

DŮSLEDKY TĚŽBY

na Ostravsku a Karvinsku

- \\ Nejrozsáhlejší uhelná pánev v České republice, ostravsko-karvinský revír, se s postupným útlumem těžby připravuje na regeneraci rozsáhlého území.
- \\ Desítky let trvající hlubinné dobývání černého uhlí vystavilo zdejší krajinu nevratným změnám.
- \\ Těžba dramaticky proměnila nejen podobu území, ale i osídlení a sociální vztahy.
- \\ Regenerace poddolované krajiny Ostravska a Karvinska bude trvat desítky let. To, jak a zda se podaří, do značné míry předurčí způsob celkové adaptace regionu na nové, bezuhelné období.
- \\ Projevy hlubinného dobývání jako poklesy povrchu, deformace a záchvěvy půdy budou pokračovat i po ukončení těžby.
- \\ Hazardem by bylo plánovat nové využití poddolované krajiny bez detailní znalosti všech georizik.
- \\ Správní orgány by měly vycházet z co nejpřesnějšího modelu, který zobrazí oblasti náchylné k reaktivaci projevů poddolování na povrch.

Období těžby černého uhlí se definitivně chýlí ke konci. Krajina ostravsko-karvinské uhelné pánve hledá cesty pro nové využití. Poddolování s sebou ale do budoucna nese potenciální riziko v podobě nových pohybů povrchu země, například poklesů nebo záchvěvů povrchu. Regenerace poddolovaného území, včetně uvažovaného zatápění dolů a vytvoření rozsáhlých obytných, rekreačních a také průmyslových zón, proto musí následovat až po pečlivém a zodpovědném vymezení všech georizik. To by mělo být regionální prioritou i zájmem státu jako celku.

Tento AVex vysvětluje procesy v horninovém masivu během hlubinného dobývání a objasňuje jeho projevy na povrch. Objasňuje příčiny pohybů a přetvoření povrchu krajiny v ostravsko-karvinském revíru. Zabývá se otázkou, zda lze změny reliéfu předvídat, a analyzuje také potenciální ohrožení při zatápění důlních prostor.

Výskyt černého uhlí v České republice je spojován s oblastmi, jako jsou plzeňsko-manětínská, kladensko-slánská, žacléřsko-svatoňovická nebo rosicko-oslavanská. Nejrozsáhlejší z nich je ostravsko-karvinská pánev, která se geologicky dělí na ostravskou, petřvaldskou a karvinskou pánev.

Zatímco v ostravské a petřvaldské oblasti byla těžba ukončena již v roce 1994, v karvinské oblasti, nejvíce zasažené intenzivní a rozsáhlou těžbou, probíhá útlum v současné době.

Přírodní podmínky, objem těžby a s ním spojené i projevy hlubinného dobývání na povrch jsou přítomny i v ostravské a karvinské oblasti výrazně odlišné. Proto lze očekávat, že lišit se budou i procesy po úplném uzavření dolů a zejména při jejich zatápění.

Karvinská oblast se vyznačuje dobýváním mocných slojí ve velkých hloubkách. V těchto specifických podmínkách projevy hlubinného dobývání zcela neustanou ani po ukončení dobývání v celé oblasti.

Projevy hlubinné těžby během dobývání

Podle zkušenosti z ostravsko-karvinského revíru se v nadloží dobývané sloje utvářejí tři deformační pásma: zavalování, rozsazování a průhybu.

V pásnu zavalování se nadložní horniny rozruší a jednotlivé horninové kusy padají do prostoru po vydobyté uhelné sloji. Mocnost tohoto pásma je přibližně šestnásobkem dobývané mocnosti sloje a mezi jednotlivými kusy zavalených nadložních hornin vzniká nejvíce volných prostorů.

Nad pásmem zavalování vzniká pásmo rozsazování hornin. Toto pásmo je charakterizováno rovněž porušováním horninového masivu, ale jednotlivé horninové bloky již nevykonávají rotační pohyb. Vzniklé trhliny v pásnu rozsazování zaujímají objem podstatně menší než objem volných prostor v pásnu zavalování.

