

## Upper crustal structure of the northern part of the Bohemian Massif in relation to geological, potential field data and new deep seismic data (Eger/Ohře Rift, Central Europe)

Zum Bau der oberen Erdkruste im Nordteil des Böhmisches Massivs (Eger/Ohře Graben, Mitteleuropa) – Erkenntnisse aus geologischen Aufnahmen, Potentialfelddaten und neuen tiefenseismischen Untersuchungen

Stavba svrchní kůry severní části Českého masívu z nových dat hlubinného seismického průzkumu (Eger/Ohře rift, Střední Evropa)

ZUZANA SKÁCELOVÁ (Jeseník), BEDŘICH MLČOCH (Prague), MIROSLAV NOVOTNÝ (Prague), JAN MRLINA (Prague)

**Key words:** upper crustal structure, Bohemian Massif, Eger/Ohře Rift, Saxothuringian Zone, Teplá-Barrandian Unit, Moldanubian Zone, S01 seismic profile, seismic velocity model, geology, digital model of the crystalline basement relief, gravity

### Abstract

The latest international seismic refraction experiment in the Central Europe SUDETES 2003 covered also the territory of the northern part of the Bohemian Massif. The profile S01 follows the SW–NE axis of the Eger/Ohře Rift in Northwestern Bohemia. The distinct first arrivals of Pg waves were used to derive a 2-D tomographic velocity model with an optimum lateral resolution. The innovative DRTG method (Depth-Recursive Tomography on Grid) was applied in iterative mode to minimize linearized errors of tomographic inversion. The iteration process yielded a fine-grid velocity model with a required level of RMS travel-time fit and the model roughness. The time residuals were assessed at single grid depth levels and used to derive the statistical lateral resolution of „lens-shaped” velocity anomalies: for the 95 % confidence level and 5 % anomalies, one can resolve their lateral sizes from 15 to 40 km at the depths from 0 to 20 km.

The DRTG velocity image helps to reveal the relationship of major geological units – Saxothuringian Zone, Teplá-Barrandian Unit (TBU) and Moldanubian Zone. The proposed geological interpretation of the S01 velocity model is also supported by the available aeromagnetic and gravity data. The main objectives are the structure and evolution of the upper crust (to the depth of 15 km) along the Eger/Ohře Rift. The presented geological model involves the results of the geological mapping and borehole survey.

### Zusammenfassung

Das internationale refraktions- und weitwinkelreflexionsseismische Projekt SUDETES 2003 überdeckte auch den nördlichen Teil des Böhmisches Massivs. Das Profil S01 verlief in SW–NE-Richtung entlang dem Eger-Rift. Die deutlichen Ersteinsätze von Pg-Wellen wurden verwendet, um das 2-D Geschwindigkeitsmodell mit der optimalen lateralen Auflösung abzuleiten. Die neue „DRTG“ Methode (Tiefe-rekursive Gittertomografie) wurde in mehreren Iterationsschritten angewendet, um die Linearisierungsfehler der tomografische Inversion zu minimieren. Das Iterationsverfahren ergab ein Feingittermodell mit verlangtem RMS-Laufzeitfehler und der Modellrauhigkeit. Die Laufzeitresiduen wurden in einzelnen Modelgittertiefen ausgewertet und dann dazu benutzt, die Tiefenabhängigkeit der statistischen lateralen Auflösung von „linsenförmigen“ Geschwindigkeitsanomalien abzuschätzen. Für das Vertrauensniveau von 95 % und Anomalien von 5 % Geschwindigkeitskontrast kann man lateral Körper von 15 bis 40 km in Tiefen bis 20 km auflösen.

Das DRTG-Geschwindigkeitsmodell hilft, die strukturelle Beziehung der geologischen Haupteinheiten – Saxothuringische Zone, Teplá-Barrandische Einheit (TBU) und Moldanubische Zone zu offenbaren. Die vorgeschlagene geologische Interpretation des S01 Geschwindigkeitsmodells wird auch durch die verfügbaren aeromagnetischen und gravimetrischen Daten unterstützt. Die Hauptziele dieses Beitrages sind die Struktur und Evolution der oberen Kruste (bis zur Tiefe von 15 km) entlang dem Eger/Ohře-Rift. Dafür werden zusätzlich die Daten von Bohrlöchern und geologischen Kartierungen herangezogen.

