

GEOFYZIKÁLNÍ VÝZKUM OKRAJOVÉHO SUDETSKÉHO ZLOMU

GEOPHYSICAL INVESTIGATION THE SUDETIC MARGINAL FAULT

Zuzana Skácelová¹ Bedřich Mlčoch² Blanka Levá³

Abstrakt

V rámci projektu České geologické služby „Rebilance zásob podzemních vod ve vybraných oblastech České republiky“ byla komplexem geofyzikálních metod proměřena lokalita Javorník ve Slezsku pro zjištění hydrogeologické funkce sudetského okrajového zlomu. Hlavními metodami byla geoelektrická odporová a seismická měření vhodně doplněná elektromagnetickou metodou. Tato vhodně zvolená metodika zajistila jednoznačné výsledky, které bylo možné využít pro sestavení strukturního geologického modelu podél zlomu, zjistit hloubku podloží krystalinika v sedimentární pánvi i litofaciální složení sedimentů.

Abstract

In the locality Javorník in Silesia the complex of the geophysical methods were used for the hydrogeological survey of the Sudetic Marginal Fault in the frame of the project „Groundwater balance in the selected area of the Czech Republic “ led by Czech Geological Survey. The principal methods were electrical (resistivity) and seismic survey suitably adds an electromagnetic method. This well-chosen methodology provides unambiguous results, which were used for the compilation of the structural geological model along the fault, specified the depth of the crystalline basement in the sedimentary basin and the lithology of the sediments.

Klíčová slova

Sudetský okrajový zlom, Javorník ve Slezsku, geofyzikální metody, geoelektrika, seismika, gravimetrie, hloubka podloží, javornická sedimentární pánev

Keywords

Sudetic Marginal Fault, Javorník in Silesia, geophysical methods, resistivity, seismic, gravity, depth of basements, Javorník Sedimentary Basin

1 Úvod

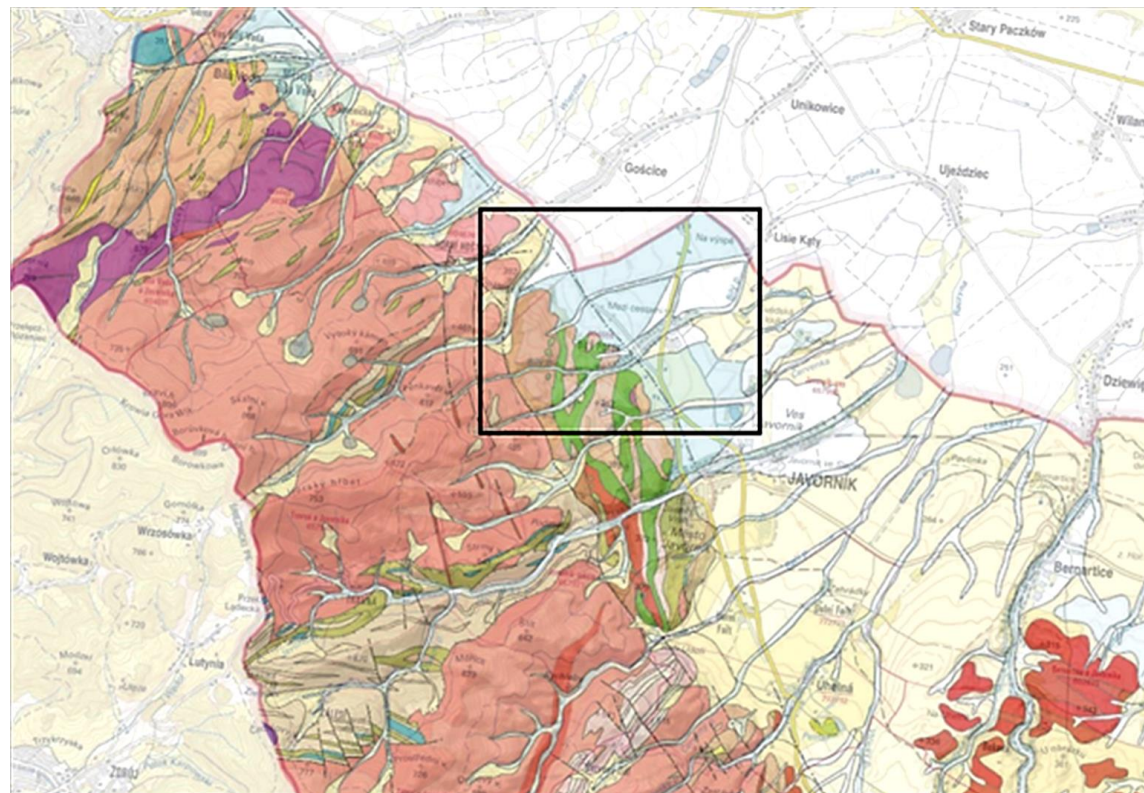
V hydrogeologického výzkumu vybraných HG rajónů České republiky (projekt Rebilance) v letech 2013 až 2015 bylo uskutečněno komplexní geofyzikální měření v severovýchodní části Českého masívu, v oblasti Javorníku ve Slezsku (obr. 1). Cílem geofyzikálního měření byla identifikace geologických struktur a jejich hranic se zřetelem na rozšíření významných kolektorů a izolátorů podzemních vod podél sudetského okrajového zlomu a jejich omezení.

