



PŘÍKLADY GEOFYZIKÁLNÍCH VÝSTUPŮ PRO ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ GEOLOGICKÉHO A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

EXAMPLES OF GEOPHYSICAL OUTPUTS FOR SOLVING OF GEOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Kaláb Zdeněk¹

Abstrakt

V současné době je důležité věnovat pozornost mimo jiné přírodnímu prostředí. Jednou z metod, která se významně využívá pro studium geologického prostředí, je geofyzika. Geofyzika používá různé fyzikální metody a principy ke studiu utváření a dynamiky Země. Tento příspěvek ukazuje na vybraných příkladech přínos geofyziky ke studiu geologického prostředí, což je nezbytný podklad pro management geologického prostředí. Zobecněné postupy jsou základem pro administrativní řízení procesů spojených s využíváním geologického prostředí. Primární data mohou být interpretována pro různé účely, a proto je neekonomické provádět měření znovu. Primární a interpretovaná data se ukládají v databázích různých typů.

Abstract

At present, it is very important to pay attention, among other things, to the natural environment. One of the methods that are significantly used in the study of the geoenvironment is geophysics. In geophysics, physical methods and principles are used to study the formation and dynamics of the Earth. This paper shows on selected examples the contribution of geophysics to the study of geoenvironment, which is necessary for geological environment management. Generalized procedures are the basis for the administrative management of processes associated with the use of the geological environment. The primary data can be interpreted for various purposes and therefore uneconomical to perform the measurement again. Primary and interpreted data are stored in databases of various types.

Klíčová slova

Geofyzikální měření, geologické a životní prostředí, metadata, Důl Jeroným, umělá infiltrace

Keywords

Geophysical measurement, geological and natural environment, metadata, Jeroným Mine, artificial infiltration

1 Úvod

Posuzování vlivů na životní prostředí (dále jen „proces EIA, proces SEA“) je v České republice upraveno zákonem č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, v platném znění, který nahradil původní zákon č. 244/1992 Sb. (https://www.mzp.cz/cz/posuzovani_vlivu_zivotni_prostredi). *“Proces posuzování vlivů záměrů a koncepcí na životní prostředí je založen na systematickém zkoumání a posuzování jejich možného působení na životní prostředí. Smyslem je zjistit, popsat a komplexně vyhodnotit předpokládané vlivy připravovaných záměrů a koncepcí na životní prostředí a veřejné zdraví ve všech rozhodujících souvislostech. Cílem procesu je zmírnění nepříznivých vlivů realizace na životní prostředí. V rámci procesu EIA jsou posuzovány stavby, činnosti a technologie uvedené v příloze č. 1 výše zmíněného zákona. Projekty posuzované v procesu EIA jsou například stavby, komunikace, výrobní haly, těžby nerostných surovin, provozy – nově budované, ale i jejich změny, tj. rozšiřování, změny technologií, zvýšení kapacity apod. Proces EIA probíhá vždy dříve, než jsou záměry povoleny a než se začne s jejich vlastní realizací. Bez závěru procesu EIA nesmí povolující úřad (např. stavební úřad) rozhodnout o povolení záměru. V rámci procesu SEA jsou posuzovány koncepce uvedené v § 3 písm. b) a § 10a odst. 1) zákona, příp. jejich změny. Proces SEA provádí posuzování koncepcí na úrovni celostátní (Operační program Doprava, Strategie regionálního rozvoje ČR pro léta 2007-2013, Plán hlavních povodí České republiky atd.), regionální (Plán odpadového hospodářství Středočeského kraje, Strategie udržitelného rozvoje Libereckého kraje pro léta 2005-2020, Koncepce dopravy Plzeňského kraje atd.) a místní (Strategický plán rozvoje Statutárního města Opavy, Strategie pro Brno, Plán odpadového hospodářství města Ostravy atd.). Stanovisko SEA je neopominutelným podkladem pro konečný návrh koncepce, bez kterého nemůže být koncepce právoplatně schválena. Schvalující orgán je při dalším postupu povinen zohlednit závěry posuzování uvedené ve stanovisku.“*

Z výše uvedené citace plyne, že je v současné době důležité věnovat pozornost mimo jiné přírodnímu prostředí. Zde je třeba poukázat na často opomíjenou složku, tj. geologické prostředí neboli geoenvironment. Ten obsahuje řadu faktorů a procesů, jako je geologická struktura a složení masivu, geodynamický stav, reliéf, hydrometeorologické a geologické podmínky a endogenní a exogenní geologické procesy. Změny v geologickém prostředí jsou způsobeny mj. antropogenními vlivy, což vyúsťuje v různorodé účinky na geologické a tím i životní prostředí (podle Cidlinský, 1983).

