

Posouzení podmínek rozdělování při těžkosuspenzní úpravě hnědého uhlí

Beurteilung der Bedingungen des Scheidungsprozesses bei der Schwertrübaufbereitung der Braunkohle

Von Bedeutung für das Scheidungsprozess des Rohstoffes auf Produkte ist neben der Qualität der Scheidungsprodukte auch Wirksamkeit dieses Prozesses. Die Wirksamkeit ist außer anderem auch mit der Differenz zwischen der Ausbeute der Nutzungs- und der Abfallkomponente in das gleiche Produkt zu äußern. Die Zusammensetzung des Rohstoffes ermöglicht ohne Änderung der Körnigkeit eine bestimmte Maximalwirksamkeit zu erreichen, deren Wert für verschiedene Rohstoffqualität unterschiedlich ist. Die Beurteilung ist mittels des theoretischen Wirksamkeitsgradfeldes des Scheidungsprozesses möglich.

Die Einstellung der technologischen Parameter des Scheidungsprozesses sollte den Koordinaten des Maximums des Wirksamkeitsgradfeldes entsprechen, im Falle, dass die Produktqualität mit den Erfordernissen des Abnehmers übereinstimmt. Die Analyse des Scheidungsprozesses der Braunkohle in SM-Sichter bewies, dass sich die tatsächliche Wirksamkeit unter gegebene Bedingungen der theoretischen Wirksamkeit nähert. In bezug auf die Abhängigkeit der Scheidungsergebnisse mit den Änderungen des Rohstoffes ist vorteilhaft, bei wesentlichen Änderungen der Kohlequalität immer optimale Bedingungen der Separation zu überprüfen.

Evaluation of separation conditions for dense liquid coal preparation

Besides quality of separation products the efficiency of this process is relevant for process of raw material separation. Among

others this can be expressed by yield difference of utility and waste components into the same product. Raw material composition allows (without change of particle size distribution) to reach given value of maximum efficiency, whose value is different for various raw material qualities. Its assessment is allowed using so-called curve of theoretical separation efficiency.

If quality of products is conformable with customer requirements, setting of separation process technological parameters should approximately correspond to efficiency curve maximum co-ordinates. Analysis of brown coal separation process in SM classifiers confirmed that real efficiency approximates to theoretical efficiency. Regarding dependence of separation products on raw material modification it is always advantageous to verify ideal separation conditions upon substantial changes of mining quality.

Обсуждени условий сепарации при обогащении бурого угля в тяжелой субстанции

Для процесса разделения сырья на отдельные продукты большое значение имеет - кроме качества продуктов сепарации - также к.п.д. данного процесса. Эту эффективность можно выразить между прочим также разностью выхода полезного и отходного элементов тот же самый продукт. Состав сырья позволяет без изменения гранулометрического состава достичь определенной максимальной величины к.п.д., значение которой отличается по разному качеству сырья. Ее обсуждение позволяет так наз. кривая теоретического к.п.д. сепарации. Установление технологических

parametřů procesu separace musí odpovídat přibližně koordinátám maxima křivky k.p.d., pokud je kvalita produktů v souladu s požadavky odběratelů. Analýza procesů separace buřácového uhlí v separátorech SM dokázala, že faktický k.p.d. v daných podmínkách přibližně odpovídá teoretickému k.p.d. Vzhledem k závislosti výsledků separace na změně kvality suroviny je výhodné vždy ověřit optimální podmínky separace.

Posouzení podmínek rozdělování při těžkosuspendní úpravě hnědé uhlí

Vedle kvality produktů rozdělování je pro proces dělení suroviny na produkty významná také účinnost tohoto procesu. Tu

lze vyjádřit m.j. také rozdílem výtěžnosti užité a odpadní složky do téhož produktu. Složení suroviny umožňuje bez změny zrnitostního složení dosáhnout určité maximální hodnoty účinnosti, jejíž hodnota je pro různou kvalitu suroviny odlišná. Její posouzení umožňuje tzv. křivka teoretické účinnosti rozdělování.

Nastavení technologických parametrů rozdělovacího procesu by mělo odpovídat přibližně souřadnicím maxima křivky účinnosti, je-li kvalita produktů v souladu s požadavky odběratelů. Analýza rozdělovacího procesu hnědé uhlí v SM rozdělovacích prokázala, že skutečná účinnost se pro dané podmínky blíží účinnosti teoretické. Vzhledem k závislosti výsledků rozdělování na změnách suroviny je výhodné při zásadních změnách kvality těžby vždy ověřit optimální podmínky separace.

Úvod

Jedním z faktorů zajišťujících ekonomický efekt každé výrobní činnosti je mj. vysoká účinnost jejich pracovních operací. V oblasti těžby a úpravy hnědé uhlí je významnou pracovní operací rozdělovací proces. Účinnost rozdělovacího procesu lze, vedle posouzení dokonalosti rozdělovacího procesu jednotlivých frakcí upravované suroviny (dělící čísla), hodnotit rovněž podle úrovně přechodu užité složky (hořlaviny) a jalové složky (popelovin) z rozdělované suroviny do vzniklých produktů. Stupeň přechodu užité a jalové složky do produktů separace bývá v tomto případě vyjádřen tzv. výtěžností dané složky do produktů. Matematicky je výtěžnost stanovena jako poměr mezi množstvím dané složky v produktu k množství téže složky ve zpracovávané surovině a je vyjádřena v procentech. Mírou účinnosti rozdělování (η) je pak rozdíl výtěžností obou složek do téhož produktu. Takto posuzovaná účinnost rozdělování zahrnuje rovněž úroveň ztráty užité složky v odpadním produktu a současně charakterizuje míru znehodnocení užité složky nežádoucí složkou.

