

Prof. Ing. Jiří Nováček, CSc., VŠB – TU Ostrava, Institut environmentálního inženýrství
Ing. Pavel Rucký, VÚHU, a. s., Most

Využití Trompových dělicích křivek pro volbu optimálních podmínek rozdělování hnědého uhlí

Nutzung von Tromp-Trennkurven für die Wahl der Optimalbedingungen der Braunkohlescheidung

Bei der Wahl der Bedingungen für die Braunkohlescheidung in Schwertrübsuspensionen wird für einen optimalen Vorgang ein solches Verfahren gehalten, bei dem die hohe technologische Wirksamkeit der Separation gleichzeitig ein maximales wirtschaftliches Effekt sicherstellt. Dies ist zum Erreichen unter der Voraussetzung, dass die hergestellten Produkte die Anforderungen der Kunden erfüllt werden und das technologische Scheidungsregime wird die Minimalisierung der Brennstoffverluste in Abfallstoffen gesichert und gleichzeitig wird möglichst niedrigste Verunreinigung der Verkaufsprodukte durch begleitete Taubgesteine sichergestellt. Ökonomische Kalkulation der Ergebnisse des technologischen Prozesses richtet sich immer nach den Marktanforderungen (der Handelspartner) und den Einheitspreisen für Verkaufsprodukte. Technologisches Verfahren der Separation muss immer die Qualität und Aufbereitungsfähigkeit des geförderten Rohstoffes respektieren. Zum Herausfinden eines optimalen Regimes des Scheidungsprozesses ist immer unbedingt einige Varianten zu analysieren und deren Ergebnisse ökonomisch auszuwerten. Quantitativ- sowie Qualitativbeurteilung der technologischen Ergebnisse der Scheidungsprozesse für verschiedene Scheidungsregime ermöglicht Diagramm der Aufbereitungsfähigkeit des verarbeiteten Aufgabegutes und der Trennkurve, das die Wirksamkeit der Scheidungsanlage bei dem unterschiedlichen Niveau des Trennschnittes charakterisiert. Ökonomische Auswertung der überprüften technologischen Varianten ermöglicht ein optimales Scheidungsregime zu einem gegebenen Zeitabschnitt zu wählen.

Utilization of the Tromp separation curves for the selection of optimum conditions of brown coal separation

Upon selecting the conditions of brown coal separation in heavy suspensions, there is optimal such a way when the high economical effectiveness of separation secures a simultaneous maximum economical effect. This can be reached provided that the products produced will meet customers' requirements and the technological regime of separation will secure the minimization of flammable losses in the waste and simultaneously secure the least pollution of sale products due to accompanying waste rocks. The economical calculation of results of the technological process always comes out from the market demands (business partners) and unit prices for sale kinds. The technological regime of separation then always must respect the quality and washability of the raw stock exploited. To find an optimum regime of the separation process, it is needed to always analyze several variants and evaluate their results from the economical point of view. Quantitative and qualitative reviewing the technological results of separation processes for various separation regimes are allowed by the washability diagram of the elaborated brown-coal charge and the separation curve characterizing the effectiveness of a separation equipment upon a different level of the separation section. The economical evaluation of the technological variants verified then allows the select an optimum regime of separation in the given time section.

Использование кривых разъема Тромпа для выбора оптимальных условий сепарации бурых углей

При выборе условий сепарации бурых углей в тяжелых суспензиях оптимальным является такой процесс,

s diagramem upravitelnosti k výpočtu pravděpodobné (předpokládané) kvality a množství vyrobených produktů pro zvolený režim rozdrůžování [1].

Diagram upravitelnosti lze zajistit využitím tzv. analýzy mikrovzorků a transformací z ní získaných údajů na reálnou zrnitost (zrnitost vytěžené vsázky) a vlhkost [2]. Průběhu dělicích křivek při rozdrůžování hnědého uhlí v SM rozdrůžovačích byl s cílem jejich využití k volbě optimálního režimu separace hnědého uhlí věnován podrobný výzkum provedený v rámci řešení grantového projektu GAČR č. 105 / 99 / 1125.