Měřením a zkoumáním fyzikálních polí Země, v makro i mikro měřítku, se zabývá geofyzika. V geofyzice se fyzikální metody a principy používají ke studiu stavby, formování a dynamiky zemského tělesa, studie zahrnují také zemskou hydrosféru a atmosféru, moderní geofyzikální výzkum se rozšiřuje i na další planety a jejich satelity. Obecně známým oborem geofyziky je seismologie, geofyzikální výzkumy však zahrnují veškerá pole a jevy, například stanovení vlastností zemského tělesa, distribuci vnitřní teploty Země,

původ magnetického pole, rozsáhlé struktury v kůře, jako jsou zlomy, kontinentální a oceánské hřeben. Hlavními aplikacemi geofyziky jsou i v současnosti průzkum ropy, plynu a nerostů. Geofyzikální aplikace lze nalézt také v mnoha environmentálních a technických studiích.

Tento článek ukazuje na vybraných příkladech příspěvek geofyziky ke studiu geologického prostředí, resp. životního prostředí. Tyto poznatky jsou nezbytné pro poznání a účelné využití geologického prostředí, zobecněné postupy jsou základem pro správné řízení procesů souvisejících s využíváním geologického prostředí (Khrushchov et al., 2019).

2 Geofyzika

Geofyzika je vědní disciplína, která se zabývá studiem a aplikací znalostí o fyzikálních oborech při řešení konkrétních geologických, environmentálních, inženýrských, těžebních a archeologických problémů (např. Mareš et al., 1990, Lowrie, 2007, Gupta, 2011). Fyzikální pole, která se studují a používají v geofyzice, jsou jak přírodní, tak umělá. Znalosti fyzikálních polí se používají v makro a mikro měřítku, a proto jsou aplikace velmi široce použitelné a prochází všemi geologickými disciplínami:

- geofyzika se aplikuje při řešení globálních geologických problémů (formování kontinentů a oceánů, desková tektonika, seismická aktivita),
- v geologickém mapování (distribuce různých druhů hornin, geologických struktur, tektonika),
- v geologii ložisek nerostných surovin (těžba ropy, surovin, průmyslových nerostů a rud, monitorování těžby),
- v hydrogeologii (mapování vodonosných horizontů, poruchy podzemních vod, monitorování kontaminace podzemních vod, využití geotermální energie),
- v inženýrské geologii (stanovení hloubky podloží a zvětralého sedimentárního krytu, kvalita horninového masivu, mapování oslabených zón a dutin, kontrola stability svahů),
- v ochraně životního prostředí (radioaktivita stavebních materiálů, stanovení radonových rizik, průzkum podloží skládek, lokalizace nevybuchlé munice atd.),
- ve stavebnictví a archeologii (průzkum stavenišť a archeologické lokality), ...

Aby geofyzikální průzkum přispěl k řešení dané úlohy, je nutno zvážit jednotlivá kritéria výběru vhodné geofyzikální metody:

- metodická vhodnost (dostatečný kontrast měřených fyzikálních parametrů, existující vztah mezi měřeným parametrem a vlastností masivu, vysoká hodnota jednoznačnosti a přesnosti měřených dat),
- ekonomická náročnost = finanční výdaje (počet pracovníků, cena přístrojového a interpretačního softwaru nebo cena půjčky),
- technologická a metodická náročnost (stupeň obtížnosti měření v terénu, typ terénu, rušivé vlivy).

