

Ing. Miroslav Kurka, SP Bohemia, k.s., Ing. Petr Šulcek, Mostecká uhelná a.s.,
RNDr. Slavomír Soviček, Vrtný a geologický průzkum Osek, s.r.o., RNDr. Michal Řehoř, VÚHU a.s., Most

Využití karotážních metod v geologickém vrtném průzkumu na lokalitách Mostecké uhelné a.s.

Přijato: 29. 8. 2006, recenzováno: 22. 9. 2006

Nutzung der Karrotageverfahren in der geologischen Bohrindustrie auf den Lokalitäten der MUS AG

Die geologische Bohruntersuchung ist eine unverzichtbare Tätigkeit bei der Gewinnung von Informationen, wichtigen für die Steuerung des Förderprozesses. Die Qualität des gewonnenen Rohstoffes, dessen räumliche Verteilung sowie ein Gesteinmilieu, das jeden abgebauten Mineral begleitet, wesentlich beeinflussen die Auswahl eines Förderverfahrens, der Förderungsart, Abgrenzung des Förderraumes sowie auch das Prozess der anschließenden Aufbereitung des Rohstoffes bis zur Finalbearbeitung. Mit Hinsicht darauf, dass eine geologische Untersuchung immer eine kostenaufwendige Sache ist, ist es notwendig, für eine richtige Entscheidung aus jeder Bohrung möglichst viel notwendigen Informationen zu gewinnen. Dazu dienen vor allem Laboranalysen, die aus dem Bohrungskern durchgeführt werden. Einen sehr wichtigen Bestandteil der geologischen Untersuchung auf den Lagerstätten des Nordböhmisches Kohlenbeckens stellt eine geologische Dokumentierung der Bohrung – sog. Karrotage dar, mit der sich dieser Artikel beschäftigt.

Die durch Karrotagemessungen gewonnenen Ergebnisse stellen eine bedeutende Ergänzung zu den Informationen dar, die von den Laboranalysen des Bohrungskerns und seiner makroskopischen Beschreibung gewonnen wurden. Da die Karrotagemessungen vom menschlichen Faktor unabhängig sind, stellen für einen bewertenden Geologen eine weitere Ansicht auf jede Bohrung dar.

Der Beitrag fasst kurze Geschichte der Karrotagemessungen zusammen, und beschreibt Möglichkeiten der Karrotage bei der Untersuchung der Kohlelagerstätten, das Prinzip der einzelnen Karrotageverfahren und die gesamte Bedeutung der Karrotage im Rahmen der geologischen Untersuchung der Lagerstätten.

Use of Logging in Geological Bore Survey at Mostecká uhelná a.s. Localities

Geological bore survey is a necessary activity to gain information important for mining process control. The quality of mining rock, its layout and rock setting which accompanies the exploited mineral, are dominant in selecting the method of mining, the way of excavation, the definition of the allotment and the process of the coal after-treatment up to its final processing. As the geological survey is always very expensive, it is necessary to obtain as much necessary information from each bore as possible for correct decision-making. Laboratory analyses executed from the bore core serve to that purpose. Geophysical documentation of a bore - so called logging became another important part of the borehole survey on the deposits of the North-Bohemian Brown Coal Basin. That is the topic of this article.

The results obtained in the borehole survey are a very important complement to the information obtained by the laboratory analyses of the core and its gross description. As the borehole surveys are independent on a human factor, they represent, for an evaluating geologist, another view on each bore.

The article summarizes brief history of borehole survey, logging possibility in coal deposits survey, principle of logging methods and the importance of logging within the geological survey of deposits.

Использование методов кароттажа в геологической разведке на разрезах Мостецкой угольной а/о

Геологическая буровая разведка представляет собой неизбежную деятельность для получения данных, важных для управления процессом добычи. Качество извлекаемого сырья, его расположение в пространстве и среда горных пород, сопровождающая извлекаемый минерал, имеют ключевое влияние на выбор метода разработки,

способ выемки, ограничение добычного пространства и на процесс последующего обогащения сырья и финальную обработку. Ввиду того, что геологическая разведка всегда является очень дорогостоящим делом, для правильного решения надо изыскать из каждой буровой скважины как можно больше требуемых данных. Этому служат в особенности лабораторные анализы полученной колонки. Дальнейшей очень важной составной частью документирования скважины становилось в месторождениях Северочешского бурого угольного бассейна геофизическое документирование скважины – так наз. кароттаж, которым и занимается предлагаемая статья.

