

Ing. Zdeněk F o r m á n e k, CSc.

Základní principy popeloměru na bázi radioaktivního záření
a technické aspekty praktického využití

1.0 Úvod

Požadavky na přesnou znalost kvality uhlí jsou v poslední době stále přísnější, proto je nutné zdokonalovat metody jejího měření.

Klasická a dosud jediná normovaná metoda - periodický odběr vzorků, jejich redukce, homogenizace, úprava a laboratorní analýza, má řadu nevýhod. Je to vliv subjektu jak při odběru vzorků, tak při jejich úpravě i při vlastní analýze, dále dlouhá doba od odebrání vzorku po získání výsledku a zejména nutnost odebrání velkého množství vzorků, má-li být vzorkování skutečně reprezentativní. Automatické vzorkování s mechanizovanou úpravou a redukcí vzorků sice odstraňuje fyzickou námahu obsluhy i vliv subjektu, ale nutnost odběru velkého množství vzorků nelze odstranit. Kromě toho trpí mechanismy (zejména drtiče) značnou poruchovostí.

Všechny tyto výhrady vedou k názoru, že jediným skutečně úplným řešením je kontinuální měření kvality uhlí přímo na pásu, kdy je nedestruktivní metodou proměřeno celé množství prošlého uhlí.

I k těmto metodám lze mít výhrady v případě, kdy měření sice probíhá kontinuálně, neproměřuje však veškerou prošlou hmotu, protože měřicí zóna nezasáhne celý profil pásu, dále podmínky měření na pásu jsou velmi proměnlivé, což zvyšuje komplikovanost řešení a možnost chyb. To je nutno mít na paměti při posuzování a srovnávání různých metod.

Samostatným problémem je přesnost měření. ČSN 44 1378 předepisuje pro hnědá uhlí s obsahem popela nad 10 % relativní chybu menší než 4 % při absolutní chybě max. 1 %. K chybě stanovení je nutno přičíst (podle pravidel statistiky) chybu vzorkování, která podle ČSN 441304 pro uhlí o obsahu popela nad 20 % činí 2 %, ve skutečnosti však při silně heterogenním materiálu může být i vyšší.

Je proto logické požadovat od kontinuálního měření chybu, odpovídající celkové chybě klasické metody a vzorkování.

Normativně není tato otázka dosud vyřešena, obvykle se za uspokojující pokládá měření s absolutní chybou měření menší než 3 %, v řadě případů by stačila i nižší přesnost.

Jedinou nedestruktivní metodou, kterou se podařilo realizovat kontinuální měření kvality uhlí na pásu, je využití radioaktivního záření.

2.0 Fyzikální princip popeloměrů

Principem všech popeloměrů na bázi radioaktivního záření je interakce nějakého druhu ionizujícího záření s měřeným uhlím. Většinou se při tom využívá faktu, že popeloviny v uhlí mají vyšší protonové číslo než hořlavina a interakce záření je na protonovém čísle závislá.

Podle druhu použitého záření lze metody rozdělit na využití odrazu záření beta, odrazu záření gama, prozařování zářením gama a využití neutronového záření.

2.1 Popeloměry, využívající záření beta

Popeloměry na principu odrazu záření beta využívají toho, že albedo (poměr odražených a dopadajících elektronů) materiálu je přímo úměrné protonovému číslu měřeného materiálu. Uhlí s větším obsahem popela tedy za jinak stejných podmí-

nek měření odráží více elektronů.

Výhodou využití záření beta je jednoduchá a účinná detekce, snadné stínění a tedy minimální ohrožení okolí zářením. Metoda má však jednu zásadní nevýhodu, protože záření beta se hmotou silně absorbuje, takže interakce se zúčastní jen asi 1 mm silná povrchová vrstvička vzorku. Proto je metoda velmi citlivá na tvar povrchu měřeného uhlí. Uspokojivých výsledků se dosáhne u vzorků rozemletých na jemné zrno a náležitě zhomogenizovaných. Při nasazení do provozu je nutno počítat s tím, že i slabá vrstvička prachu, usazená kdekoli mezi zdrojem záření a detektorem, podstatně zkreslí výsledek měření. Proto se používají "Beta analyzátory" nejvíce v laboratoři pro diskontinuální měření. Byly však úspěšně nasazeny k měření na pomocném pásku, na který je ze vzorkovací stanice vedeno uhlí, rozdrcené na potřebné zrno a upravené do konstantní vrstvy.