Účinnost stanovená metodou výtěžností má při měnícím se složení upravované suroviny odlišnou maximální hodnotu, charakterizující teoretické předpoklady pro oddělení užité a jalové složky při rozdělování bez další předúpravy.

Má-li úprava uhlí v důsledku výroby několika uhelných produktů možnost naplnit kvalitativní požadavky odběratelů přípravou směsi požadované kvality, měla by být hodnota dělícího parametru (v případě těžkosuspendní úpravy hustota suspenze) volena tak, aby se skutečná účinnost rozdělování (η_s) pohybovala v blízkosti maximální teoretické účinnosti ($\eta_{\max t}$). Toho lze dosáhnout analýzou plavícího rozboru rozdělované suroviny. Úroveň optimálního dělícího parametru nebo kvalitu užité složky produktu pro optimální podmínky separace lze zjistit z průběhu křivky teoretické účinnosti rozdělovacího procesu. Souřadnice bodů křivky získáme

výpočtem z údajů plavíčí analýzy vzorku rozduřované suroviny nebo z hodnot odečtených z diagramu upravitelnosti tak, že pro jednotlivé hustoty plavíčích kapalin nebo zvolené obsahy popela v lehčím produktu vypočteme hodnoty teoretické účinnosti. Tyto údaje jsou hodnotami y-vých souřadnic jednotlivých bodů křivky teoretické účinnosti. [1]

Postup při analýze účinnosti rozduřování

K posouzení správnosti zvoleného režimu rozduřovacího procesu uhlí v suspenzi je potřebná znalost množství a kvality vyráběných produktů (výnosů produktů - v_L , v_T a popelnatost produktů - a_L , a_T) a výsledky plavíčí analýzy reprezentativního vzorku rozduřovaného uhlí nebo její zobrazení v HR diagramu. Účinnost separačního procesu pak určíme jako rozdíl výtěžnosti hořlaviny a popela do produktu rozduřování (většinou do praného uhlí). Při výpočtu je nutno dodržovat zásady vyjádřené vzorci:

$$a_L + a_{hL} = 100 \quad /1/$$

$$a_s + a_{hs} = 100 \quad /2/$$

$$v_L + v_T = 100 \quad /3/$$

$$\eta = (v_L * a_{hL}) * 100 / (100 * a_{hs}) - (v_L * a_L) * 100 / (100 * a_s) \quad /4/$$

kde η ... účinnost rozduřovacího procesu v %

a_L ... obsah popela v praném uhlí (lehčím produktu) v %

a_{hL} ... obsah hořlaviny v praném uhlí (lehčím produktu) v %

a_s ... obsah popela v rozduřovaném uhlí v %

a_{hs} ... obsah hořlaviny v rozduřovaném uhlí v %

v_L ... výnos praného uhlí (lehčího produktu) v %

v_T ... výnos těžšího produktu rozduřování v %

Teoretickou účinnost rozduřování pro dané podmínky (η_t) vypočteme tak, že obsahu popela v lehčím produktu a_L přiřadíme odpovídající teoretický výnos lehčího produktu v_{Lt} , zjištěný z HR diagramu a účinnost η_t vypočteme ze vzorce /4/.

Správnost volby dělicího parametru (hustoty suspenze) pro rozduřování suroviny, jejíž kvalitu charakterizují výsledky plavíčí analýzy, posoudíme pak z průběhu křivky teoretické účinnosti. Tentýž výpočet lze provést pro údaje o teoretických výnosech lehčího produktu (v_{Lt}), které zjistíme odečtem z HR zobrazení pro zvolené obsahy popela v lehčím produktu (a_{Lt}). Optimální podmínky separace pak určíme z křivky teoretické účinnosti v hodnotě jejího maxima ($a_{L \text{ opt}}$ nebo γ_{opt}). V případě značných rozdílů mezi účinností reálnou pro dané podmínky (η_r) a účinností optimální teoretickou ($\eta_{\text{opt } t}$) lze upravit skutečné rozduřovací podmínky na parametry vykazující optimální (maximální) účinnost rozduřování.

