

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko-geologická fakulta**

Institut hornického inženýrství a bezpečnosti

**OPTIMALIZACE PODMÍNEK PĚNOVÉ  
SEPARACE ČERNOUHELNÝCH KALŮ**

Diplomová práce

**Autor:**

**Bc. Marek Pataky**

**Vedoucí diplomové práce:**

**doc.Dr.Ing. František Tichánek**

Ostrava 2014

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Pataky**  
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny  
Studijní obor: 2102T013 Úprava surovin a recyklace  
Téma: **Optimalizace podmínek pěnové separace černouhelných kalů**  
**Optimization Conditions for froth Separation black Coal Slurries**

Zásady pro vypracování:

Úvod

1. Charakteristika černouhelných kalů
2. Stanovení vlivu dávkování flotačních činidel na výnos a kvalitu produktů rozdužování
3. Vyhodnocení dosažených výsledků

Závěr

Rozsah práce : 30 - 35 stran textu, 5 - 10 grafických příloh.

Seznam doporučené odborné literatury:

KMEŤ, S.: *Flotácia*. Alfa Bratislava, 1992

NOVÁČEK, J.: *Technologie úpravy uhlí II*. 1st. ed. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2000. 130 p. ISBN 80-7078-831-3


TICHÁNEK, F.; JUŘICOVÁ, H.; SAMKOVÁ, R.; HUMMEL, M.: *Separation of highly concentrated black coal slurry by using a froth separation*. In 11th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM2011. Bulgaria: STEF92 Technology Ltd.,2011. 1181-1187 p. ISSN 1314-2704.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr.Ing. František Tichánek**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 30.04.2014

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Pavel Prokop, CSc.  
vedoucí institutu



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.  
děkan fakulty

**Prohlášení:**

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval(a) samostatně a uvedl(a) jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byl(a) jsem byl seznámen(a) s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 25.4.2014

.....  
Bc. Marek Pataky

## **Anotace**

Diplomová práce je zpracovaná na téma „Optimalizace podmínek pěnové separace černouhelných kalů“. Na začátku mé práce je popsána pěnová separace, její princip, kinetika procesu a reagenční činidla. Dále je uvedena charakteristika černouhelných kalů. Následuje stanovení optimálních podmínek na výnos a kvalitu produktů rozdrůžování. Poté je uvedeno vyhodnocení dosažených výsledků.

V závěru práce jsou shrnuty poznatky a výsledky diplomové práce. Poté je zařazen seznam použité literatury a zdrojů.

**Klíčová slova:** uhlí, pěnová separace, reagenční činidla, optimalizace podmínek.

## **Summary**

Diploma thesis elaborated on the theme of “Processing optimization Conditions for froth Separation black Coal Slurries“.

At the beginning of my work is circumscribed froth Separation, the principles, itself course of the process and floatation surfactants.

Next part is characterization black coal slurries. Followed by an evaluation of optimum conditions on the yield and quality of product separation. After specified evaluation of results.

Following is a list of the included literature, resources and index attachments.

**Key words:** coal, froth Separation, flotation reagents, Optimization Conditions

Chtěl bych poděkovat doc. Dr.Ing. Františku Tichánkovi, vedoucímu diplomové práce, za odborné vedení a cenné rady, které mi poskytl v průběhu zpracování této práce.

## Obsah:

1) Úvod.....	1
2) Pěnová separace .....	2
2.1 Princip pěnové separace.....	2
2.2 Kinetika procesu pěnové separace .....	3
2.3 Reagenční činidla.....	3
3) Charakteristika černouhelných kalů.....	5
3.1 Charakteristika a klasifikace uhelné hmoty .....	5
3.1.1 Makropetrografická klasifikace uhelné hmoty .....	5
3.1.2 Mikropetrografická klasifikace uhelné hmoty.....	5
3.1.3 Mikrolitotypy .....	8
3.2 Chemické složení uhlí.....	9
3.2.1 Hořlavina .....	9
3.2.2 Popeloviny .....	10
3.3.3 Voda.....	10
3.3 Charakteristika uhlí z hlediska pěnové separace .....	11
4) Stanovení vlivu dávkování flotačních činidel na výnos a kvalitu produktů.....	12
4.1 Popis lokality a charakteristika vzorku .....	12
4.2 Proces úpravy.....	12
4.3 Zrnitostní rozbor vzorku černouhelných kalů.....	13
4.4 Laboratorní zařízení .....	15
4.5 Charakteristika reagenčních činidel.....	16
4.6 Podmínky pěnové separace.....	17
4.7 Průběh pěnové separace.....	18
5) Vyhodnocení dosažených výsledků.....	26
5.1 Vyhodnocení zrnitostní analýzy .....	26
5.2 Vyhodnocení pokusů z pohledu maximálního výnosu koncentrátu .....	26
5.3 Vyhodnocení pokusů z pohledu obsahu popela v koncentrátu.....	27
5.4 Vyhodnocení pokusů z pohledu obsahu popela v odpadu .....	27
5.5 Vyhodnocení pokusů z pohledu účinnosti .....	28
5.6 Vyhodnocení pokusů z pohledu zvolených kritérií .....	28

6) Závěr .....	29
Seznam použité literatury .....	30
Seznam tabulek .....	31
Seznam grafických příloh .....	32
Grafické přílohy	

## 1) Úvod

Černé uhlí patří mezi důležitou surovinu pro energetiku, hutnictví a chemický průmysl. Vlivem mechanizace těžby dochází ke zvyšování obsahu jemných podílů v těžném uhlí, které je nutné dále upravovat. Tyto jemné podíly negativně ovlivňují ekonomickou bilanci úpraven, neboť se zmenšující velikostí zrn se snižuje účinnost rozdružování.

V důsledku zvyšování obsahu jemných podílů dochází k přetěžování kalových oběhů úpraven a ke ztrátám surových kalů. Tyto surové kaly je nutné zpracovávat pomocí flotace, která patří mezi nejúčinnější metodu úpravy černouhelných kalů. V praxi se většinou flotují zrna o velikosti pod 0,5 mm. Náklady na flotaci jsou poměrně vysoké.

Jednou z možností jak zlepšit efektivitu úpravy je snížení horní hranice velikosti zrn na přívodu flotace, tzn. odlehčení kalových oběhů.

Takto vytvořená zrnitostní třída může být upravována tzv. pěnovou separací, která umožňuje přechod větších zrn do pěnového produktu.

Cílem této práce je stanovení vlivu dávkování činidel při pěnové separaci tak, aby bylo dosaženo maximálního výnosu koncentráту a vysoce kvalitních produktů z hlediska obsahu popela.



## 2) Pěnová separace

### 2.1 Princip pěnové separace

Pěnová separace je proces rozduřování minerálních zrn, jehož podstatou je přivádění rmutu rozduřovaného materiálu shora na připravenou pěnovou vrstvu. Přiváděný rmut prostupuje pěnou, kde dochází ke kontaktu minerálních zrn se vzduchovými bublinkami. Ve vrstvě pěny jsou vytvořeny optimální podmínky pro kontakt minerálních zrn se vzduchovými bublinkami, z toho důvodu hydrofobní částice zůstávají ve vrchní části pěny, hydrofilní částice prostupují pěnou do spodní části vlivem gravitační síly.