Sudetský okrajový zlom (SOZ) patří k jedné z nejvýraznějších tektonických linií ve směru SZ-JV na severním okraji Českého masívu. Můžeme jej sledovat v délce okolo 250 km ve své jv. části se výrazně projevuje v geomorfologii současného reliéfu. Strmé sv. omezení Rychlebských hor mezi Žulovou a Javorníkem je podmíněno právě systémem paralelních zlomů s SOZ; převýšení 400 – 800 m. Výška skoku podél zlomu je však mnohem větší. Sedimenty, uložené na SV pokleslém bloku dosahují mocnosti řádově několika stovek metrů. V sedimentačním prostoru se střídají mocné akumulace fluvialních, deltových až jezerních neogenních sedimentů, kdy se střídají písčité až štěrkovité polohy s jílovitými; PECINA, V. et al. (2005). Sudetský okrajový zlom je také významnou linií, podél níž jsou popsány také rozsáhlé krasové projevy v karbonátových horninách paleozoického stáří SKÁCEL, J. (2004). Povrchové výskyty představují především jeskyně „Na Pomezí“, krasové jevy ve Vápenné a ponorný tok Ztraceného potoka u Lesní čtvrti a Polky jako nejsevernější lokality ve skupině Branné. V minulosti byl geofyzikální průzkum v této oblasti soustředěn především na lokální měření v okolí těžby kamene případně na zjištění hloubky krystalického podloží sedimentárních pánví mezi Javorníkem a Vidnavou (javornická a vidnavská pánev). Nový komplexní geofyzikální průzkum umožnil přesné stanovení pozice okrajového sudetského zlomu, výšku skoku, hloubku a charakter sedimentů uložených v depresi podél svahu Rychlebských hor mezi Javorníkem ve Slezsku a polskou hranicí.

2 Geologická charakteristika

Na vývoji geologických jednotek krystalinika v oblasti Javorníku ve Slezsku se podílely především sedimentační a orogenní (metamorfnní a magmatické) procesy předvariské, zejména však procesy variské; PECINA, V. et al. (2005). Po dlouhém období klidu, při němž docházelo především ke zvětrávání a erozi celé oblasti, došlo až v neogénu k obnovení tektonické aktivity a sedimentační činnosti, která později pokračovala během celého kvartéru zejména v souvislosti s kontinentálním zaledněním.

V době, kdy došlo v západních Karpatech k prvním pohybům alpinského vrásnění, tj. koncem mezozoika se obnovily zejména zlomy sudetského směru (SZ–JV), které pak dotvářely morfologii terénu. Sudetský okrajový zlom představuje systém vzájemně se zastupujících paralelních zlomů, které se velmi významně uplatňují v morfologii reliéfu, SKÁCEL, J. (1989). Podle geologického mapování se v úseku



Obr. 1 Geologická situace v oblasti geofyzikálního měření

mezi Javorníkem a polskou hranicí nacházejí dva zlomy vzdálené od sebe cca 1,5 km a podmiňující vznik úpatního stupně, IVAN, A. (1972). Předpokládaný vnější zlom by měl probíhat přibližně v linii Bílá Voda – Bílý Potok SKÁCEL, J. (1989). Vymezuje jižní okraj neogenní pánve mezi Otmuchowem a Nysou, nejjižnější výskyty představuje deprese u Uhelné. Během spodního až středního miocénu docházelo k postupnému vyplňování několika jezer a říčních koryt přinášejících materiál do jezerních systémů. Sedimenty se nacházejí podél podhůří Rychlebských hor.

