

PREDIKCE VÝVOJE POKLESOVÉ KOTLINY

Hana DOLEŽALOVÁ, Vlastimil KAJZAR
Ústav geoniky AV ČR, v.v.i.

1 ÚVOD

V rámci sledování povrchových projevů poddolování byla v lokalitě Louky u Karviné vybudována a následně opakovaně zaměřována rozsáhlá síť téměř 100 bodů. Body byly geodeticky zaměřovány metodou GPS, která umožnila vyhodnocení změn prostorové pozice každého bodu, tedy jak výšky (pokles bodu), tak jeho horizontální polohy (posun bodu). Následně pak bylo možné modelovat průběh vývoje poklesové kotliny vytvářející se nad dobývanými.

Sledovaná oblast leží v hornoslezské uhelné pánvi v severní části důlního pole Dolu ČSM-sever na demarkaci s Dolem Darkov, na východě je ohraničená státní hranicí s Polskem a má rozlohu cca 6 km². Lokalitu lze charakterizovat jako „hornickou krajinu“ bez obytných budov, s odkališti a zatravněnými navážkami hlušiny, probíhá zde rekultivace. Poddolování může působit významné škody na místních komunikacích a železniční trati. V této lokalitě byly v letech 2006 až 2010 dobývány 4 poruby, a to v hloubce cca 1000 m pod povrchem. Dobývací metodou bylo stěnování na řízený zával s postupem porubní fronty od východu na západ. Další těžba probíhala jižně od zájmové lokality. Horninový masív je zde tvořen typickými horninami pro stavbu karbonského pohoří v hornoslezské pánvi s tafrogenní stavbou, jejíž kostru tvoří základní poklesy s amplitudou většinou desítek až stovek metrů, kombinované horizontálními posuny [4].

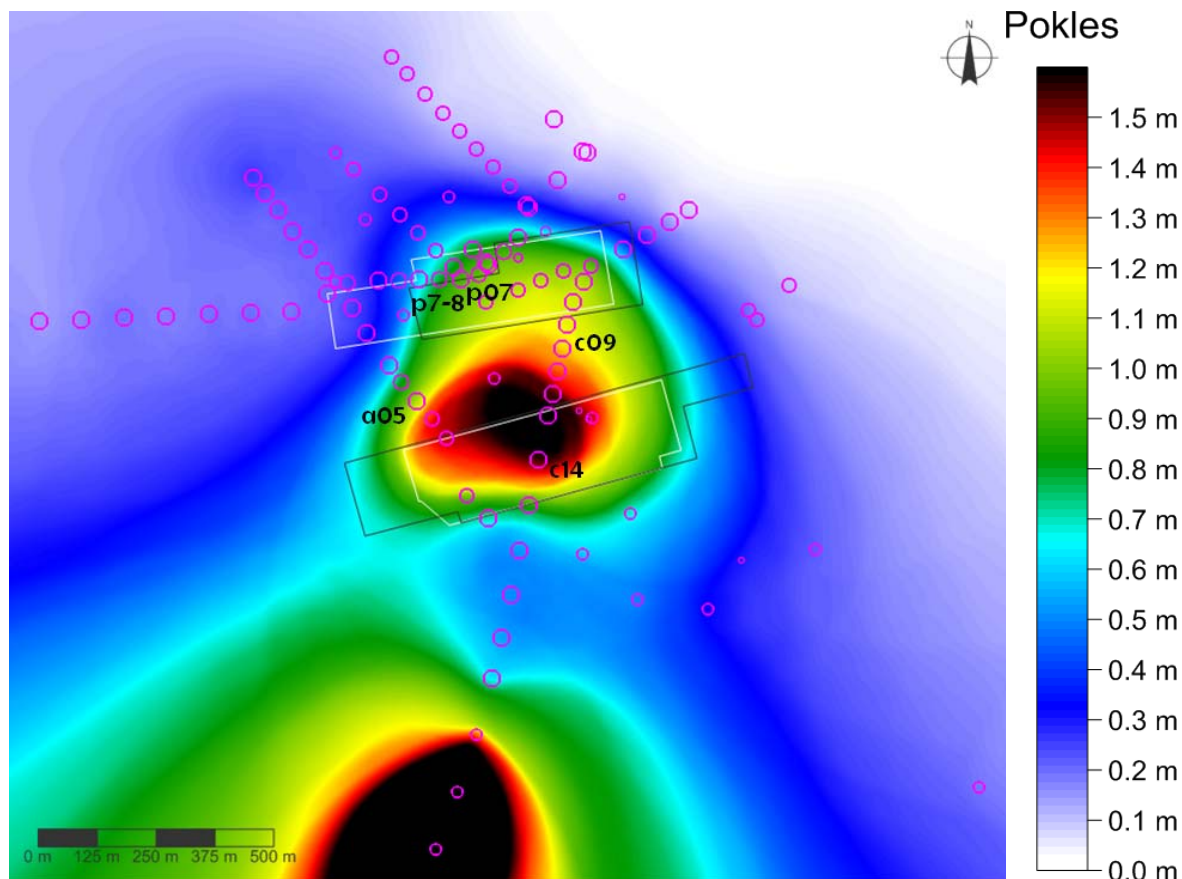
Při řešení různých studií je obvykle součástí komplexního hodnocení (kromě zjištění předchozího i současného stavu a specifikace trendů vývoje) rovněž predikce stavu a vývoje do budoucna. Pro predikci budoucího vývoje poklesů ve studované oblasti byl zvolen empirický přístup řešení. Následující text vychází z práce [6]. Vyhodnocení naměřených dat, analýzu vývoje vznikající poklesové kotliny, prostorových pohybů jednotlivých bodů a další analýzy řešené v rámci tohoto projektu lze nalézt např. v [1, 2, 3, 5].

