

Možnosti aplikace pěnové separace při úpravě surovin

František Tichánek¹

Possibility for application of froth separation process in beneficiation of raw minerals

Froth separation belongs to newer flotation methods that are suitable for the separation of fine-grained raw materials whose size is too big for regular flotation. The technology of coarse-grained flotation has a significant economical effect because it allows a decrease in the costs for mineral processing. The article concerns the possibility of using the froth separation process during the mineral processing of bituminous coal.

Key words: Froth separation, flotation, mineral processing

Úvod

V současné době je pomocí flotačních procesů ročně upravováno více než miliarda tun nerostných surovin a čištěno významné množství průmyslových i komunálních odpadních vod. Flotace umožňuje řešit řadu důležitých hospodářských problémů k nimž patří zejména otázky související s rozšířením a komplexním využíváním zásob nerostných surovin, úpravou kalů a jiných jemnozrnných surovin. Využívání flotačních procesů se neustále rozšiřuje. Z hlediska množství a různorodosti upravovaných surovin zaujímají flotační procesy první místo mezi způsoby úpravy jemnozrnných surovin. Vzhledem k univerzálnosti flotačních procesů bude jejich význam nepochybně vzrůstat i v budoucnu. Jedním ze způsobů flotační úpravy je pěnová separace. Pěnová separace umožňuje zvýšit horní hranici velikosti flotujících částic. Zvýšení velikosti flotujících minerálních zrn je věnována velká pozornost, neboť technologie tzv. hrubozrnné flotace má velký ekonomický význam a to především z těchto důvodů:

- snižuje se spotřeba energie na mletí, nedochází k přemílání zrna, což ve svém důsledku snižuje ztráty
- užitečných složek v jemných obtížně upravitelných kalcích;
- hrubozrnné koncentráty se snáze zpracovávají, lépe zahušťují, odvodňují a suší;
- zlepšuje se selektivita flotace.

Výzkumné a praktické práce, zabývající se možnostmi zvýšení hranice zrnitosti flotujících surovin, se zaměřují do dvou směrů :

- výběr odpovídajících reagenčních režimů a použití speciálních flotačních činidel;
- vývoj nových konstrukcí flotačních přístrojů.

Pěnová separace

Podstata pěnové separace spočívá v tom, že rozdužovaný materiál, je po agitaci s flotačními přísadami, podáván na vrstvu pěny, ve které dojde k jeho rozdužení. O možnosti podávat vsázku na pěnu pneumatických flotátorů se zmiňuje již v r. 1927 A.F. Taggart [13], který však nevyvodil z tohoto faktu odpovídající teoretické ani praktické závěry. Nový princip flotačního procesu úpravy, vyznačujícího se podáváním vsázky shora na pěnovou vrstvu poprvé formuloval na počátku 60 let V.A. Malinovskij [11]. Flotační pěna představuje hydro-fobní povrch, který je schopen selektivně zachytit na něj podávané hydrofobní částice. Hydrofobní částice se koncentrují v horních vrstvách pěny a hydrofilní částice jsou z pěny odstraňovány působením gravitačních sil a sestupných proudů kapaliny vytékajících z mezibublíkových kanálků. Celý objem rmutu podávaného na pěnovou vrstvu proniká skrz vysoce rozvinutý, vzhůru se pohybující hydrofobní povrch pěny. Tento povrch disponuje dostatečně velkou únosností k tomu, aby udržel zachycené hydrofobní látky.

V pěnové vrstvě jsou vytvořeny příznivé podmínky pro kontakt minerálních zrn se vzduchovými bublinkami. Doba kontaktu je dostatečná k tomu, aby bublinky vzduchu přilnuly k hydrofobním částicím rozdužovaného materiálu. Rozdužení suroviny probíhá na základě různého odporu prostředí proti pohybu zrn klesajících skrz vrstvu pěny. Odpor pěnové vrstvy závisí na hydrofobnosti povrchu částic, hysterezi smáčení, tvaru a velikosti rozdužovaných částic, velikosti vzduchových bublinek, tloušťce pěnové vrstvy

¹ Doc. Ing. František Tichánek, Dr., VŠB-TU Ostrava, Institut 542, oddělení úpravy nerostných surovin (Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 25. 9. 2005)

a řadě dalších faktorů. Vysokou pravděpodobnost zachycení hydrofobních částic umožňuje vytváření komplexů, které vznikají vzájemným spojováním mineralizovaných vzduchových bublinek v důsledku působení adhezních sil. Při běžné flotaci z objemu se tvorby komplexů dosahuje jen v nejpříznivějších podmínkách.