Rozduřování probíhá vlivem různého odporu prostředí proti pohybu zrn, která klesají do spodní části separátoru. Odpor pěnové vrstvy závisí na hydrofobnosti povrchu částic, hysterezi smáčení, tvaru částic, velikosti vzduchových bublinek, tloušťce pěnové vrstvy a řadě dalších faktorů [1].

Vysokou pravděpodobnost, že se hydrofóbní zrna zachytí, umožňuje tvorba komplexů, které vznikají vzájemným spojením mineralizovaných bublinek v důsledku působení adhézních sil. Mineralizovaná zrna zachycená v horní vrstvě pěny tvoří nepřetržitě nově vznikající hydrofóbní povrch, který je schopen vázat další hydrofóbní částice. Hydrofilní částice propadávají pěnou a tvoří odpad.

Využití pěnové separace je vhodné pro úpravu nerostných surovin, které mají velikost zrn příliš velkou pro úpravu pomocí flotace nebo naopak pro zrna příliš malé velikosti, pro která by nebyly efektivní jiné rozduřovací metody úpravy.

Metoda flotačního rozduřování i pěnová separace jsou založeny na stejném mechanismu působení minerálů a vzduchových bublinek. Obě rozduřovací metody probíhají při stejných reagenčních režimech. Z tohoto důvodu tak výrazný rozdíl rychlostí průběhu určují hlavně rozdílné aerační a hydrodynamické podmínky kontaktu minerálních částic s bublinkami vzduchu.

## 2.2 Kinetika procesu pěnové separace

Pokusy bylo dokázáno, že doba rozdružování v pěnové vrstvě je dána rychlostí vypadávání nejjemnějších částic z pěny. K získání kvalitního koncentrátu je potřeba, aby čas vypadávání hydrofilních částic byl stejný nebo menší než je čas, kdy v pěně setrvávají flotované částice. Prodlužováním doby separace se zlepšuje pěnový produkt, protože dochází k odstraňování hydrofilních částic, ale zároveň se zvyšují ztráty výtěžnosti částic do koncentrátu.

Pěnová separace je ve srovnání s flotací velmi rychlý proces. Rychlost pěnové separace převyšuje 5-10 krát rychlost běžné flotace [1]. To je dáno tím, že v pěnové vrstvě vznikají příznivé podmínky, jejichž důsledkem je zkrácení doby pobytu minerálních částic do vzniku flotokomplexů na minimum.

Pro pěnovou separaci jsou charakteristická 2 stádia [1] :

- 1) stádium mineralizace bublinek – doba od okamžiku přívodu rmutu na pěnovou vrstvu do okamžiku, kdy začnou z pěny vypadávat hydrofilní částice,
- 2) stádium koncentrace flotovaných minerálů – doba, během které dochází k vypadávání základního množství částic.

Vysoká rychlost procesu pěnové separace umožňuje odpovídající snížení objemu flotačních zařízení. Z toho vyplývá, že výkon pěnového separátoru je podstatně vyšší než výkon srovnatelného flotačního stroje.

Velký význam má také skutečnost, že výrazné zvýšení rychlosti pěnové separace proti klasickému flotačnímu rozdružování nevyžaduje zvýšenou dodávku energie, ale naopak dochází k úspoře měrné spotřeby energie, potřebné pro úpravu jedné tuny suroviny.

## 2.3 Reagenční činidla

Reagenční činidla jsou hlavním činitelem v procesu pěnové separace. Jejich úkolem je ovlivňovat a měnit povrchovou energii fázového rozhraní.

Z chemického hlediska rozeznáváme činidla organická, anorganická, jednoduché látky nebo sloučeniny.

### Sběrače

Sběrače jsou organické látky, které mají za úkol zvětšovat nebo vyvolávat hydrofóbnost povrchu minerálních zrn, což umožňuje pevné spojení minerálních zrn s bublinkami vzduchu.

Sběrače lze rozdělit na polární a nepochární. Nepochárními sběrači jsou především uhlovodíky a jejich deriváty, alkoholy a organické sloučeniny síry. Polární sběrače rozeznáváme kationtové, aniontové a chelatační. Obecně platí, že sběrače nepochární jsou ve vodě nerozpustné nebo rozpustné jen málo [2].

### Pěniče

Pěniče jsou organické povrchověaktivní heterogenní sloučeniny, které mají za úkol snižovat povrchové napětí, napomáhají dispergaci vzduchu na malé bublinky, zvyšují nosnost a stálost mineralizované pěny.

### **3) Charakteristika černouhelných kalů**

#### **3.1 Charakteristika a klasifikace uhelné hmoty**

##### **3.1.1 Makropetrografická klasifikace uhelné hmoty**

Makropetrografická klasifikace je zhodnocení uhelné hmoty přímo v dole nebo v uhelné sloji, případně na povrchu, pokud se jedná o hodnocení vrtných jader nebo kusů uhelné hmoty, které byly získány z procesů úpravy. Při klasifikaci se uplatňuje vyjádření množstevního poměru jednotlivých složek, které tvoří uhelnou hmotu.

Petrografické typy černého uhlí

Podle zastoupení základních složek se dělí černá uhlí na [3]:

- matné uhlí,
- matné uhlí páskované,
- páskované uhlí,
- lesklé uhlí páskované,
- lesklé uhlí.

##### **3.1.2 Mikropetrografická klasifikace uhelné hmoty**

###### Uhelné macerály a macerálové skupiny

Uhelné macerály jsou mikroskopické součásti uhelné hmoty, které vznikly během procesu prouhelňování ze zbytků rostlinného původu. Jedná se o směsi látek, které mají podobné vlastnosti, ale jejich fyzikální vlastnosti se liší. Dají se velmi dobře rozlišovat v optickém mikroskopu. Pro rozlišení je významný tvar a barva.

Určují fyzikální, chemické a technologické vlastnosti uhlí.

Uhelné macerály z jedné sloje, stejného stupně prouhelnění, které mají stejné chemické a technologické vlastnosti lze rozdělit do 3 macerálových skupin [3]:

- skupina vitrinitu,
- skupina exinitu,
- skupina inertinitu.

Tabulka 1. Charakteristika macerálových skupin

<b>Macerální skupina</b>	<b>Macerál</b>	<b>Macerální typ</b>	<b>Macerální varieta</b>	<b>Kryptomacerál</b>
<b>VITRINIT</b>	kolinit	telokolonit gelokolonit desmokolonit korpokolonit	kordoitolinit fungotelinit xylotelinit fylotelinit	kryptotelinit kryptokorpokolinit
	telinit			
	vitrodetrinit			
<b>EXINIT</b>	aporinit		tenuisporinit krassiasporinit mikrosporinit makrosporinit	kryptoexosporinit kryptointosporinit
	kutinit			
	rezinit			
	alginit			
	suberinit			
liptodetrinit				
<b>INERTINIT</b>	mikrinit	pyrofuzinit degradofuzinit	plektenchyminit korposklerotinit pseudokorposklerotinit	
	makrinit			
	semifuzinit			
	fuzinit			
	sklerotinit			
	inertodetrinit			

### **Macerálová skupina vitrinitu**

Obsahuje macerály kolinit, telinit a vitrodetrinit. Skupina je charakteristická šedavým odstínem. Rozlišení jednotlivých macerálů je závislé na stupni prouhelnění. S rostoucím stupněm prouhelnění klesají rozlišovací schopnosti.

Kolinit nedisponuje zřetelnou rostlinnou strukturou, zaplňuje buněčné prostory telinitu.