2 Poznatky z výzkumu a možnosti jejich využití k optimalizaci rozdrůžovacího procesu

K ověření účinnosti rozdrůžovacího procesu hnědého uhlí v SM rozdrůžovačích na úpravně uhlí v Komořanech byly v průběhu 3 let odebrány ve zvolených časových intervalech reprezentativní vzorky rozdrůžované suroviny i vzniklých (vyrobených) produktů. Celkem bylo odebráno 8 souborů hodnocených vzorků. Všechny odebrané vzorky byly podrobeny plavíčí frakční analýze. Z výsledků plavíčích analýz byly vypočteny metodou bilancování množství frakcí v přívodu a produktech hmotnostní výnosy produktů a konfrontovány s údaji naměřenými v úpravně. Pomocí hmotnostních výnosů produktů separace byla vypočtena dělicí čísla jednotlivých frakcí a sestrojeny dělicí Trompovy křivky. Ty svým průběhem charakterizují dělení frakcí suroviny do vzniklých produktů v průběhu separačních procesů. Takto získané dělicí křivky byly pro další rozhodování doplněny o dělicí křivky pro SM rozdrůžovač, získané výzkumem v úpravně Komořany v dřívějších obdobích. Po sestrojení dělicích křivek z údajů provedených frakčních analýz v období 1999 – 2001 do společného diagramu bylo možno konstatovat, že pro různé hodnoty nastavené dělicí hustoty rozdrůžování se průběh křivek výrazně neliší. V úseku, kde jsou odečítány údaje pro numerické vyhodnocení účinnosti separace (hodnota E_p) je lze pro účely optimalizace rozdrůžovacího režimu považovat za rovnoběžné. Tuto skutečnost potvrzují rovněž údaje o hodnotách pravděpodobné odchylky E_p v rozmezí dělicích hustot 1, 270 – 1,425 kg. dm⁻³. Podobný závěr lze přijmout také po analýze průběhů dělicích křivek z dřívějšího výzkumu (dělicí hustoty 1, 400 – 1, 480 kg. dm⁻³). Výzkum současně potvrdil vysokou účinnost rozdrůžovacího procesu hnědouhelné vsázky v SM rozdrůžovačích. Charakteristické parametry účinnosti rozdrůžování a průběh dělicích křivek pro různé režimy rozdrůžování jsou uvedeny v literatuře [3].

Výzkumem získané údaje umožňují využít stabilního a standardního průběhu dělicích křivek k výpočtu pravděpodobných výsledků separace uhelné vsázky charakterizované diagramem upravitelnosti při různé hustotě rozdrůžovací suspenze a po jejich ekonomické analýze volbu optimálních podmínek rozdrůžování.

3 Postup při optimalizaci rozdrůžovacího procesu

Výchozími údaji při zjišťování optimální dělicí hustoty rozdrůžovací suspenze jsou diagram upravitelnosti rozdrůžovaného hnědého uhlí (výsledek transformace diagramu upravitelnosti z analýzy mikrovzorků) a dělicí křivka (a její aplikace)

příslušného těžkosuspenzního rozdružovače. Analyzovaný diagram upravitelnosti je znázorněn na obr. 1 a dělicí křivka SM rozdružovače je zakreslena na obr. 2 (čárkovaná čára). Posouzení předpokládaných výsledků rozdružování je provedeno pro rozmezí hustot $1,30 - 1,50 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ a interval $0,05 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