Přednosti pěnové separace

Použití pěnové separace je výhodné pro úpravu nerostných surovin, jejichž velikost je příliš velká pro flotační úpravu, ale malá pro efektivní rozduřování gravitačními způsoby úpravy. Mezi flotací a pěnovou separací existuje principiální rozdíl. Během flotace se objem rmutu, ze kterého jsou vynášeny hydrofobní částice jeví fakticky pasivním objemem. Stoupající vzduchové bublinky, pohybující se rychlostí $0,15 - 0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, dosahují hladiny za 3 - 5 s. V průběhu této doby dochází ke spojení hydrofobních částic se vzduchovými bublinkami. Vytvoření komplexu částice - bublinka probíhá ve velmi složitých podmínkách, které nesouvisí pouze s tím, že hydrofobní částice se musí setkat se vzduchovou, bublinkou, prorazit její obal a zachytit se na rozhraní kapalina - vzduch, ale také s tím, že při rychlém pohybu vzduchové bublinky musí být pevnost spojení komplexu tak velká, aby odolala působení odstředivých sil, snažících se o odtržení částice. Především z tohoto důvodu dochází ve flotátorech k prodlužování flotační doby, která v provozních podmínkách činí až desítky minut.

Při pěnové separaci, kdy je rozduřovaná surovina podávána přímo na pěnu, jsou v pěnové vrstvě vytvořeny velmi příznivé podmínky pro zachycení hydrofobních částic. Aktivní plocha kontaktu částice se vzduchovou bublinkou je větší, neboť každá částice se současně dotýká několika bublinek. Doba kontaktu částic s bublinkami je delší a na částice nepůsobí odstředivé síly odtrhu. Jak ukázaly výsledky výzkumu i průmyslové praxe, umožňuje pěnová separace právě díky uvedeným podmínkám, zvýšit velikost vynášených minerálních částic 5-6 krát ve srovnání s flotací v běžných mechanických flotátorech [12].

Zvýšení horní hranice zrnitosti rozduřovaných částic při pěnové separaci, dovoluje úspěšně využívat tento proces zvláště pro úpravu hrubě prorostlých rud, a to s lepšími technickoekonomickými ukazateli než jaké jsou dosahovány při flotační úpravě.

Zásadní změna podmínek tvorby flotokomplexů v pěnové vrstvě nepřispívá pouze ke zvýšení velikosti zrna vynášeného do pěnového produktu, ale také k výraznému zkrácení doby potřebné k rozduření vsázky v pěno-vém separátoru. Při pěnové flotaci minerálních částic z objemu rmutu roste s prodloužením flotačního času výnos koncentráту i výtěžnost částic do koncentráту, ale kvalita pěnového produktu se zhoršuje. Naopak při pěnové separaci prodlužování rozduřovacího času vede k nepřetržitému zlepšování kvality pěnového produktu za současného poklesu výtěžnosti a výnosu hydrofobních částic do koncentráту.

Pěnová separace je ve srovnání s flotací velmi rychlý proces. Výsledky studia kinetiky pěnové separace [6,8] ukazují, že hydrofobní částice jsou v pění zachyceny v průběhu 3-10 sekund. V průmyslových pěnových separátorech probíhá rozduření vsázky na hydrofobní a hydrofilní část během 30-60 sekund [12]. Flotační čas při flota-ci z objemu činí řádově minuty až desítky minut. Četné výzkumy průmyslového využití pěnové separace, přesvědčivě prokázaly vysokou rychlost tohoto procesu [3]. Rychlost pěnové separace převyšuje 5 - 10 krát rychlost běžné flotace.