2 SKUTEČNÝ STAV POKLESOVÉ KOTLINY

Stav vývoje poklesové kotliny časově vztažené k poslednímu realizovanému měření je prezentován na obr. 1. Maximální zjištěný pokles za celé sledované období je 165 cm. Z modelu je dobře patrný tvar poklesové kotliny i rozhraní mezi sledovanou poklesovou kotlinou a částí mnohem větší poklesové kotliny nacházející se jižně.

Dobývání ve studované oblasti bylo ukončeno odtěžením posledního ze čtveřice porubů v červnu 2010. Během následujícího devítiměsíčního období došlo k postupnému snižování

míry poklesů. Oblast ovlivněná pouze vlivy dobývání sledované čtveřice porubů se v době po posledním realizovaném GPS měření nachází ve fázi doznívání poklesů.



Obr. 1 Model poklesové kotliny za období listopad 2006 - březen 2011. Velikost symbolu bodů GPS vyjadřuje četnost jejich využití při tvorbě dílčích gridů, jejichž kumulací výsledný grid vznikl. Označeny jsou pouze body, o kterých je zmínka dále v textu.

Zdroj: [6]

3 MOŽNÝ BUDOUCÍ VÝVOJ POKLESOVÉ KOTLINY

Pro stanovení trendů v datové řadě, resp. poklesové křivce je možné využít nástrojů regresní analýzy. Vždy je však nutné zvolit odpovídající regresní model, v závislosti na fázi vývoje poklesové křivky.

V případě konečného stavu zjištěného GPS měřením se poklesové křivky bodů, které nebyly ovlivněny ničím jiným než působením vlivů iniciovaných dobýváním sledovaných porubů, nachází ve fázi doznívání poklesů. Vyznačují se pozvolným snižováním poklesů v řádu milimetrů za měsíc. Fáze doznívání poklesů může na ložiscích tohoto typu trvat i několik let. K zachycení trendu této fáze vývoje je příhodné využít mocninovou nebo exponenciální regresní funkci.