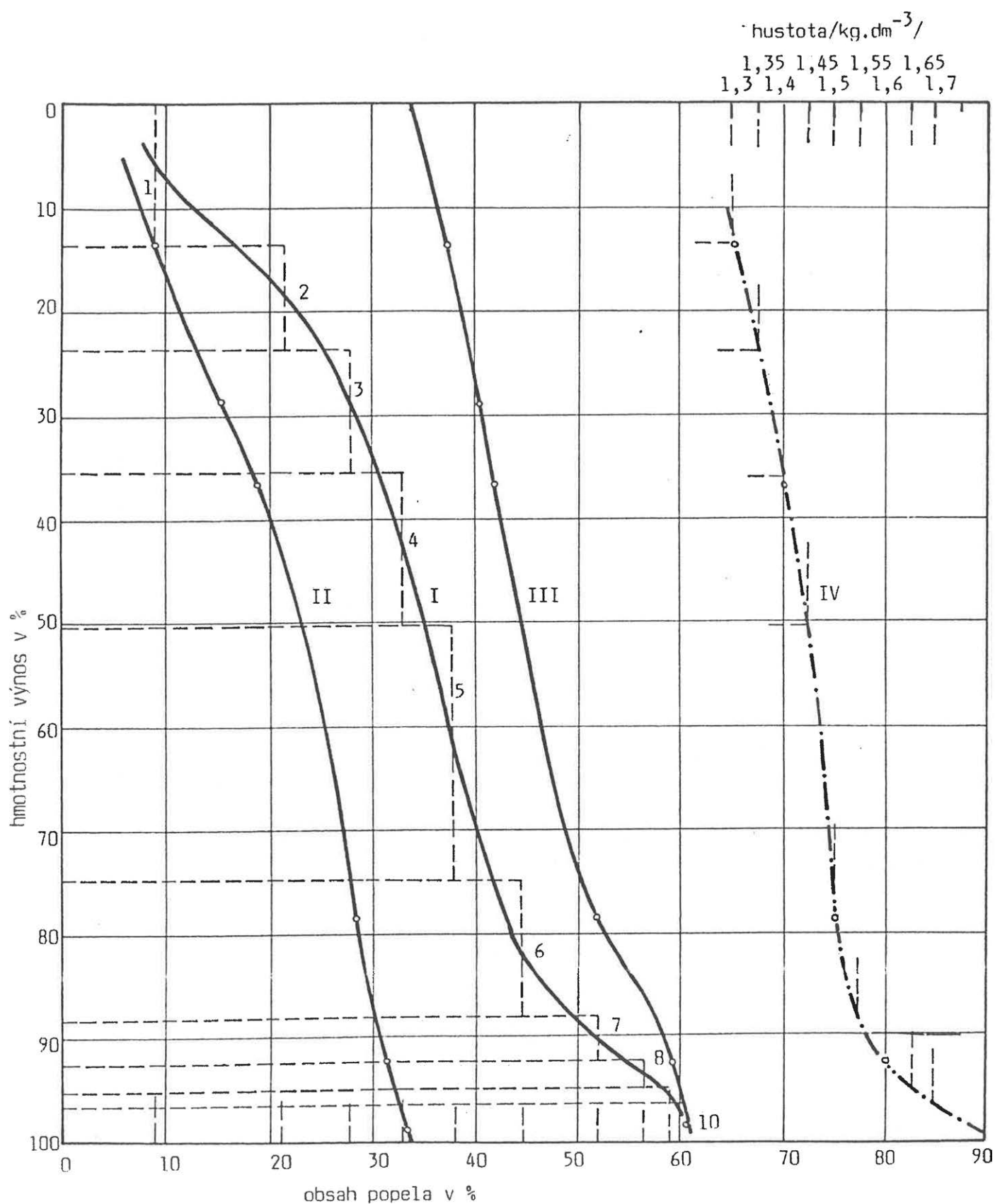
Teoretické údaje o výnosech produktů rozdružování a jejich kvalitě jsou pro zvolený rozsah hustot odečteny z diagramu upravitelnosti na obr. 1 a seřazeny do tab. 1.

Dělicí Trompovy křivky jsou pro analyzované dělicí hustoty rozdružování sestrojeny jako křivky rovnoběžné s dělicí křivkou pro daný rozdružovač (čárkovaná křivka) jejím posunutím tak, aby dělicí hustoty z analyzovaného intervalu odpovídaly vždy dělicímu číslu 50 příslušné dělicí křivky (obr. 2).