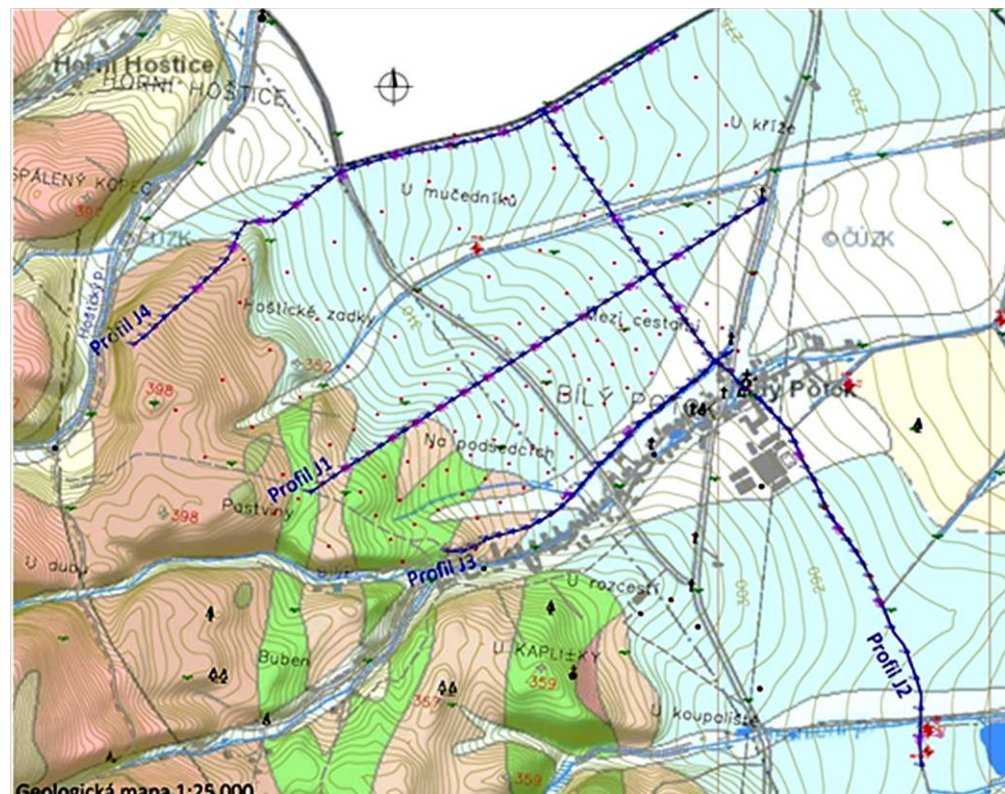
Mocnost sedimentů byla ověřena vrtným průzkumem, severně od Javorníku přes 300 m (vrt U-2). V okolí Javorníka a Uhelné převažovala sladkovodní pánevní sedimentace v převážně jezerním prostředí. Několik stovek mocné akumulace fluviálních, deltových až jezerních sedimentů jsou řazeny do časového rozmezí karpát až spodní baden. V jezerním prostředí se střídaly jíly a silty s fluviálními a deltovými polohami písků až štěrků PECINA, V. et al. (2005). V javornické pánvi byly vrty v podloží sedimentů zastiženy paleozoické karbonátové horniny, které mají dostatečnou mocnost, aby se v nich mohly vyvinout krasové jevy, SKÁCEL, J. (2004).

Nejvýznamnější událostí pro současnou tvářnost reliéfu a kvartérních sedimentů v širším okolí byl zásah kontinentálního ledovce, který sem postoupil od severu z území Polska. Mocné akumulace svahovin jsou vázány na úpatí Rychlebských hor do prostoru mezi Žulovou a Javorníkem, kde překrývají neogenní sedimenty, mocnosti těchto deluviálních hlinitokamenitých akumulací se nejčastěji pohybují mezi 2 a 5 m, výjimečně dosahují mocností 8 – 9 m; PECINA, V. et al. (2005).

3 Metodika měření

Geofyzikální měření bylo v terénu realizováno na 4 liniových profilech (obr. 2), vybrané metody (gravimetrie, VES) i na doplňujících diskrétních bodech. Danými metodami bylo v liniích profilů měřeno na bodech s konstantní vzdáleností (krok měření byl přizpůsoben daným metodám). Profily byly vedeny tak, aby protínaly sledované geologické struktury přibližně kolmo, dle možností daných charakterem terénu (prudké svahy, komunikace, zástavba, vodní plochy a toky, elektrické a jiné rušivé zdroje apod.).