Velmi významným přínosem geofyzikálních metod je také skutečnost, že většina metod je nedestruktivních a měření lze rychle provést. Sestavení co nejreálnějšího modelu geologického prostředí vyžaduje další informace, např. geologická data, laboratorní data, data

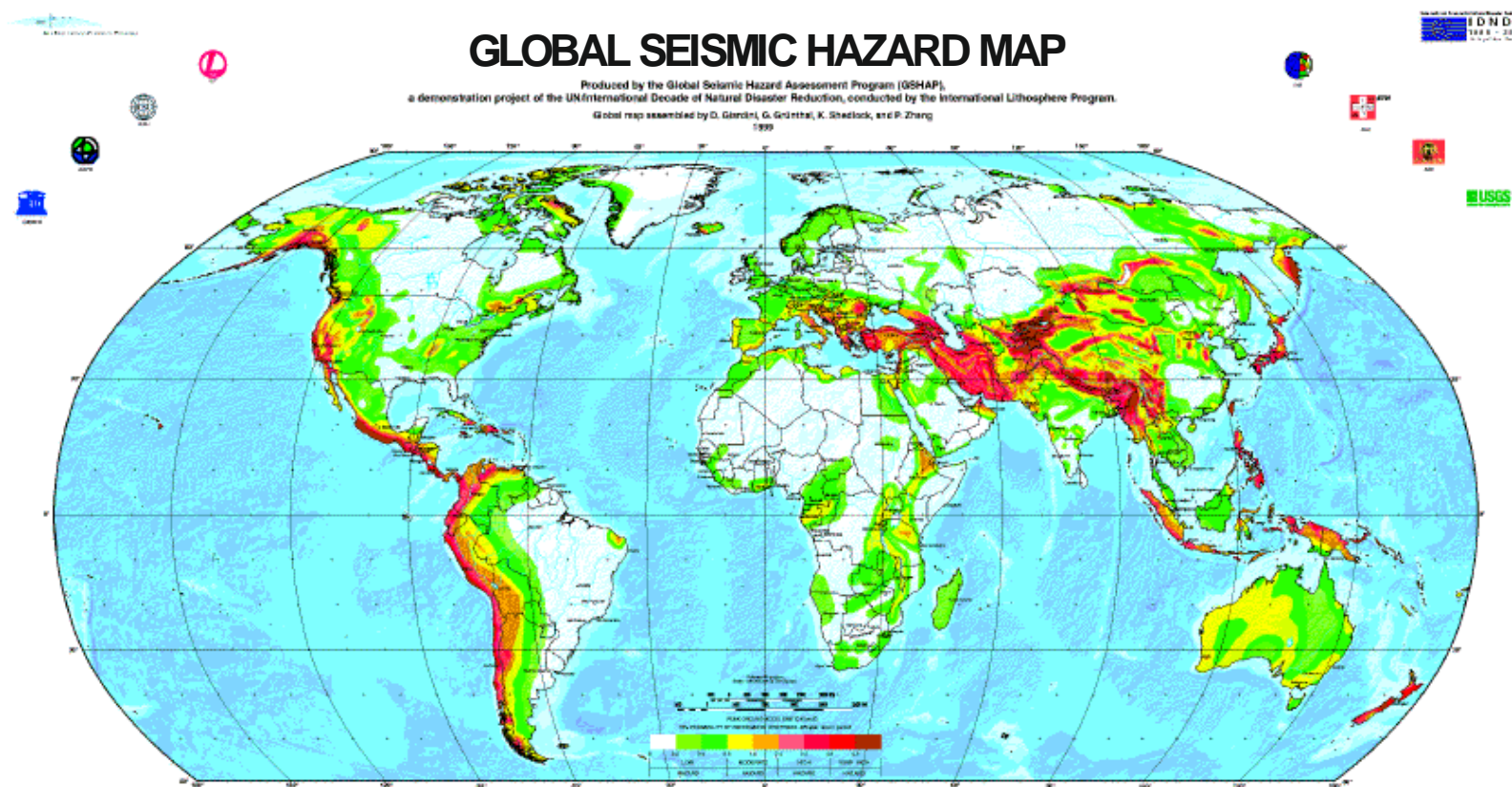
z vrtů, a tudíž úzkou spoluprací s dalšími specialisty podle charakteru úlohy. Při plánování geofyzikálních metod je nutno pamatovat na omezující faktory použitelnosti, což je především přístupnost terénu, negativní rušivá pole, nehomogenita masivu v okolí, přesnost měření (včetně časové a prostorové variability polí), multivalentní nebo zjednodušené modely reálného rozdělení fyzikálních parametrů, nestabilní inverze měřených dat atd.