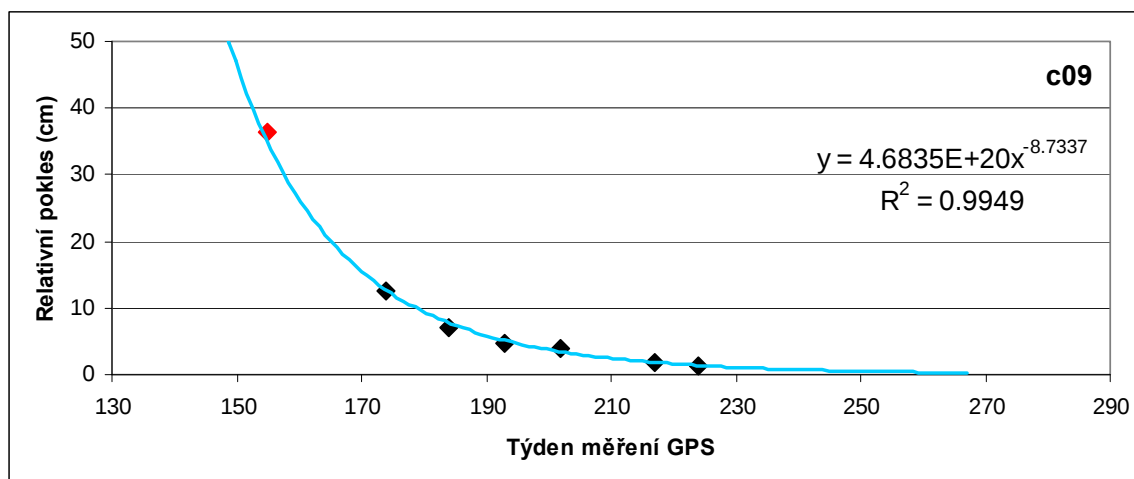
Predikční výpočet byl řešen v programovém prostředí MS Excel u každého z bodů zvlášť následujícím způsobem:

- Nejprve je potřeba stanovit inflexní bod poklesové křivky zachycující zaznamenaný vývoj v posledním období, tzn. bod (dobu měření), kdy pokles za jednotku času (týden)

vykazuje maximální hodnoty a od tohoto bodu se dále jeho hodnota postupně snižuje. Po jeho určení se pracuje pouze s daty zjištěnými od tohoto měření (inflexního bodu) dále.

- Pro každý bod v datové řadě se zjistí výškový rozdíl mezi zaznamenanou výškou a výškou zjištěnou posledním měřením. Na základě těchto hodnot se vykreslí bodový graf vyjadřující snižující se míru zaznamenaného poklesu v čase.
- Vynesenými body se proloží křivka regresní funkce (mocninná nebo exponenciální) a určí se index determinace R^2 . Tato funkce neodpovídá skutečnému průběhu realizovaných poklesů, což je vyjádřeno i velmi nízkým indexem determinace R^2 . Na rozdíl od navrženého stavu, uvažujícího stabilizaci poklesů v období posledního zahrnutého měření, by dle předpokladu mělo doznívání poklesů nějakou dobu dále pokračovat.
- Nyní je proto nutné odhadnout míru budoucího poklesu, tj. celkový očekávaný pokles mezi posledním měřením a dobou stabilizace, za podmínky zachování trendu vývoje datové řady. Navrženou hodnotu budoucího poklesu je potřeba přičíst ke všem vypočteným vstupním hodnotám datové řady. Tím dojde k automatickému překreslení grafu a přepočtení regresní funkce. Konečná hodnota celkového očekávaného poklesu se hledá iteračním způsobem až do doby, kdy index determinace R^2 vykazuje nejvyšší míru těsnosti.
- Na závěr se pomocí výsledné regresní funkce vypočte (extrapoluje) hodnota vztažená k patřičnému datu (týdnu) a z rozdílu této hodnoty a přepočtené hodnoty posledního realizovaného měření se určí pokles očekávaný za stanovené období.

Tímto způsobem byla určena očekávaná míra poklesů na jednotlivých bodech GPS v období od posledního realizovaného měření (03/2011) do doby předpokládaného obnovení dobývání ve studované lokalitě (01/2012). Příklad konečného grafického znázornění je prezentován na obr. 2. Analogicky byl představený predikční výpočet aplikován i na zkrácenou datovou řadu, do které nebyl inflexní bod zahrnut. Výsledky všech variant výpočtu (datová řada s inflexním bodem i bez něj, použití mocninné nebo exponenciální regresní funkce) na vybraných bodech GPS, plošně rozložených v celé studované oblasti, jsou prezentovány v tabulce 1. Tučně jsou zde zvýrazněny hodnoty očekávaného poklesu vypočtené pomocí nejvhodnější regresní funkce (nejvyšší index determinace).