## Abstrakt

Mezinárodní projekt refrakčního seismického měření SUDETES 2003 ve střední Evropě pokrýl také severní oblast Českého masívu. Refrakční profil S01 prochází ve směru JZ–SV severozápadní částí České republiky, mezi Chebem a Českou Lípou. Jako vstupní data byly využity pouze časy příchodu Pg vln detekovaných na profilu ve zřetelných prvních nasazeních. K odvození tomografického 2-D rychlostního modelu s optimálním laterálním rozlišením byla inovována DRTG metoda, která v iteračním režimu minimalizuje linearizační chyby. Výsledný síťový rychlostní model pro optimální „hladkost“ vykazuje požadovanou úroveň shody vstupních a modelových časů. Časová rezidua vyhodnocená na jednotlivých síťových hloubkách byla použita k odvození hloubkové křivky statistického laterálního rozlišení protažených rychlostních anomálií: 5 % rychlostní anomálie mohou být rozlišeny s 95 % spolehlivostí, pokud jejich laterální rozměr dosahuje minimálně 15–40 km v hloubce 0–20 km.

Model získaný metodou DRTG napomohl odkrýt důležité vazby mezi hlavními geologickými jednotkami: saxothuringikem, teplesko-barrandienskou jednotkou a moldanubikem. Při geologické interpretaci byla kromě rychlostního modelu využita také data tíhového měření (Bouguerovy anomálie) a leteckého magnetického průzkumu. Interpretace se zaměřila na strukturu a vývoj svrchního patra zemské kůry v oherském riftu. Prezentovaný geologický model zahrnuje rovněž výsledky vrtného průzkumu a geologického mapování.

## 1. Introduction

The Eger/Ohře Rift is an important and frequently discussed geological structure as one of the areas known by recent earthquake swarm activity, moftetes, mineral water springs and CO<sub>2</sub> outgassing (e.g. BANKWITZ et al. 2003, FISCHER, T. & HORÁLEK, J. 2005, GEISSLER et al. 2005) in the NW part of the Bohemian Massif with the volcanic activity culminating in the Early Oligocene to Early Miocene (ca. 32–24 Ma) and consolidated during Early Oligocene to Late Miocene crustal extension (KOPECKÝ 1978, ZIEGLER 1994, ULRYCH et al. 1998, CAJZ et al. 2009). The Tertiary volcanism is concentrated in two volcanic complexes, in the Doupovské hory Mts. to the SW and the České středohoří Mts. to the NE. The rocks of the Teplá-Barrandian Unit (TBU) and the Saxothuringian Zone form the crystalline basement of the rift (MLČOCH 2003, MLČOCH & KONOPÁSEK 2010). The axis of the Eger/Ohře Rift coincides with the boundary between the Saxothuringian Zone and the TBU (FRANKE 2000), which is manifested also as the gravity gradient (BIELIK et al. 1994). The Žatec, Roudnice and Česká Kamenice basins with Carboniferous, Permian and Cretaceous sediments represent the post-Variscan extensional zones. The crystalline basement in these areas is known only from boreholes and xenoliths in the volcanic rocks.

The international refraction experiments in Central Europe CELEBRATION 2000, ALP 2002 and the latest SUDETES 2003 (GUTERCH et al. 2003) covered also the territory of the Eger/Ohře Rift. The first velocity models along the seismic profiles have been found by standard tomographic methods. The seismic profile S01 runs in

SW–NE direction in northwest Bohemia. It starts in SW close to Graefenberg in Germany, passes the KTB site ~5 km to NW, then follows the axis of the Eger/Ohře Rift (also Eger Graben), continues across the Labe (Elbe) Zone and terminates in the Trans-European Suture Zone (TESZ) on the Polish territory (Fig. 1). Analysing the previous results, we deliberately restricted ourselves to the refraction tomography based exclusively on the crustal refraction waves Pg in first arrivals. To fit adequately the Pg travel times on the S01 profile we used a fine-grid velocity model and the innovative depth-recursive tomography abbreviated further on as DRTG (Depth-Recursive Tomography on Grid). The DRTG method operates with a regular network of refraction rays allowing calculating the tomographic corrections in principle at all model grid nodes (NOVOTNÝ et al. 2009). The knowledge of lateral resolution is necessary for reliable geological interpretation. The sonic log velocities together with vertical seismic profiling at the KTB site (RABELL et al. 2004) enabled us another independent check of the DRTG tomography results and the predicted resolution power.

## 2. Geological overview

The northwestern part of the Bohemian Massif represents a significant suture zone between the Teplá-Barrandian Unit (TBU) and the Saxothuringian Zone. The geological and tectonic situation along S01 profile under sedimentary cover is depicted in Fig. 1. This regional contact (defined as Litoměřice Deep Fault by RÖHLICH & ŠŤOVIČKOVÁ 1968) is accompanied by mafic and ultramafic rocks, which build up the large-scale complexes – the Mariánské