Nad pásmem rozsazování je pásmo průhybu. V tomto pásmu již nedochází k rozrušování vrstev, proto je zde objem volných prostor ještě nižší než v pásnu rozsazování. Výsledkem deformací probíhajících v horninovém masivu nad výrubem sloje je poklesová kotlina na povrchu, jejíž objem je ale menší než objem vydobytého nerostu.

Například Slezskoostravský hrad na území města Ostrava poklesl za celou dobu dobývání o 16 metrů. V karvinské oblasti, kde jsou dobývány mohutné sloje, jde o ještě výraznější poklesy, místně až o více než 40 metrů. Raritou karvinského regionu je kostel sv. Petra z Alkantary poblíž bývalého Dolu Gabriela, často nazývaný „šikmý kostel“, který poklesl o 37 metrů a vlivem nerovnoměrného pohybu povrchu je nakloněn 6,8° od svislice.

Regenerace sídel i průmyslových areálů

Vzhledem k rozloze ostravsko-karvinského revíru a jeho specifickému zatížení je zřejmé, že regenerace regionu po skončení těžby bude značně náročná a nesrovnatelná s ožíváním tradičních brownfieldů.

Zahrne nejen sídla, ale i průmyslové areály bývalých provozů šachet. Odrážet by měla i tradici hornictví a těžkého průmyslu, rozvíjenou zde po téměř dvě staletí.

Obyvatelé Ostravska a Karvinska jednoznačně a pozitivně vnímají a podporují nejen ekonomické využití, ale také estetickou a přírodní hodnotu krajiny. Podle výzkumů českých vědců uveřejněných v roce 2016 v odborném časopise *The Journal of Cleaner Production* zdejší lidé přednostně podporují regeneraci ploch na zeleň, sportoviště a plochy pro volnočasové aktivity. Spíše rezervovaně se stavějí k vytváření a veřejné podpoře nepřímých kvalifikovaných a málo placených pracovních pozic.

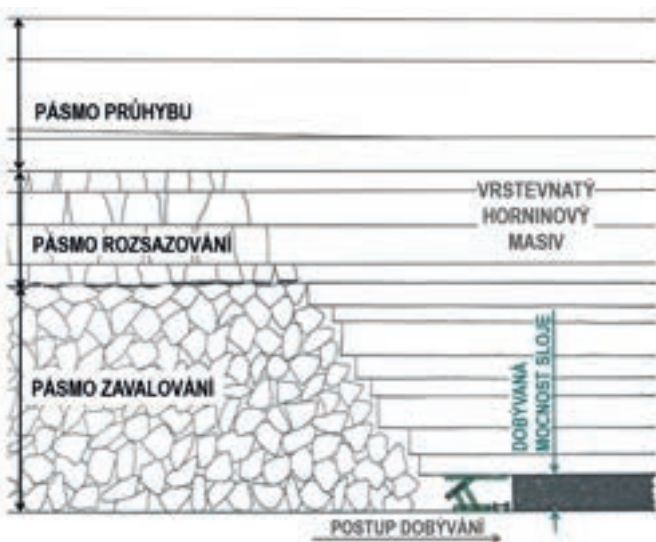
Jak předvídat projevy těžby?

Změny reliéfu povrchu vyvolané těžbou, včetně jejich doznívání, je do značné míry možné předvídat na základě empirických výpočtů či matematických modelů.

Empirické výpočty poskytují výsledek rychle a efektivně, jejich spolehlivost ale často závisí na dřívějších zkušenostech v dané lokalitě, protože parametry vstupující do výpočtu popisují horninové prostředí značně zjednodušeně. Matematické modelování, ať už 2D nebo 3D, umožňuje lépe specifikovat konkrétní podmínky dobývání, ale oproti empirickým výpočtům je výrazně časově náročnější. V praxi se proto využívá kombinace obou metod.