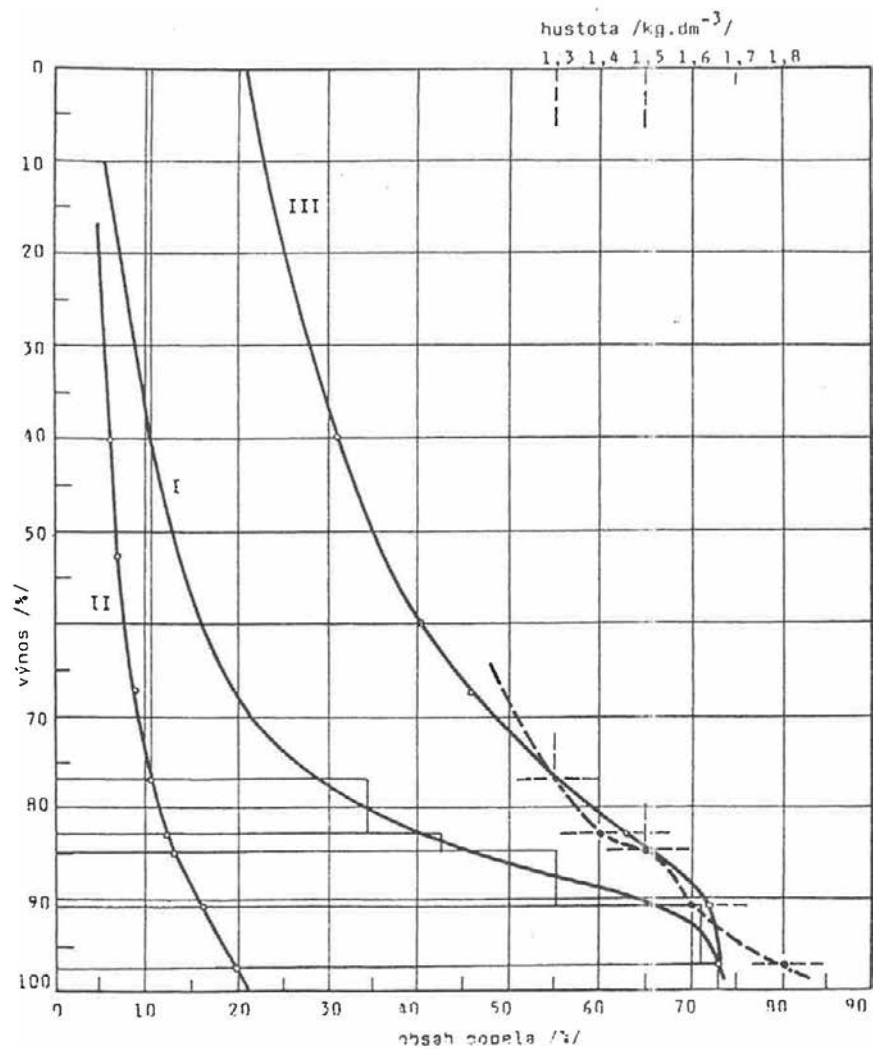
Výsledky analýzy těžkosuspendního rozduřování hnědého uhlí za zvolené období

K posouzení účinnosti rozduřování hnědého uhlí v těžkosuspendních rozduřovačích i stability účinnosti tohoto rozduřování byly postupně v časových odstupech čtyřikrát odebrány reprezentativní vzorky přívodu do SM rozduřovače a produktů rozduřování (měření 1 - 4). Všechny odebrané vzorky byly podrobeny plavící analýze a její výsledky pro vzorky surového uhlí jsou uvedeny v tab. 1 - 4. Křivky upravitelnosti rozduřované suroviny jsou pro jednotlivá měření vyneseny do obr. 1 - 4. Z bilance jednotlivých frakcí v surovém uhlí a produktech rozduřování a z popelové bilance suroviny a produktů separace jsou pro jednotlivá měření vypočteny skutečné (reálné) výnosy produktů rozduřování v_L a v_T . K obsahu popela v lehkém produktu separace (a_L) pro každé měření byl z průběhu křivky plovoucích frakcí HR diagramu určen teoretický výnos praného uhlí ($v_{L,t}$). Podle rovnice /4/ jsou pro všechna měření vypočteny skutečné a teoretické účinnosti rozduřování. Reálné a teoretické údaje o produktech rozduřování jsou uvedeny v tab. 5. Hodnoty reálné a teoretické účinnosti separace pro jednotlivá měření jsou zaznamenány v tab. 8. Vztah mezi reálnými a teoretickými hodnotami účinnosti rozduřování je vyjádřen podílem jejich hodnot (tab. 8). Hodnoty teoretických účinností separace pro každé měření a zvolené hustoty suspenze (zde hustoty plavících kapalin) jsou uvedeny v tab. 6. Pro různé obsahy popela v lehčím produktu jsou pak hodnoty teoretických účinností seřazeny v tab. 7. Graficky je průběh hodnot teoretické účinnosti rozduřování v závislosti na hustotě rozduřovacího média nebo obsahu popela v praném uhlí zobrazen ve formě křivek teoretické účinnosti separace na obr. 5 a 6. Výsledky analýzy účinnosti separace ve vztahu ke skutečným podmínkám rozduřování jsou pro jednotlivá měření uvedeny rovněž v tab. 8. Takovými ukazateli jsou např. podíl mezi reálnou účinností a maximální teoretickou účinností rozduřování, kvalitativní a kvantitativní údaje o produktech rozduřování při maximální účinnosti separace, rozdíly mezi kvalitativními parametry produktů při reálné a optimální účinnosti.