2.2 Popeloměry, využívající záření gama

Při měření zářením gama se využívá toho, že záření gama reaguje s hmotou třemi nejvýznamnějšími způsoby - fotoefektem, Comptonovým jevem a tvorbou párů elektron - pozitron. Který z těchto jevů se uplatní, závisí na energii použitého záření a na protonovém čísle materiálu.

Při nejnižších energiích záření se uplatňuje fotoefekt, který spočívá v tom, že foton záření je po srážce s atomem materiálu zcela pohlcen. Pravděpodobnost zachycení fotonu je úměrná $\frac{Z^5}{A}$, kde Z je protonové číslo materiálu a A jeho nukleonové číslo. Výsledkem je tedy velmi silná závislost absorpce na protonovém čísle materiálu. Nežádoucím důsledkem je značná závislost na obsahu prvků o velkém poměru Z^5/A , jako jsou vápník a železo. Změna obsahu vápníku o 1 % má stejný vliv na výsledek měření jako změna obsahu křemíku o 4 %, u železa je poměr ještě nepříznivější (až 1 : 11). S touto skutečností je nutno počítat a vhodným způsobem ji eliminovat.

Při vyšších energiích se projevuje Comptonův jev, při

kterém je foton po srážce s atomem odchýlen od původního směru se sníženou energií. Odchýlený foton může reagovat s dalším atomem Comptonovým jevem (případně i vícekrát) nebo fotoefektem. Energie fotonů, které se obvykle nazývají rozptýlené (při úhlu menším než 90^0) nebo odražené (při úhlu větším než 90^0), pak závisí na úhlu rozptylu a na původní energii částic. Pravděpodobnost Comptonova jevu je úměrná poměru Z/A . Protože tento poměr je u prvků, které se vyskytují v uhlí, prakticky stejný a je roven 0,5 (výjimkou je vodík), nemá obsah popela na její hodnotu žádný vliv. Z hodnoty absorpce gama záření Comptonovým jevem lze vypočíst plošnou hmotnost měřeného uhlí. Při zachování konstantní tloušťky vrstvy lze tedy vypočíst měrnou hmotnost uhlí, korelující s obsahem popela, nebo naměřenou hodnotu využít pro korekci měření, provedeného jinou metodou.

Při energii fotonů větší než 1,02 MeV se projevuje další jev: tvorba párů elektron - pozitron. Vzniklý elektron se běžným způsobem zachytí, pozitron po zabrzdění anihiluje s elektronem za vzniku 2 fotonů o energii 0,51 MeV. Pravděpodobnost této reakce je úměrná Z^2/A , což je velmi výhodné, protože závislost na obsahu popela je markantní, ale rušivý vliv chemického složení popelovin není tak výrazný jako u fotoefektu. Vznikající záření má poměrně vysokou energii, takže dobře proniká i silnou vrstvou materiálu, a protože jde o monoenergetické záření, dobře se detekuje a odlišuje od pozadí. Všechny tyto faktory by ukazovaly na velkou výhodnost této interakce pro měření popelnatosti uhlí, je zde však jedna zásadní překážka - její pravděpodobnost je velmi nízká - při použití nejvyšší běžně dostupné energie záření gama radioaktivních zářičů ^{60}Co a ^{226}Ra je zlomek procenta, prakticky použitelných hodnot nabývá až při energiích kolem 5 MeV, které jsou dosažitelné jen urychlovači. Proto experimenty s využitím tvorby párů nepřesáhly laboratorní charakter.

Zařízení, pracující na principu odrazu záření gama, využívají záření o energii 60 keV, u kterého přibližně $1/3$ fotonů interaguje fotoefektem, a je zachycena, $2/3$ interagují Comptonovým jevem a mohou být detekovány. Vyšší obsah popelovin s vyšším protonovým číslem zvýší podíl fotonů, zachycených fotoefektem, sníží tedy počet detekovatelných fotonů. Protože počet fotonů, které jsou skutečně detekovány, závisí na geometrii měření, je nutno ji poměrně přesně zachovávat. Měření je zpravidla uspořádáno tak, že nad měřeným uhlím je umístěn zářič a vedle něj jeden nebo dva symetricky uspořádané detektory, odstíněné od primárního záření. Záření je uhlím poměrně značně absorbováno, takže materiál z hloubky 20 mm se uplatní již jen $1/5$ ve srovnání s povrchovou vrstvou, materiál z hloubky 100 mm se již prakticky neuplatní. Je-li tedy vrstva uhlí silnější než 100 mm, nemá již její tloušťka vliv na měření.