Zaměření pozice bodů bylo provedeno stanicí GPS Trimble Geoexplorer Geo7X s udávanou přesností kolem ± 1 m v otevřeném prostoru, se zaznamenáním charakteristických topografických bodů, které jsou jednoznačně ztotožněny v mapě i v terénu. Body měřené



Obr. 2 Pozice profilů geofyzikálního měření

The figure displays three geophysical profiles derived from the J1 borehole data, showing resistivity variations across a distance of 0 to 1800 meters.

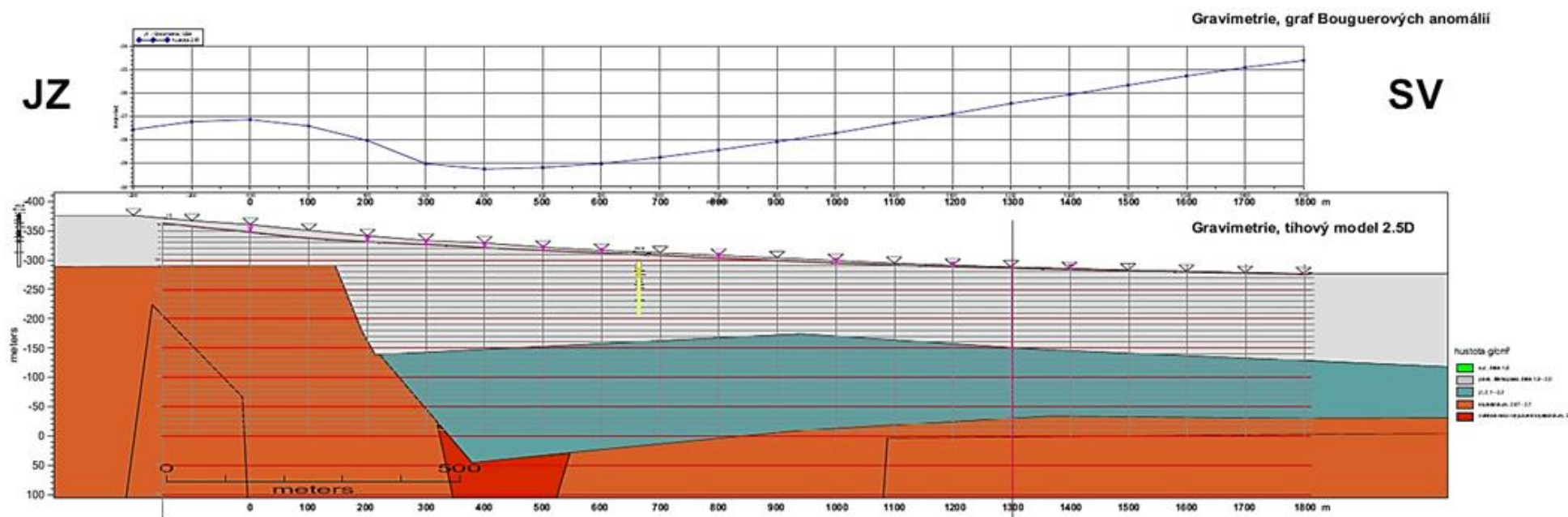
- Top Profile: Dipólové odporové profilování (Dipole-dipole resistivity profile).** This profile shows resistivity (in Ohm-m) on the y-axis (ranging from 10 to 100) against distance (in meters) on the x-axis (ranging from 0 to 1800). A dashed line represents the theoretical resistivity, and a solid line represents the measured resistivity. A vertical line at approximately 1300 meters is labeled "X J2/1450".
- Middle Profile: Multielektroodové odporové sondování (Multi-electrode resistivity profile).** This profile shows resistivity (in Ohm-m) on the y-axis (ranging from 10 to 100) against distance (in meters) on the x-axis (ranging from -100 to 1600). The profile is color-coded according to a legend: blue for resistivity < 10, green for 10-20, yellow for 20-50, orange for 50-100, and red for > 100. A vertical line at approximately 1300 meters is labeled "X J2/1450".
- Bottom Profile: Vertikální elektrické sondování - interpretační model (Vertical electrical sounding - interpretation model).** This profile shows resistivity (in Ohm-m) on the y-axis (ranging from 10 to 100) against distance (in meters) on the x-axis (ranging from 0 to 1600). The profile is color-coded according to a legend: blue for resistivity < 10, green for 10-20, yellow for 20-50, orange for 50-100, and red for > 100. The profile shows a clear vertical structure with resistivity increasing with depth. A vertical line at approximately 1300 meters is labeled "X J2/1450".