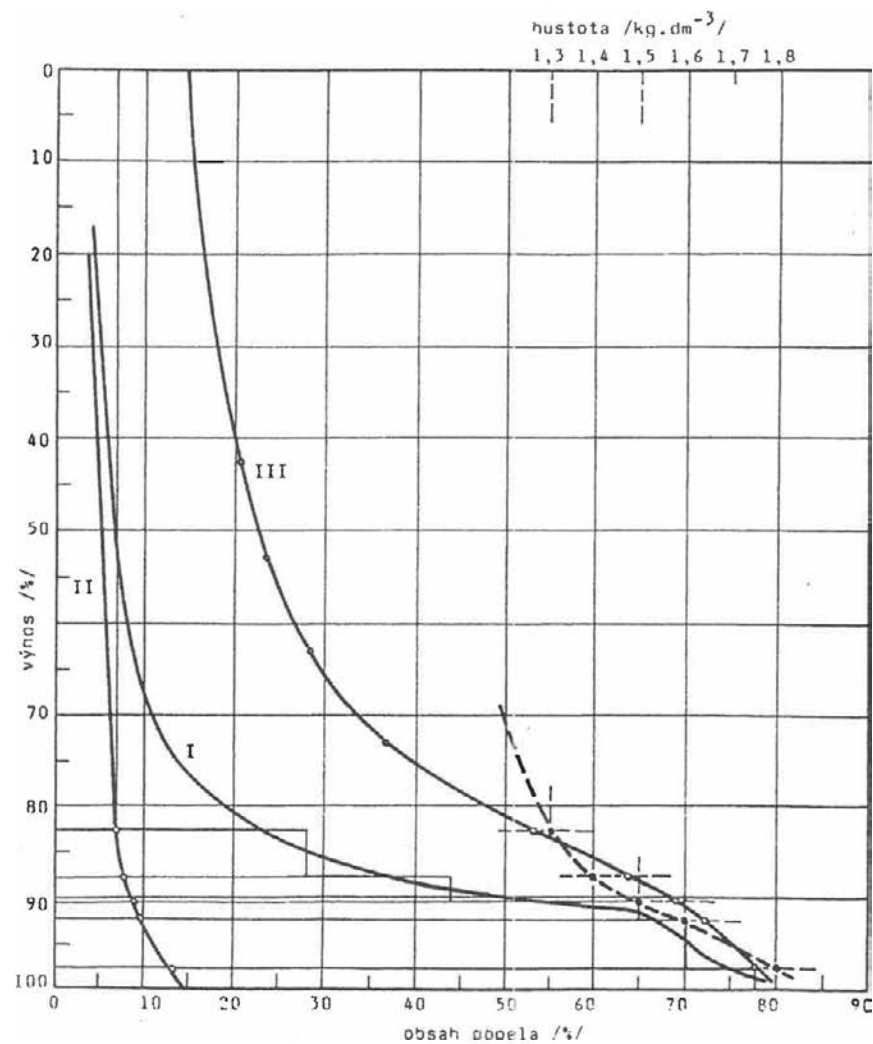
Závěry z výsledků analýzy účinnosti separace hnědého uhlí v SM rozduřovačích za sledované období

Z údajů získaných podrobnou analýzou výsledků separace hnědého uhlí v těžkých suspenzích a teoretickou analýzou možných režimů separace surového uhlí z jednotlivých měření lze vyvodit následující závěry :

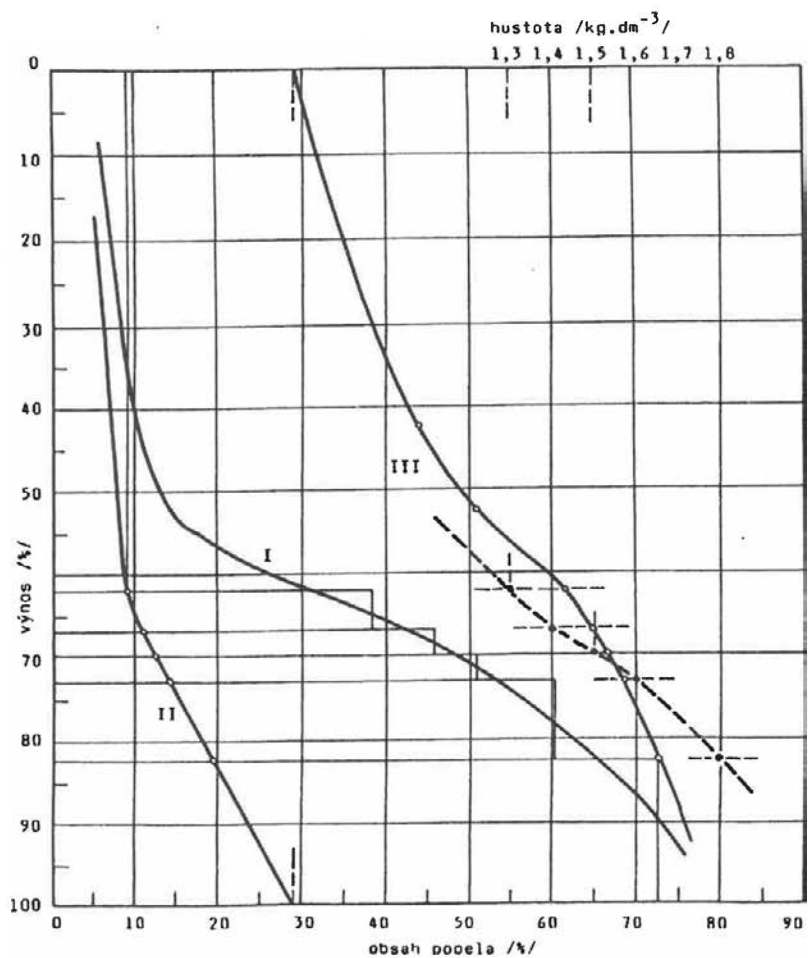
- kvalita rozduřované suroviny s časem klesá ($a_s = 14,7\%$ až 29%)
- upravitelnost rozduřované suroviny je velmi dobrá
- se změnou kvality suroviny a její upravitelnosti se mění také úroveň teoretické optimální účinnosti ($\eta_{opt} = 48,9$ až 60%)
- skutečná účinnost se pro dané podmínky blíží účinnosti teoretické ($\eta_s : \eta_t = 0,95$ až $0,99$)
- změna hustoty dělicího řezu od optimální hodnoty způsobuje zhoršení účinnosti separace a změnu kvalitativních parametrů jejich produktů