3 Vybrané příklady

Globální studium seismického nebezpečí

První vybraný příklad dokumentuje použití seismologických dat pro globální studium seismického nebezpečí v důsledku zemětřesení (Obr. 1). Program globálního hodnocení seismických rizik (GSHAP) byl zahájen v roce 1992 Mezinárodním programem pro litosféru (ILP) s podporou Mezinárodní rady vědeckých odborů (ICSU) a schválen jako demonstrační program v rámci Mezinárodního desetiletí OSN pro snižování přírodních katastrof (UN/IDNDR). Projekt GSHAP byl ukončen v roce 1999 (<http://www.seismo.ethz.ch/static/GSHAP/index.html>).

Studium seismického zatížení a seismického rizika sledovaného území je založeno na seismologických databázích zemětřesení, které jsou spravovány nejen na národní úrovni (<https://www.czechgeo.cz/cs/data-sluzby/seismologicka-data>), ale i na celém světě (např. Evropské seismologické centrum



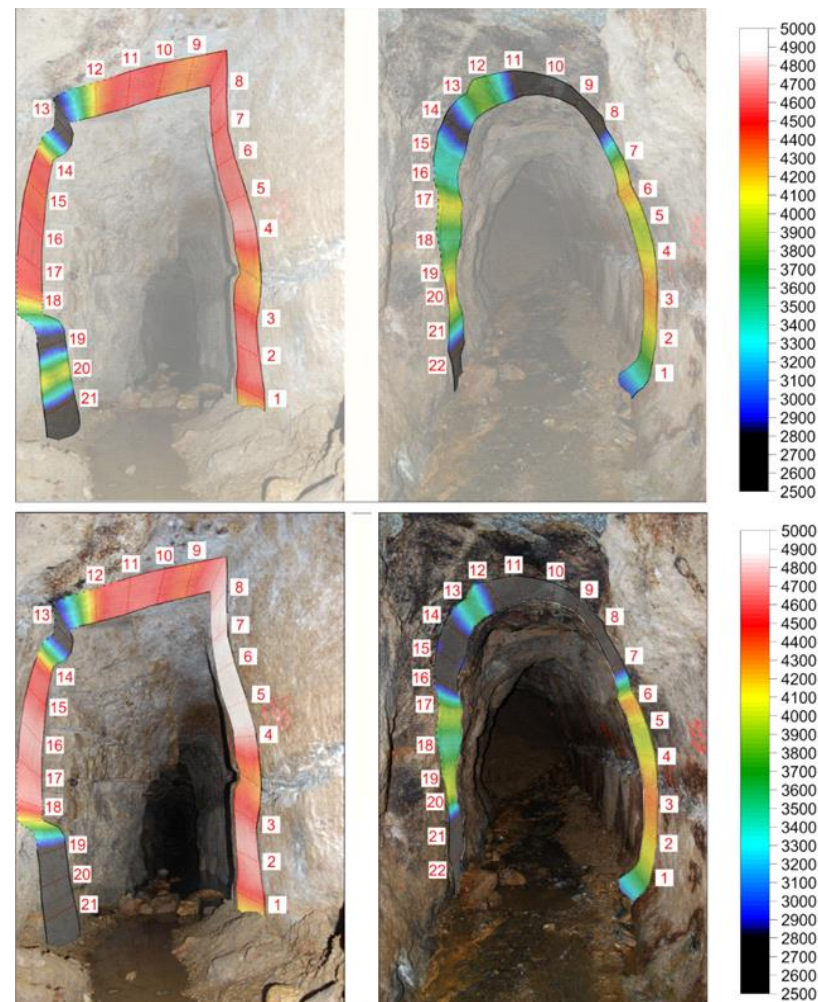
Obr. 1 Příklad mapy globálního nebezpečí mezi Evropou, Afrikou a Středním východem (GSHAP) (<http://static.seismo.ethz.ch/GSHAP/global/gshapfin.gif>)