Příklad dodatečného zajištění stavby proti tahovým deformacím pomocí ocelových kotev, které jsou následně zakryty povrchovou úpravou stavby
Foto: Eva Jiráňková



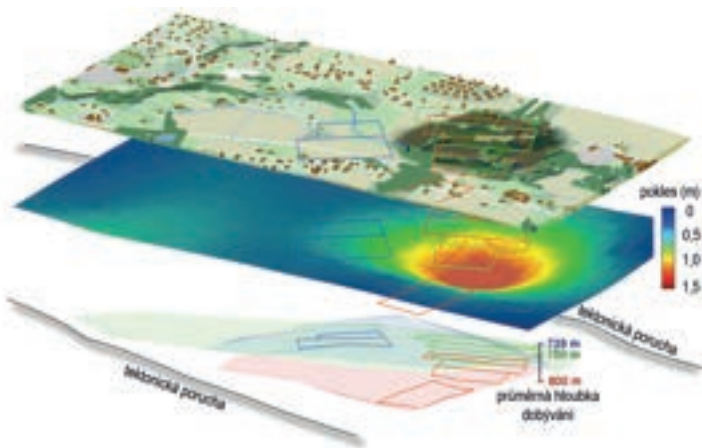
Utváření deformačních pásem v nadloží dobývané sloje

Hlavním úkolem předpovídání je vymezit oblast dotčení a ohrožení. Stavební objekty dotčeného území mimo ohroženou oblast obvykle nevyžadují zajištění proti účinkům poddolování a mohou být nadále bezpečně užívány.

V ohrožené oblasti lze v některých případech objekty zajistit proti účinkům poddolování ekonomicky přijatelným způsobem. Pokud se ale předpokládá velká intenzita přetvoření reliéfu povrchu, nelze objekty užívat. Z tohoto důvodu byly v minulosti vykoupeny celé osady a k demolici se přikročilo ještě před zahájením těžby.

JAK SE VYMEZUJE HRANICE DOTČENÍ A OHROŽENÁ OBLAST

- Hranice dotčení byla Obvodním báňským úřadem v Ostravě stanovena izoliní poklesu o hodnotě 0,04 m, pokud tímto poklesem nedojde k ohrožení oblasti zvednutím hladiny podzemní vody.
- Ohrožená oblast je vymezena hodnotou naklonění větší než 2 mm/m, poloměrem zakřivení povrchu menším než 20 km a vodorovným přetvořením povrchu větším než 1 mm/m.



Vizualizace predikčního modelu poklesové kotliny
Zdroj: Ústav geoniky AV ČR

Výzkum modelování georizik: Základní předpoklad pro využití pohornické krajiny

Ústav geoniky Akademie věd ČR disponuje letitými zkušenostmi v oblasti báňského výzkumu. Je proto plně kompetentní pro výzkum modelování georizik.

Komplexní zpracování změn reliéfu krajiny je možné pouze pomocí 3D modelování georizik, která hrozí v souvislosti se zatápěním důlních prostor. Vstupní hodnoty pro matematický model by měly v ideálním případě zahrnovat veškeré důlně-technické informace o vydobytých prostorech, charakteru horninového prostředí a časoprostorovém utváření poklesových kotlin na základě výsledků dosud realizovaných povrchových měření. Tento rozsah vstupních hodnot by byl však enormní a při realizaci v rámci modelování celé karvinské dílčí pánve nereálný.

V první fázi by proto měly být vytipovány zájmové oblasti z hlediska navrhovaného využití krajiny. Zmenšení objemu vstupních dat by zefektivnilo práci a především verifikaci matematického modelu, která by měla být založena na výsledcích měření výšky a polohy povrchových bodů měřických pozorovacích stanic.



Pohornická krajina. Dříve osídlené území staré Karviné, v současnosti krajina přetvořená vlivy poddolování (celkový pokles téměř 40 metrů).

Foto: Radovan Kukutsch

Posuzování změn reliéfu krajiny je nedostatečné

V současné době jsou komplexně zpracovány pouze předpokládané změny reliéfu krajiny v rámci dokumentace posuzování vlivů na životní prostředí (EIA). Zda skutečné změny reliéfu krajiny odpovídají změnám předpokládaným, však komplexně ověřováno není.