Zařízení je vhodné pro uhlí o velikosti zrna max. 20 - 30 mm a jeho vrstva musí být rovnoměrná, závadou je případná nehomogenita.

Zařízení, využívající absorpce záření gama, mohou pracovat se zářením o vyšší energii (660 keV), při které se uplatní Comptonův jev, pak se měří prakticky množství hmoty mezi zářičem a detektorem. Je-li zaručena stálá tloušťka vrstvy měřeného uhlí, měří se jeho měrná hmotnost, která je v poměrně těsné korelaci s obsahem popela. Metoda je výhodná tím, že se neprojeví vliv složení popelovin, celá prozařovaná vrstva má na měření stejný vliv, takže výsledek je skutečným průměrem. Tloušťka prozařované vrstvy může být až 1 m, ocelová stěna apod. není překážkou měření.

Pro tenčí a proměnlivé vrstvy materiálu je vhodné absorpční měření s využitím záření o energii 60 keV, kombinované se současným měřením absorpce záření o energii 660 keV. Absorpce záření o nízké energii závisí na tloušťce vrstvy i kvalitě uhlí, u vyšší energie jen na tloušťce vrstvy, změřením obou

veličin a jednoduchým výpočtem lze zjistit obsah popela v uhlí v určitých mezích nezávisle na tloušťce vrstvy. Závislost na chemickém složení popelovin ovšem zůstává a lze ji zahrnout do cejchování, které však je platné jen pro daný typ uhlí. Měřit s uspokojivou přesností lze v rozsahu tloušťky vrstvy 50 - 200mm. Další charakteristiky měřicího systému závisí na konkrétním způsobu detekce a vyhodnocení.

2.3 Popeloměry, využívající neutronové záření

Interakce neutronů s materiálem jsou zcela odlišného charakteru. Probíhá několik jaderných reakcí, jejichž výsledkem je záření gama o poměrně vysokých energiích, charakteristických pro každý přítomný prvek. Vzniká tedy spektrum složené z čar, jejichž intenzita odpovídá množství příslušného prvku. Kalibrací a matematickým zpracováním spektra lze stanovit téměř úplně složení měřeného uhlí a vypočítat výhřevnost. Intenzita čar je však nízká a čáry jsou překryty intenzivním pozadím, proto je měření velmi obtížné. V laboratoři můžeme použít polovodičového detektoru, který má vysokou rozlišovací schopnost, v provozu je však jeho použití vyloučeno, protože je citlivý na vibrace a navíc vyžaduje neustálé chlazení na teplotu kapalného dusíku (při ohřátí na běžnou teplotu se zničí).

Do provozních podmínek lze nasadit scintilační detektor, jehož rozlišovací schopnost je podstatně nižší, proto je také horší odstup čar od pozadí. Měření na pase za těchto podmínek nedává použitelné výsledky. S uspokojivou přesností se podařilo měření v zařízení, kde je proud uhlí ze vzorkovací stanice veden do válcové nádoby s měřicím systémem uprostřed. Výsledky nebyly závislé na složení popelovin v uhlí, nebyl však splněn požadavek měření celého množství bez vzorkování.

3.0 Komerčně vyráběné popeloměry

Běžně dostupné jsou analyzátory vyráběné k.p. Tesla Liberec, založené na principu odrazu záření beta. Vyrábějí se ve dvou provedeních, a to laboratorní analyzátor MNG 202 a kontinuální analyzátor MPC 102. Laboratorní verze vyžaduje 100 cm³ vzorku, rozemletého na zrno menší než 3 mm, doba měření je asi 10 minut. Zařízení je nutno cejchovat pro každý typ uhlí, používá se poměrně běžně v laboratořích. Kontinuální analyzátor na stejném principu je určen k měření kvality uhlí, odebraného z pásu, drceného na zrno menší než 6 mm a upraveného do vrstvy o stálé tloušťce. Zařízení bylo úspěšně nasazeno např. na lomu Šmeral k.p. Doly Ležáky, kde byl jeho výstup připojen na počítač, který provádí kalibrační přepočty.