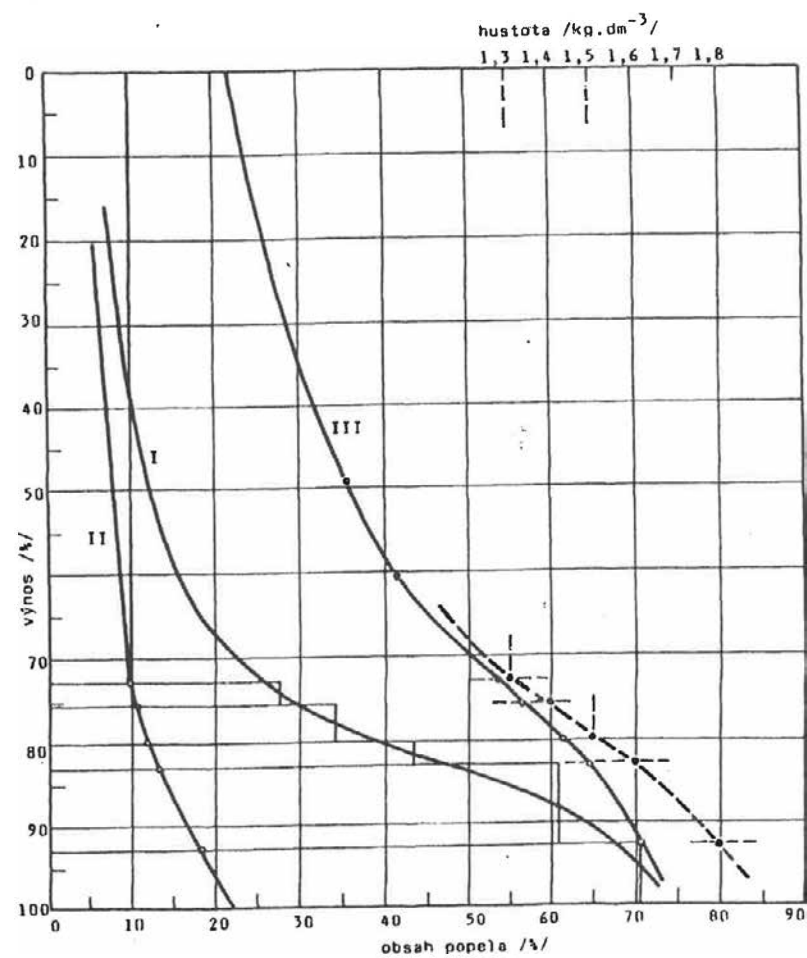
Obr. 1 Křivky upravitelnosti rozdružované suroviny pro měření 1



