,49	0,3	0,3
CZKO	0,4	-0,8	-60,94	0,9	0,2
CZPR	0,1	0,3	82,17	0,4	0,2
CZSL	0,4	-1,0	-65,94	1,0	0,2
CZST	1,2	0,2	8,31	1,2	0,3
CZUS	-0,2	0,3	123,26	0,3	0,2
PLZN	0,4	-0,1	-13,48	0,5	0,3
TBEN	-0,2	-0,1	222,56	0,2	0,3
TCBU	0,2	-0,1	-22,72	0,2	0,2

TMIL	0,5	-0,4	-35,53	0,6	0,2
TRYN	1,5	1,0	33,47	1,9	0,4

### 3 Výsledky

Výsledky analýzy a interpretace dat ukázaly, že na základě získaných multidisciplinárních informací došlo v nedávné době k reaktivaci velkorozměrové RKB jako struktury variského střížného systému: do ~1 mm horizontálně (pohyb sinistrální; Obr. 2). Zlomový systém byl rozdělen do tří částí různé tektonické stavby a kinematického charakteru. Horizontální pohyby jsou největší v jeho jižní části (rodlickaplický zlom, rudolfovský zlom, drahotěšický zlom), přičemž patrná vertikální diferenciacce probíhá převážně podél blanického a kouřimského zlomu v rámci blanického žlabu, v jeho severní části. Směrem na sever je dynamika RKB postupně potlačována aktuálními pohyby v příčném labském smykovém pásmu. Kinematické vektory některých bodů GNSS v oblasti jihočeských pánví (střední část RKB) se výrazně liší od subparalelních trendů podél samotného zlomového systému. Ukazuje na nepodobnou pokračující aktivitu v rámci této důležité příčné tektonické struktury, která do značné míry porušuje RKB v mělké úrovni kůry, včetně tvorby několika SZ–JV orientovaných grabenů v transtenzním režimu [6].

V blízkosti RKB se vyskytují pouze vzácná zemětřesení, mnohem více otřesů bylo zaznamenáno v oblasti směrem na západ. Kromě některých zlomů jihočeských pánví a dalších puklin souvisely se zlomem lhenickým. Na základě nejnovějších poznatků může mít posledně jmenovaná RKB-subparalelní ruptura podobnou strukturní pozici jako RKB s ohledem na předpokládanou generaci obou zlomových systémů ve spodní části variské úrovně (hloubka ~10–12 km). Významné hlubinné zlomové systémy v oblasti RKB se tedy zdají být vázány na podloží variské části kůry, obdobně jako jiné podobné tektonické jevy v Českém masivu.

