

Ing. Zdeněk F o r m á n e k, CSc., VÚHU

Rozbor problematiky kontinuálního měření obsahu popela v uhlí

Požadavek na okamžitou znalost kvality uhlí dopravovaného pásovou dopravou vede ke konstrukci kontinuálních analyzátorů ("popeloměrů"). V minulých letech se objevilo několik typů takových přístrojů, některé jako experimentální prototypy, jiné jako sériově vyráběné a komerčně dodávané. Optimistické zprávy o jejich úspěšném nasazení na určité lokalitě byly často vystřídávány neúspěchem v jiných podmínkách. Příkladem může být polský analyzátor G 3, který se osvědčil v OKR, ale jeho nasazení v SHR skončilo nezdarem. Podobně zprávy o neutronovém analyzátoru CONAC americké firmy Kennedy Van Saun, které vedly k názoru, že problematika kontinuálního měření kvality uhlí je definitivně vyřešena a vývoj analyzátoru na jiném principu nemá smysl, se ukázaly jako předčasné. Firma na přímou objednávku odpověděla natolik vyhýbavě, že bylo zřejmé, že pochybuje o úspěchu a pokusy reprodukovat přístroj v našich podmínkách rovněž nevedly k cíli. Je tedy zřejmé, že podmínky, v jakých je analyzátor nasazován, závažným způsobem ovlivňují dosahované výsledky a zkušenosti s nasazením analyzátoru na jedné lokalitě je možné přenášet na jinou lokalitu jen velmi opatrně a kriticky.

Úspěch nasazení kontinuálního analyzátoru je podmíněn jeho principem, technickým řešením, způsobem vyhodnocování a v neposlední řadě také ujasněním požadavků, jaké jsou při konkrétním nasazení na analyzátor kladeny. Všechny dosud prakticky vyzkoušené kontinuální analyzátory pracují na principu využití ionizujícího záření, proto jsou následující úvahy zaměřeny na tento typ, většinou je však jejich platnost obecná.

Na kontinuální analyzátor je kladena řada požadavků, z nich je na prvním místě přesnost.

Otázka přesnosti je předmětem mnoha diskusí, protože tento pojem lze interpretovat více způsoby. Pracovníci OŘKJ zpravidla vycházejí z normy ČSN 441304, ve které je stanoven požadavek chyby stanovení obsahu popela 2 % pro A^d větší než 20 %. Jde ovšem o vzorek, složený z 16 (u upravených uhlí) nebo 32 (u neupravených) dílčích vzorků.

Pro výpočet směrodatné odchylky průměru z většího počtu měření platí

$$S_{\bar{x}} = S \cdot n^{-0,5}$$

kde $S_{\bar{x}}$ je směrodatná odchylka průměru, S je směrodatná odchylka jednoho měření a n je počet měření. Obrácením rovnice získáme vztah

$$S = S_{\bar{x}} \cdot n^{0,5}$$

To znamená, že je-li přípustná hodnota směrodatné odchylky průměrného vzorku 2 %, pak přípustná hodnota směrodatné odchylky měření jednoho vzorku je $2 \cdot 16^{0,5} = 8$ % resp. $2 \cdot 32^{0,5} = 11$ %. Jestliže tedy pokládáme okamžitou hodnotu naměřenou analyzátozem za měření dílčího vzorku, pak by při uvedených směrodatných odchylkách bylo vyhověno požadavku normy. Z tohoto hlediska je třeba obecně posuzovat kontinuální měření. Měření s krátkou časovou konstantou, resp. za krátký čas mají nutně velký rozptyl, i když průměr za celou jednotku (vagón, vlak, těžba za směnu) vyhoví požadavku ČSN. Uvedený rozptyl je součtem rozptylů způsobených chybami analyzátoru a nehomogenit měřeného uhlí, rozlišení těchto vlivů je velmi obtížné. Při udávání přesnosti resp. chyby je tedy prostý údaj o směrodatné odchylce měření nedostatečný, měl by být doplněn údajem o dobách měření nebo časové konstantě a počtu měření, ze kterých byl vypočten.