V OKR se osvědčil "Popeloměr G 3" polské výroby. Pracuje na principu odrazu záření gama, je určen pro měření uhlí na pásu o velikosti zrna do 20 mm. Konstantní vzdálenost čidla od uhlí zaručuje mechanická konstrukce, klouzající po vrstvě uhlí. Zařízení není použitelné pro uhlí o větší kusovitosti a nahodilý větší předmět na pásu (kus dřeva, železa) způsobí jeho poškození. Zařízení bylo zkoušeno na úpravně Komořany, výsledky měření však byly neuspokojivé.

Velkou pozornost vzbudil systém CONAC, vyvinutý firmou Kennedy Van Saun ve Spojených státech. Zařízení bylo koncipováno jako velmi rozsáhlý systém, skládající se z automatického vzorkovače, drtiče, pomocného měrného pásu, měřiče na principu neutronového záření, kombinovaného s měřením pomocí absorpce záření gama a mikrovln s vyhodnocením počítačem. Zařízení bylo vybaveno polovodičovým detektorem ve speciálním provedení a špičkovou elektronikou, jeho cena byla odhadována na 200 tis. amerických dolarů. Po prvních optimistických zprávách se však přestaly další informace objevovat a na přímý dotaz ORGREZu přišla vyhýbavá odpověď, takže lze pokládat za pravděpodobné, že provozní zkoušky systému nebyly úspěšné.

Pokusy zkonstruovat podobný systém v československých podmínkách z dostupných komponent byly zcela neúspěšné.

Energostroj Chvaletice nabízí dvoukanálový gama-popeloměr DGP II, pracující na principu absorpce záření gama o energiích 60 a 660 keV. Tento analogový systém byl celkem úspěšně vyzkoušen na palivovém kombinátě Vřesová, ve 3 elektrárnách v NDR a na úpravně Ledvice. Z technického provedení (detekce pomocí G-M trubice a tím vynucená doba integrace 60 s) plyne, že zařízení je použitelné pouze pro případy, kdy je zaručeno, že se kvalita ani množství měřeného uhlí často a náhle nemění, jinak jsou výsledky měření chybné. Zařízení současně měří orientačně i množství uhlí na pásu a umožňuje tak počítat dlouhodobé průměry.

Ve vývojové základně uranového průmyslu byla vyvinuta číslicová verze pod názvem DARP-80. Princip měření i vlastní sonda jsou stejné, rozdíl je v tom, že se vyhodnocuje mikroprocesorem, takže je přesnější, s možností korekce pro širší meze tloušťky vrstvy uhlí, výstup na dálnopis s případnou možností dalších operací. DARP-80 byl úspěšně vyzkoušen na elektrárně Prunéřov, o jeho sériové výrobě zatím nebylo rozhodnuto.

4.0 Metody a zařízení, zkoušené ve VÚHU

4.1 Měření kvality uhlí na pásu vodorovným paprskem záření gama

V první etapě bylo ve VÚHU vyvíjeno zařízení pro orientační měření kvality uhlí na pásu vodorovným paprskem záření gama o energii 660 keV.

Toto uspořádání má jisté výhody, a to jednoduchost zařízení a nezávislost na složení popelovin. Pro správnou funkci však potřebuje dostatečně silnou vrstvu uhlí o přesně defino-

vané šířce. Protože běžný tvar pásu tento požadavek nesplňuje, byl tvar pásu v místě měření upraven zvýšením sklonu válečků na 60° . Kolimační kryt a detektor byly uspořádány tak, aby měrný paprsek procházel vodorovně 80 mm nade dnem pásu, šířka materiálu v této úrovni byla vymezena na 550 mm.

Po modelových zkouškách v prostorách VÚHU bylo zařízení namontováno nejprve na nakládací výložník rypadla K 300 na dole A. Zápotocký v Úžíně, později na rypadlo KU 300 na dole 5. květen v Chabařovicích. Cejchováním podle odebraných kontrolních vzorků bylo zjištěno, že směrodatná odchylka je asi 12 %, což vyhovovalo pro orientační měření nebo rozlišení hlusiny od uhlí při těžbě v závalovém poli. Podmínkou správné funkce bylo plnění pásu minimálně na 60 % jeho kapacity. I krátkodobé nedostatečné plnění způsobilo znehodnocení měření. Průzkumem reálné situace v provozu se zjistilo, že potřebné zatížení pásu bylo na lomu A. Zápotocký dosahováno jen výjimečně, na dole 5. květen jen asi po 40 % provozní doby. Protože nebylo pravděpodobné, že se podaří zaručit podstatné zvýšení doby s dostatečným plněním pásu, nebyla tato metoda zavedena.