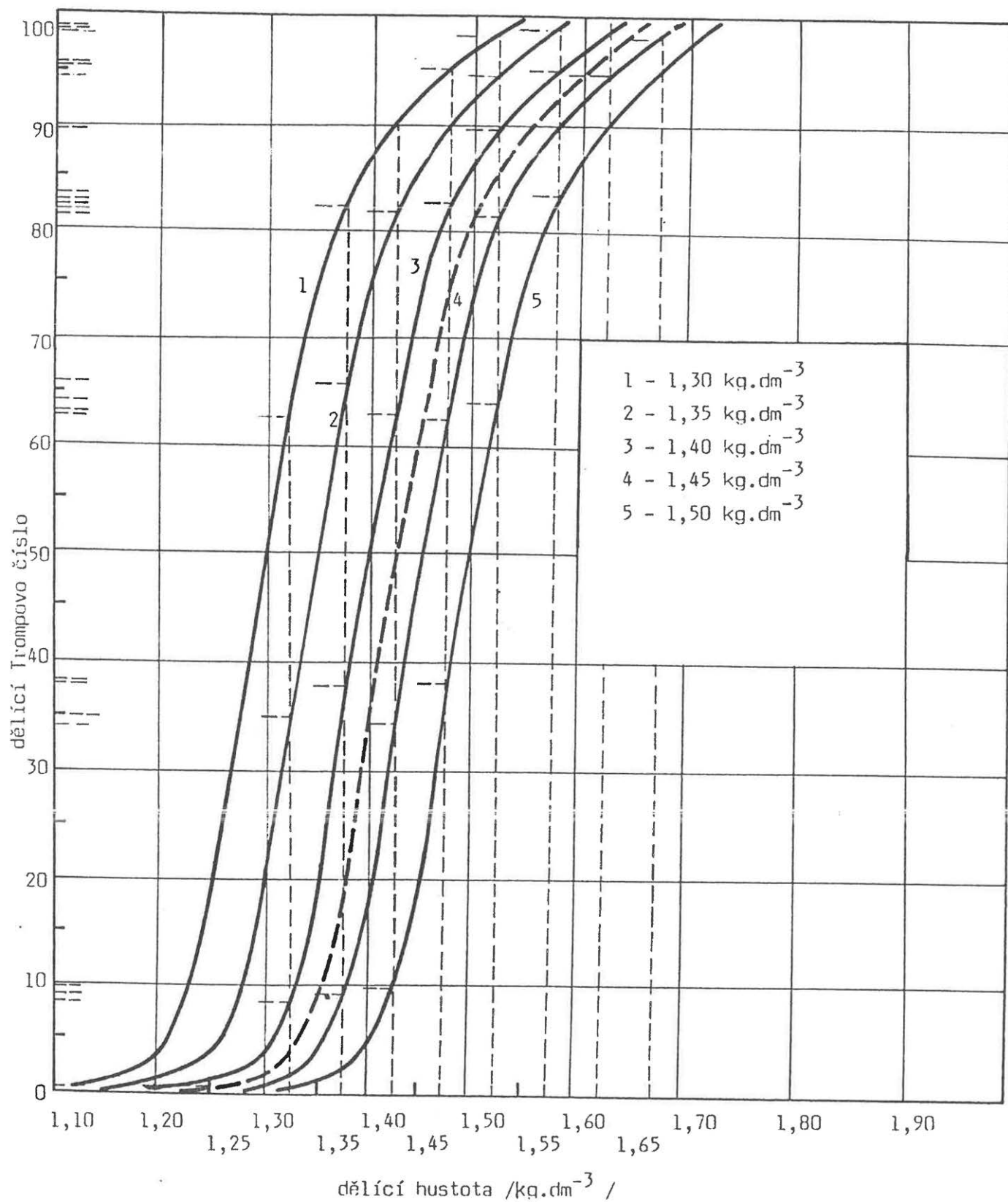
Křivka upravitelnosti na obr. 1 je pro výpočet předpokládaných výsledků separace rozdělena na 10 frakcí (v intervalu $1,30 - 1,70 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ po $0,05 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Každé frakci je graficky pomocí křivky I na obr. 1 stanoven průměrný obsah popela. Hodnoty hmotnostních výnosů a popelnatostí zvolených frakcí jsou uvedeny v tab. 2. Pro každou frakci upravované suroviny jsou z průběhu všech analyzovaných dělicích křivek na obr. 2 graficky stanoveny dělicí čísla. Jejich hodnoty pro hodnocené frakce a zvolené hustoty rozdružování jsou uvedeny v tab. 3.