EMSC - <https://www.emsc-csem.org/#2w> nebo Americká geologická služba USGS - <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/>). To umožňuje provádět komplexní studie pro různé cíle, a to nejen ze seismologického hlediska. Data jsou využívána pro studium struktury Země, předpověď geologických procesů nebo například pro získání informací pro hydrogeologické a stavební aktivity. Úkolem geoinformatiky je v tomto případě především zpracovat primární (seismické záznamy) a sekundární (interpretované hodnoty) data do takové struktury, aby byla efektivně dostupná pro všechna použití. Použitelnost dat závisí mj. na správné a přesné prezentaci získaných výsledků pro danou odběratelskou skupinu.

Zpřístupnění středověkého dolu

Příkladem úspěšné spolupráce oborově pestrého kolektivu je zpřístupnění dolu Jeroným v západních Čechách (monografické číslo EGRSE 2011/1) pro veřejnost. Jedná se o středověký důl, který byl postupně opuštěn a po druhé světové válce byla důlní jáma zaplněna horninovým materiálem. Poklesy na povrchu vedly mimo jiné k průzkumu oblasti, díky čemuž byly nalezeny v té době neznámé části dolu ukazující vývoj těžby rud od středověku. Geomechanický a geofyzikální výzkum lokality prokazuje stabilitu podzemních prostor a umožnil získat znalosti o chování horninového masivu vytěženého před více než 600 lety (např. Lednická a Kaláb, 2013; Lyubushin et al., 2014; Kaláb a Lednická, 2016; Kaláb a Loskot, 2020).

Kromě hodnocení seismického zatížení přirozenou (poblíž je seismicky aktivní oblast) a technickou (zejména trhací práce v okolních lomech a provoz na nedaleké silnici) seismicitou šlo o metody zkoumání stavu hornin. Jedná se zejména o ultrazvuková měření aparaturou Pundit pro stanovení stupně zvětvování (Obr. 2). Na obrázku jsou profily dvou vybraných štol. Profil zobrazený na obrázku vlevo je situován do štoly, která se nachází v hloubce 50 m pod povrchem. Tato štola byla „znovu objevena“ pravděpodobně během druhé světové války a rozšířena za použití trhacích prací. Ručně zhotovená část profilu je od bodu 1 do 10; rozšířená část profilu je od 11 do 21. Druhá studovaná štola (zobrazeny vpravo) vede do zborcené komory. Tato štola byla také rozšířena z dřívě vytvořeného profilu, a to buď během druhé světové války, nebo v průběhu 19. století. Ručně zhotovená část profilu je od bodu 1 do 6, takže tato štola byla pravděpodobně jen 1,5 m vysoká. Na dně obou štol je zvětralý materiál a malé



Obr. 2 Ilustrace vypočtených středních hodnot průběhové rychlosti ve dvou vybraných profilech, hodnoty barevné škály jsou v m.s⁻¹ – detaily v textu (Lednická a Kaláb, 2016)

bloky skalního masivu odpadlé ze stěny. Podle vizuálního posouzení se zdá, že stupeň zvětrávání horninového masivu v druhé štole je vyšší než ve štole první. Obrázky nahoře reprezentují naměřenou střední hodnotu průběhové rychlosti při vzdálenosti sond 0,2 m, obrázky dole při vzdálenosti 0,4 m. Barevnou škálu je možno přiřadit ke stupni zvětrání horninového masivu (viz Lednická a Kaláb, 2016).

Detailní studie stavu horninového masivu v dole je monitorována mj. distribuovaným měřicím systémem. Ten zahrnuje řadu čidel (Kaláb et al., 2015). Tyto znalosti jsou velmi důležité nejen pro bezpečnost lidí vstupujících do dolu (jak již bylo zmíněno, dnes je část dolu veřejnosti přístupná jako muzeum - <http://www.omks.cz/main.php?page=dul-jeronym>), ale také pro hodnocení odolnosti staveb postavených v podzemí. Typickým příkladem, pro který jsou tyto informace zásadní, je výzkum stability sledovaných oblastí potenciálních lokalit hlubinného úložiště vyhořelého jaderného paliva (např. Kaláb et al., 2017).