Při nasazení kontinuálního měření v provozu na začátku

technologického procesu, kde je kvalita uhlí značně proměnlivá, stejně není vyšší přesnost využitelná, protože naměřená hodnota kolísá ve velkém rozsahu, i přesné měření tedy slouží jen pro hrubou orientaci. Je tedy nutno zodpovědně posuzovat potřebnou přesnost případ od případu, na začátku technologického procesu - u rýpadla - vyhoví nižší přesnost, na konci - na expedičních pásech - je potřebná maximální přesnost.

Problém přesnosti souvisí s otázkou proměření celého množství materiálu na páse, nebo proměření takové jeho části, která odpovídá průměru. Prozařovací metody, používající poměrně úzkého vertikálního paprsku (DGP 2 z EGO Chvaletice nebo DASP VÚHU - VZUP), proměří poměrně malou část materiálu, protože však proměřuje celý vertikální profil, dobře průměruje případné vertikální rozvrstvení kvality materiálu. Odrazové metody, využívající záření gama o nízké energii (polský G 3, německý CAM 500), měří širším paprskem, ale proměří jen tenkou vrstvu uhlí blízko sondy (horní vrstvu u G 3, dolní u CAM 500). Proměří tedy větší objem materiálu, ale v případě jeho rozseparování na vrstvy o různé kvalitě měření neodpovídá průměru.

Nejlepší předpoklad pro splnění podmínky měření podstatné části objemu materiálu na páse mají metody měření rozptýleného záření při prozařování vrstvy uhlí a měření anihilačního záření, vznikajícího při interakci záření gama o vyšší energii. Obě tyto metody pracují se širokým svazkem záření a proměřují i vertikální profil materiálu, pro technické těžkosti však dosud ani jedna z těchto metod nebyla dopracována do provozního nasazení.

Dalším důležitým požadavkem je současné měření množství uhlí procházejícího analyzátořem. Při kolísajícím množství i kvalitě uhlí je samotný údaj o kvalitě nedostatečný a může vést k falešným závěrům. Pro jakékoliv rozhodnutí není pod-

statný okamžitý údaj o kvalitě, ale průměr za určitou (třeba krátkou) dobu. Tento průměrný údaj je nutno počítat jako vážený průměr, tedy ze součinů obsahu popela a množství. Např. je-li v polovině doby měření na páse vrstva uhlí tloušťky 5 cm o obsahu popela 10 % a druhou polovinu vrstva 15 cm o obsahu popela 40 %, pak prostým průměrováním se získá hodnota 25 %, zatímco správná průměrná hodnota uhlí, prošlého měřicím zařízením za dobu měření je 32,5 %. Tento problém vystupuje nejmarkantněji při počítání dlouhodobých, např. směnových průměrů. Tato otázka nebývá někdy řešena ani u klasických vzorkovacích stanic, kde spouštění vzorkovacího zařízení bývá řízeno časově a objem odebraného vzorku nezávisí na množství materiálu na páse. I zde pak "průměrný" vzorek za směnu nemusí odpovídat skutečnému průměru prošlého uhlí.

Metoda měření obsahu popela, využívající prozařování uhlí dvěma paprsky záření gama o různé energii, která je v současné době nejlépe rozpracována, má jeden specifický problém - dobu integrace. Aby radiometrická chyba, způsobená statistickou fluktuací četnosti impulsů byla únosná, je třeba pro měření nasčítat minimálně $10^4 - 10^5$ impulsů. To vede k integračním dobám kolem 100 i více zejména u systému, které používají pro detekci Geiger- Müllerové trubice. Pokud během integrační doby dojde ke změně množství uhlí na páse, vede to v důsledku nelinearity vztahu mezi množstvím a kvalitou uhlí a naměřenou četností ke zkreslení výsledku. Obsah popela je v lineárním vztahu k poměru logaritmů četností, naměřených pro záření o nízké a střední energii. Tento poměr se nemění, pokud se tloušťka vrstvy na páse nezmění během doby integrace. Jestliže však v integrační době probíhá podstatná část měření při maximální tloušťce vrstvy uhlí na páse a jen po krátkou dobu při minimální vrstvě, je výsledkem zcela zkreslená hodnota. Ještě k horším důsledkům vede, jestliže po část integrační doby je pás úplně prázdný, pak může být výsledkem i absurdní záporná hodnota obsahu popela. Popeloměry s dlouhými integračními dobami (např. DGP 2) nejsou tedy vhodné pro měření v pří-