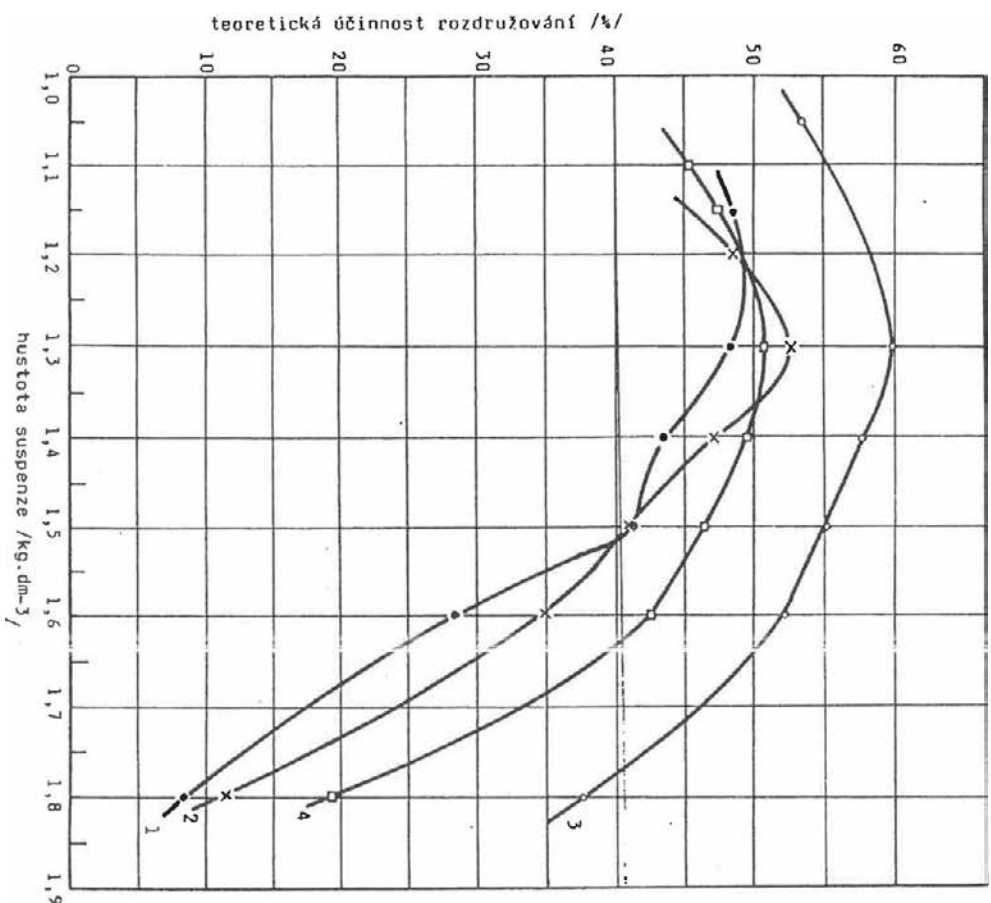
Obr. 2 Křivky upravitelnosti rozdružované suroviny pro měření 2



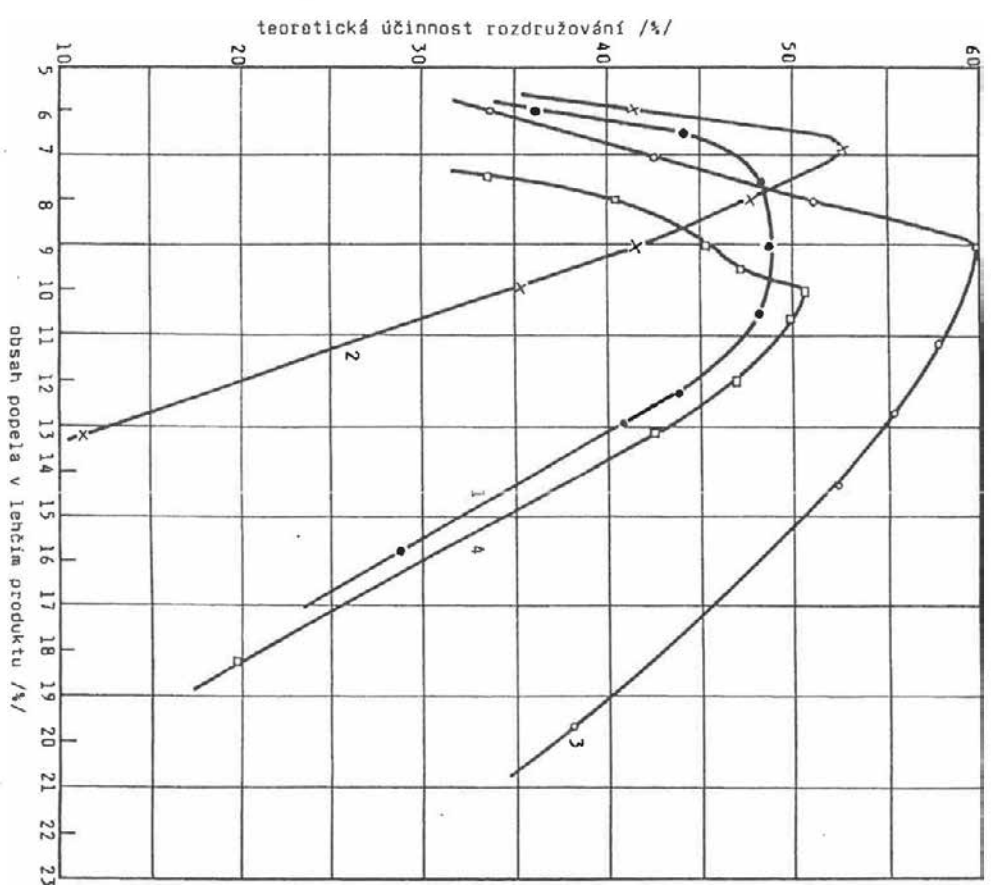
Obr. 3 Křivky upravitelnosti rozduřované suroviny pro měření 3



Obr. 4 Křivky upravitelnosti rozduřované suroviny pro měření 4



Obr. 5 Křivky teoretické účinnosti rozdrůžování v závislosti na hustotě suspenze pro měření 1 až 4