Flotace i pěnová separace je založena na stejném mechanismu vzájemného působení minerálů a povrchu bublinek plynu. Oba procesy se uskutečňují při stejných reagenčních režimech a proto výrazný rozdíl rychlostí prů-běhu těchto procesů určují především rozdílné aerační a hydrodynamické podmínky kontaktu minerálních částic s bublinkami vzduchu v pěnových separátorech a flotátorech. Vysoká rychlost procesu pěnové separace umožňuje odpovídající snížení objemu flotačních zařízení [12].

Z uvedeného je zřejmé, že výkon pěnového separátoru je podstatně vyšší než výkon srovnatelného flotátora. Při hodnocení výkonu je nutno vycházet z času nezbytného pro dosažení plné výtěžnosti hydrofobních zrn z téhož objemu rmutu upravovaného pěnovou separací a flotací. Velký význam pro úpravnickou praxi má ta skutečnost, že výrazné zvýšení rychlosti pěnové separace oproti klasické flotační úpravě nevyžaduje zvýšenou dodávku energie, ale naopak dochází ke snížení měrné spotřeby energie, potřebné pro úpravu jedné tuny suroviny.

Jednou ze zvláštností pěnové separace je stálá výše pěnové vrstvy při konstantním mineralogickém složení rozduřovaného materiálu, spotřebě vzduchu, reagentů, množství vsázky atd. Důsledkem této skutečnosti je dle V.A. Malinovského to, že procento výtěžnosti hydrofobních částic z jednotkového objemu rmutu je při následných operacích pěnové separace konstantní, bez ohledu na postupné snižování obsahu hydrofobních částic ve vsázce pěnových separátoru [10]. Při pěnové flotaci z objemu se výtěžnost užité složky do pěnového produktu

v každé další cele neustále snižuje tak jak klesá výška pěny v jednotlivých celách flotační baterie od vstupu ke konci flotace.

Účinnost pěnové separace závisí v podstatné míře na kvalitě agitace flotovaného rmutu. V souvislosti s velmi krátkým časem potřebným k rozduření vsázky nemohou býti flotační přísady dávkovány v průběhu

pěnové separace. Agitace vsázky musí být zcela ukončena ještě před jejím podáním na pěnovou vrstvu. Při úpravě je-mnozrných materiálů se agitace zrn uskutečňuje v běžných agitačních nádržích. Pěnová separace však umožňuje zvýšit velikost flotovaných částic v průměru 3-5 krát. U surovin s nižší hustotou (např. uhlí) i více. Zvětšení rozměrů zrn má podstatný vliv na agitační proces. Hrubozrné kaly vyžadují většinou delší agitační čas popřípadě použití speciálních agitačních zařízení. Při pěnové separaci hrubozrných materiálů je účelné předběžné od-kalení a agitace silně zahuštěných rmutů s obsahem až do 80 % pevné fáze, při poměrně vysokých koncentracích flotačních přísad v kapalině [1].

Průmyslové využití pěnové separace

Pouze několik let po opublikování teoretických prací, potvrzujících možnost několikanásobného zvýšení velikosti flotujících minerálů a stanovení nezbytných fyzikálně-chemických podmínek tohoto rozdělovacího procesu, byla specialisty z ústavu Gosgorchimprojekt v r. 1965 navržena konstrukce zařízení pro pěnovou separaci, která byla patentována [7]. Na vypracování projektu průmyslového pěnového separátoru se společně s Gos-gorchimprojektem podílel rovněž ústav Gipromašobogaščenije. Na základě výsledků výzkumu pěnové separace draselných a manganových rud, provedených v modelech pěnových separátoru, byla navržena konstrukce prů-myslového pneumatického, pěnového separátoru FPS-16. Přístroj je originální nejen principem práce, ale také konstrukcí jednotlivých uzlů. Zařízení je patentově chráněno v řadě zemí mimo jiné v USA, Německu, Velké Británii a Francii.