Telinit má různě zřetelnou rostlinnou strukturu, buněčné prostory jsou buď prázdné nebo je zaplňují organické či anorganické materiály. Vitrodetrinit jsou úlomky různého tvaru, které patří do skupiny vitrinitu, ale nelze u nich určit, zda se jedná o zbytky kolinitu nebo telinitu [3].

### **Macerálová skupina exinitu**

Tato skupina obsahuje macerály sporinit, kutinit, rezinit, alginit, chlorofynilit a liptodetrinit. Přítomnost těchto macerálů v uhelné hmotě zvyšuje pevnost uhlí a obsah prchavé hořlaviny. Skupina je charakteristická velmi tmavým odstínem šedi.

Sporinit jsou nazývána tělíška vzniklá ze sporů a pylových zrn, která byla během tvorby uhelné hmoty deformována. Nalézá se ve všech typech černého uhlí. Kutinit je macerál tvořený povrchovými blánami lodyh a listů. V černém uhlí se vyskytuje v malém množství, nejvíce v klaritu a duritu. Macerál alginit je tvořen tělísky řas. Rezinit jsou látky typu fosilních rostlinných pryskyřic. Jedná se o macerál, který vyplňuje buněčné prostory telinitu. Chlorofynilit tvoří tělíška zeleného barviva chlorofylu. Vyskytuje se v bezvýznamné míře. Liptodetrinit nelze zařadit do samostatné skupiny macerálů, protože je tvořen mikroskopickými částicemi, které vznikly zdrobňováním ostatních macerálů, které tvoří skupinu exinitu [3].

### **Macerálová skupina inertinitu**

Tato skupina obsahuje macerály mikrinit, makrinit, fuzinit, semifuzinit, sklerotinit a inertodetrinit. Skupina inertinitu je charakteristická velmi světlým odstínem v dopadajícím světle. Jeho odraznost je nejvyšší ze všech macerálů.

Fuzinit je tvořen částmi, které mají dobře zachovanou strukturu s jasně zřetelnou buněčnatostí. Tento macerál je poměrně velmi křehký s nízkým obsahem prchavé hořlaviny. Semifuzinit se vyskytuje v základní hmotě duritu, případně jako příměs vitritu či klaritu. Sklerotinit je macerál, který se vyskytuje v malém množství ve všech druzích uhlí. Inertodetrinit je tvořen malými částicemi macerálů skupiny inertinitu, kde nelze určit konkrétní skupinu [3].

### **3.1.3 Mikrolitotypy**

Mikrolitotypy jsou mikroskopické směsi macerálů skupiny liptinitu, vitrinitu a inertinitu, které se rozdělují:

#### **Monomacerální mikrolitotypy**

Tuto skupinu tvoří mikrolitotypy, které jsou složeny z jedné hlavní macerálové skupiny, jejíž obsah je minimálně 95% , ostatní macerálové skupiny tvoří příměs, kdy jejich obsah nepřekračuje 5%.

Vitrit - tvoří jej macerály vitrinitu. Vyskytuje se ve velké míře v humusovém uhlí. Jeho vlastnosti jsou závislé na stupni prouhelnění. Jedná se o velmi křehký mikrolitotyp.

Liptit – je tvořen macerály liptinitové skupiny. Vyskytuje se v uhlí sapropelového původu.

Inertit – se skládá z macerálů ze skupiny inertinitu. Jeho výskyt je častý, ale pouze v malém množství. Vlastnosti nejsou závislé na stupni prouhelnění [3].

#### **Bimacerální mikrolitotypy**

Do této skupiny patří mikrolitotypy, které jsou tvořeny dvěma hlavními macerálovými skupinami.

Klarit – je tvořen hlavně macerálovými skupinami exinitu a vitrinitu. Podíl těchto skupin nesmí klesnout pod 5%. Vyskytuje se u uhlí matného a pololesklého. Jeho pevnost se stupněm prouhelnění klesá.

Durit – skládá se z macerálů liptinitové a inertinitové skupiny.

Vitrinertit – tvoří jej macerály skupiny vitrinitu a inertinitu [3].

Durit – skládá se z macerálů liptinitové a inertinitové skupiny. Hustota je v rozmezí 1,3 – 1,7 g.cm<sup>-3</sup> v závislosti na stupni prouhelnění.

Vitrinertit – tvoří jej macerály skupiny vitrinitu a inertinitu [3].

### **Trimacerální mikrolytotipy**

Jsou tvořeny třemi macerálovými skupinami, jejichž podíl je větší jak 3%. Tato skupina se podílí nejhojněji na stavbě uhelné hmoty humitového typu.

Duroklarit – svým složením se řadí mezi durit a klarit. Patří mezi nejrozšířenější mikrolytotipy, vyskytuje se u matného a pololesklého uhlí.

Klarodurit – převažuje podíl inertinitu. Vyskytuje se u matného i pololesklého uhlí.

Vitrinertoliptit – převažuje skupina liptinitu. Vyskytuje se v menší míře než oba předešlé mikrolytotipy. Vlastnosti jsou závislé na poměru složek z nichž je složen [3].

## **3.2 Chemické složení uhlí**

Z chemického hlediska můžeme uhelnou hmotu rozdělit na 3 základní složky:

- hořlavina,
- popeloviny,
- voda.

### **3.2.1 Hořlavina**

Hořlavina je spalitelná část uhlí. Je to směs organických sloučenin uhlíku, síry, vodíku, dusíku a kyslíku. Největší zastoupení má uhlík, nejméně je obsažen dusík. Obsah těchto sloučenin je závislý na stupni prouhelnění a geologickém stáří uhlí. Obsah jednotlivých složek závisí na složení látek, z nichž uhlí vzniklo.

Podle reakce při zahřívání rozdělujeme hořlavinu na prchavou a neprchavou.

Prchavá hořlavina je část, která při zahřívání, za nepřístupu vzduchu při teplotě cca 850°C, unikne v plynné formě. Neprchavá hořlavina je zbytek po koksování, tedy neprchavý podíl.



### 3.2.2 Popeloviny

Popeloviny jsou minerální složky, které jsou obsaženy v uhlí, po dokonalém spálení uhelné hmoty po nich zůstane pevný zbytek.

Popeloviny se dělí na vlastní a přimíšené. Vlastní popeloviny jsou v uhlí rozptýleny a částečně vázány i na hořlavinu. Nelze je oddělit přípravnými procesy. Jedná se o anorganické součásti, které byly obsaženy v látkách, ze kterých uhlí vzniklo.

Přimíšené popeloviny jsou anorganické horniny z nadloží a podloží. K uhlí se dostávají při dobývání. Jejich množství je závislé např. na dobývací metodě, čistotě uhelné sloje, přírodních podmínkách apod. Odstraňují se ve formě hlušiny nebo prorostliny.

### 3.2.3 Voda

Obsah vody závisí na stupni prouhelnění. Čím je uhlí geologicky starší, tím je obsah vody nižší. Voda je v uhlí obsažena v různých formách. Jednou z forem je voda původní, jejíž obsah závisí na stupni prouhelnění. Malá část vody je vázaná na popeloviny a označuje se jako voda hydrátová a část vody je vázána chemicky na organickou hmotu – voda konstituční. Tyto vody nelze odstranit zahříváním.

Z hlediska vazby vody lze rozdělit vodu na [3]:

- kapilární,
- povrchovou,
- přimíšenou.