Stanovení umělé infiltrace (podle Bárta et al., 2017)

Příkladem využití geofyzikálních dat pro řešení hydrogeologického problému je studie realizovaná Bártou a kolektivem (2017). Studie informuje o zkušenostech a výsledcích geofyzikálního průzkumu realizovaného v rámci první etapy projektu: Geofyzikální průzkum pilotních území umělé infiltrace. Objednatelem projektu byl Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka v.v.i. a poskytovatelem finančního krytí Ministerstvo životního prostředí. Geofyzikální průzkum proběhl na šesti pilotních lokalitách, na kterých bude v následujících letech probíhat ověřování různých technologických postupů umělé infiltrace. Cílem geofyzikálního průzkumu bylo podat maximální množství informací o geometrii a vlastnostech (mocnosti a zrnitosti) kvartérních sedimentů, resp. zvětralinového pláště. Další požadovanou informací byla otázka případného tektonického porušení podloží. Vybrané lokality (jde celkem o 6 oblastí) mají různý geologický charakter a splňují tedy zadání, že bude možno testovat různé infiltrační technologie v odlišných hydrologických poměrech. Při geofyzikálním průzkumu byl použit rozsáhlý geofyzikální komplex pěti geofyzikálních metod:

- odporová tomografie (zkratka ERT),
- spontánní polarizace (filtrační elektrické potenciály),
- dipólové elektromagnetické profilování (zkratka DEMP),
- metoda velmi dlouhých vln (zkratka VDV),
- seismika (refrakční a reflexní).

Výše uvedený komplex metod se ukázal jako optimální. Oproti původním převládajícím názorům bylo zjištěno, že využití metody DEMP je velmi efektivní. Jedná se o velmi produktivní metodu, přičemž informace o hloubkových poměrech do cca 10 m jsou, za předpokladu využití správného matematického aparátu (optimálního software), značně spolehlivé. Problematické je ovšem nasazení metody DEMP v místech, ve kterých jsou vedeny umělé vodiče (kabely a podobně). Z tohoto důvodu byla do převážně geoelektrického komplexu zařazena i seismická měření, která nejsou přítomností inženýrských sítí téměř ovlivněna. Na jedné z lokalit se objevil problém extrémně zarostlého a nepropustného terénu. Realizátor, který zde práce zajišťoval, má dobré zkušenosti s leteckými elektromagnetickými průzkumy a nabízí se otázka, zda současný stav letecké techniky by již neumožňoval napojit elektromagnetickou sondu na větší dron. Tímto

způsobem by bylo možno částečně řešit nepřístupné lokality za relativně nízkých nákladů na terénní práce. V rámci realizace filtračních pokusů je možno dále pokračovat v geofyzikálních výzkumech. Doporučen je v tomto směru monitoring testovaných prostředí (změny odporů, filtrační potenciály, automatizace měření a jejich předávání na vzdálená pracoviště po internetu).

4 Závěr

Geofyzikální měření získala novou kvalitativní úroveň vývojem nových přístrojů, metod měření a interpretačních technik. To umožňuje geofyzice proniknout do mnoha oborů (např. Kaláb a Idziak, 2015). Terénní průzkum je nezbytný k prozkoumání geologického prostředí. Výsledná zpráva by měla vždy obsahovat nejen interpretaci dat, ale také primární naměřená data. Primární data lze interpretovat pro různé účely, a proto je neekonomické provádět měření znovu. Interpretovaná data jsou uložena v databázích různých typů. Problém často vzniká u primárních dat, protože mají různé formáty a často vyžadují specializovaný software pro jejich vizualizaci. Základní informace o průzkumech najdete v tzv. metadatech, ale i zde je nutné data sjednotit. Schválením směrnice INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) se členské státy EU zavázaly poskytnout přístup k digitálním geovědeckým prostorovým datům s jednotným popisem metadat (viz <http://inspire.ec.europa.eu/>). Příklad geofyzikálních metadat byl představen v KALÁB et al., 2019.