Результаты каротажных измерений представляют очень важное дополнение информации, полученной в ходе лабораторных анализов колонки и ее макроскопического описания. Так как каротажные измерения не зависят от человеческого фактора, являются для геолога, занимающегося оценкой, дальнейшим воззрением каждой скважины. Статья приносит резюме истории каротажных измерений, возможности каротаж в разведке угольных месторождений, принцип отдельных методов каротаж и общее значение каротаж в рамках геологической разведки залежей.

Využití karotážních metod v geologickém vrtném průzkumu na lokalitách Mostecké uhelné a.s.

Geologický vrtný průzkum je nezbytnou činností při získávání informací důležitých pro řízení těžebního procesu. Kvalita těžené suroviny, její prostorové rozložení i horninové prostředí, které doprovází těžný nerost, mají rozhodující vliv na výběr dobývací metody, způsob těžby, vymezení dobývacího prostoru i na proces následné úpravy suroviny až po její finální zpracování. Vzhledem k tomu, že geologický průzkum je vždy velmi nákladnou záležitostí, je pro správné rozhodnutí třeba získat z každého vrtu co možná nejvíce potřebných informací. K tomu slouží zejména laboratorní analýzy provedené z vrtného jádra. Další velmi důležitou součástí vrtného průzkumu se na ložiskách severočeské uhelné pánve stalo geofyzikální dokumentování vrtu – tzv. karotáž, kterou se zabývá tento článek.

Výsledky získané karotážním měřením jsou velice důležitým doplňkem k informacím získaným laboratorními rozbory vrtného jádra a jeho makroskopickým popisem. Protože jsou karotážní měření nezávislá na lidském činiteli, představují pro vyhodnocujícího geologa další pohled na každý vrt.

Příspěvek shrnuje stručnou historii karotážního měření, možnosti karotáže při průzkumu uhelných ložisek, princip jednotlivých karotážních metod a celkový význam karotáže v rámci geologického průzkumu ložisek.

1. Úvod

Geologický vrtný průzkum je nezbytnou činností při získávání informací důležitých pro řízení těžebního procesu. Kvalita těžené suroviny, její prostorové rozložení i horninové prostředí, které doprovází těžný nerost, mají rozhodující vliv na výběr dobývací metody, způsob těžby, vymezení dobývacího prostoru i na proces následné úpravy suroviny až po její finální zpracování. Vzhledem k tomu, že geologický průzkum je vždy velmi nákladnou záležitostí, je pro správné rozhodnutí třeba získat z každého vrtu co možná nejvíce potřebných informací. K tomu slouží zejména laboratorní analýzy provedené z vrtného jádra. Další velmi důležitou součástí vrtného průzkumu se na ložiskách severočeské uhelné pánve stalo geofyzikální dokumentování vrtu – tzv. karotáž.

První pokusy o využití byly prováděny již v šedesátých letech minulého století. První metodou využitou v uhelném hornictví byla tzv. metoda elektrokarotáže. V sedmdesátých letech se postupně začaly využívat další nové metody - metody jaderné karotáže, které se po postupném zdokonalení a vzájemném kombinování během několika málo let staly nedílnou součástí průzkumu ložiska.

2. *Využití karotáže na uhelných ložiskách*

Hlavním úkolem karotáže na uhelných ložiskách je:

- a) zjistit přítomnost uhelné sloje v profilu vrtu
- b) stanovit hloubku uložení uhelné sloje, její mocnost s přesností na 0,1 m
- c) provést detailní členění uhelné sloje
- d) stanovit technologických vlastností uhlí, zejména obsahu popela.

Dalšími úkoly karotáže na uhelných ložiskách jsou :

- e) kontrola a doplnění údajů o litologickém sledu vrstev v mimoslojové partii
- f) stanovení fyzikálních a geochemických vlastností hornin (objemové hmotnosti, pórovitosti, apod.)
- g) zjištění základních hydrogeologických poměrů ve vrtu (vyčlenění kolektorů, izolujících vrstev, stanovení jílovitosti, mineralizace podzemních vod, teploty, ověření míst přítoků, objemového vertikálního průtoku, vydatnosti jednotlivých přítoků, apod.)
- h) zjištění technických parametrů vrtu (průměru vrtného stvolu, prostorového průběhu vrtu)

Pro zajištění souboru úkolů zabývajících se vlastní uhelnou slojí a jejími parametry (úkoly a – d) byl postupně vyvinut účelný komplex několika karotážních metod, které po vzájemné kombinaci dávají nejspolehlivější výsledky. V současné době se jedná o následující metody: gama karotáž GK, gama gama karotáž hustotní – GGK – H, neutron – neutron karotáž NNK a kavernometrii KM.