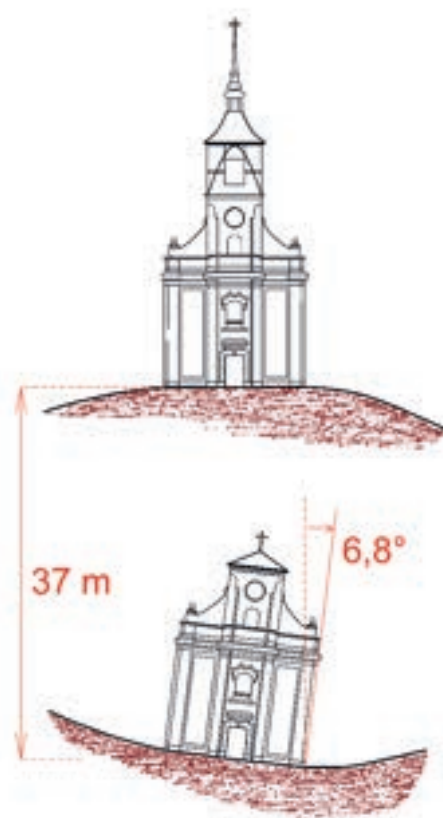
Přestože se povrch po celou dobu těžby v ostravsko-karvinské uhelné pánvi monitoruje, jedná se pouze o monitoring dílčích oblastí. Navíc z časového hlediska se součtové ovlivnění reliéfu krajiny nevyhodnocuje, posuzuje se pouze dílčí vliv dobývaných částí ložiska za určité období.

Populace v regionu: zmenšuje se a stárne

Celý region Ostravska a Karvinska po mnoho desetiletí díky rozvoji průmyslu populačně rostl. Některá z tradičních sídel vlivem intenzifikace těžby a následných poklesů zanikla a obyvatelstvo se koncentrovalo do oblastí, které těžbou zasaženy nebyly.

Významné změny postihly zejména karvinskou část revíru, kde v těžbou zasažené krajině vzniklo území, které je dnes prakticky bez osídlení.

S útlumem těžby uhlí a ztrátou pracovních příležitostí v restrukturalizované průmyslové výrobě po roce 1990 se však tento trend obrátil a region se naopak populačně zmenšuje a stárne. K významné akceleraci těchto trendů dochází během posledních 20 let a nejsilněji se projevují v urbánních střediscích regionu – v Ostravě, Karvině, Havířově a Orlově.



Monumentální barokní kostel sv. Petra z Alkantary z roku 1736 se zvonovým patrem: podoba před zahájením těžby a jeho současný vzhled. Pod kostelem bylo od roku 1854 vytěženo celkem 27 slojí s úhrnnou vydobytou mocností téměř 53 m. Na začátku 90. let 20. století hrozilo kostelu zřícení, nakonec byl v letech 1994 až 1995 opraven a zajištěn. Kostel je jedním z mála pozůstatků historické zástavby původní Karviné.
Zdroj: Ústav geoniky AV ČR

Projevy na povrchu

Pohyb

Vznikají poklesové kotliny, jejichž rozsah souvisí s hloubkou dobývání. Čím je hloubka dobývání větší, tím je poklesová kotlina plošší a její plošný rozsah je větší.

Přetvoření reliéfu

Povrch se naklání a zakřivuje, terén se stlačuje nebo roztahuje. Tyto deformace jsou pro stavební objekty nejnebezpečnější.

Seizmické indukované jevy

Záchvěvy a otřesy pocíťované např. krátkým zhroupením země doprovázejí porušování horninového masivu v průběhu dobývání, ale také po ukončení těžby. Představují ohrožení pro konstrukci existujících i budoucích staveb na tomto území. Předpoklad vzniku indukované seismicity trvá i po ukončení dobývání, jak je zřejmé z jiných uhelných revírů v Evropě, například při zatápění dolů.

Svahové deformace

V důsledku utváření poklesových kotlin se mění reliéf krajiny. V případě, že dojde k porušení stability svahu, vznikají svahové

deformace. Jejich vývoj závisí především na geologických poměrech dané oblasti, klimatických podmínkách a intenzitě změn reliéfu krajiny.