První průmyslové nasazení pěnových separátorů se uskutečnilo v Sovětském svazu v roce 1969 na úpravě BKK-2 kombinátu Uralkalij [12]. Při flotaci draselných rud (hlavně minerálu sylvínu) ve flotátorech Mechanobr-7 dosahovala zrna sylvínu v koncentráte maximální velikosti kolem 0,75 mm a pro zabezpečení 93 % výtěžnosti bylo nezbytné podstatnou část vsázky domílat na optimální flotační zrnitost do 0,2-0,3 mm. Velikost vtroušených zrn sylvínu v rudě mnohokrát převyšovala optimální flotační velikost. Již při drcení suroviny na velikost do 3 mm představovala volná zrna sylvínu 92 - 94% produktu drcení. Po zavedení pěnové separace bylo dosaženo 93,8 % výtěžnosti chloridu draselného do koncentráte zrnitostní třídy 0,8-3 mm. Obsah KCl v koncentráte činil 95 %.

Zvýšení horní hranice zrnitosti rozdělování částic dovoluje úspěšně využívat tento proces při úpravě hrubě prorostlých rud. Pěnovou separací jsou dosahovány lepší technickoekonomické výsledky úpravy ve srovnání s pěnovou flotací. Nejširší uplatnění dosáhla pěnová separace při úpravě draselných solí, což je dáno velikostí vtroušených zrn uživatelské složky v surovině [4].

Průmyslově je pěnová separace používána při úpravě manganových rud. Technologie pěnové separace byla nasazena v Marganeckom (MGOK) a Ordžonikidzevskom (OGOK) gorno-obogatitelných kombinátech [19]. V roce 1973 byly k rozdělování manganové rudy na Gruševské úpravě instalovány pěnové separátory nové konstrukce FP-16. Tyto separátory byly konstruovány s cílem odstranit některé nedostatky, které se projevily při provozu předcházejícího typu FPS-16. Pěnové separátory FPS-16 jsou citlivé na kolísání vsázky, obtížně se regulují, a ne vždy se proto dařilo dosáhnout požadované kvality koncentráte a stabilní výtěžnost uživatelské složky do koncentráte. Výzkum technologie pěnové separace na úpravách MGOK a OGOK vedl k vývoji čtyř-komorového separátoru kaskádového typu. Tyto pěnové separátory byly s úspěchem nasazeny v úpravách manganových rud v Nikopolském revíru, kde pracovaly do devadesátých let minulého století. V souvislosti s výrazným snížením produkce manganových koncentrátů v období po rozpadu SSSR již není pěnová separace při úpravě manganových rud využívána [18].

Příznivé výsledky nasazení pěnové separace umožnily doporučit tuto technologii pro úpravu minerálních surovin z nových ložisek na Ukrajině. Jednalo se například o úpravu sulfidů Cu-Ni rud ze Žitomirské oblasti, zlatonosných rud Zakarpatska a fosforitu z Volyňské oblasti [17]. Na počátku tohoto století byly provedeny polo-provozní zkoušky pěnové separace při úpravě oxidovaných železných rud v kombinaci s magnetickým rozdělováním na Krivorožském úpravnickém komplexu. Navržená technologie úpravy umožnila zvýšit selektivitu rozdělování jemných částic, optimální kombinace flotační a magnetické úpravy umožnila zvýšit výtěžnost železa do koncentráte až na 75,4 % a obsah Fe v koncentráte dosáhl hodnoty 64,8 % [20].

Pěnová separace uhelných kalů

V souvislosti se zvyšováním mechanizace důlní činnosti dochází k růstu podílu kusovité hlušiny s velikostí zrna nad 30 mm v surovém uhlí a současně trvale roste podíl jemných tříd ve vsázce do úpraven. Vysoký podíl jemnozrných tříd v surovém uhlí je příčinou obtížnějšího rozdělování. Jak je známo, se zmenšující se velikostí zrna účinnost rozdělování klesá a ve srovnání s rozdělováním hrubého uhlí je úprava uhelných kalů nejdražší a technicky nejnáročnější technologický proces. Pro rozdělování jemných uhelných kalů má zásadní význam pěnová flotace. Hlavní problém zevšeobecnění flotačních vlastností uhlí spočívá ve značné nestálosti jeho fyzikálně-chemických charakteristik. Jednotlivé petrografické složky