Pro kontrolu a doplnění údajů o litologickém sledu vrstev v mimoslojové partii (úkol e) je tento komplex metod doplněn o karotáž magnetické susceptibility KMS. Metoda je nezbytná v případě požadavku na vymezení pevných poloh. Pro stanovení základních fyzikálních a geochemických vlastností hornin (úkol f) je nezbytné měření GGK – H a NNK. Pro zjištění hydrogeologických poměrů ve vrtu (úkol g) je třeba využít měření rezistivimetrie RM a termometrie. Hlavní technické parametry vrtu (úkol h) se zjišťují měřením kavernometrie KM a inklinometrie IM.

S ohledem na fyzikální vlastnosti uhlí a jalových hornin se přítomnost uhelné sloje ve vrtném profilu projevuje zejména zvýšenou četností (nízká hustota) na záznamech GGK-H, nejnižšími hodnotami četností (vysokou neutronovou pórovitostí) na záznamech NNK a minimálními hodnotami expozičního příkonu na záznamech GK.

3. *Základní principy jednotlivých karotážních metod*

Karotážní měření se uskutečňuje automatickou karotážní soupravou. Do vrtu se na karotážním kabelu spouští hlubinná sonda volně nebo přitlačná na stěnu vrtu a při vytahování z vrtu se spojitě registruje určitá fyzikální veličina ve zvoleném měřítku na záznamový materiál (analogový záznam), hloubkové měřítko zpravidla činí 1 : 100.

Po digitalizaci karotážního měření je karotážní záznam dále zpracován. Konečné vyhodnocení se předává v tiskové podobě karotážního záznamu (karotážní profil vrtu) a v digitální podobě ve formátu STG (měřené křivky s krokem 0,05 m) a ve formátu JPG (karotážní profil vcelku).

Základními přístroji pro jadernou karotáž jsou karotážní nebo hlubinné radiometry pro detekci záření gama nebo pro detekci neutronů. Skládají se vždy z hlubinné sondy a povrchového panelu. U gama karotáže GK je kontinuálně měřen expoziční příkon přirozené

gama aktivity hornin. Metoda gama – gama karotáže, založená na měření expozičního příkonu rozptýleného gama záření umělého gama zdroje (^{137}Cs), slouží ke stanovení objemové hmotnosti hornin v profilu vrtu.

3.1 Gama karotáž GK

Pod tímto pojmem rozumíme měření úhrnného expozičního příkonu záření gama, které je způsobeno přirozenými radioaktivními prvky (U, Ra, Th, K), obsaženými v horninách, které byly zastiženy vrtem. Měřená veličina se vyjadřuje v jednotkách expozičního příkonu ($\text{A} \cdot \text{kg}^{-1}$), záznam představuje křivku expozičního příkonu v závislosti na hloubce. Kalibrace (cejchování) karotážních radiometrů se uskutečňuje pomocí bodového standardu Ra, způsob kalibrace i konstrukce grafu je shodná jako při povrchovém průzkumu.

Kvantitativní interpretace záznamu GK představuje výpočet celkového obsahu radioaktivní látky v hornině, který je vyjadřován v ur, % nebo ppm eU. Při interpretaci je možno postupovat dvojím způsobem.

Záznamů GK se používá pro stanovení celkového obsahu U, Th, K, pro stanovení obsahu U na ložiskách radioaktivních surovin, pro litologické členění vrstev zejména v sedimentárních horninách, pro vzájemnou korelaci vrstev mezi vrty, pro posouzení stupně jílovitosti, tedy zastoupení jílovité frakce v sedimentárních horninách, pro zjištění obsahu radioaktivní látky různých typů hornin in situ.