Pro každou analyzovanou dělicí hustotu, charakterizovanou dělicí křivkou a dělicími čísly frakcí upravovaného uhlí, byly standardní metodou [1] vypočteny předpokládané pravděpodobné výnosy produktů separace a jejich kvalita. Výpočet pro dělicí hustotu $1,30 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ je proveden v tab. 4. Hodnoty předpokládaných výnosu produktů a jejich obsahy popela jsou pro všechny dělicí hustoty seřazeny v tab. 5. V tab. 1 a 5 jsou pro popelnatosti produktů rozdružování uvedeny relativní jednotkové ceny. Z hodnot hmotnostních výnosů produktů a relativních jednotkových cen jsou dále stanoveny fiktivní tržby pro jednotlivé technologické režimy při zpracování 100 t hnědouhelné vsázky. Graficky je vývoj kvalitativních a kvantitativních ukazatelů lehčího produktu separace pro jednotlivé dělicí hustoty znázorněn na obr. 3. Plné čáry spojují teoretické hodnoty ukazatelů, čárkované čáry pak předpokládané pravděpodobné hodnoty. Průběh tržeb za vyrobené produkty v závislosti na režimu rozdružování je zakreslen na obr. 4.

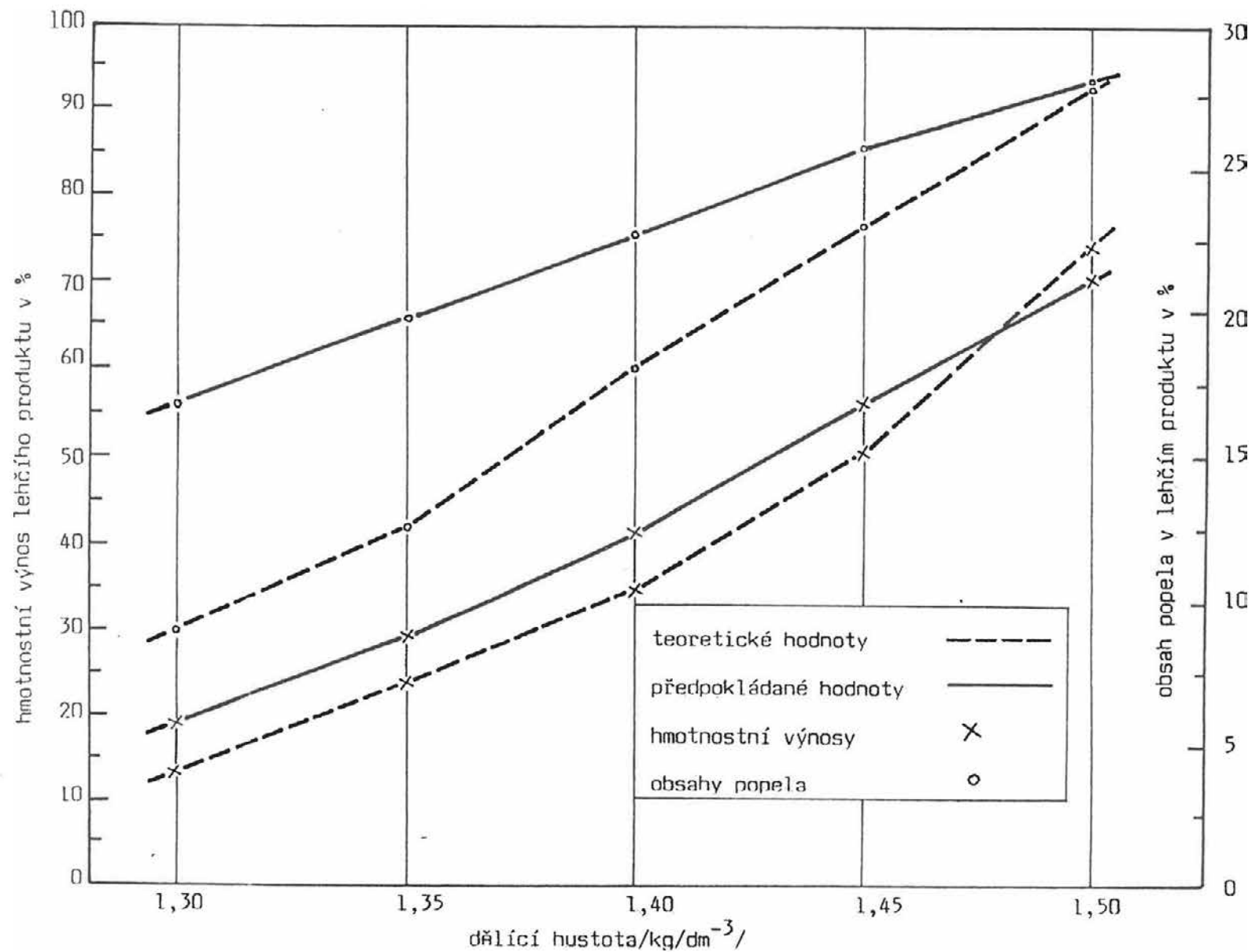
Zatímco vývoj hodnocených ukazatelů lehčího produktu má s růstem dělicí hustoty zcela logicky stoupající tendenci, vývoj tržeb pro různé režimy separace není pravidelný. Použité cenové relace naznačují optimální hodnotu dělicího řezu okolo $1,30 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$, přestože výnos kvalitnějšího lehčího produktu je nejnižší. V úvahu při optimalizaci je nutno vzít také zrnitostní složení suroviny, naznačující možnou skladbu produktů z pohledu velikosti částic. Zásadním a rozhodujícím ukazatelem však musí být vždy obsah popela ve vyrobených produktech. V případě, že kvalita těžené suroviny je taková, že ji nelze rozdružováním v jednom dělicím řezu rozdělit na dva produkty uplatnitelné na trhu, je nutno hledat optimální režim rozdružování při dvou dělicích hustotách tak, aby výnos neprodejného produktu s vysokým obsahem popela byl minimální [1].