tvořící uhlí mají různou smáčitelnost a flotovatelnost, hustota uhlí se pohybuje v rozmezí od 1,1 do 1,8 t.m⁻³, vlastnosti uhlí závisí rovněž na tom v jakých podmínkách vznikalo atd. Optimální flotační zrnitost uhlí se podle různých autorů liší. Kozák doporučuje flotovat zrnitostní třídu 0-0,2 mm případně 0-0,5 mm [9], Matvejenko uvádí jako horní hranici flotovatelnosti uhelných zrn rozmezí 0,36-0,66 mm tedy v průměru okolo 0,5 mm [12], Klassen došel k závěru, že částice uhlí větší než 0,5 mm z větší části neflotují a přecházejí do odpadu [5], s cílem snížit provozní náklady na flotaci a zvýšit účinnost rozduřování navrhli [21], [2] snížit horní hranici zrnitosti přívodu na flotaci až na 0,1 mm [21,2].

Jednou z možností, jak zlepšit účinnost rozduřování a snížit ztráty v odpadech je rozduřování surového uhlí v užším zrnitostním rozsahu. To ovšem vyžaduje změnu dosavadního dvoustupňového schématu úpravy surového uhlí zrnitostní třídy pod 10 mm. V současné době jsou uhelné kaly nejčastěji s velikostí zrna pod 0,5 mm rozduřovány flotací a třída 0,5 - 10 mm je upravována na sazečkách nebo v těžkosuspenzních cyklonech. Příčinou ztrát u tohoto dvoustupňového schématu úpravy je nízká selektivita flotace hrubších zrn a malá účinnost rozduřování jemných zrn na stávajících typech sazeček a cyklonů [9]. Lze očekávat, že snížením horní hranice velikosti zrn rozduřovaných flotací, při současném zvýšení dolní hranice velikosti zrn přiváděných na sazečky, resp. cyklony selepší výsledný efekt úpravy jemnozrného surového uhlí. K tomu, aby mohlo být technologi-cké schéma úpravy rozšířeno na třístupňové, je nutno uvažovat o nejvýhodnějším způsobu rozduřování pro tří-děním nově vzniklou zrnitostní třídu hrubozrných uhelných kalů. Vzhledem k tomu, že podíl zrnitostní třídy +0,5 mm je v surovém uhlí značný, lze předpokládat, že pěnová separace může přispět k vyřešení aktuálních problémů úpravy hrubozrných uhelných kalů, které nejsou dosud jednoznačně vyřešeny.

V rámci laboratorního výzkumu pěnové separace, na Hornicko-geologické fakultě VŠB - TU Ostrava, bylo rozduřováno několik vzorků černouhelných kalů z různých lokalit Ostravsko-karvinského revíru, lišící se ko-ksovacími vlastnostmi, obsahem popela a zrnitostním složením [15]. Na základě provedených laboratorních zkoušek pěnové separace byly formulovány tyto dílčí závěry:

1. Černouhelné kaly je možno úspěšně rozduřovat metodou pěnové separace.
2. Pěnová separace je vhodná zejména pro úpravu hrubozrných černouhelných kalů. Nejlepší výsledky byly dosaženy při rozduřování vzorků zrnitostní třídy 0,2-2 mm. Úspěšně byly rozduřeny rovněž kaly zrnitostní třídy 1-2 mm, resp. 2-3 mm.
3. Při úpravě kalů s vysokým obsahem zrnitostní třídy pod 0,2 mm vykázalo použití pěnové separace horší výsledky než při rozduřování hrubších zrnitostních tříd. Vhodným reagenčním režimem je však možno i jemnozrné kaly upravit na požadovanou kvalitu koncentráту.
4. Pěnová separace umožňuje kvalitní úpravu i velmi zahuštěných uhelných kalů. Pomocí laboratorního pěnového separátoru byly úspěšně rozduřovány vzorky se zahuštěním 500 kg.m⁻³, 600 kg.m⁻³ a 668 kg.m⁻³. Na úpravách uhlí v OKR nepřesahuje zahuštění přívodu na flotaci zpravidla 200 kg.m⁻³.
5. Pokusy potvrdily vysokou rychlost procesu pěnové separace. V laboratorním zařízení proběhlo rozduřování vsázky na hydrofobní a hydrofilní část během 20-30 s.
6. Provedené laboratorní pokusy potvrdily přednosti pěnové separace před klasickou flotační úpravou a to zejména vysokou výkonnost zařízení a možnost zvýšení velikosti flotovaných částic bez zhoršení kvality roduktů [15].