Kapilární voda je obsažena uvnitř uhelné hmoty. Rozděluje se na vodu hygroskopickou, hrubou a okludovanou. Část hrubé vody lze odstranit volným vysycháním, zbytek vody se odstraňuje sušením.

Vodu přimíšenou a povrchovou lze odstranit filtrací, odkapáváním nebo odsátím.

### **3.3 Charakteristika uhlí z hlediska pěnové separace**

Rozdružování uhlí pomocí pěnové separace, případně flotace je závislé na několika faktorech. Mezi tyto faktory patří stupeň prouhelnění, obsah uhlíku, typ uhlí a další.

Flotační schopnost má pouze černé uhlí. Hnědé uhlí a lignity flotovat nelze.

Se zvýšením stupně prouhelnění roste obsah uhlíku v uhlí, klesá obsah kyslíku a tím se zvyšuje hydrofóbnost. Dále platí, že uhlí je lépe flotovatelné ihned po těžbě, protože uhlí vystavené působení atmosférických vlivů na povrchu oxiduje, čímž dochází ke snížení hydrofóbnosti a tím i flotovatelnosti.

Mezi další faktory, které ovlivňují flotovatelnost uhlí, patří přirozené vlastnosti suroviny. Jedná se především o chemické složení, petrografické složení, pórovitost, velikost měrného povrchu, hustotu a další. Faktory, které nemůžeme ovlivnit lze využít ke zvýšení účinnosti pěnové separace, např.: zahuštění rmutu, dávkování činidel, provzdušnění, zrnitostní složení a další.

## **4) Stanovení vlivu dávkování flotačních činidel na výnos a kvalitu produktů rozdružování**

### **4.1 Popis lokality a charakteristika vzorku**

Vzorek černouhelných kalů pochází z dolu Paskov, který leží přibližně 20 kilometrů od Ostravy a je producentem kvalitního koksovateľného uhlí. Dobývací prostor dolu tvoří lokality Staříč a Chlebovice. Tento důl je provozován společností OKD, a.s. Těží se zde od roku 1966.



*Obrázek 1. Důl Paskov*

### **4.2 Proces úpravy**

Surové uhlí se na úpravnu dopravuje železničními vagóny, ze kterých je vysypáno do zásobníku. Odtud se pomocí pásových dopravníků přepravuje do třech řad zásobníků surového uhlí. Z těchto zásobníků se uhlí dopravuje přes magnetické odlučovače pomocí dvou pásových dopravníků na jednotlivé linky. Uhlí je splavováno prací vodou na sítové třídíče, odtud putuje na kontrolní třídíče. Nadsítné tvoří surové uhlí o zrnitosti 15-200 mm, podsítné je surovina o zrnitosti 0-15 mm.

Nadsítné se dopravuje do dvou těžkosuspenzních rozdružovačů Drewboy. Plovoucí frakce je prané uhlí, které se dále přivádí na odvodňovací síto. Odvodněný produkt je dopravován do zásobníku praného uhlí. Kleslá frakce je tvořena hlušinou.

Vsázka o zrnitosti 0-15 mm se na obloukovém síti třídí na frakce 0-0,5 mm a 0,5- 15 mm. Zrna o velikosti 0,5-15 mm se dále rozdružují na sazečkách. Zrnitostní frakce 0-0,5 mm je odvedena do zahušťovacích špiček, přepad ze zahušťovacích špiček je veden na zahušťovač typu Dorr, kde se zahušťuje. Zahuštěná složka se vede na kontrolní obloukové síto, kde je následně nadsítné dopraveno do zásobníku praného uhlí a podsítné směřuje na uhelný zahušťovač Dorr. Zahuštěná suspenze se čerpá k flotačním strojům. Flotační koncentrát z rozdružování je odvodňován na hyperbarických filtrech. Flotační hlušiny jsou svedeny do bagrovací jímky. Odtud se hrubší částice korečkovými výtahy dopraví na odvodňovací síta, hlušina směřuje do hlušinových zásobníků.

### 4.3 Zrnitostní rozbor vzorku černouhelných kalů

Před zahájením pěnové separace byl homogenizovaný vzorek černouhelných kalů podroben síťovému rozboru a stanoven obsah popela v jednotlivých třídách.



Obrázek 2. Síťový tříděč

Byly provedeny dva zrnitostní rozbor, jejichž výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 2 a 3.

Tabulka 2. Výsledky zrnitostního rozboru č.1

ZRNITOSTNÍ ROZBOR Č. 1				
Zrnitostní třída [mm]	Výnos			Obsah popela [%]
	třída [%]	podsítné [%]	nadsítné [%]	
-0,063	5,48	5,48	100	33,26
0,063-0,125	10,59	16,43	94,52	27,11
0,125-0,25	25,32	41,75	83,57	30,20
0,25-0,315	8,59	50,35	58,25	24,85
0,315-0,5	27,92	78,26	49,65	24,80
0,5-0,71	17,75	96,02	21,74	26,10
0,71-1,0	3,94	99,96	3,94	33,56
+1,0	0,40	100	0,40	34,39
Σ	100			25,03

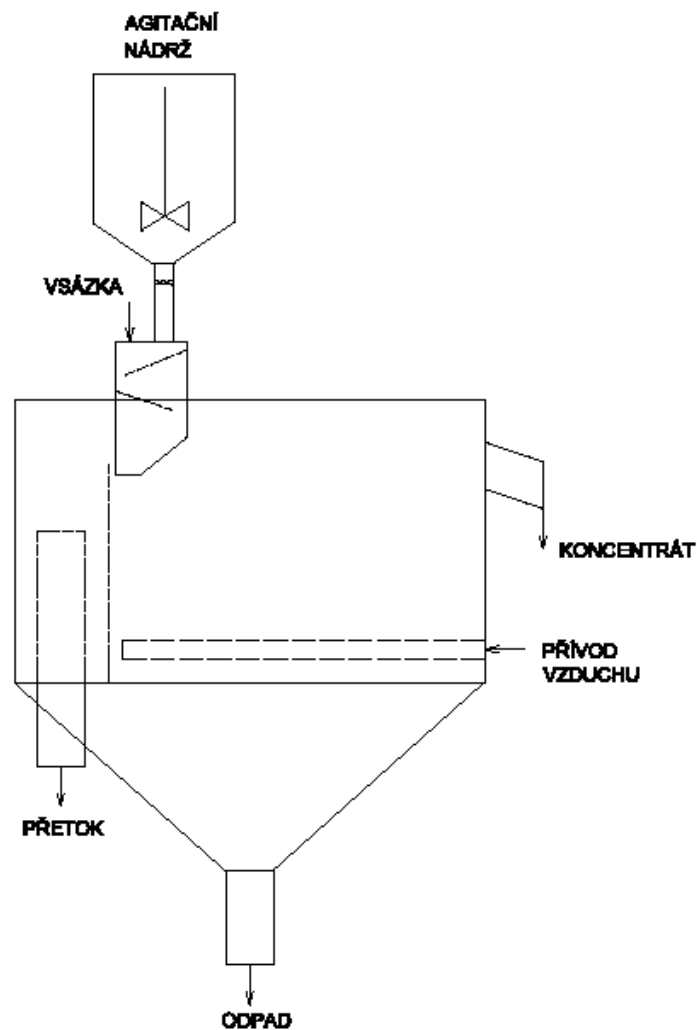
Tabulka 3. Výsledky zrnitostního rozboru č.2

ZRNITOSTNÍ ROZBOR Č. 2				
Zrnitostní třída [mm]	Výnos			Obsah popela [%]
	třída [%]	podsítné [%]	nadsítné [%]	
-0,063	5,52	5,52	100	32,77
0,063-0,125	9,86	15,38	94,48	27,74
0,125-0,25	23,85	39,23	84,62	26,01
0,25-0,315	8,38	47,61	60,77	28,11
0,315-0,5	28,42	76,03	52,39	25,80
0,5-0,71	19,17	95,20	23,97	27,34
0,71-1,0	4,41	99,61	4,80	30,72
+1,0	0,39	100	0,39	31,24
Σ	100			23,58

#### 4.4 Laboratorní zařízení

Optimalizace podmínek pěnové separace byla prováděna v pěnovém separátoru, který měl objem 6,3 dm<sup>3</sup>, délku přepadové hrany 0,1 m.