- 38 -

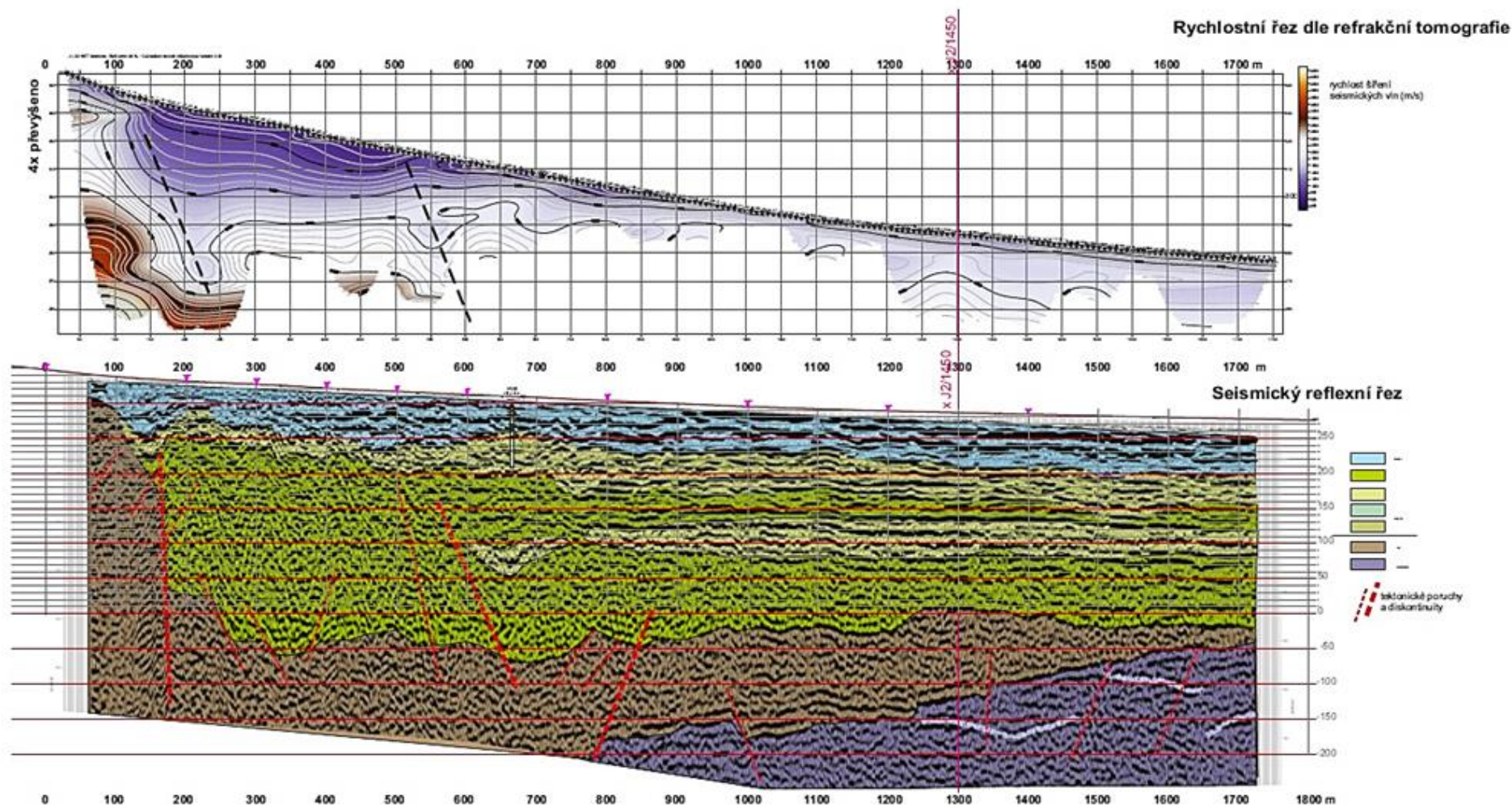
v místech s terénními překážkami. Řazením bodů VES podél profilu byly sestaveny 2D geoelektrické odporové řezy měřenými profily. Metodou ERT bylo na lokalitě Javorník měřeno Schlumbergerovým uspořádáním elektrod, vhodným pro vyhledávání vodivých struktur i kontaktů hornin a sledování průběhu subhorizontálních rozhraní. Rozestup elektrod byl 5 m, maximální rozsah proudových elektrod AB, na kterém je závislý hloubkový dosah metody, byl až 395 m. Výsledkem je spojitý odporový modelový řez, ve kterém byly použity výsledné odporové modely šesté iterace. Viz obr. 3.