Výsledky laboratorního výzkumu vedly k výrobě poloprovozního pěnového separátoru. Poloprovozní ověření bylo provedeno na úpravě uhlí dolu J. Šverma v Ostravě-Mariánských Horách [15]. Přístroj byl instalován v prostoru flotace a byly zahájeny zkoušky rozduřování sekundárních uhelných kalů z hlavní nádrže úpravny. Tyto kaly měly podstatně vyšší obsah popela (v průměru kolem 32 % A^d) než běžná vsázka na flotaci, získaná odtříděním zrnitostní třídy pod 0,5 mm ze surového uhlí (kolem 20 % A^d). Poloprovozní nasazení naznačilo, že tuto rozduřovací metodu je možno s úspěchem použít nejen k úpravě hrubozrných černouhelných kalů, ale také k úpravě jemnozrných uhelných kalů s vysokým obsahem popela. Obsah popela ve vsázce se v průběhu provozních zkoušek pohyboval v rozmezí od 30,9 do 36,7 % A^d. Zkoušky potvrdily vysoký výkon zařízení. Bylo dosaženo zvýšení výnosu koncentráту na 75,9 %, při odpovídající kvalitě odpadu, avšak obsah popela v koncentráту byl nevyhovující. Změna dávky reagenčí snížila obsah popela v koncentráту na přijatelných 10,2 % A^d, ale za cenu snížení výnosu i kvality hlušín. Krátkodobé poloprovozní ověřování neumožnilo plnou optimalizaci podmínek pěnové separace. Kromě reagenčního režimu nebyl vliv dalších faktorů ovlivňujících průběh procesu sledován.

Návrh zařazení pěnové separace do technologie úpravy uhlí

Mezi přednosti pěnové separace, které se při úpravě uhlí významně uplatňují, patří zejména vysoká rychlost procesu rozduřování, možnost zpracovávat kaly s vysokým zahuštěním a možnost podstatného zvýšení horní hranice velikosti zrn v přívodu na pěnovou separaci oproti klasické flotaci z objemu. Úspora nákladů na mletí a praktická nepřítomnost oxidačních procesů v rozduřovaném rmutu nemá, na rozdíl

od úpravy rud, při úpravě uhlí podstatněji významu. Při zvažování vhodného místa pěnové separace v technologii úpravy uhlí byly zohledněny nejen přednosti pěnové separace, ale vycházelo se také z návrhu změny stávajícího dvoustupňového schématu úpravy jemnozrného uhlí na třístupňové technologické schéma úpravy. V návaznosti na výše uvedené a další poznatky získané v průběhu výzkumu pěnové separace byly navrženy následující tři alternativy zařazení pěnové separace do technologie úpravy černého uhlí [16].

Alternativa I:

V alternativě I se předpokládá rozduřování surového uhlí v úzkých zrnitostních třídách odpovídajících třístu-pňovému schématu úpravy jemnozrného uhlí zrnitostní třídy pod 10 mm. Pro úpravu nejjemnější zrnitostní třídy 0 - 0,2 mm je navržena klasická flotace z objemu s využitím stávajícího strojního zařízení flotace. Pěnovou separací je v návrhu dle alternativy I rozduřována, tříděním nově vzniklá, zrnitostní třída 0,2-2 mm. Zrnitostní třída 2-10 mm je rozduřována tak jako dosud zrnitostní třída 0,5-10 mm, tj. Některým z gravitačních způsobů rozduřování (sazečky, hydrocyklony). Pro úpravu zrnitostní třídy nad 10 mm se v návrhu nepředpokládá změna rozduřovacího zařízení. V současnosti je nejvíce rozšířeno rozduřování této zrnitostní třídy v těžkosuspensních rozduřovačích.