Zařízení je složeno z flotační cely, kde jsou umístěny aerátory pro přívod vzduchu a rozvodky, která zajišťuje rovnoměrný přítok rmutu na pěnovou vrstvu. V sestavě separátoru je také agitační nádoba, která slouží pro agitaci rmutu s reagenčními činidly.



Obrázek 3. Schéma pěnového separátoru

## 4.5 Charakteristika reagenčních činidel

K laboratorní pěnové separaci byla použita reagenční činidla, která jsou v současné době používána na úpravně uhlí Dolu Paskov, jedná se o:

### 1) Montanol 551

Montanol 551 je homogenní, čistá, usazenin zbavená kapalina, nerozpustná ve vodě, která nezpůsobuje korozi. Jedná se o činidlo s těmito vlastnostmi:

*Tabulka 4. Charakteristika flotačního činidla - Montanol 551*

Vnější vzhled	nažloutlá až zlatá kapalina
Hustota při 15°C	845-875 kg.m <sup>-3</sup>
Obsah vody	< 0,1 %
Bod vzplanutí	> 61°C
Teplota varu	> 175°C

Montanol 551 je složen z karboxylových sloučenin, aromatických a alifatických uhlovodíků, alkenů, alkanů, esterů, glykolů fenolů a etherů [9].

### 2) Vypírací olej

Jedná se o hořlavou kapalinu čtvrté třídy nebezpečnosti, která je nerozpustná ve vodě a je charakteristická těmito vlastnostmi:

*Tabulka 5. Charakteristika flotačního činidla - vypírací olej*

Vnější vzhled	žlutá nebo hnědá kapalina
Hustota při 15°C	880 kg.m <sup>-3</sup>
Obsah vody	< 0,1 %
Bod vzplanutí	> 101°C
Teplota varu	180-360°C

Obě tato činidla jsou používána v poměru 1:1, při dávkování 0,7 kg.t<sup>-1</sup>.

## 4.6 Podmínky pěnové separace

Cílem této práce je stanovení vlivu dávkování flotačních činidel na výnos a kvalitu produktů rozdružování. K pěnové separaci byly použity flotační reagentie Montanol 551 a vypírací olej. Ostatní podmínky byly stanoveny na základě režimu používaného na úpravně Dolu Paskov.

Pěnová separace probíhala za těchto podmínek:

- zahuštění  $150 \text{ g.dm}^{-3}$ ,
- doba agitace 2 minuty.

Účelem úpravy uhlí je dosáhnout největší účinnosti rozdružování a splnění požadavků na kvalitu produktů rozdružování, tzn. maximální výtěžnosti užité složky do koncentráту a dodržení požadovaných parametrů kvalitativních ukazatelů produktů rozdružování. Jedním z ukazatelů je obsah popela v rozdružovaných produktech.

Pro získání výsledků rozdružování pomocí pěnové separace je nutno stanovit orientační kritéria týkající se kvality produktů. Tato kritéria byla zvolena podle hodnot úpravy Dolu Paskov.

Zvolená kritéria:

- maximální obsah popela v koncentráту do 8%,
- minimální obsah popela v odpadu více než 70%,
- výnos koncentráту maximální při dodržení kvality produktů.



#### 4.7 Průběh pěnové separace

Nejdříve byl ověřen reagenční režim provozní flotace na úpravně Dolu Paskov. Dávka flotačního činidla byla  $0,7 \text{ kg.t}^{-1}$  sušiny v poměru 1:1. Zahuštění rmutu bylo  $150 \text{ g.dm}^{-3}$ .

Pěnový separátor byl naplněn vodou. Do flotační cely byl přiváděn tlakový vzduch. Vzorek uhelných kalů, o předem určeném zahuštění, byl nalit do agitační nádoby spolu s reagensy. Doba agitace byla stanovena na 2 minuty. Následně byly do pěnového separátoru nadávkovány flotační reagentie za účelem vytvoření pěnové vrstvy. Po ukončení agitace byl otevřen ventil agitační nádoby. Pomocí přívodní hadice byl přiveden rmut na vstupní zařízení, které slouží k rovnoměrnému přívodu vsázky. Z tohoto zařízení se rmut přivádí tangenciálně na pěnovou vrstvu. Hydrofobní zrna byla zachycována na vrstvě pěny a vynášena přes přepadovou hranu do koncentrátu. Hlušinová zrna, která se nezachytila v pění klesala do spodní části separátoru, odkud byla vypouštěna do nádoby a tvořila odpad. Oba produkty byly následně zfiltrvány a vysušeny. Poté byly stanoveny obsahy popela dle ČSN ISO 1177 z r. 2001 a vypočteny výnosy produktů.



*Obrázek 4. Sušárna Binder*

Byly provedeny vždy dva paralelní pokusy, u kterých byly stanoveny výnosy a obsahy popela v získaných produktech. Nejvyšší výnos praného uhlí je 85,17% a obsah popela v praném uhlí 20,7%, v hlušině 57,1%. Ze získaných hodnot vyplývá, že nebylo dosaženo zvolených kritérií.

Další základní pokusy byly prováděny s dávkami činidel, které se pohybovaly v rozmezí 0,56 - 0,84 kg.t<sup>-1</sup>. Zahuštění rmutu bylo voleno podle provozního zahuštění, tj. 150 g.dm<sup>-3</sup>. Výsledky těchto zkoušek jsou uvedeny v tabulce č. 6.

*Tabulka 6. Výsledky základních pokusů pěnové separace*

dávka Montanolu 551 [kg.t <sup>-1</sup> ]	dávka vypíracího oleje [kg.t <sup>-1</sup> ]	Produkt	Výnos [%]	Obsah popela [%]
0,28	0,28	K	80,33	14,22
		O	19,67	62,42
		K	79,59	14,73
		O	20,41	63,02
0,42	0,28	K	95,59	18,46
		O	4,41	29,25
		K	95,22	18,91
		O	4,78	30,42
0,28	0,42	K	93,60	15,62
		O	6,40	54,26
		K	94,2	14,28
		O	5,80	56,05
0,42	0,42	K	89,12	12,89
		O	10,88	38,75
		K	89,87	11,59
		O	10,23	37,95
0,35	0,35	K	85,17	20,70
		O	14,83	57,14

vysvětlivky: K – koncentrát, O - odpad

Zvolených kritérií nebylo dosaženo ani u jednoho z provedených pokusů, z tohoto důvodu jsem zvolil pro stanovení optimálních dávek činidel metodu plánování experimentů [4].