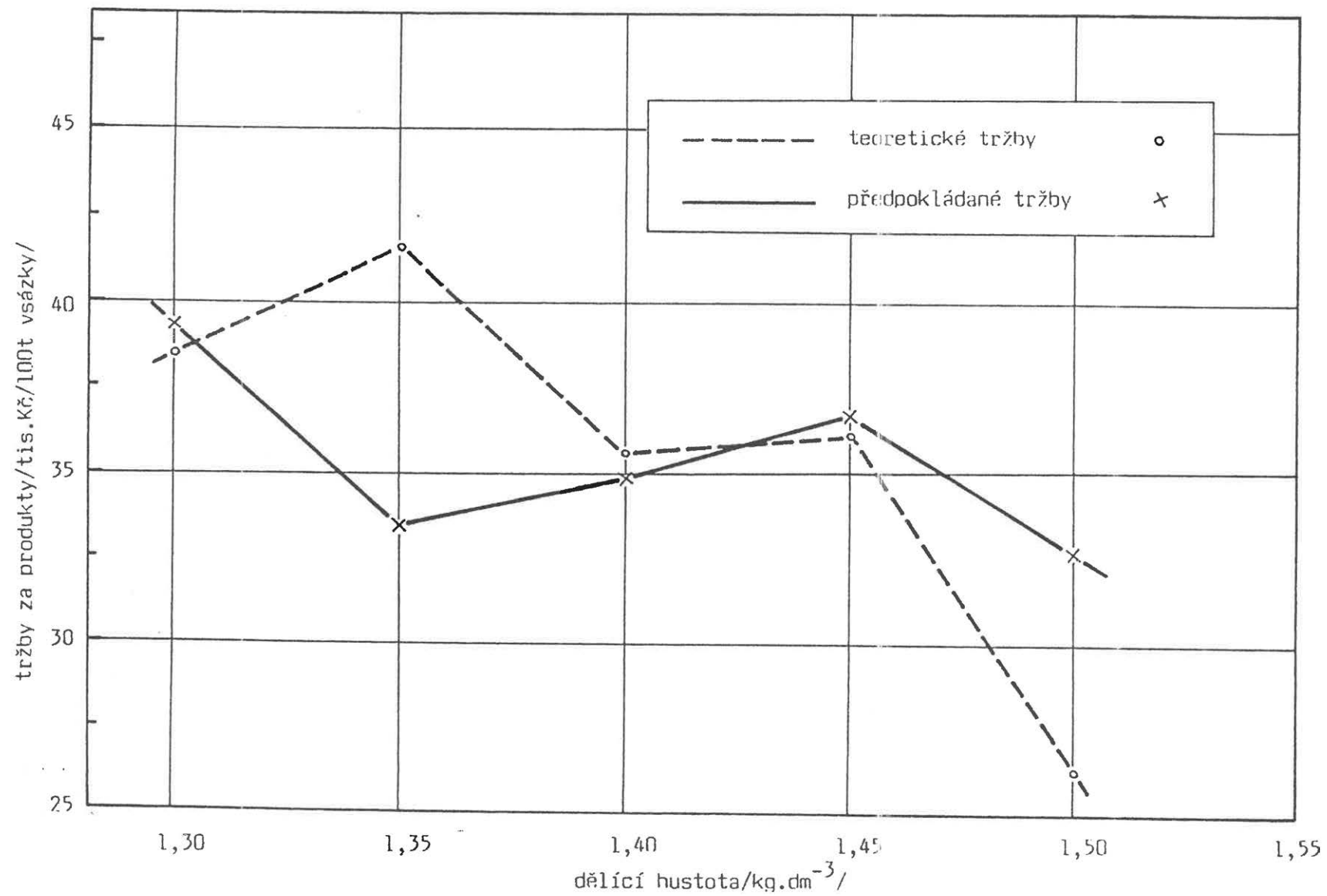
Obr. 1 Diagram upravitelnosti rozduřovaného hnědého uhlí v HR-zobrazení