Poděkování

Tento výzkum je prováděn s dlouhodobou podporou koncepčního rozvoje výzkumných organizací RVO: 68145535.

References

- BÁRTA, J., BENEŠ, V., JIRKŮ, J., ŠPAČEK, K. Geofyzikální průzkum pro řešení otázek spojených s umělou infiltrací. In Tomášek J. (ed): *Sborník příspěvků III. IG kongres*, Brno, 2017, S7.
- CIDLINSKÝ, K. 2 ed. Geoenvironment and Waste Disposal. In *Proceedings of the Interdisciplinary Expert Meeting on Geoenvironment and Waste Disposal*, Vienna, 1983, 296 p.
- GUPTA, H.K. *Encyclopedia of solid Earth geophysics*. Springer, 2011, 1530 p.
- KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M. Long-term Geomechanical Observation in the Jeroným Mine. *Acta Geophysica*, Vol. 64, No. 5, Oct. 2016, p. 1513-1524. DOI: 10.1515/acgeo-2016-0054.
- KALÁB, Z., LOSKOT, J. Zvětrávací proces v historickém důlním díle: Příklad z Dolu Jeroným. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE)*, Vol. 1, 2020, p. 32-39. DOI: 10.26345/EGRSE-032-20-104.
- KALÁB, Z., ČÁPOVÁ, D., MORAVCOVÁ, O., KONDROVÁ, L. Metadata of the Geophysical Data Sources in the Czech Republic: Case Study in the IGN. In *Proceedings of XVIIIth International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"*, 13-16 May 2019, Kyiv, Ukraine, paper No. 15738, 5 p.

- KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M., KNEJZLÍK, J., KALÁB, T. Deset let geotechnických studií v Dole Jeroným. *International Journal of Exploration Geophysics, Remote Sensing and Environment (EGRSE)*, Vol. 1, 2015, p. 1-9. ISSN 1803-1447.
- KALÁB, Z., ŠÍLENÝ, J., LEDNICKÁ, M. Seismic Stability of the Survey Areas of Potential Sites for the Deep Geological Repository of the Spent Nuclear Fuel. *Open Phys.*, Vol. 15, 2017, p. 486–493. DOI 10.1515/phys-2017-0055.
- KHRUSHCHOV, D.P., REMEZOVA, E.A., BELEVTSSEV, R.Y., YAKOVLEV, E.A., AZIMOV, A.T., IVANOVA, A.V., LOBASOV, A.P., BOSEVSKAYA, L.P., POCHTARENKO, V.I., OKHOLINA, T.V. Formation Algorithms for the Theory of Information Support for Research and Works on Geological Environment Management. *Geoinformatika*, Vol. 1 (69), 2019, p.70-90 (in Ukrainian).
- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z. Determination of Granite Rock Massif Weathering and Cracking of Surface Layers in the Oldest Parts of Medieval Mine depending on Used Mining Method. *Arch. Min. Sci.* Vol. 61, No. 2, 2016, p. 381-395. DOI 10.1515/amsc-2016-0028.
- LEDNICKÁ, M., KALÁB, Z. Vibration Effect of Earthquakes in Abandoned Medieval Mine. *Acta Geod Geophys.* Vol. 48, 2013, Issue 3, s. 221-234. DOI 10.1007/s40328-013-0018-4.
- LOWRIE, W. *Fundamentals of Geophysics*. Cambridge University Press, 2007, 381 p.
- LYUBUSHIN, A.A., KALÁB, Z., LEDNICKÁ, M. Statistical Properties of Seismic Noise Measured in Underground Spaces During Seismic Swarm. *Acta Geod Geophys.*, Vol. 49, 2014, Issue 2, p. 209-224. DOI 10.1007/s40328-014-0051-y.
- MAREŠ, S. a kol. *Úvod do užité geofyziky*. SNTL, Praha, 1990, 677 p.

Autor

¹ Prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc. – Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, 708 00, Ostrava-Poruba, kalab@ugn.cas.cz, také: VŠB - Technická universita Ostrava, FAST