

Využití pneumatické fluidní separace k úpravě jemnozrnného hnědého uhlí

Anwendung der Luftstromsichtung zur Aufbereitung der feinkörnigen Braunkohle

Im vorgelegten Artikel sind Ergebnisse einer Testung der Luftstromsichtung der feinkörnigen Mischungen von Kohle und der Tonberge im Kornbereich 0 – 10 (12) mm präsentiert, die aus den eingestürzten Kammern nach der ehemaligen tiefbaumäßigen Gewinnung hervorkommen. Die vorgenommenen Messungen bestätigten die Durchführbarkeit dieser Art der Separation für die Aufbereitung der feinkörnigen Anteile der Braunkohlenförderung aus den eingestürzten Feldern mit dem Ziel, die Kesselkohlemischungen mittlerer Qualität zu gewinnen. Im Rahmen der Messungen wurde ein Luftstromsichter zum Scheiden von Kohle- und Tonteilchen in engen Körnigkeitsklassen angewandt. Die Ergebnisse und ihre Analysen sind im folgenden Artikel behandelt.

Utilization of pneumatic fluid separation for treatment of fine-grained brown coal

In the submitted article, there are presented results of tests of pneumatic fluid separation applied to fine-grained coal mixtures and claystone barren rocks having the range of granularity between 0 -10 (12) mm and coming from caved chambers after former deep exploitation. Performed measurements confirmed factuality of this type of separation for treatment of fine-grained shares of brown coal exploitation from fall fields in order to obtain mixtures of energy that have medium quality. In the framework of measurement, a pneumatic fluid separator serving for separation of coal and claystone elements in narrow granularity classes was applied. Acquired results and their analysis are the content of the essay as follows.

Использование пневматической сепарации в кипящем слое для обогащения мелкозернистого бурого угля

В предлагаемой статье представляются результаты тестов пневматической сепарации в кипящем слое для мелкозернистых смесей угля и глинистых пустых пород в диапазоне состава 0 - 10 (12) мм, происходящих из обрушенных камер после бывшей подземной разработки угля. Проведенные измерения утвердили реальность этого типа сепарации для обогащения мелкозернистых долей добычи бурого угля из полей обрушения с целью получения энергетических смесей среднего качества. В рамках измерений был применен пневматический сепаратор с кипящим слоем для сепарации частиц угля и глины в узких классах зернового состава. Измеренные результаты и их анализ являются предметом следующей статьи.

Využití pneumatické fluidní separace k úpravě jemnozrnného hnědého uhlí

V předloženém článku jsou prezentovány výsledky testování pneumatické fluidní separace jemnozrnných směsí uhlí a jílovitých hlušín v rozpětí zrnitosti 0 - 10 (12) mm, pocházejících ze zavalených komor po bývalé hlubinné těžbě. Provedená měření potvrdila reálnost tohoto typu separace pro úpravu jemnozrnných podílů těžby hnědého uhlí ze závalových polí s cílem získání energetických směsí střední kvality. V rámci měření byl aplikován pneumatický fluidní separátor k rozdělování částic uhlí a jílu v úzkých zrnitostních třídách. Naměřené výsledky a jejich analýza jsou obsahem následujícího pojednání.