Utváření bezodtokové poklesové kotliny. Původní osídlení se vlivem intenzivní těžby stalo opuštěnou krajinou, jak dokumentují trhliny ve zbytkách silnice vedoucí do oblasti tzv. mokřích poklesů.

Foto: Eva Jiráňková

Potenciální ohrožení při zatápění důlních prostor

Jak již bylo uvedeno, karvinská oblast se vyznačuje dobýváním mocných slojí ve velkých hloubkách. V těchto specifických podmínkách se nad vydobytým prostorem vytvářejí vzpěrné klenby tzv. kvazirovnovážného napětového stavu (nestabilní rovnováha působících sil). Ten způsobí, že se pohyby a deformace nadložních vrstev směrem k povrchu dočasně zastaví. Ale jen dočasně: v určité chvíli se vzpěrná klenba prolomí, pohyby a deformace nadložních vrstev se obnoví a ty postupně dosáhnou až k povrchu.

Bez vymezení rizik a důsledků poddolování proto nelze rozhodnout, zda zahájit zatápění uzavřených dolů, či nikoli.

Toto porušení kvazirovnovážného stavu vzpěrných kleneb totiž může způsobit jak dobývání, tak i zatápění vydobytých prostor.

Reaktivace pohybů a deformací nadložních vrstev může zapříčinit tzv. indukovanou seismicitu, která se projevuje záchvěvy zemského povrchu a představuje významné ohrožení pro existující i budoucí stavby v území.

Riziko spojené s reaktivací pohybů povrchu tkví především v jeho nepředvídatelnosti jak z hlediska intenzity pohybů povrchu, tak místa, kde se projeví. To představuje významný omezující faktor pro využití této krajiny.

Pokud nebudou vymezeny oblasti možné reaktivace pohybů povrchu, nelze zodpovědně realizovat transformaci krajiny a budovat území s bezpečně fungující technickou infrastrukturou.

ZÁVĚRY

S ohledem na současné i budoucí využívání krajiny je vhodné vypracovat 3D matematický model, který zobrazí změny reliéfu krajiny od začátku až po ukončení těžby v karvinské části hornoslezské pánve. Jeho výhodou by byla i možnost ukázat oblasti náchylné ke svahovým deformacím a vymezení oblastí, v nichž ke svahovým deformacím již dochází.

Výsledky modelů budou vhodným a přínosným nástrojem využívaným správními orgány jako technický podklad např. při územním plánování nebo vymezení zátopových oblastí s ohledem na očekávané změny reliéfu krajiny.

Varianta jednoho silného investora, který by regeneroval tak obrovské území, není reálná. Proto je nesmírně důležitá koordinační role veřejné správy, zejména Moravskoslezského kraje a jednotlivých municipalit. Jejich role je zásadní a spočívá ve stanovení celkové vize a priorit budoucího využití i následného hledání obecného konsenzu na funkčním využití jednotlivých dílčích částí regenerovaného území. Důležitá je také role regulační, která by měla usměrnit parciální a osobní zájmy jednotlivých investorů, vlastníků pozemků a podpořit synergické efekty tak, aby byly efektivně využity finanční prostředky z veřejných zdrojů.

Bylo by vhodné využívat takové přístupy, aby se z nedávno fungujících provozů disponujících funkční technickou a dopravní infrastrukturou nestal opuštěný region. V tomto ohledu má stát jakožto vlastníka těžebního podniku, zároveň majitel areálů, investor a realizátor útlumových prací nejen obrovské možnosti, ale i značnou zodpovědnost.

Nezbytná je také participace obyvatelstva na plánování regenerace území. Řada vědeckých studií ověřila, že úspěch projektů regenerace brownfieldů je silně determinován aktivní rolí místních obyvatel a respektováním jejich názorů a vizi. Participativní plánování regenerace území se zdá nejvhodnější variantou, jak budoucnost zdejší krajiny plánovat.