Tato metoda umožňuje určit vliv dávkování  $x_1$  (Montanolu 551) a  $x_2$  (vypíracího oleje) na dosažení maximálního výnosu koncentráту při vyhovující kvalitě.

Jako výchozí hodnoty pro stanovení optimální dávky flotačních činidel byly použity hodnoty u dávky  $0,56 \text{ kg.t}^{-1}$  v poměru 1:1. Pokusy byly provedeny opakovaně na dvou úrovních dle metody plánování experimentů 2-2.

Byly zvoleny hodnoty sledovaných faktorů blízkých optimu, tj. základní úroveň a jednotka kroku každého faktoru:

Základní úroveň  $x_1^0$              $0,28 \text{ kg.t}^{-1}$ ,  
 dolní úroveň                     $0,21 \text{ kg.t}^{-1}$ ,  
 horní úroveň                     $0,35 \text{ kg.t}^{-1}$ ,  
 krok                                 $0,07 \text{ kg.t}^{-1}$  sušiny.

Základní úroveň  $x_2^0$              $0,28 \text{ kg.dm}^{-3}$ ,  
 dolní úroveň                     $0,21 \text{ kg.dm}^{-3}$ ,  
 horní úroveň                     $0,35 \text{ kg.dm}^{-3}$ ,  
 krok                                 $0,07 \text{ kg.dm}^{-3}$  objemu separátoru.

Tabulka 7. Matice plánování 2-2 pro kvalitu popela

číslo pokusu	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	Výnos koncentráту [%]		
				$y_1$	$y_2$	$y$
1,2	-1	-1	+1	80,33	79,58	79,96
3,4	+1	-1	-1	95,59	99,22	97,40
5,6	-1	+1	-1	93,60	94,20	93,90
7,8	+1	+1	+1	89,12	89,87	89,50
9	0	0	0	-	-	85,17

Z výsledků pokusů byly vypočteny pro každý faktor koeficienty rovnice regrese  $b_j$ .

$b_0 = 90,19$  ... konstantní člen regrese,

$b_1 = 3,26$  ... lineární efekt,

$b_2 = 1,51$  ... lineární efekt,

$b_{1,2} = -5,46$  ... efekt interakce.

Znaménko koeficientu ukazuje, zda se má zvětšit nebo zmenšit daný faktor vzhledem k základní úrovni a velikost koeficientu udává, o kolik jednotek se má změnit.

Dále byly vypočteny výběrové rozptyly:

$\sigma_{21} = 0,28$ ,

$\sigma_{22} = 6,58$ ,

$\sigma_{23} = 0,18$ ,

$\sigma_{24} = 0,28$ .

Rovnost získaných výsledků byla prověřena podle Cochranova kritéria. Vypočtená hodnota  $G_{\max} = 0,90$  je menší než tabelovaná hodnota  $G_p = 0,906$  při  $f = 2-1$  a  $n = 4$ . Lze tedy předpokládat, že pokusy byly provedeny se stejnou přesností.

Dále byla vypočtena chyba pokusů  $\sigma_y = 0,96$ .

Kontrola odchylky hodnoty funkce v centru plánu od středního aritmetického výsledku  $b_0$  rovněž potvrzuje možnost použití lineární rovnice regrese. Průměrná hodnota výnosu při  $x_1^0$  a  $x_2^0$  činí 85,17%,  $b_0 = 90,19$ .

Výsledky pokusů obsahují chybu, z tohoto důvodu i koeficienty regrese určené z těchto výsledků obsahují chybu. Z tohoto důvodu byla hodnocena důležitost koeficientů regrese pomocí Studentova kritéria. Vypočtené hodnoty kritéria jsou větší než tabulková hodnota  $t_p = 2,78$ , je tedy zřejmé, že všechny koeficienty regrese jsou statisticky významné.

Tvar regresní rovnice pro výstupní parametr výnos koncentrátu je:

$$y = 97,40 + 3,26 x_1 + 1,51 x_2 - 5,46 x_1 x_2$$

Adekvátnost rovnice byla ověřena podle Fischerova kritéria. Vypočtené hodnota  $F = 1,24$  je menší než tabulková hodnota  $F_p = 7,71$ .

Byl vypočten jednotkový krok změny faktorů  $k_1$  a  $k_2$  pro další pokusy.

$$k_1 = b_1 \cdot 0,07 = 3,26 \cdot 0,07 = 0,228 \quad x'_1 = x_1^0 + 0,228 = 0,57 \text{ kg.t}^{-1}$$

$$k_2 = b_2 \cdot 0,07 = 1,51 \cdot 0,07 = 0,105 \quad x'_2 = x_2^0 + 0,105 = 0,45 \text{ kg.t}^{-1}$$

Stejná rovnice regrese byla sestavena pro kvalitu koncentráту.

Tabulka 8. Matice plánování 2-2 pro kvalitu koncentráту

číslo pokusu	$x_1$	$x_2$	$x_1 x_2$	Výnos koncentráту [%]		
				$y_1$	$y_2$	$y$
1,2	-1	-1	+1	19,67	20,41	20,04
3,4	+1	-1	-1	4,40	4,78	4,59
5,6	-1	+1	-1	6,40	5,79	6,09
7,8	+1	+1	+1	10,88	10,50	10,69
9	0	0	0	-	-	14,83

Z výsledků pokusů byly vypočteny pro každý faktor koeficienty rovnice regrese  $b_j$ .

$$b_0 = 11,25,$$

$$b_1 = -2,71,$$

$$b_2 = -1,96,$$

$$b_{1,2} = 5,01.$$

Dále byly vypočteny výběrové rozptyly:

$$\sigma_{21} = 0,27,$$

$$\sigma_{22} = 0,07,$$

$$\sigma_{23} = 0,18,$$

$$\sigma_{24} = 0,07.$$

Rovnost získaných výsledků byla prověřena podle Cochranova kritéria. Vypočtená hodnota  $G_{\max} = 0,12$  je menší než tabelovaná hodnota  $G_p = 0,906$  při  $f = 2-1$  a  $n = 4$ . Lze tedy předpokládat, že pokusy byly provedeny se stejnou přesností.

Dále byla vypočtena chyba pokusů  $\sigma_y = 0,04$ .

Kontrola odchylky hodnoty funkce v centru plánu od středního aritmetického výsledku  $b_0$  rovněž potvrzuje možnost použití lineární rovnice regrese. Průměrná hodnota výnosu při  $x_1^0$  a  $x_2^0$  činí 14,83%,  $b_0 = 11,25$ .

Výsledky pokusů obsahují chybu, z tohoto důvodu i koeficienty regrese určené z těchto výsledků obsahují chybu. Z tohoto důvodu byla hodnocena důležitost koeficientů regrese pomocí Studentova kritéria. Vypočtené hodnoty kritéria jsou větší než tabulková hodnota  $t_p = 2,78$ , je tedy zřejmé, že všechny koeficienty regrese jsou statisticky významné.

Tvar regresní rovnice pro výstupní parametr výnos koncentrátu je:

$$y = 4,59 - 2,71 x_1 - 1,96 x_2 + 5,01 x_1 x_2$$

Adekvátnost rovnice byla ověřena podle Fischerova kritéria. Vypočtené hodnoty  $F = 3,29$  je menší než tabulková hodnota  $F_p = 7,71$ .