Obr. 6 Křivky teoretické účinnosti rozdrůžování v závislosti na obsahu popela v lehkém produktu pro měření 1 až 4

Tab. 1 Výsledky plavíci analýzy přívodu do SM rozdružovače (měření č. 1)

				plovoucí frakce			kleslé frakce		
hustota	výnos	obsah popela	množství popela	Σ množství popela ↓	Σ výnosů ↓	Ø obsah popela ↓	Σ množství popela ↑	Σ výnosů ↑	Ø obsah popela ↑
kg.dm ⁻³	%	%			%	%		%	%
- 1,3	76,78	10,54	809,26	809,26	76,78	10,54	2.095,83	100,00	20,96
1,3 - 1,4	5,95	34,20	203,49	1.012,75	82,73	12,24	1.286,57	23,22	55,41
1,4 - 1,5	1,98	42,90	84,94	1.097,69	84,71	12,96	1.083,08	17,27	62,71
1,5 - 1,6	5,97	55,35	330,44	1.428,13	90,68	15,75	998,14	15,29	65,28
1,6 - 1,8	6,57	71,08	467,00	1.895,13	97,25	19,49	667,70	9,32	71,64
+ 1,8	2,75	72,98	200,70	2.095,83	100,00	20,96	200,70	2,75	72,98
Σ	100,00	20,96	2.095,83						

Tab. 2 Výsledky plavíci analýzy přívodu do SM rozdružovače (měření č. 2)

				plovoucí frakce			kleslé frakce		
hustota	výnos	obsah popela	množství popela	Σ množství popela ↓	Σ výnosů ↓	Ø obsah popela ↓	Σ množství popela ↑	Σ výnosů ↑	Ø obsah popela ↑
kg.dm ⁻³	%	%			%	%		%	%
- 1,3	82,65	6,69	552,93	552,93	82,65	6,69	1.473,59	100,00	14,74
1,3 - 1,4	5,21	28,30	147,44	700,37	87,86	7,97	920,66	17,35	53,06
1,4 - 1,5	2,55	44,04	112,30	812,67	90,41	8,99	773,22	12,14	63,69
1,5 - 1,6	1,90	65,06	106,51	919,18	92,31	9,96	660,92	9,59	68,92
1,6 - 1,8	5,38	69,71	375,04	1.294,22	97,69	13,25	554,41	7,69	72,09
+ 1,8	2,31	77,65	179,37	1.473,59	100,00	14,74	179,37	2,31	77,65
Σ	100,00	14,74	1.473,59						

Tab. 3 Výsledky plavící analýzy přívodu do SM rozdružovače (měření č. 3)

hustota	výnos	obsah popela	množství popela	plovoucí frakce			kleslé frakce		
				Σ množství popela ↓	Σ výnosů ↓	$\varnothing$ obsah popela ↓	Σ množství popela ↑	Σ výnosů ↑	$\varnothing$ obsah popela ↑
kg.dm ⁻³	%	%			%	%		%	%
- 1,3	61,94	9,07	561,80	561,80	61,94	9,07	2.905,18	100,00	29,05
1,3 - 1,4	4,75	38,61	183,40	745,20	66,69	11,17	2.343,38	38,06	61,57
1,4 - 1,5	3,07	45,86	140,79	885,99	69,76	12,70	2.159,98	33,31	64,84
1,5 - 1,6	2,97	50,86	151,05	1.037,04	72,73	14,26	2.019,19	30,24	66,77
1,6 - 1,8	9,52	60,46	575,58	1.612,62	82,25	19,61	1.868,14	27,27	68,50
+ 1,8	17,75	72,82	1.292,56	2.905,18	100,00	29,05	1.292,56	17,75	72,82
Σ	100,00	29,05	2.905,18						

Tab. 4 Výsledky plavící analýzy přívodu do SM rozdružovače (měření č. 4)

hustota	výnos	obsah popela	množství popela	plovoucí frakce			kleslé frakce		
				Σ množství popela ↓	Σ výnosů ↓	$\varnothing$ obsah popela ↓	Σ množství popela ↑	Σ výnosů ↑	$\varnothing$ obsah popela ↑
kg.dm ⁻³	%	%			%	%		%	%
- 1,3	72,66	9,95	722,97	722,97	72,66	9,95	2.190,43	100,00	21,90
1,3 - 1,4	2,73	28,03	76,52	799,49	75,39	10,60	1.467,46	27,34	53,67
1,4 - 1,5	4,50	34,34	154,53	954,02	79,89	11,94	1.390,94	24,61	56,52
1,5 - 1,6	3,12	43,36	135,28	1.089,30	83,10	13,12	1.236,41	20,11	61,48
1,6 - 1,8	9,99	60,95	608,89	1.698,19	93,00	18,26	1.101,13	16,99	64,81
+ 1,8	7,00	70,32	492,24	2.190,43	100,00	21,90	492,24	7,00	70,32
Σ	100,00	21,90	2.190,43						