Obr. 2 Grafické znázornění vybrané regresní funkce popisující trend poklesu na vzorovém bodě c09

Zdroj: [6]

Tabulka 1 Predikce míry poklesu v období 3/2011-1/2012

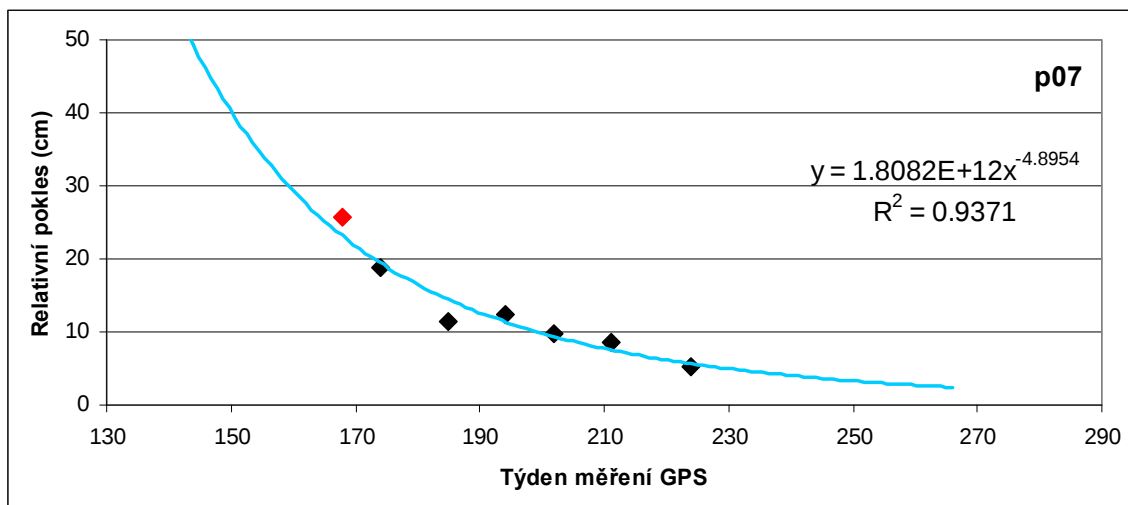
Bod	Od inflexního bodu dále (včetně)				Od inflexního bodu dále (bez jeho zahrnutí)			
	Mocninný		Exponenciální		Mocninný		Exponenciální	
	Pokles [cm]	R ² [%]	Pokles [cm]	R ² [%]	Pokles [cm]	R ² [%]	Pokles [cm]	R ² [%]
a05	-0.95	95.56	-0.73	95.03	-0.79	90.65	-0.64	90.44
c09	-1.03	99.49	-0.82	99.13	-1.26	99.27	-1.11	99.08
c14	-1.11	99.59	-0.82	99.72	-0.84	99.68	-0.74	99.50
p7-8	-0.96	98.13	-0.70	98.24	-1.02	97.12	-0.70	97.39

Zdroj: [6]