padech, kde je zatížení pásu proměnlivé. Přijatelných výsledků v takovém případě je možné dosáhnout zkrácením integrační doby na minimum (někteří autoři doporučují hodnoty řádu milisekund). Podmínkou je použití scintilačních detektorů, schopných pracovat s četnostmi řádu 10^4 a vyhodnocovacího systému, schopného provést výpočty v potřebné krátké době a výsledné hodnoty teprve průměrovat nebo počítat alespoň dílčí hodnoty (logaritmy četnosti) a ty pak zpracovávat po uplynutí požadované doby. Radiometrická chyba jednotlivých měření je sice velká, ale průměrováním řady měření se dosáhne vyhovujících výsledků. Algoritmus takového vyhodnocení je dosti složitý, proto je nejschůdnější řešení číslicovou technikou mikroprocesorem (např. DASP VÚHU - VZUP).

Specifickým problémem kontinuálních analyzátorů je kalibrace. Absolutní kalibrace na základě výpočtů není možná, podle zkušeností není možná ani kalibrace v modelových podmínkách. Výsledky měření totiž značně závisí na přesném dodržení geometrie a i malý rozdíl mezi kalibračními a provozními podmínkami stačí znehodnotit měření.

Poněkud lepší výsledky byly získány statickou kalibrací v reálných podmínkách. Postup je takový, že profil pásu v místě měření se postupně naplní několika typy uhlí o známém obsahu popela a měří se odezva přístroje. Kalibračních bodů nelze udělat příliš mnoho a proto je nutné každý bod ověřit tím, že se vzorek proměří mnohokrát. Aby se vyloučil vliv nehomogenity vzorků, je nutné před každým měřením vzorek přeházet nebo s pásem posunout o několik cm, aby se měřilo v jiném místě. Každý kalibrační bod je pak výsledkem statistického vyhodnocení většího počtu měření, aby se maximálně omezil vliv nahodilé chyby. Přesto lze tuto kalibraci pokládat pouze za orientační, i když se však při ní podaří napodobit tvar vrstvy uhlí za pohybu, dojde při skutečném pohybu pásu ještě k další změně - uhlí je v důsledku vibrací částečně ve vznosu, takže jeho sypaná hmotnost je nižší.

Ideálním způsobem kalibrace by byl kontinuální provoz linky, na které by v uzavřeném cyklu bylo dopravováno velké množství dokonale homogenního uhlí a tento postup by byl opakován s větším množstvím typů uhlí. To není prakticky uskutečnitelné, proto je nutné alespoň závěrečné kalibrace provádět v reálném provozu.

Zařízení se orientačně kalibruje staticky a pak se delší dobu nechá pracovat paralelně se vzorkováním. Vzorky se zpracují klasickým způsobem a statistickým porovnáním výsledků s výsledky popeloměru se získá hodnota, o kterou je třeba kalibraci korigovat. Tento postup je ovšem značně pracný a choulostivý. Pokud není k dispozici automatický vzorkovač, je vhodné zajistit mimořádné vzorkování, běžný způsob odběru vzorků není obvykle dostatečně spolehlivý. Rytmus vzorkování je nutné přizpůsobit činnosti analyzátoru tak, aby byla zaručena časová přiřazenost obou údajů. Průměrné hodnoty klasických údajů je nutné počítat jako vážené, jinak by mohlo dojít ke značným rozdílům v údajích. Ideální podmínky jsou takové, kdy je možno řídit provoz tak, aby po páse byl dopravován vždy delší dobu jeden typ uhlí o stálé kvalitě. V každém případě je třeba získat kalibrační body v nejširším rozmezí kvalit uhlí, které v daném místě připadají v úvahu.

Při kalibraci radiometrických popeloměrů je nutné vzít v úvahu to, že jejich údaj je do značné míry ovlivňován chemickým složením popelovin - zejména obsahem železa. Proto každá kalibrace platí jen pro jeden typ uhlí, při přechodu na jiný typ je nutné měnit kalibrační křivku.