Byl vypočten jednotkový krok změny faktorů  $k_1$  a  $k_2$  pro další pokusy.

$$k_1 = b_1 \cdot 0,07 = 2,71 \cdot 0,07 = 0,190 \quad x'_1 = x_1^0 + 0,190 = 0,54 \text{ kg.t}^{-1}$$

$$k_2 = b_2 \cdot 0,07 = 1,96 \cdot 0,07 = 0,137 \quad x'_2 = x_2^0 + 0,137 = 0,48 \text{ kg.t}^{-1}$$

V následujících pokusech bylo použita dávka Montanolu 551 v rozmezí 0,54 – 0,60 kg.t<sup>-1</sup> a dávka vypíracího oleje v rozmezí 0,42 – 0,48 kg.t<sup>-1</sup>. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tabulka 9. Výsledky faktorových pokusů

dávka Montanolu 551 [kg.t <sup>-1</sup> ]	dávka vypíracího oleje [kg.t <sup>-1</sup> ]	Produkt	Výnos [%]	Obsah popela [%]	Výtěžnost hořlaviny [%]	Účinnost
0,54	0,42	K	85,39	10,52	90,95	34,74
		O	14,61	47,94	56,22	
		K	85,88	10,89	91,25	33,27
		O	14,12	48,01	57,98	
0,60	0,42	K	85,90	10,63	92,98	40,59
		O	14,10	58,89	52,39	
		K	86,37	10,32	92,68	40,40
		O	13,63	59,73	52,28	
0,54	0,48	K	78,09	7,84	92,88	65,51
		O	21,91	74,47	27,37	
		K	77,89	7,79	92,92	66,24
		O	22,13	75,31	26,68	
0,60	0,48	K	83,89	9,64	90,77	41,69
		O	16,11	52,14	49,08	
		K	84,14	9,79	91,23	42,20
		O	15,86	54,01	49,03	
0,57	0,45	K	75,67	11,34	91,74	59,81
		O	24,33	75,19	31,93	

Zvýšením dávek obou činidel o jednotkový krok vypočtený pro kvalitu koncentrátu došlo ke snížení obsahu popela v koncentrátu a zvýšení obsahu popela v odpadu.

Jako optimální dávka se jeví dávka 1,02 kg.t<sup>-1</sup> flotačních činidel ( 0,54 kg.t<sup>-1</sup> Montanolu 551, 0,48 kg.t<sup>-1</sup> vypíracího oleje), při kterých získané výsledky splňují zvolené kritéria pro kvalitu produktů, tj. obsah popela do 8% A<sup>d</sup> a obsah popela v odpadu více než 70%.

Následně byly provedeny ještě doplňkové pokusy s dávkou Montanolu 551 v rozmezí 0,51 – 0,57 kg.t<sup>-1</sup> a dávkou vypíracího oleje v rozmezí 0,45 – 0,51 kg.t<sup>-1</sup>.

Tabulka 10. Výsledky doplňkových pokusů

dávka Montanolu 551 [kg.t <sup>-1</sup> ]	dávka vypíracího oleje [kg.t <sup>-1</sup> ]	Produkt	Výnos [%]	Obsah popela [%]	Výtěžnost hořlaviny [%]	Účinnost
0,51	0,45	K	85,51	11,81	92,52	37,9
		O	14,49	57,94	54,62	
		K	85,61	11,53	92,52	38,03
		O	14,39	57,42	54,49	
0,57	0,45	K	80,32	14,83	91,35	43,91
		O	19,68	67,08	47,44	
		K	80,38	14,81	89,86	42,41
		O	19,62	67,25	47,45	
0,51	0,51	K	84,92	13,19	92,02	35,71
		O	15,08	57,62	56,31	
		K	84,96	12,98	91,93	35,61
		O	15,04	56,97	56,32	
0,57	0,51	K	78,22	11,87	92,14	48,06
		O	21,78	73,00	44,08	
		K	78,41	11,80	98,20	61,20
		O	21,59	72,93	37,00	

Z výsledků uvedených v tabulce č.10 je zřejmé, že snížením dávky Montanolu 551 a zvýšením dávky vypíracího oleje došlo ke zvýšení výnosů koncentráту, zároveň ale došlo ke zvýšení obsahu popela v koncentráту a snížení obsahu popela v odpadu.



## 5) Vyhodnocení dosažených výsledků

### 5.1 Vyhodnocení zrnitostní analýzy

Z uvedené zrnitostní analýzy vyplývá, že nejvíce popela je obsaženo v nejjemnější zrnitostní třídě. Nejméně popela obsahuje zrnitostní třída 0,315 – 0,5 mm.

Tabulka 11. Výsledky síťového rozboru

Zrnitostní třída [mm]	Zrnitostní rozbor č.1			Zrnitostní rozbor č.2		
	Výnos		Obsah popela [%]	Výnos		Obsah popela [%]
	podsítné [%]	nadsítné [%]		podsítné [%]	nadsítné [%]	
-0,063	5,48	100	33,26	5,52	100	32,77
0,063-0,125	16,43	94,52	27,11	15,38	94,48	27,74
0,125-0,25	41,75	83,57	30,20	39,23	84,62	26,01
0,25-0,315	50,35	58,25	24,85	47,61	60,77	28,11
0,315-0,5	78,26	49,65	24,80	76,03	52,39	25,80
0,5-0,71	96,02	21,74	26,10	95,20	23,97	27,34
0,71-1,0	99,96	3,94	33,56	99,61	4,80	30,72
+1,0	100	0,40	34,39	100	0,39	31,24
Σ			25,03			23,58

### 5.2 Vyhodnocení pokusů z pohledu maximálního výnosu koncentráту

Z provedených testů pěnové separace vyplývá, že nejvyšší výnos byl dosažen při použití dávky flotačních činidel  $0,7 \text{ kg.t}^{-1}$  ( $0,42 \text{ kg.t}^{-1}$  Montanolu 551,  $0,28 \text{ kg.t}^{-1}$  vypíracího oleje). Při této dávce činidel byl dosažen maximální výnos koncentráту 95,59%.

Tabulka 12. Dávka flotačních činidel pro maximální výnos koncentráту

dávka Montanolu 551 [ $\text{kg.t}^{-1}$ ]	dávka vypíracího oleje [ $\text{kg.t}^{-1}$ ]	Produkt	Výnos [%]
0,42	0,28	K	95,59
		O	4,41

### 5.3 Vyhodnocení pokusů z pohledu obsahu popela v koncentrátu

Z provedených testů vyplývá, že nejnižší obsah popela v koncentrátu je při použití dávky flotačních činidel 1,02 kg.t<sup>-1</sup> (0,54 kg.t<sup>-1</sup> Montanolu 551, 0,48 kg.t<sup>-1</sup> vypíracího oleje). Při této dávce činidel byl dosažen obsah popela v odpadu 7,79%.

Tabulka 13. Dávka flotačních činidel z pohledu obsahu popela v koncentrátu

dávka Montanolu 551 [kg.t <sup>-1</sup> ]	dávka vypíracího oleje [kg.t <sup>-1</sup> ]	Produkt	Obsah popela [%]
0,54	0,48	K	7,79

### 5.4 Vyhodnocení pokusů z pohledu obsahu popela v odpadu

Z provedených testů vyplývá, že nejvyšší obsah popela je při použití dávky flotačních činidel 1,02 kg.t<sup>-1</sup> (0,54 kg.t<sup>-1</sup> Montanolu 551, 0,48 kg.t<sup>-1</sup> vypíracího oleje). Při této dávce činidel byl dosažen obsah popela v odpadu 75,31%. Nejnižší obsah popela v odpadu byl dosažen při dávce flotačních činidel 0,70 kg.t<sup>-1</sup> (0,42 kg.t<sup>-1</sup> Montanolu 551 a 0,28 kg.t<sup>-1</sup> vypíracího oleje).