Navrhované technologické schéma umožní plné využití všech předností pěnové separace uplatňujících se při úpravě uhlí a lze rovněž očekávat zlepšení účinnosti rozduřování na sazečkách i flotaci.

Alternativa II:

Tato alternativa předpokládá náhradu flotace pěnovou separací při současném zvýšení horní hranice velikosti zrna v přívodu na flotaci. Jak vyplývá z provedeného výzkumu, je pěnová separace schopna s dostatečnou účinností rozduřovat zrnitostní třídu 0-2 mm. Schéma úpravy zrnitostních tříd nad 2 mm je shodné s návrhem v alternativě I. Vzhledem k tomu, že účinnost pěnové separace při rozduřování zrnitostní třídy 0-0,2 mm je nižší než účinnost rozduřování hrubších zrnitostních tříd, lze očekávat, že toto technologické schéma bude vhodné zejména pro úpravu dobře flotovatelných uhlí.

V navrhovaném technologickém schématu je plně využita vysoká výkonnost pěnové separace za cenu nepatrného snížení ostrosti rozduřování nejjemnějších zrnitostních tříd. Rovněž alternativa II zajistí zlepšení účinnosti rozduřování na gravitačních rozduřovačích.

Alternativa III

V alternativě III je pěnová separace zařazena jako kontrolní operace za běžnou flotační úpravou. Na tomto místě v technologii úpravy je z předností pěnové separace využívána zejména možnost zvýšení velikosti flotujících částic. Lze předpokládat, že navrhované technologické schéma dovolí zvýšit horní hranici velikosti zrna v přívodu flotace na 2 mm. Z provozních výsledků je zřejmé, že hrubší hydrofobní zrna uhlí již od velikosti +0,5 mm přecházejí do flotačního odpadu a snižují tak výtěžnost hořlaviny do koncentráty, při současném zhoršení kvality odpadu. Kontrolní pěnová separace flotačních hlušín tyto nedostatky odstraní. Výhody plynoucí ze zvýšení dolní hranice velikosti zrna přívodu na gravitační způsoby rozduřování zůstanou i v této alternativě zachovány.

Zařazení pěnové separace do technologie stávajících úprav uhlí dle alternativy III je zřejmě investičně i provozně nejméně náročné. Díky vysoké výkonnosti pěnové separace postačí ke kontrolnímu rozduřování flotačního odpadu pouze menší pěnový separátor [16].

Závěr

Volba konkrétního technologického schématu úpravy je závislá zejména na upravitelnosti (flotovatelnosti) a zrnitostním složení surového uhlí. Zařazení pěnové separace do technologie úpravy jemnozrného uhlí dle alternativy I přináší novou kvalitu do úpravy této zrnitostní třídy. Zdokonalené rozduřování jemnozrného uhlí umožní podstatně snížit ztráty uhelné substance v odpadech. Při stávajícím vysokém podílu zrnitostní třídy pod 10 mm (zhruba 60-70 %) v surovém uhlí představuje zvýšení výnosu a kvality praného uhlí významný finanční přínos. Třístupňové schéma úpravy je možno aplikovat bez větších obtíží do technologie stávajících úprav černého uhlí.

Literatura - References

- [1] Abramov, A., A.: Flotacionnyje metody obogaščenija., Moskva, Nedra 1984.
- [2] Bahr, A. a kol.: Recent developments and research in the separating of "fine coal" 2 mm with the Ruhrkohle AG. In.: IX. International coal preparation congress New Delhi, 1982, s. 25.