Dalším faktorem, který podstatným způsobem ovlivňuje využitelnost kontinuálních analyzátorů uhlí je množství uhlí na páse v místě měření. Různé typy analyzátorů jsou na tento faktor různě citlivé, obecně lze říci, že každý pracuje spolehlivě jen v určitém rozmezí zatížení pásu. To vedlo např. k tomu, že v SHR nedošlo k praktickému nasazení zařízení,

využívajícího pro měření popelnatosti vodorovného paprsku záření gama. Toto zařízení vyžaduje pro správnou funkci dlouhodobé dodržování plnění pásu na minimálně 60 %. Při zkouškách na dole 5. květen byla tato podmínka splněna jen po cca 40 % doby provozu na dole A. Zápotocký jen výjimečně. V poslední době byl tento princip úspěšně zkoušen v OKR, kde jsou podmínky příznivější.

U odrazových metod není množství uhlí na páse omezeno shora, jak již bylo uvedeno, zařízení změřívá vrstvu uhlí, bližší čidlu, další vrstvy neměřívá. Při nedostatečném plnění pásu roste chyba měření a silně se uplatňuje vliv pásu, který zařízení neodlišívá od uhlí. Pokud by vlastnosti pásu byly neměnné, bylo by možné jeho vliv celkem snadno eliminovat, ve skutečnosti je pás nehomogenní a proto je i jeho vliv proměnlivý. U přístroje CAM 500 řešívá autoři tento problém tak, že proměřívá prázdný pás a údaje o korekcích v jednotlivých místech uloží do paměti počítače. Ten pak za provozu koriguje každý údaj hodnotou, odpovídající příslušnému místu pásu. Přiřazení správné hodnoty je zajišťováno synchronizačními značkami na páse a detektorem u měřící aparatury. Zařízení i jeho kalibrace jsou dosti složité.

U prozařovacích metod je omezení nejvyšší vrstvy dáno tím, že vrstva uhlí o tloušťce větší než 250 mm již nepropustí měřitelnou intenzitu záření o nízké energii. Proto zařízení, pracující na tomto principu, velké kusy těživa ignorují. S poklesem vrstvy uhlí pod 100 mm roste chyba měření a u vrstev pod 50 mm je chyba již neúnosně vysoká. Nejhorší je situace u uhlí o větším zrnu, kde při vrstvách kolem 100 mm se již objevují prázdná místa na páse, která způsobují závažné chyby vyhodnocení. Při dosavadním systému vyhodnocování je tento problém neřešitelný. Protože však možnost měření i za takových podmínek je velmi důležitá, je tato otázka intenzívně řešena.

Z rozboru je zřejmé, že přes dílčí úspěchy je otázka kontinuálního analyzátoru uhlí stále otevřena a výsledkem řešení

pravděpodobně nebude jeden univerzální analyzátor, ale několik přístrojů, přizpůsobených pro specifické podmínky a požadavky jednotlivých nasazení. Za optimální řešení lze pokládat stavebnici, složenou z programovatelné centrální jednotky pro řízení a vyhodnocování a několika čidel, nasazovaných podle specifiky měření.

Literatura

1. Formánek, Z. Výzkum kontinuálního měření jakosti uhlí na páse a v důlních vozících
Závěrečná zpráva úkolu R-10-125-302-05
VÚHU 1985
2. Kubant, J., Votava, P. Energetika 30 (1) p. 271, 1980
3. Kubant, J., Votava, P. Radioizotopy 22 (3) p. 413, 1981
4. Sojka, J., Matoušek, A. Kontinuální určování obsahu popelovin v hnědém uhlí se zrnitostí do 50 mm
radiometrickou metodou - zpráva VÚSH
Brno 1982
5. Clayton, C.G., Wormald, M.R. Coal analysis by nuclear methods Appl. Rad. Isoto 34 (1)
p. 3, 1983
6. Pak Ju. N., Těrechov, V. M. Povyšeniye točnosti radioizotopnogo metoda kontrolja zolnosti
uglja peremennogo veščestvennogo
sostava - Gornyj žurnal (5), p. 1,
1983
7. Sowerby B. D. Determination of ash, moisture and
specific energy of coal - Gamma,