Obr. 2 Dělící křivky SM rozdělovače pro vybrané dělící hustoty



Obr. 3 Vývoj hodnot teoretických a předpokládaných (pravděpodobných) výnosů a popelnatostí lehčího produktu separace v závislosti na dělicí hustotě



Obr. 4 Vývoj tržeb za vyrobené produkty ze 100t vsázky v závislosti na dělicí hustotě

Tab. 1 Teoretické výsledky rozdělování pro různé hodnoty dělicí hustoty a tržby za produkty po zpracování 100 t hnědouhelné suroviny

Dělicí hustota kg . dm ⁻³	Lehčí produkt			Těžší produkt			Tržby v Kč/100t
	hmotnostní výnos	obsah popela	jednotková cena	hmotnostní výnos	obsah popela	jednotková cena	
	%	%	Kč/t	%	%	Kč/t	
1,30	13,5	9,0	800,-	86,5	37,5	320,-	38 480,-
1,35	23,6	12,6	800,-	76,4	39,5	300,-	41 800,-
1,40	34,9	18,0	460,-	65,1	41,5	300,-	35 584,-
1,45	50,4	23,0	420,-	49,6	44,6	300,-	36 048,-
1,50	74,7	27,8	350,-	25,3	50,3	-	26 145,-

Tab. 2 Hmotnostní výnosy a popelnatosti frakcí těženého hnědého uhlí

Frakce	Hmotnostní výnos v %	obsah popela v %	množství popela kg.10 t ⁻¹
-1,300	13,40	8,80	117,92
1,300 - 1,350	10,60	21,-	222,60
1,350 - 1,400	11,30	27,90	315,27
1,400 - 1,450	15,60	32,90	513,24
1,450 - 1,500	24,70	38,20	943,54
1,500 - 1,550	13,60	44,70	607,92
1,550 - 1,600	4,30	52,-	223,60
1,600 - 1,650	2,70	56,60	152,82
1,650 - 1,700	1,30	59,-	76,70
1,700	2,50	64,90	162,25
CELKEM	100,00	33,36	3335,86

Tab. 3 Dělicí čísla frakcí suroviny pro různé dělicí hustoty separace a těžší produkt

Dělicí hustota kg.dm ⁻³	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
Frakce	Dělicí čísla frakcí pro dělicí hustoty				
-1,30	19,5	4,-	1,2		
1,30 - 1,35	64,-	37,-	9,1	1,7	0,5
1,35 - 1,40	82,5	66,2	38,6	9,3	2,5
1,40 - 1,45	90,5	81,3	63,1	33,4	10,3
1,45 - 1,50	96,-	90,2	82,2	62,8	37,7
1,50 - 1,55	99,-	95,3	89,4	81,7	64,2
1,55 - 1,60	100,-	98,7	95,9	89,7	83,3
1,60 - 1,65	100,-	100,-	99,2	95,-	90,-
1,65 - 1,70	100,-	100,-	100,-	98,9	95,6
1,70	100,-	100,-	100,-	100,-	100,-