- [3] Beskrovnaja, V., P., Kogan, D., I.: Priměnění pěnnoj separacii při obogasčeniiji zoloto i serebro-soděržaščich rud. In.: *Sověřšenstvovanije tehniki i tehnologii grubozernistoj flotacii. Apatity. Izd, KF AN SSSR, 1986.*
- [4] Čujanov, G., G., kolektiv: Technologičeskaja optimizacija processa pěnnoj separacii različnyh klassov krupnosti. In.: *Obogaščenije rud. IPI, Irkutsk 1964. s. 66-74.*
- [5] Glembockij, V., A., Klassen, V., I., Plaksin, I., N.: Flotacija Gosgortekhnizdat, 1961.
- [6] Gurevič, R., I., Knaus, O., M., Uvarov, P.: Charakter kinetiki pěnnoj separacii. *Cvetnyje metally, 1971 č.2.*
- [7] Knaus, O., M., Gurevič, R., I., Uvarov, J., P.: A. s. 23 28 69 (SSSR) *Mašina dlja flotogravitacionnogo obogasčeniija.1965.*
- [8] Knaus, O., M., Gurevič, R., I., Uvarov, J., P.: Process pěnnoj separacii i jego otličija ot flotacii iz objema pulpy. *Cvetnyje metally, 1968, č. 8, s. 21-24.*
- [9] Kozák, J.: Rozdružování kalů v hydrocyklonech., *Katedra úpravnictví, Ostrava, VŠB 1988, s.80.*
- [10] Malinovskij, V., A.: Selektivnoje izvlečenije gidrofobnyh i gidrofobizirovannyh částic i nekotorych poverchnostno-aktivnyh vješčev pěnnoj separacijej. *DAN SSSR, 1961, t.141, No 2, s. 420-423.*
- [11] Malinovskij, V., A.: Pěnnaja separacija. In.: *Pěnnaja separacija. Moskva, VZPI, 1976, s. 4-13.*
- [12] Matvejenko, M., V.: Pěnnaja separacija poleznyh iskopajemyh. Moskva, Nedra 1976.
- [13] Taggart, A.F.: Handbook of Mineral Dressing, *New York, Wiley, Handbook series 1945.*
- [14] Tichánek, F.: Poloprovozní ověření pěnové separace. In.: *XVIII. In.: XVIII. Celoštátná úpravnická konferencia. Banická fakulta TU Košice, 1992, s. 147-153.*
- [15] Tichánek, F.: Flotation and Froth Separation of Coal. In: *5th International Symposium on the Reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Wastes. Ostrava, VŠ B-TU Ostrava, 1996, s. 575-577.*
- [16] Tichánek, F.: Froth Separation in Technology of Preparation of Fine Grained Coal. In: *4th Conference on Environment and Mineral Processing. Ostrava, 1998, Part. II., s. 591-594.*
- [17] Vorobjov, N., K., Vorobjova, L., S., Sokolova, T., P.: The use of froth separation process for ores upgrading. *New technologies and techniques for upgrading ferrous metal ores. Collection of articles. Research and design institute for beneficiation and agglomeration of ferrous metal ores Mekhanobrchermet, Krivoy Rog, s.128-138,1995.*
- [18] Vorobjov, N., K., Sokolova, V., P.: Application of froth separation process in beneficiation of nonferrous metals' ores and non-metallic minerals, as well as in combined flowsheets for concentration of oxidized iron ores. *Minera Processing Journal 1,2002,s.16-19.*
- [19] Vorobjov, N., K., Arsentjev, V., A., Fedorov, M., A.: Opyt vnedrenija tehnologii pennoj separacii margancevych šlamov. *Sověřšenstvovanije tehniki i tehnologii grubozernistoj flotaci In: Otrasl. tematik.sbornik.,Kolskij filial AN SSSR. Apatity, 1986.s. 32-36.*
- [20] Vorobjov, N., K., Sokolova, V., P.: The use of froth separation process in the combined flowsheets for beneficiation of oxidized iron ores. In: *6th Conference on Environment and Mineral Processing. Ostrava, 2002, Part. I.,s.223-229.*
- [21] Wilczynski, P.: Coal processing plants in the Ruhr area, *Aufbereitungs -Technik, 1981 č. 4, s. 255-246.*