4.2 Měření kvality uhlí v důlních vozících

Na základě požadavku OŘKJ a OTR k.p. DVÚZ bylo vyvinuto zařízení, které měří jakost uhlí v důlních vozících na dole Centrum a podle výsledků měření je třídí do dvou kategorií.

Měření kvality uhlí v důlních vozících má řadu specifických rysů. Při prozařování paprskem kolmým na směr jízdy je zaručena stálá tloušťka vrstvy uhlí. Aby výsledek měření odpovídal průměrné hodnotě vozíku, je nutné změřit jeho kvalitu v několika profilech, přičemž pro měření je k dispozici čas 1 - 2 sekundy po výjezdu vozu z těžní klece. Výsledek měření je třeba signalizovat do velínu s přihlédnutím k tomu, že od místa měření k výhybkám, na kterých se má vozík směřovat

k příslušnému výklopníku, se může nahromadit několik již proměřených vozů.

Problém byl řešen tak, že vozy jsou prozařovány vodorovným paprskem záření gama o energii 660 keV vějířovitého tvaru za pomalé jízdy měřicí zónou. Záření je snímáno velkoplošnou sondou a celý systém je ovládán soustavou fotonek tak, že měření je spuštěno, když je přední část vozu 200 mm za měřicím paprskem a ukončeno, když je zadní okraj 200 mm před měřicím paprskem. Zářič o poměrně vysoké aktivitě je pro větší bezpečnost uložen v kontejneru a vysunut až při příjezdu vozíku. Použitý způsob měření je doplněn paměťovými a indikačními obvody tak, že výsledky měření jsou zapisovány do paměti s kapacitou 16 údajů a jsou indikovány v pořadí, jak vozy přijely, a současně je indikováno, kolik vozů je v prostoru před výhybkou. Tím došlo k tomu, že pomocné obvody jsou složitější a náročnější než vlastní měřicí obvody, pro provozní využití se to však ukázalo nezbytným.

Zařízení bylo realizováno ve spolupráci s pracovníky dolu Centrum a k.p. DVÚZ. Po odstranění počátečních potíží pracuje uspokojivě a pokusný provoz probíhá bez větších potíží.

4.3 Měření kvality uhlí na pásu prozařováním dvěma paprsky záření gama o různých energiích

Jako nejnadějnější technicky zvládnutelná metoda, vhodná pro kontinuální měření kvality uhlí na pásu, byla použita metoda prozařování vrstvy těživa dvěma paprsky záření gama o různé energii. Vhodné zářiče jsou ^{137}Cs o energii 660 keV a ^{241}Am o energii 60 keV. Zářiče jsou uloženy ve společném kolimátoru tak, že paprsky záření tvoří společný mírně se rozevírající kužel.

Pro detekci záření s rozlišením jejich energie byla použita scintilační sonda a spektrometrická vyhodnocovací jednotka. Pro výpočet popelnatosti byl při prvních experimentech

použít jednoúčelový analogový počítač. Pro zvýšení odolnosti a zamezení změn charakteristiky v důsledku změn teploty byla scintilační sonda uzavřena do ocelového krytu, v něm mechanicky i tepelně izolována a termostatována na stálou teplotu.

Zařízení bylo laboratorně a modelově odzkoušeno a bylo zjištěno, že dává uspokojivé výsledky. Pro provozní nasazení však bylo třeba odstranit některé nedostatky. Scintilační sonda má sice dobrou krátkodobou stabilitu, ale dlouhodobá nestabilita by vyžadovala překalibrování asi vždy po 10 dnech. Pro zpřesnění výsledků při silných nebo slabých vrstvách uhlí na pásu by bylo třeba zavést korekce do algoritmu vyhodnocení.

Pro výpočet dlouhodobých průměrů je třeba zavést orientační výpočet množství uhlí na pásu, výpočet součinu obsahu popela a množství a tyto hodnoty integrovat. Protože tyto požadavky lze ekonomicky splnit jen zařízením, pracujícím v číslicové formě, byla navázána spolupráce s Vývojovou základnou uranového průmyslu, kde se vyvíjí digitální spektrometr na bázi programovatelného automatu LP 80, řízeného mikroprocesorem.

Výsledkem vývoje je digitální absorpční spektrometrický popeloměr DASP 80.