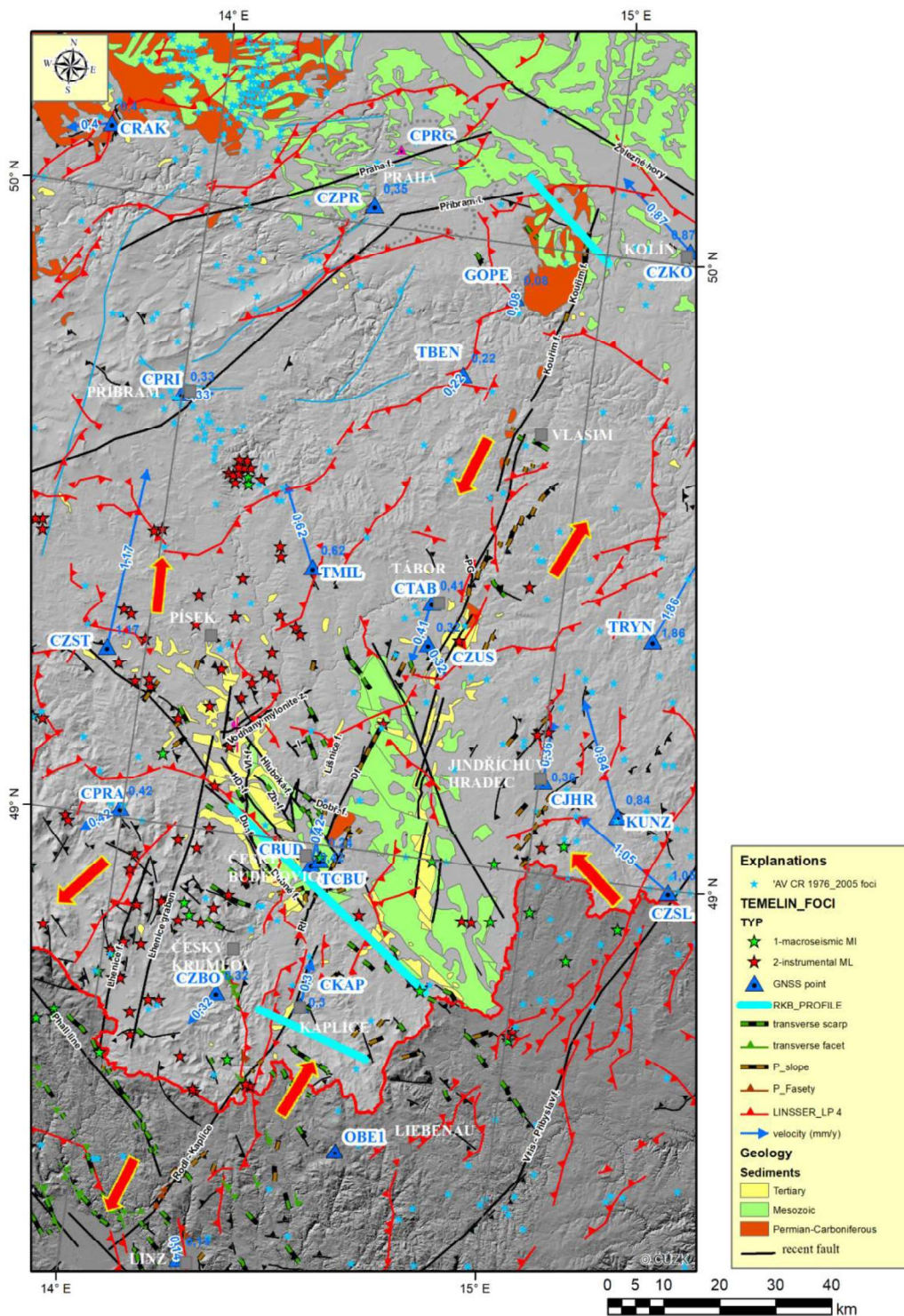
Předložená geodynamická analýza přispívá k sledování bezpečnostních rizik spojených s pohyby v okolí RKB. Studie dokládá, že zařízení se nachází v části s relativně pomalými pohyby a případnými deformacemi svrchní části zemské kůry. Trvalé bezpečnostní monitorování přírodních rizik v jaderné elektrárně však vynechalo vyhodnocování dat GNSS. Tyto údaje jsou v současné době důležitými informacemi o aktivitě regionálního horizontálního pohybu a měly by být začleněny do hodnocení rizik základní národní infrastruktury.

### 4 Závěr

Komplexní zhodnocení RKB zlomového systému ukázalo, že využití geofyzikálních, geomorfologických a geodetických údajů je optimální pro vysledování míst s významnými aktivními pohybovými tendencemi (Obr. 2).