3.2 Gama-gama karotáž (GGK)

Gama-gama karotáž existuje ve dvou modifikacích, tj. hustotní a selektivní. Při *hustotní modifikaci* GGK-H registrujeme expoziční příkon rozptýleného záření gama ovlivněného Comptonovým rozptylem. Zdrojem záření gama je izotop ^{60}Co nebo ^{137}Cs , aktivita zdroje 10^8 až 10^9 Bq, vzdálenost od detektoru 40 až 60 cm při průzkumu v sedimentárních horninách, 20 až 30 cm v rudních vrtech. Měření je výrazně ovlivněno změnou průměru vrtu, kavernetrie jako doplňující metoda je nezbytně nutná. Pro snížení vlivu výplachu a změn průměru vrtu se používá přítlačné sondy, se zdrojem i detektorem stíněným ze strany výplachu, sondy jsou často vybaveny kolimačním zařízením. Pro přesné stanovení objemové hustoty ρ hornin se používá navíc zvláštní konstrukce sondy GGK-H. Ke stěně vrtu je přítlačováno hydraulicky pouze výkyvné rameno se zářičem ^{137}Cs a dvěma detektory – scintilačními krystaly. Expoziční příkon záření gama registrovaný bližším detektorem je více závislý na nerovnostech stěny vrtu než na hustotě. Tato informace je dále zpracovávána a použita pro opravu (na průměr vrtu) druhé informace získané vzdálenějším detektorem.

Hustotní modifikace GGK-H se především používá pro stanovení objemové hustoty hornin (přesnost max. $10^{-2} \text{ g cm}^{-3}$), pórovitosti, identifikaci slojí ($\rho = 1,40 \text{ g cm}^{-3}$) nebo naopak rud ve vrtném profilu. Měříme-li přítlačnými sondami se stíněním, je možno ze záznamu GGK-H stanovit také popelnatost uhlí A^s s přesností ± 3 = absolutně. U monominerálních rud je možno určovat procentuální obsah rudy v hornině (přesnost max. 1 % obsahu rudy). GGK-H se dále používá pro kontroly vystrojení vrtu, stanovení hlavy cementového kamene za pažnicemi.

3.3 Neutron – neutron karotáž (NNK)

Existuje ve dvou variantách: neutron-neutron karotáž při měření hustoty tepelných neutronů NNK-T a při měření hustoty nadteplných neutronů NNK-N. Praktický rozdíl mezi oběma variantami spočívá v tom, že při registraci nadteplných neutronů je detektor uložen do stínícího filtru (např. z Cd), který tepelné neutrony odstíní.

Principiálně se měření provádí tak, že v určité vzdálenosti od zdroje rychlých neutronů ($L = 0,5$ až $0,8$ m) měříme hustotu zpomalených neutronů, která je dána neutronovými vlastnostmi proměřovaného prostředí, především obsahem prvků s větším účinným průřezem pro zpomalení neutronů (H) a pro radiační zachyt (B, Cl). Jako detektory se používají proporcionální B trubice, koronové trubice ^3He nebo scintilační krystaly Li (TI). Zdroje neutronů jsou typu Po-Be, Pu-Be, Am-Be, Ac-Be o aktivitách 7 až $20 \cdot 10^{10}$ Bq, při vzdálenostech zdroje neutronů od detektoru $L = 0,5$ až $0,8$ m pracujeme v oblasti nepřímé závislosti. Se vzrůstajícím obsahem H klesá registrovaná hustota neutronového toku.

Metoda NNK se používá ke dvěma účelům:

- ke stanovení pórovitosti a posouzení charakteru kapaliny zaplňující póry horniny na ložiskách ropy a plynu
- ke stanovení obsahu B, Cl, Mn, Hg, Tr

Ke stanovení pórovitosti hornin je nejlépe využít metody NNK-N se sondou pokud možno přítlačnou a stíněnou ze strany výplachu B_2O_3 (geometrie 2π). V tom případě je hustota neutronů v místě detektoru určena pouze obsahem vodíku, tedy prvku s maximálním účinným průřezem pro zpomalení neutronů. Vodík je v pórech horniny především ve formě H_2O (resp. ropy), pokud hornina neobsahuje jílovitou příměs nebo sádrovec, je její pórovitost dána celkovým obsahem vody. U jílovitých hornin je třeba zavádět opravu na jílovitost V_{sh} s využitím záznamu SP, GK nebo Ra. Přesnost stanovení pórovitosti ρ je poněkud závislá na litologii ($\Delta\rho = \pm 3\%$ absolutně).