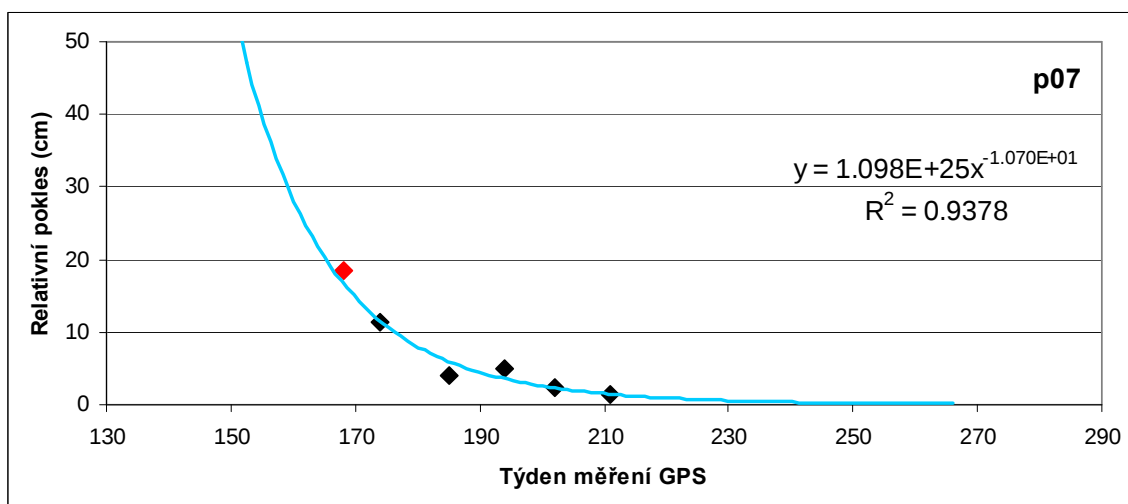
Z prezentovaných výsledků je zřejmé, že jak mocninná, tak exponenciální regresní funkce (jejich průběh je zde velmi podobný) vykazovaly vysokou míru těsnosti k naměřeným datům a oba typy se velmi dobře hodí k popisu trendu vývoje této fáze poklesů. Jednoznačně je možné říci, že lepších výsledků bylo dosaženo v případě zahrnutí inflexního bodu do výpočtu.

U některých bodů nebylo z různých důvodů možné zpracování provést, a pokud ano, pak nebylo dosaženo příliš věrohodných výsledků. Velkou roli zde hrálo především působení vlivů dobývání z okolí, jež míru poklesů na některých bodech výrazně ovlivňovaly, případně zjištění velmi malých, obvykle nerovnoměrných průběžných poklesů nebo zaznamenání nestandardních hodnot vývoje poklesů, zvláště v konečné části zpracovávané datové řady.

Poslední zmiňovaný případ byl zaznamenán např. u bodu p07, viz obr. 3 a 4 a tabulka 2. Poslední bod datové řady z neznámých důvodů (chyba měření, lokální výraznější pokles) vykazuje mnohem vyšší hodnotu poklesu, než se vzhledem k vývoji poklesové křivky očekávalo. Vynecháním tohoto bodu z výpočtu je docíleno vyšší těsnosti regresní funkce. Průběh regresní křivky je rovněž tvarově mnohem podobnější křivkám určeným u okolních bodů a očekávaná hodnota budoucích poklesů koresponduje s hodnotami očekávaných poklesů na okolních bodech.



Obr. 3 Změna průběhu regresní funkce dosažená korekcí datové řady – původní stav
Zdroj: [6]



Obr. 4 Změna průběhu regresní funkce dosažená korekcí datové řady – stav po vypuštění nevyhovující hodnoty

Zdroj: [6]

Tabulka 2 Korekce predikce míry poklesu v období 3/2011-1/2012

Bod	Od inflexního bodu dále (včetně)				Vynecháním posledního bodu měření			
	Mocninný		Exponenciální		Mocninný		Exponenciální	
	Pokles [cm]	R ² [%]	Pokles [cm]	R ² [%]	Pokles [cm]	R ² [%]	Pokles [cm]	R ² [%]
p07	-2.79	93.71	-2.69	93.59	-0.64	93.78	-0.48	93.70

Zdroj: [6]

ZÁVĚR

V rámci výzkumu povrchových projevů poddolování na vybrané lokalitě u Karviné byla vytvořena a následně opakovaně geodeticky zaměřována síť povrchových bodů. Vedle vyhodnocení prostorového pohybu jednotlivých bodů a modelování vývoje poklesové kotliny

byl navržen postup pro predikci budoucího stavu poddolované lokality. Tento postup využívá nástrojů regresní analýzy. Zjištěná očekávaná míra poklesů se na bodech, které bylo možné zpracovat, za období od posledního měření (březen 2011) do doby předpokládaného obnovení těžební činnosti (leden 2012) pohybovala okolo 1 cm, což je vůči celkovému realizovanému poklesu hodnota zanedbatelná. Tvar a velikost doposud zaznamenané poklesové kotliny by se tedy vinou těchto poklesů neměly měnit.