5.0 Digitální absorpční spektrometrický popeloměr DASP 80

Digitální absorpční spektrometrický popeloměr pracuje na bázi měření absorpce záření gama o energiích 60 a 660 keV ze souose uložených zářičů, detekovaných jednou scintilační sondou. Sonda je mechanicky i tepelně izolována a termostatována na 35°C a je uložena 500 - 800 mm nad měřeným pásem. Zářiče jsou uloženy pod pásem v upraveném krytu MDG 300, opatřeném ochranným kuželem proti usazování prachu.

Sonda je propojena koaxiálním kabelem s vyhodnocovací jednotkou (délka kabelu max. 20 m). Výsledky měření jsou vypisovány dálnopisem, jehož vzdálenost od vyhodnocovací jednotky

není prakticky omezena. Kromě výpisu na dálnopisu má zařízení analogový výstup a signalizaci překročení dvou mezí kvality. Kromě prostého výpočtu obsahu popela vykonává vyhodnocovací jednotka další funkce: lineární a reciproká korekce závislosti výsledku na množství, korekce výpočtu v kanálu 60 keV na rozptýlené záření, zastavení výpočtu, jestliže množství uhlí na pásu je mimo nastavené meze, zastavení výpočtu, jestliže není v běhu měřený pás, výpočet množství uhlí na pásu, výpočet váženého průměru za nastavený čas a za celou směnu, oprava vysokého napětí pro sondu tak, aby spektrum zachovávalo stálý tvar i při změnách vlastností fotonásobiče.

Vlastní měření probíhá takto: Impulsy ze spektrometru jsou načítány po dobu 0,1 s, hodnota je po korekci logaritmována a výsledek je načten do paměti. Po proběhnutí 100 cyklů jsou z načtených hodnot vypočteny průměry a z těch obsah popela a množství uhlí. Obsah popela je porovnán se dvěma nastavenými hodnotami a výsledek je indikován, současně je hodnota obsahu popela převedena na analogovou a vedena na analogový výstup. Dále je vypočten součin popelnatosti a množství a ten je zapsán do paměti pro půlhodinový výpis a do směnové paměti. Po uplynutí půlhodiny je z těchto hodnot vypočten půlhodinový vážený průměr, který je vypsán na dálnopis, v 6.00 a 18.00 hodin je vypsán průměr za minulých 12 hodin. Zjistí-li systém množství uhlí na pásu mimo nastavené meze, neprovede výpočet a do součtu počítá poslední vypočtenou hodnotu, při zastavení pásu se zastaví měření a do paměti množství se zavádí 0. Kromě provozního režimu lze nastavit 3 zkušební režimy, zobrazující nastavení aparatury a mezivýsledky. Tyto režimy se využívají pro kontrolní a nastavovací práce.

Zařízení má tedy tyto výstupy:

Dálnopis	- každou půlhodinu: datum, čas, obsah popela, množství, každou směnu - totéž - průměr za uplynulou směnu.
----------	---

- Analogový výstup - obsah popela (průměr za 20 s, 100 %
= 4 V).
- Indikace - 3 stavy: pod dolní mezí, v mezích, nad
horní mezí.

Uvedené časy byly nastaveny podle požadavků uživatele a lze je změnit.

Zařízení bylo instalováno na úpravně Ledvice, kde je v dlouhodobém zkušebním provozu, jehož účelem je ověřit přesnost a spolehlivost zařízení.

6.0 Možnosti současných systémů a perspektivy dalšího vývoje

Popeloměrem DASP 80 byly prakticky vyčerpány možnosti měření obsahu popela prozařováním dvěma paprsky gama. Další zlepšení se mohou týkat už jen detailů, které nemají zásadní charakter. Systém vyhovuje pro uhlí o zrnění do 50 mm, je pravděpodobné, že se po úpravách osvědčí i pro zrno 100 - 150 mm. Pro těžné uhlí o zrnu 250 - 300 mm však uvedený systém není použitelný, protože záření o nízké energii tak velká zrna neprozáří, a bude nutno vyvinout zcela novou metodu, popř. kombinaci metod a aparaturu, která bude schopna zpracovat získané signály.

Zmíněný problém je předmětem řešení úkolu P 01-125-809-06B v 8. pětiletce a je zřejmé, že bude nutno vyvinout velké úsilí a nasadit nejmodernější techniku, aby byl úspěšně vyřešen.

Recenzoval: Ing. František Veverka,
VÚHU Most