Profilová gravimetrická měření byla provedena obvykle s krokem 100 m, místy se zahuštěním na 50 m, či naopak. K měření byl použit gravimetr Scintrex CG-3M firmy Scintrex. Tíhová měření byla navázána na státní gravimetrickou síť, na nejbližší bod základního tíhového pole. Gravimetrická data byla zpracována do formy profilového grafu úplných Bouguerových anomálií, tj. s využitím všech obvyklých korekcí, včetně vlivu terénu. Hodnota redukční hustoty byla volena $2,67 \text{ g/cm}^3$. Křivky úplné Bouguerovy anomálie byly interpretovány kvalitativně pro lokalizaci poruchových zón a kvantitativně pro sestavení ideového tíhového 2.5 D modelu. Viz obr. 4.

Seismická měření (obr.5) byla prováděna současně ve variantě reflexní seismiky a povrchové refrakční tomografie. Reflexní průzkum byl proveden v modifikaci SSB, kdy je ke zvýšení poměru signálu a šumu využito sumování přepočtených záznamů se společným středovým bodem. Konfigurace měření byla volena tak, aby bylo při daném počtu kanálů dosaženo 12-násobného překrytí, a aby v seismických záznamech byly odražené vlny zájmových hloubek registrovány v oblasti bez seismického šumu.



Obr. 4 Výsledek gravimetrického modelování na profilu J1



Obr. 5 Výsledky seismických měření na profilu J1

Měření bylo prováděno dvojicí 24-kanálových synchronizovaných seismických aparatur Geometrics StrataView R24 a TERRALOC Mk6. Snímače SM-11 byly rozmístěny v linii měřeného profilu s pravidelným krokem 4 m. Zdrojem seismické energie byl volný pád 50 kg břemene z výšky 2 m a údery pneumatically urychleného závaží do ocelové podložky. Výsledky reflexní seismiky jsou předkládány ve formě hloubkových řezů pořízených na základě rychlostní analýzy. Metodou povrchové refrakční tomografie byla vyhodnocena data pořízená současně s reflexní částí průzkumu. Získaný model sledovaného prostředí je předkládán v podobě tzv. rychlostního řezu.

4 Výsledky měření

V proměřované oblasti mezi Javorníkem ve Slezsku a polskou hranicí (Bílý Potok) byly především sledovány zlomové struktury tvořící západní hraničení javornické neogenní sedimentační pánve. Pozornost byla soustředěna na průběh a strukturu sudetského zlomu, resp. jedné, či více jeho doprovodných větví. Současně bylo cílem prací stanovení mocnosti a charakter sedimentů v místech, kde horniny krystalinika jsou zaklesnuty podél tektonické struktury tvořící součást sudetského zlomového systému. Na nejseverněji vedeném profilu J4 se hlavní zlomová struktura projevila v okolí staničení 700 m s hlavním vertikálním poklesem o 300 m a na staničení 900 m s dalším dílčím poklesem více než 20 m. Na jižněji situovaném profilu J1 se zlomový systém projevil s hlavním poklesem o 330 m na staničení 150 m; doprovodný posun na staničení činil 320 m s postupnými poklesy severovýchodních bloků oproti jihozápadním o 60 m.