3.4 Magnetická karotáž MK

Magnetická karotáž existuje ve dvou variantách. V první variantě měříme magnetickou susceptibilitu hornin χ (karotáž magnetické susceptibility), ve druhé měříme jednotlivé složky zemského magnetického pole (X, Y, Z), nebo alespoň složku Z (magnetometrie vrtu).

Při měření magnetické susceptibility používáme buď jednocívkového systému, který je součástí střídavého můstku, nebo dvoucívkového systému podobně jako při indukční karotáži.

Karotáže magnetické susceptibility používáme při průzkumu rud obsahujících magnetit a pyrit, při členění geologického profilu ve vyvřelých a metamorfovaných horninách, při průzkumu oxidačních zón s obsahem limonitu v karbonátech. Velmi citlivých přístrojů používáme v sedimentárních horninách pro vymezení významných korelačních horizontů.

3.5 Kavernometrie KM

Přístroje pro měření průměru vrtu – kavernometry – mají nejrůznější mechanické konstrukce, principiální schéma však je u všech podobné. Tři nebo čtyři mechanická čidla (páky, ramena kloubového mechanismu podobná pantografu) jsou pružinou přítlačována ke stěně vrtu a při měření sledují všechny změny v průměru vrtu. Změny v poloze ramena jsou přenášeny kladkovým systémem mezi jezdcem potenciometru, takže potenciální rozdíl

ΔV (mV) měřený mezi jezdcem potenciometru a jeho krajní polohou je přímo úměrný průměru vrtu.

3.6 Inklinometrie

Pro přesnou prostorovou pozici místa, ve kterém vrt zastihl ložisko, je třeba znát prostorový průběh vrtu, který se často značně odchyluje od svislice, a to i u vrtů, které byly projektovány jako vrty svislé. Používáme k tomu inklinometrů, které mohou být trojího druhu: *elektrické odporové inklinometry s magnetkou*, *elektrické odporové inklinometry s gyroskopem* a *fotoinklinometry* (např. z dřívější NDR – Monograf, Multigraf).

3.7 Rezistivimetrie RM

Při rezistivimetrii měříme průběžně měrný elektrický odpor kapaliny ve vrtu. Měřená veličina má rozměr Ωm , přístroje, které k měření používáme, nazýváme rezistivimetry. Karotážní sonda – rezistivimetr je velmi jednoduchá. Ve všech případech obsahuje tři minimální elektrody s velmi malou hloubkou dosahu tak, aby byl vyloučen vliv okolních hornin. Jedna z elektrod (A) je zapojena do proudového okruhu, zbývající dvě (M,N) do okruhu měřicího. Pro napájení rezistivimetru stabilizovaným proudem I (mA) a pro měření potenciálního rozdílu ΔV (mV) na elektrodách MN použijeme běžných zařízení pro prostá elektrokarotážní měření.

4. Závěrečné shrnutí

Výsledky získané karotážním měřením jsou velice důležitým doplňkem k informacím získaným laboratorními rozbory vrtného jádra a jeho makroskopickým popisem. Protože jsou karotážní měření nezávislá na lidském činiteli, představují pro vyhodnocujícího geologa další pohled na každý vrt.

To je důležité při posuzování geologické situace na ložisku v případě uhelné substance i doprovodného horninového prostředí. Na základě vyhodnoceného karotážního měření lze provádět korelace nadložních souvrství, a to jak v rámci jednoho ložiska, tak i více ložisek navzájem. Tímto způsobem lze vysledovat průběh charakteristických proplástků. Po vzájemné kombinaci makroskopického popisu vrtného jádra a karotáže je možné vyčlenit v předstihu zpevněné horizonty nebo písčité horizonty nasycené vodou, které vždy představují riziko pro těžební proces. Pomocí karotáže lze sledovat morfologii uhelné sloje i její přibližnou kvalitu (obsah A^d). Díky charakteristickým křivkám jednotlivých metod v určitých partiích ložiska je možné odvodit, které části byly ovlivněny anomálním geologickým vývojem (např. bezeslojná pásma v části uhelného ložiska).

Karotážní měření se pro výše uvedené důvody stala během několika desetiletí součástí komplexního geologického hodnocení uhelných ložisek.

Část problematiky této práce byla řešena s podporou Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci výzkumného záměru č. MSM 4456918101 „Výzkum fyzikálně chemických vlastností hmot dotčených těžbou a užitím uhlí a jejich vlivů na životní prostředí v regionu severozápadních Čech“.