Tab. 4 Výpočet předpokládaných výnosů a popelnatostí produktů rozdělování pro delší hustotu $1,300 \text{ kg.dm}^{-3}$

hustota frakce	hmot. výnos frakce	obsah popela	množství popela	dělicí čísla frakcí		lehčí produkt		těžší produkt	
						výnos	množ.pop.	výnos	množ.pop.
kg.dm^{-3}	%	%	$\text{kg} \cdot 10\text{t}^{-1}$	T_1	T_2	%	$\text{kg} \cdot 10\text{t}^{-1}$	%	$\text{kg} \cdot 10\text{t}^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-1,3	13,4	8,8	117,92	80,5	19,5	10,79	94,93	2,61	22,99
1,30-1,35	10,6	21,-	222,60	36,-	64,-	3,82	80,14	6,78	142,46
1,35-1,40	11,3	27,9	315,27	17,5	82,5	1,98	55,17	9,32	260,1
1,40-1,45	15,6	32,9	513,24	9,5	90,5	1,48	48,76	14,12	464,48
1,45-1,50	24,7	38,2	943,54	4,-	96,-	0,99	37,74	23,71	905,8
1,50-1,55	13,6	44,7	607,92	1,-	99,-	0,14	6,08	13,46	601,84
1,55-1,60	4,3	52,-	223,6	-	100,-	-	-	4,30	223,6
1,60-1,65	2,7	56,6	152,82	-	100,-	-	-	2,70	152,82
1,65-1,70	1,3	59,-	76,70	-	100,-	-	-	1,30	76,7
1,70	2,5	64,9	162,25	-	100,-	-	-	2,50	162,25
součet	100,-	33,36	3335,86			19,20	322,82	80,80	3012,97
údaje o produktech		$v_L = 19,20 \%$		$v_T = 80,80 \%$		$a_L = 16,81 \%$		$a_T = 37,29$	

Tab. 5 Předpokládané (pravděpodobné) výsledky rozdělování pro různé hodnoty dělicí hustoty a tržby za produkty po zpracování 100t hnědouhelné suroviny

Dělicí hustota	Lehčí produkt			Těžší produkt			Tržby v Kč/100t
	hmotnost. výnosy	obsah popela	jednotková cena	hmotnost. výnosy	obsah popela	jednotková cena	
kg.dm^{-3}	%	%	Kč/t	%	%	Kč/t	
1,30	19,20	16,81	700,-	80,80	37,29	320,-	39 296,-
1,35	29,40	19,73	420,-	70,60	39,04	300,-	33 528,-
1,40	41,62	22,7	420,-	58,38	40,96	300,-	34 994,-
1,45	56,73	25,71	420,-	43,27	43,39	300,-	36 807,-
1,50	70,27	28,02	350,-	29,73	45,99	280,-	32 918,-

4 Závěr

Z údajů uvedených v tabulkách a průběhu závislosti na obrázcích vyplývá, že hodnoty kvantitativních a kvalitativních ukazatelů produktů separace jsou odlišné, jsou-li získány odečtením z diagramu upravitelnosti nebo zjištěny s využitím dělicích křivek.

Výsledky separačního procesu za různých podmínek, získané metodikou stanovení předpokládaných (pravděpodobných) výnosů produktů a jejich kvality [1], jsou korigovány proti údajům teoretickým o účinnost dělicího procesu, vyjádřenou průběhem dělicí křivky pro danou dělicí hustotu a rozdělovač. Takto získané údaje se velmi blíží reálným výnosům produktů rozdělování a jejich skutečné kvalitě a mohou

být využity k ekonomické analýze procesu separace a výběru optimálního režimu rozdružování.

Literatura

1. Kozák, J. – Cagaš, Z.: Hodnocení upravitelnosti a způsobů úpravy nerostných surovin, SNTL / SVTL, Praha 1965
2. Rucký, P. – Nováček, J.: Závěrečná zpráva z řešení grantového projektu GAČR 105/99/1125, VÚHU, a. s., Most, 2001