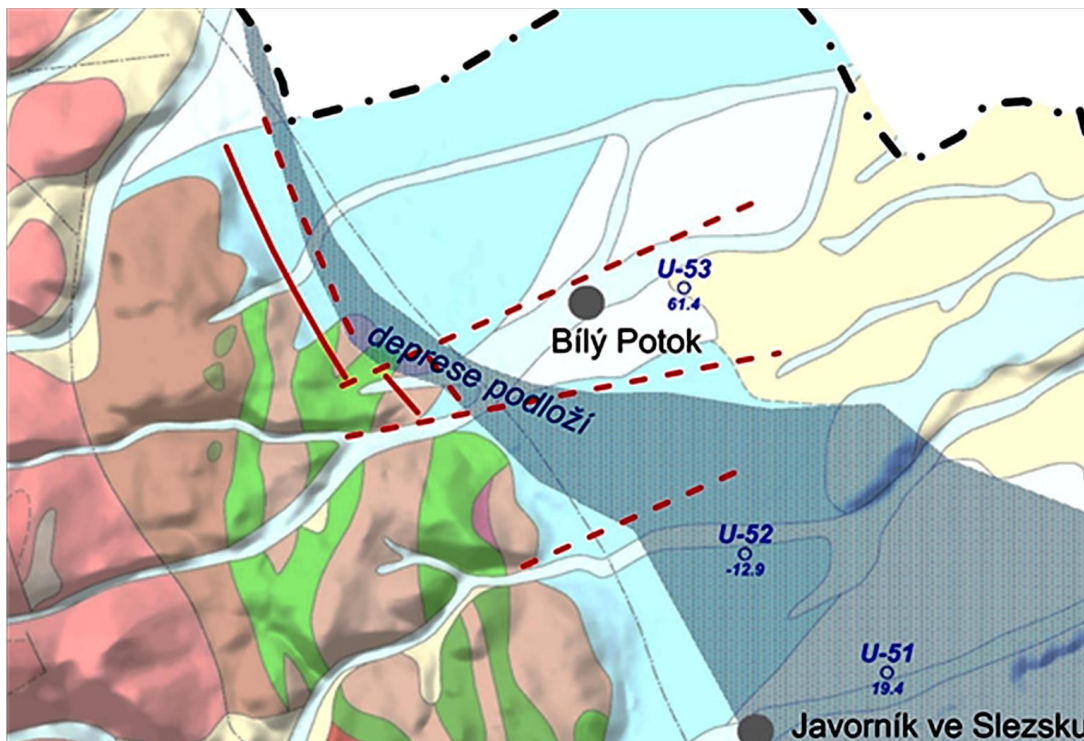
Obdobnou strukturu vykazuje i zlomový systém v potenciálním jihovýchodním pokračování interpretovaný na profilu J3 v intervalu staničení 100 až 300 m, vertikální posuny však zde nedosahují takového rozsahu (vertikální posuny 60 a 170 m), jako na severněji vedených profilech. Vzhledem k tomu, že pokles na profilu J3 nevykazuje takový rozsah, jako na severozápadněji vedených profilech, lze předpokládat existenci příčné tektoniky mezi profily J1 a J3. Zjištěná tektonika postihuje výhradně podložní proterozoické metamorfity. Tato hlavní interpretovaná zlomová struktura je doprovázena depresí v reliéfu proterozoického podloží na úroveň okolo 0 m n. m., projevující se minimem i v mapě úplných Bouguerových anomálií. Horniny byly v blízkosti tektonických struktur v geofyzikálních řezech interpretovány a modelovány jako výrazně porušené a zvětřelé. Takto postižené horniny se v geofyzikálních parametrech projevují nižšími měrnými odpory, nižšími seismickými rychlostmi a sníženými měrnými hustotami. V podloží mocných pánevních sedimentů vzhledem k relativně malé mocnosti zvětřelých oblastí proti svému nadloží je určení zvětřelé zóny obtížné. Hloubka reliéfu skalního podloží se na lokalitě pohybuje v širokém intervalu od 5 m (počáteční úsek profilu J1) v úrovni cca 350 m n. m. do hloubek >300 m v depresi provázející hlavní interpretovaný zlomový systém s úrovní níže, než 0 m n. m. V prostoru javornické pánve byla úroveň skalního podloží interpretována v úrovni cca 0 m n. m. ± 50 m, nejhlouběji v severní části.

Složení sedimentů je proměnné, dle měrných odporů byly vyčleněny litofaciální typy od jílu, přes jíly písčité a štěrkovité do štěrků a písků jílovitých. Neogenní hrubozrnná sedimentace se vyznačuje značnou příměsí jílovité složky. Štěrk s menším podílem jílu v přípovrchových vrstvách byly při interpretaci přiřazeny ke kvartérnímu pokryvu. Z hlediska hydrogeologického jsou nejvýznamnějším kolektorem oblasti, hlubší horizonty se budou díky jemnozrnné příměsí vyznačovat nižším stupněm propustnosti.

Dominantní strukturou hodnot tíhového zrychlení je lokální tíhové minimum ve směru SZ - JV vymezené na profilech J4 (staničení 850 m), J1 (staničení 350 m), J3 (staničení 430 m). Představuje největší zahlobnutí v reliéfu podložního krystalinika s centrem deprese jv. směrem od profilu J1. Jz. okraj minima vymezuje tektonickou strukturu (součást sudetského zlomového systému), kde strmý gradient hodnot ÚBA odpovídá vertikálnímu posunu v úrovních krystalinika více než 300 m. Směrem k SV od centra lokálního tíhového minima je patrný nárůst hodnot ÚBA, který s velkou pravděpodobností v regionálním měřítku pokračuje na sv. v délce desítek km. V tomto prostoru předpokládají interpretační profilové hustotní modely přítomnost tělesa metabazických hornin o vyšší hustotě.