Důlní oblasti v Hornoslezské uhelné pánvi jsou těžbou značně ovlivněny. Dochází zde k výrazným povrchovým změnám nejen vinou poklesů, ale také zaplavením některých oblastí, navážením důlní hlušiny na povrch a celkovou rekultivací. Tyto aktivity by měly být plánovány s ohledem na budoucí využití poddolovaného území, proto je nutná znalost velikosti a trvání poklesů v budoucnu. Navrhovaný postup může pomoci předpovědět budoucí stav poddolovaného území a umožnit tak plánování povrchové rekultivace a dalšího využití hornické krajiny.

Článek vznikl v rámci výzkumného záměru Ústavu geoniky AV ČR, v. v. i., RVO: 68145535.

LITERATURA

1. H. Doležalová, V. Kajzar, K. Souček, L. Staš, Analysis of surface movements from undermining in time. *Acta geodynamica et geomaterialia*, Roč. 9, č. 3 (167), 389–400, 2012. ISSN 1214-9705.
2. H. Doležalová, V. Kajzar, K. Souček, L. Staš, Evaluation of mining subsidence using GPS data. *Acta geodynamica et geomaterialia*, Roč. 6, č. 3, 359–367, 2009. ISSN 1214-9705.
3. H. Doležalová, V. Kajzar, K. Souček, L. Staš, Evaluation of vertical and horizontal movements in the subsidence depression near Karviná. *Acta geodynamica et geomaterialia*, Roč. 7, č. 3 (159), 2010, 355–361, ISSN 1214-9705.
4. M. Dopita, et al. *Geologie české části hornoslezské pánve*. Praha: MŽP ČR, 1997. 278 s. ISBN 80-7212-011-5.
5. V. Kajzar, H. Doležalová, K. Souček, L. Staš, Aerial photogrammetry observation of the subsidence depression near Karviná. *Acta geodynamica et geomaterialia*, Roč. 8, č. 3, 309–317, 2011. ISSN 1214-9705.
6. V. Kajzar, *Modelování následků dobývání ložisek nerostných surovin. Disertační práce* Ústav geoniky AV ČR. 2011. 136 s.

PREDIKCE VÝVOJE POKLESOVÉ KOTLINY

Abstrakt: V letech 2006 až 2011 byla v lokalitě Louky v blízkosti Karviné opakovaně metodou GPS zaměřována rozsáhlá síť bodů s cílem sledovat povrchové projevy poddolování. Vedle zaznamenání vývoje vznikající poklesové kotliny, jejího rozsahu, velikostí poklesů a posunů, bylo naším úkolem stanovit předpokládaný budoucí stav v dané lokalitě. Tyto informace jsou podstatné při plánování rekultivací a dalšího využití poddolovaných oblastí. Predikci dalšího vývoje na základě dat z provedených GPS měření a teoretických znalostí vývoje poklesové kotliny poskytla regresní analýza.

Klíčová slova: poddolování, poklesy, predikce, regresní analýza

PREDICTION OF SUBSIDENCE DEPRESSION DEVELOPMENT

Abstract: An extensive network of points was repeatedly surveyed by GPS method to monitor the surface manifestations of undermining in the Louky locality near Karvina from 2006 to 2011. The aim was not only to record the development of the creating subsidence depression, its range, size of subsidence and horizontal shifts, but the task was also to predict the future state in the area. Such information is essential for planning surface reclamation and other uses of the undermined areas. Prediction of further development on the basis of GPS data and theoretical knowledge of the subsidence depression development was provided by regression analysis.

Keywords: undermining; subsidence; prediction; regression analysis

Datum odeslání článku do redakce: 04.2017

Datum přijetí článku redakcí: 05.2017

Ing. Hana DOLEŽALOVÁ, Ph.D.

Ústav geoniky AV ČR, v .v. i.

Oddělení geomechaniky a báňského výzkumu

Studentská 1768

708 00 Ostrava-Poruba

Česká republika

tel.: +420 596 979 111, e-mail: dolezalova@ugn.cas.cz

Ing. Vlastimil KAJZAR, Ph.D.

Ústav geoniky AV ČR, v .v. i.

Oddělení geomechaniky a báňského výzkumu

Studentská 1768

708 00 Ostrava-Poruba

Česká republika

tel.: +420 596 979 111, e-mail: kajzar@ugn.cas.cz