Kromě technické a ekonomické stránky má regenerační proces také rovinu společenskou a kulturní. Otevírá totiž možnosti vytvářet nové sdílené významy této jedinečné krajiny, vycházející nejen z její aktuální podoby a nově nastolovaných environmentálních souvislostí, ale rovněž z bohatých a do značné míry bouřlivých historicko-společenských událostí. Jde o unikátní výzvu pro vytváření jejích nových obrazů, krajinných hodnot a symbolických míst, která mají velký potenciál v budování vztahu obyvatel ke krajině i ve vzdělávání nových generací.

AVEX 3|2021: DŮSLEDKY TĚŽBY NA OSTRAVSKU A KARVINSKU, ZÁŘÍ 2021

Přehled použité literatury: <http://www.avcr.cz/cs/veda-a-vyzkum/avex/>

AVex je nezávislé a nestranné expertní stanovisko, které Akademie věd České republiky připravuje pro legislativní potřeby zákonodárců Poslanecké sněmovny a Senátu Parlamentu České republiky.

Připravila Akademie věd ČR, odborným garantem je Ústav geoniky AV ČR.

Odpovědná redaktorka: Markéta Růžicková, e-mail: avex@kav.cas.cz, <http://www.avcr.cz/cs/veda-a-vyzkum/avex/>

Kontaktní osoby: Eva Jiráňková, Ústav geoniky AV ČR, e-mail: eva.jirankova@ugn.cas.cz, Petr Koniček, Ústav geoniky AV ČR, e-mail: petr.konicek@ugn.cas.cz, Petr Dvořák, Ústav geoniky AV ČR, e-mail: petr.dvorak@ugn.cas.cz, Stanislav Martinát, Ústav geoniky AV ČR, e-mail: stanislav.martinat@ugn.cas.cz, Jana Stachová, Sociologický ústav AV ČR, e-mail: jana.stachova@soc.cas.cz

Literatura – AVex 3/2021

1. Blachowski, J., Jiráňková, E., Lazecký, M., Kadlečík, P., & Milczarek, W. (2018). Application of satellite radar interferometry (PSInSAR) in analysis of secondary surface deformations in mining areas. Case studies from Czech Republic and Poland. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 15(2). <https://doi.org/10.13168/AGG.2018.0013>
2. Caro Cuenca, M., Hooper, A. J., & Hanssen, R. F. (2013). Surface deformation induced by water influx in the abandoned coal mines in Limburg, The Netherlands observed by satellite radar interferometry. *Journal of Applied Geophysics*, 88. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2012.10.003>
3. Devleeschouwer, X., Declercq, P.-Y., Flamion, B., Brixko, J., Timmermans, A., & Vanneste, J. (2008). Uplift revealed by radar interferometry around Liège (Belgium): a relation with rising mining groundwater. *Proceedings of the Post-Mining Symposium*.
4. Doležalová, H. (2021). Analysis of surface changes from undermining and building site categorization: The case study in mining location Louky near Karvina. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. <https://doi.org/10.13168/agg.2021.0009>
5. Doležalová, H., Kajzar, V., Souček, K., & Staš, L. (2010). Evaluation of vertical and horizontal movements in the subsidence depression near karviná. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 7(3).
6. Doležalová, H., Kajzar, V., Souček, K., & Staš, L. (2012). Analysis of surface movements from undermining in time. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 9(3).
7. Dopita, M., & Kumpera, O. (1993). Geology of the Ostrava-Karviná coalfield, Upper Silesian Basin, Czech Republic, and its influence on mining. *International Journal of Coal Geology*, 23(1–4). [https://doi.org/10.1016/0166-5162\(93\)90053-D](https://doi.org/10.1016/0166-5162(93)90053-D)
8. Frantál, B., Kunc, J., Klusáček, P., & Martinát, S. (2015). Assessing success factors of brownfields regeneration: International and inter-stakeholder perspective. *Transylvanian Review of Administrative Sciences*, 44.
9. Ghabraie, B., Ghabraie, K., Ren, G., & Smith, J. V. (2017). Numerical modelling of multistage caving processes: insights from multi-seam longwall mining-induced subsidence. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 41(7). <https://doi.org/10.1002/nag.2659>
10. Ghabraie, B., Ren, G., Barbato, J., & Smith, J. V. (2017). A predictive methodology for multi-seam mining induced subsidence. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 93. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2017.02.003>
11. Jiráňková, E. (2012). Utilisation of surface subsidence measurements in assessing failures of rigid strata overlying extracted coal seams. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 53, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.05.007>
12. Jiráňková, E., & Lazecký, M. (2016). Specifics in the formation of subsidence troughs in the Karvina part of the Ostrava-Karvina coalfield with the use of radar interferometry. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 13(3). <https://doi.org/10.13168/AGG.2016.0008>
13. Jiráňková, E., Staš, L., Kajzar, V., & Doležalová, H. (2013). Mechanism of rigid overlaying of