Jednoznačně o charakteru pohybu vypovídají vektory rychlostí. Opačné směry pohybů bloků na opačných stranách RKB tektonického systému jsou zaznamenány podél jižní části Rodl-Kaplice zlomu. Levostranné pohyby jsou prokázány až do prostoru Tábora. Na západní straně zlomu jde o méně výrazné rychlosti – do 0,5 mm/rok, ale východní bloky mají u Jindřichova Hradce rychlost 1 mm/rok. Podobný trend je možno pozorovat i v severním úseku, kde se však už začíná projevovat vliv příčného zlomového systému, navazujícího na labskou zónu. V obou částech se objevují výrazné hustotní kontrasty indikované Linsserovými vertikálními indikacemi, které korelují s probíhající tektonickou zónou. Nejsložitější je oblast jihočeských pánví, kde se charakter rychlostních vektorů mění. Mezi zlomy Dubné a Hluboké mají vektory směr k S, stejný, jaký je zjištěný na východ od RKB. Zde sice chybí dostatek stanic pro detailnější sledování pohybových tendencí, ale východní zlom lhenického grabenu, který tyto dva zlomy ukončuje, může mít důležitou roli z hlediska hlubšího podloží. Západně od něj se nachází dva body s odlišnými směry vektorů rychlostí. Vektor na bodu CPRA směřuje JZ, a bod severně od něj směřuje k S. Podle Linsserových hustotních rozhraní by se dalo uvažovat, že zlom Dubné pokračuje dále k SZ. Tomu by odpovídal i výskyt velkého množství ohnisek instrumentálně stanovených zemětřesení a nepřímo i zbytky terciérních sedimentů objevující se v geologických mapách. Většina těchto zemětřesení dosahuje do úrovně 10 km, hloubky předpokládané mocnosti variského patra. Poslední úvahy o zemětřeseních je nutno však dořešit.

Na základě těchto indikací lze konstatovat, že kinematický model „jihočeského segmentu“ bude vyžadovat situování dalších bodů GNSS a realizaci dalších geofyzikálních prací, které by umožnily jednoznačně určit strukturně-tektonický plán této relativně málo prozkoumané oblasti.



Obr. 2 Hlavní povrchové kinematické tendence v oblasti RKB [7].

## Literatura

- [1] ALTAMIMI, Z., MÉTIVIER, L., REBISCHUNG, P., ROUBY, H., COLLILIEUX, X., 2017. ITRF2014 plate motion model. *Geophysical Journal International*, Vol. 209, issue 3, 1906-1912. DOI: 10.1093/gji/ggx136..

- [2] DACH R., LUTZ, S., WALSER, P., FRIDEZ, P. (Eds.), 2018. *Bernese GPS Software Version 5.2. User Manual*. Astronomical Institute, University of Bern, Bern Open Publishing. DOI: 10.7892/boris.72297.
- [3] LENHARDT, W.A., ŠVANCARA, J., MELICHAR, P., PAZDÍRKOVÁ, J., HAVÍŘ, J., SÝKOROVÁ, Z., 2007. *Seismic activity of the Alpine–Carpathian–Bohemian Massif region with regard to geological and potential field data*. *Geologica Carpathica* 58, 397–412.
- [4] SCHENKOVÁ, Z., SCHENK, V., MANTLÍK, F., GRÁCOVÁ, M., 2007. *Regional geodynamic network HIGHLANDS, the Bohemian Massif*. *Acta Geodyn. Geomater.* 4, No 4 (148), 207–215.
- [5] ŠPAČEK, P., ŠTĚPANČÍKOVÁ, P., PRACHAŘ, I. (eds) (2022) *Faults of the Bohemian Massif – Source of Analytical Data on Main Faults and Faulted Areas with Seismogenic Potential*. Institute of Physics of the Earth, Masaryk University. <https://doi.org/10.48790/MWF4-SH44>
- [6] ŠPAČEK, P., VALENTA, J., TÁBOŘÍK, P., AMBROŽ, V., URBAN, M., ŠTĚPANČÍKOVÁ, P., 2017. *Fault slip versus slope deformations: experience from paleoseismic trenches in the region with low slip-rate faults and strong Pleistocene periglacial mass wasting (Bohemian Massif)*. *Quaternary Int* 451:56–73. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.05.006>
- [7] ROŠTÍNSKÝ, P., POSPÍŠIL, L., ŠVÁBENSKÝ, O., MELNYK, A., NOVÁKOVÁ, E., 2024. *Recent Reactivation of Variscan Tectonic Zones: A Case of Rodl-Kaplice-Blanice Fault System (Bohemian Massif, Austria – Czech Republic)*. *Survey in Geophysics* (v tisku).

Recenzováno: 17. 1. 2024