Tabulka 14. Dávka flotačních činidel z pohledu obsahu popela v odpadu

dávka Montanolu 551 [kg.t <sup>-1</sup> ]	dávka vypíracího oleje [kg.t <sup>-1</sup> ]	Produkt	Obsah popela [%]
0,54	0,48	O	75,31

## 5.5 Vyhodnocení pokusů pěnové separace z pohledu účinnosti

Nejvyšší účinnosti rozduřování pomocí pěnové separace bylo dosaženo při použití dávky flotačních činidel  $1,02 \text{ kg.t}^{-1}$  ( $0,54 \text{ kg.t}^{-1}$  Montanolu 551,  $0,48 \text{ kg.t}^{-1}$  vypíracího oleje). Při této dávce činidel bylo dosaženo účinnosti 66,24%.

Tabulka 15. Dávka flotačních činidel z pohledu účinnosti

dávka Montanolu 551 [ $\text{kg.t}^{-1}$ ]	dávka vypíracího oleje [ $\text{kg.t}^{-1}$ ]	Produkt	Výnos [%]	Obsah popela [%]	Účinnost [%]
0,54	0,48	K	77,89	7,79	66,24
		O	22,13	75,31	

## 5.6 Vyhodnocení pokusů z pohledu zvolených kritérií

Zvolená kritéria pro optimalizaci podmínek pěnové separace černouhelných kalů:

- maximální obsah popela v koncentrátu do 8%,
- minimální obsah popela v odpadu 70%,
- maximální výnos koncentrátu při dodržení kvality produktů.

Z výše vyhodnocených výsledků vyplývá, že pro dodržení zvolených kritérií se jeví jako optimální dávka flotačních činidel  $1,02 \text{ kg.t}^{-1}$ .

Tabulka 16. Dávka flotačních činidel pro dodržení zvolených kritérií

dávka Montanolu 551 [ $\text{kg.t}^{-1}$ ]	dávka vypíracího oleje [ $\text{kg.t}^{-1}$ ]	Produkt	Výnos [%]	Obsah popela [%]
0,42	0,28	K	95,22	18,91
		O	4,78	30,42
<b>0,54</b>	<b>0,48</b>	K	77,89	7,79
		O	22,13	75,31

## 6) Závěr

Úprava uhlí v uhelných úpravkách se potýká s několika problémy. Jedním z těchto problémů je nárůst obsahu jemných podílů. V důsledku těchto jemnozrnných podílů dochází k přetěžování kalových oběhů úprav a ztrátám surových kalů. Jednou z možností, jak zhodnotit vytěžené surové uhlí a snížit obsah vody v produktech rozdužování je úprava uhelných kalů pomocí pěnové separace.

Cílem této práce bylo stanovení vlivu dávkování činidel na výnos a kvalitu produktů rozdužování. Pro laboratorní pokusy byly odebrány vzorky černouhelných kalů z úpravny Dolu Paskov.

Z provedených pokusů a získaných výsledků je zřejmé, že se jako optimální pro pěnovou separaci černouhelných kalů jeví dávka  $0,54 \text{ kg.t}^{-1}$  Montanolu 551 a  $0,48 \text{ kg.t}^{-1}$  vypíracího oleje.

Dávkováním tohoto množství činidel je možné získat výnos 77,89% praného uhlí s obsahem popela 7,79 % A<sup>d</sup> a hlušiny s obsahem popela 75,31% A<sup>d</sup>.

Závěrem lze konstatovat, že černouhelné kaly z úpravny Dolu Paskov jsou vhodné pro úpravu pomocí pěnové separace.

## Seznam použité literatury:

- [1] MATVEENKO N.V.: *Pjennaja separacija poleznych iskopaemych*. Moskva: Nedra, 1976
- [2] KMEŤ S.: *Flotácia*. Bratislava:Alfa, 1992
- [3] NOVÁČEK J.: *Technologie úpravy uhlí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2000, 129 s. ISBN 80-707-8764-3
- [4] ŠUPOV L.P.: *Prikladnyje matematiceskije metody v obogaščeniji poleznych iskopajemych*. Moskva: Nedra, 1972
- [5] TICHÁNEK F., JUŘICOVÁ H., SAMKOVÁ R., HUMMEL M.: *Separation of highly concentrated black coal slurry by using a froth separation*. In 11th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2011. Bulgaria: STEF92 Technology Tld., 2011. 1181 – 1187 p. ISSN 1314-2704.
- [6] TICHÁNEK F.: *Možnosti využití pěnové separace při úpravě černouhelných kalů*. Uhlí, 1989, vol. 37, no. 2, s. 72-77. ISSN 1210-7697
- [7] KOZÁK J., CAGAŠ Z.: *Hodnocení upravitelnosti a způsobů úpravy nerostných*. Praha: SNTL, 1965, 296 s.
- [8] FEČKO P.: *Netradiční způsoby úpravy černouhelných kalů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001, 149 s. ISBN 80-7078-921-2.
- [9] HÁBA, R.: *Porovnání flotovatelnosti uhlí na laboratorním a poloprovozním flotátoru*. Ostrava, 2009. 40 s. Diplomová práce. VŠB-TUO Ostrava.
- Nethill s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2014-13-04]. Produktový list. Dostupné z WWW: <[http://www.nethill.cz/montanol\\_551.html](http://www.nethill.cz/montanol_551.html)>.
- Okd.cz* [online]. 2012 [cit. 2014-13-04]. Kde působí OKD. Dostupné z WWW: <<http://www.okd.cz/cs/o-nas/kde-pusobi-okd/dul-paskov>>.

## Seznam tabulek:

Tabulka 1: Charakteristika macerálových skupin .....	6
Tabulka 2: Výsledky zrnitostního rozboru č.1.....	14
Tabulka 3: Výsledky zrnitostního rozboru č. 2.....	14
Tabulka 4: Charakteristika flotačního činidla - Montanol 551 .....	16
Tabulka 5: Charakteristika flotačního činidla – vypírací olej.....	16
Tabulka 6: Výsledky základních pokusů pěnové separace .....	19
Tabulka 7: Matice plánování 2-2 pro kvalitu popela.....	20
Tabulka 8: Matice plánování 2-2 pro kvalitu koncentrátu.....	22
Tabulka 9: Výsledky faktorových pokusů .....	24
Tabulka 10: Výsledky doplňkových pokusů .....	25
Tabulka 11: Výsledky síťového rozboru .....	26
Tabulka 12: Dávka flotačních činidel pro maximální výtěžnost koncentrátu .....	26
Tabulka 13: Dávka flotačních činidel z pohledu obsahu popela v koncentrátu .....	27
Tabulka 14: Dávka flotačních činidel z pohledu obsahu popela v odpadu .....	27
Tabulka 15: Dávka flotačních činidel z pohledu účinnosti.....	28
Tabulka 16: Dávka flotačních činidel z pohledu zvolených kritérií.....	28