Tab. 5 Kvalitativní a kvantitativní údaje o rozdrůžování uhlí v suspenzi

ukazatel			měření č.			
			1	2	3	4
obsah popela v rozdrůžované surovině v %			20,96	14,74	29,05	21,90
skutečné výsledky rozdrůžování	výnos produktů v %	lehčího (v_L)	50,7	85,7	51,9	58,0
		těžšího (v_T)	49,3	14,3	48,1	42,0
	obsah popela v produktu v %	lehčím (a_L)	6,74	8,56	7,85	8,80
		těžším (a_T)	35,59	51,85	51,88	40,00
teoretické výsledky rozdrůžování (bez chybných výnosů)	výnos produktů v %	lehčího (v_L)	53,0	90,0	52,5	60,0
		těžšího (v_T)	47,0	10,0	47,5	40,0
	obsah popela v produktu v %	lehčím ($a_L = a_{Lt}$)	6,74	8,56	7,85	8,80
		těžším (a_{Tt})	43,00	68,00	54,00	42,00

Tab. 6 Hodnoty teoretické účinnosti rozdrůžování pro různé hustoty dělicího řezu

hustota dělicího řezu	teoretická účinnost rozdrůžování v % pro měření č.			
kg.dm ⁻³	1	2	3	4
1,05	-	-	51,1	-
1,10	48,8	-	-	45,3
1,15	48,9	41,7	-	47,1
1,20	-	45,9	-	-
1,25	-	51,0	-	-
1,30	48,3	52,9	60,0	50,8
1,40	43,5	47,3	57,9	49,8
1,50	40,7	41,4	55,3	46,5
1,60	28,5	35,1	52,2	42,7
1,80	8,6	11,6	37,7	19,8

Tab. 7 Hodnoty teoretické účinnosti rozdružování pro různý obsah popela v lehčím produktu separace

měření č. 1		měření č. 2		měření č. 3		měření č. 4	
obsah popela v lehčím produktu	účinnost separace	obsah popela v lehčím produktu	účinnost separace	obsah popela v lehčím produktu	účinnost separace	obsah popela v lehčím produktu	účinnost separace
%	%	%	%	%	%	%	%
6,00	36,1	5,50	18,7	6,00	33,6	7,50	33,7
6,50	44,1	6,00	41,7	7,00	42,8	8,00	40,6
7,50	48,8	6,50	45,9	8,00	51,1	9,00	45,3
8,50	48,9	7,17	52,9	9,07	60,0	9,50	47,1
10,54	48,3	8,35	47,3	11,17	57,9	9,95	50,8
12,24	43,5	8,48	41,4	12,70	55,3	10,60	49,8
12,96	40,9	8,52	35,1	14,26	52,2	11,94	46,5
15,75	28,5	8,59	11,6	19,61	37,7	13,12	42,7
19,49	8,6					18,26	19,8

Tab. 8 Výsledky analýzy účinnosti rozdružování

ukazatel	měření č. 1	měření č. 2	měření č. 3	měření č. 4
skutečná účinnost separace v % (η_s)	43,5	42,2	53,3	44,4
teoretická účinnost separace v % ($a_{Ls} = a_{Lt}$) (η_t)	45,5	44,3	54,0	46,0
maximální teoretická účinnost separace suroviny v % ($\eta_{max t}$)	48,9	52,9	60,0	50,8
podíl skutečné a teoretické účinnosti (η_s / η_t)	0,96	0,95	0,99	0,97
podíl skutečné a maximální účinnosti ($\eta_s / \eta_{max t}$)	0,89	0,80	0,89	0,87
optimální teoretická dělicí hustota v $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$	1,23	1,30	1,30	1,25
optimální teoretický obsah popela v lehčím produktu v %	9,0	6,8	9,0	10,0
optimální teoretický výnos lehčího produktu v %	67,0	82,0	62,0	72,0
optimální reálný výnos lehčího produktu v %	64,3	77,9	61,4	69,8
rozdíl v obsahu popela v lehčím produktu v % ($a_{Ls} - a_{Lopt}$)	- 2,26	+ 1,76	- 1,15	- 1,2
rozdíl mezi v_{Lr} a v_{Lopt} ($v_{Lr} - v_{Lopt}$)	- 13,6	+ 7,8	- 9,6	- 11,8

- vzhledem ke kolísání kvality a upravitelnosti zpracovávané suroviny v čase se podle výsledků analýz účinnosti separace jeví výhodné ověřit při zásadních změnách vždy optimální podmínky rozdružování na údajích získaných kvalitativní a kvantitativní analýzou produktů separace (v_L , v_T , a_L , a_T) a plavící analýzou vzorku rozdružované suroviny.
- Problematika byla řešena s podporou GAČR v rámci řešení grantového projektu č. 105/99/1125.

Literatura

1. Kozák, J.-Botula, J.: Úpravnická technologická analýza, skripta VŠB Ostrava, 1991
2. Rucký, P.- Nováček, J.-Bláhová, O.: Dílčí zpráva z řešení grantového projektu GAČR č.105/99/1125 za rok 1999, VÚHU Most, VŠB-TU Ostrava
3. Rucký, P.-Nováček, J.-Bláhová, O.: Dílčí zpráva z řešení grantového projektu GAČR č.105/99/1125 za rok 2000, VÚHU Most, VŠB-TU Ostrava