5 Diskuze a závěr

Komplexním geofyzikálním průzkumem (obr. 6) byla vysledována hlavní tektonická struktura – sudetský okrajový zlom (SOZ) postihující proterozoické podloží doprovázený vertikálním posunem sv. kry oproti jz. Vertikální posun podél tohoto zlomu dosahuje výšky > 300 m, většinou ve dvou (červená plná a přerušovaná čára) a více tektonických stupních. Kromě SOZ byly na lokalitě interpretovány i méně významné tektonické projevy postihující podloží javornické pánve. Směr hlavní tektoniky se v souladu s průběhem tíhových anomálií mění směr ze SSZ-JJV na SZ-JV (resp. až ZSZ-VJV). Deprese v reliéfu podloží doprovázející tektonický systém dosahuje do



Obr. 6 Geologická interpretace geofyzikálního měření

stovky metrů, vždy však od spodu (i bočně) omezené izolátorem tvořeným málo propustnými jemnozrnnými sedimenty, resp. puklinově propustným prostředím hornin krystalinika. Korelaci s tíhovými daty vyplývá, že více jílovité sedimenty jsou soustředěny převážně v depresi podél OSZ, zatímco písčitéjší a štěrkovité polohy vytváří směrem do javornické pánve tělesa ve tvaru paleokoryt (delty) s maximální mocností až 200 m.

Geofyzika přinesla při výzkumu průběhu sudetského okrajového zlomu velmi přesné výsledky, které mohou být dále využity při sestavení 3D modelu podloží reliéfu krystalinika i sledování faciálních změn sedimentů vyplňujících javornickou pánev. Pro řešení úkolů

hloubek pod úroveň 0 m. n. m. V blízkosti SOZ jsou v podloží interpretovány horniny s nižšími měrnými odpory a sníženými měrnými hustotami, které mohou představovat buď tektonicky postižené ruly staroměstské skupiny, nebo zkrasovatělé karbonátové horniny skupiny Branné.

Tyto horniny v každém případě mohou představovat zónu, po které dochází k proudění podzemních vod. Kromě metamorfítů proterozoika (metasedimentů) lze v rámci podloží v blízkém okolí lokality, zejména severně a východně od zájmové plochy, očekávat výskyt metabazických těles ovlivňujících pozitivně hodnoty tíhových anomálií. Tyto mohou naopak z hydrogeologického hlediska tvořit bariéru v proudění podzemních vod. Báze neogenní pánve mimo anomální zóny se severovýchodně od vysledované struktury sudetského zlomu pohybuje v úrovních kolem 0 m n. m. ±50 m.

Pánevní sedimenty jsou převážně tvořeny litofaciálními přechody mezi jíly písčitými, štěrkovitými a štěrky a písky jílovitými. Oblasti hrubozrnné sedimentace (štěrky, písky jílovité) netvoří v rámci plošného rozsahu lokality souvislý horizont, lze je sledovat v plošném i hloubkovém rozsahu až

tohoto typu je nezbytné používat komplex geofyzikálních metod a tyto zpracovávat souhrnně. Je zřejmé, že omezení průzkumu na sledování jednoho fyzikálního pole, by vedlo v řadě případů k výsledkům nejednoznačným, nebo až zavádějícím.

Literatura

- IVAN, A. Geneze Javornického úpatního stupně na severních svazích Rychlebských hor. In *Čas, Slez. Muz. Opava (A)*, 21, Opava, 1972, p. 107 - 116.
- SKÁCEL, J. Křížení okrajového zlomu logika a nýznerovského dislokačního pásma mezi Vápennou a Javorníkem ve Slezsku. In *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, Facultas Rerum Naturalium, Geographica-Geologica XXVII*, VOL. 95, Olomouc, 1989, p. 31-45.
- SKÁCEL, J. Pohřbený kras v severním předpolí Silesika. In *Čas, Slez. Muz. Opava (A)*, 53, Opava, 2004, p. 243-246.
- PECINA, V. red. *Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky, Žulová*. Česká geologická služba, 2006, s. 14-221, MS

Authors

¹ RNDr. Zuzana Skácelová, Česká geologická služba, Erbenova 348, 790 01 Jeseník, zuzana.skacelova@geology.cz

² RNDr. Bedřich Mlčoch, Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1, bedrich.mlcoch@geology.cz

³ RNDr. Blanka Levá, INSET s.r.o., Lucemburská 1170/7, 130 00 Praha 3, leva.blanka@inset.com