Carboniferous strata failure in face mining in the case of a multiseams deposit. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 10(2). <https://doi.org/10.13168/AGG.2013.0019>

14. Jiráňková, E., Waclawik, P., & Nemcik, J. (2020). Assessment of models to predict surface subsidence in the Czech part of the upper silesian coal basin-case study. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 17(4). <https://doi.org/10.13168/AGG.2020.0034>
15. Konicek, P., Ptacek, J., Waclawik, P., & Kajzar, V. (2019). Long-Term Czech Experiences with Rockbursts with Applicability to Today's Underground Coal Mines. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 52(5). <https://doi.org/10.1007/s00603-018-1489-y>
16. Konicek, P., & Waclawik, P. (2018). Stress changes and seismicity monitoring of hard coal longwall mining in high rockburst risk areas. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.07.019>
17. Lazecký, M., & Jiráňková, E. (2013). Optimization of satellite InSAR techniques for monitoring of subsidence in the surroundings of Karviná Mine: Lazy plant. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 10(1).
18. Lazecký, M., Jiráňková, E., & Kadlečík, P. (2017). Multitemporal monitoring of Karvina subsidence troughs using sentinel-1 and TERRASAR-X interferometry. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 14(1). <https://doi.org/10.13168/AGG.2016.0027>
19. Martinat, S., Dvorak, P., Frantal, B., Klusacek, P., Kunc, J., Navratil, J., Osman, R., Tureckova, K., & Reed, M. (2016). Sustainable urban development in a city affected by heavy industry and mining? Case study of brownfields in Karvina, Czech Republic. *Journal of Cleaner Production*, 118. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.029>
20. Martinát, S., Kunc, J., Klusáček, P., Krejčí, T., Navrátil, J., Vnenková, J., & Černík, J. (2015). Spatial relations and perception of brownfields in old industrial region: Case study of Svinov (Ostrava, Czech Republic). *Geographia Technica*, 10(2).
21. Martinec, P., & Dopita, M. (1997). Upper carboniferous coal tonsteins and related pyroclastic rocks in the Upper Silesian Coal Basin (Czech Republic). *Prace - Panstwowego Instytutu Geologicznego*, 157 PART 2.
22. Neset, K. (1984). *Mining surveying. IV, Effects of undermining*. SNTL - Nakladatelství technické literatury.
23. Ptacek, J., Konicek, P., Holecko, J., Przeczek, A., Waclawik, P., Pavelek, Z., Macura, M., Kajzar, V., & Kukutsch, R. (2017). *Rockbursts in Ostrava-Karvina Coalfield*. Institute of Geonics of the Czech Academy of Sciences.
24. Samsonov, S., d'Oreye, N., & Smets, B. (2013). Ground deformation associated with post-mining activity at the French-German border revealed by novel InSAR time series method. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23(1). <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.12.008>
25. Vavro, M., Souček, K., Staš, L., Waclawik, P., Vavro, L., Konicek, P., & Ptáček, J. (2015). Application of alternative methods for determination of rock quality designation (RQD) index: A case study from the Rožná I uranium mine, strážek moldanubicum, bohemian massif, czech republic. *Canadian Geotechnical Journal*, 52(10). <https://doi.org/10.1139/cgj-2014-0377>

26. Vervoort, A. (2020). The time duration of the effects of total extraction mining methods on surface movement. *Energies*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/en13164107>