Úvod

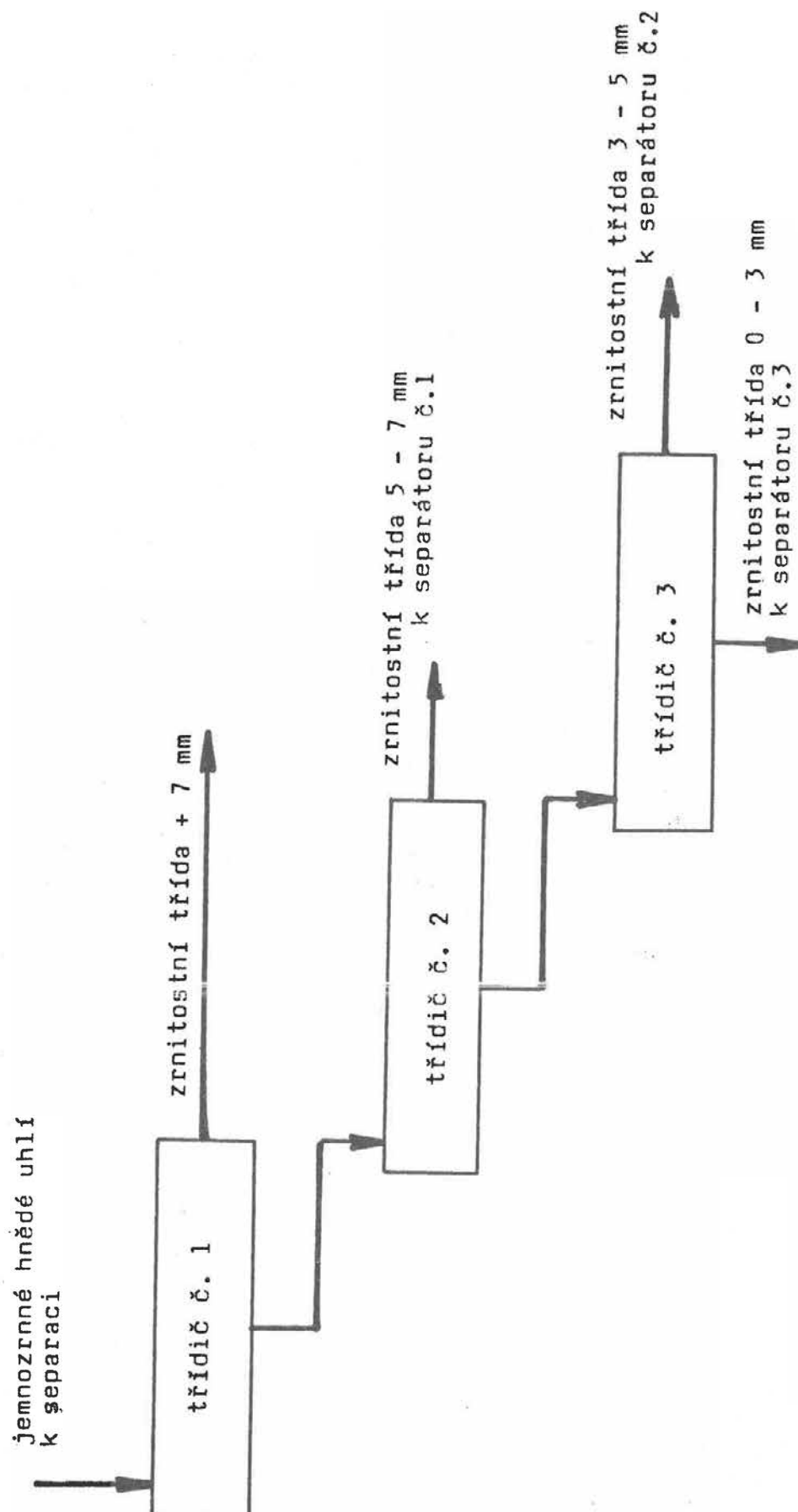
Významnou součástí těžby hnědého uhlí je zrnitostní třída 0 – 10 (12) mm, jejíž podíl na celkovém množství těžby se pohybuje okolo 35 % a může být i větší. Výhřevnost tohoto materiálu při rostoucí těžbě v závalových polích se podle dostupných údajů pohybuje okolo 10 MJ.kg^{-1} . Se záměrem snížit obsah popela a zvýšit kvalitu tohoto podílu těžby byla v dřívějším období ověřována řada separačních metod. Ekonomická náročnost mokrých gravitačních způsobů úpravy prakticky vylučuje jejich použití pro tento typ suroviny. Pozornost byla proto věnována ověření pneumatických metod separace (rozdělování suroviny v proudě vzduchu za sucha). Podle dosavadních výsledků výzkumu, zkoušek a zkušeností se nepodařilo zajistit takovou ostrost pneumatické separace jemnozrného hnědého uhlí, při které by byl získán nízkopopelnatý jemnozrný hnědouhelný koncentrát a vysokopopelnatá hlušina.

Kvalita dosud těžného jemnozrného podílu a možnosti jeho účelného využití vedly při analýze výsledků výzkumu k závěru rozdělit tento materiál s využitím pneumatické separace na dva obsahem popela rozdílné produkty s různým použitím. Produkt s nižší popelnatostí lze využít např. pro zplyňování a produkt horší kvality pro fluidní spalování. Dosud realizovanými separačními pokusy se podařilo vyrobit produkty s výhřevností okolo 12 MJ.kg^{-1} a $7,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$.

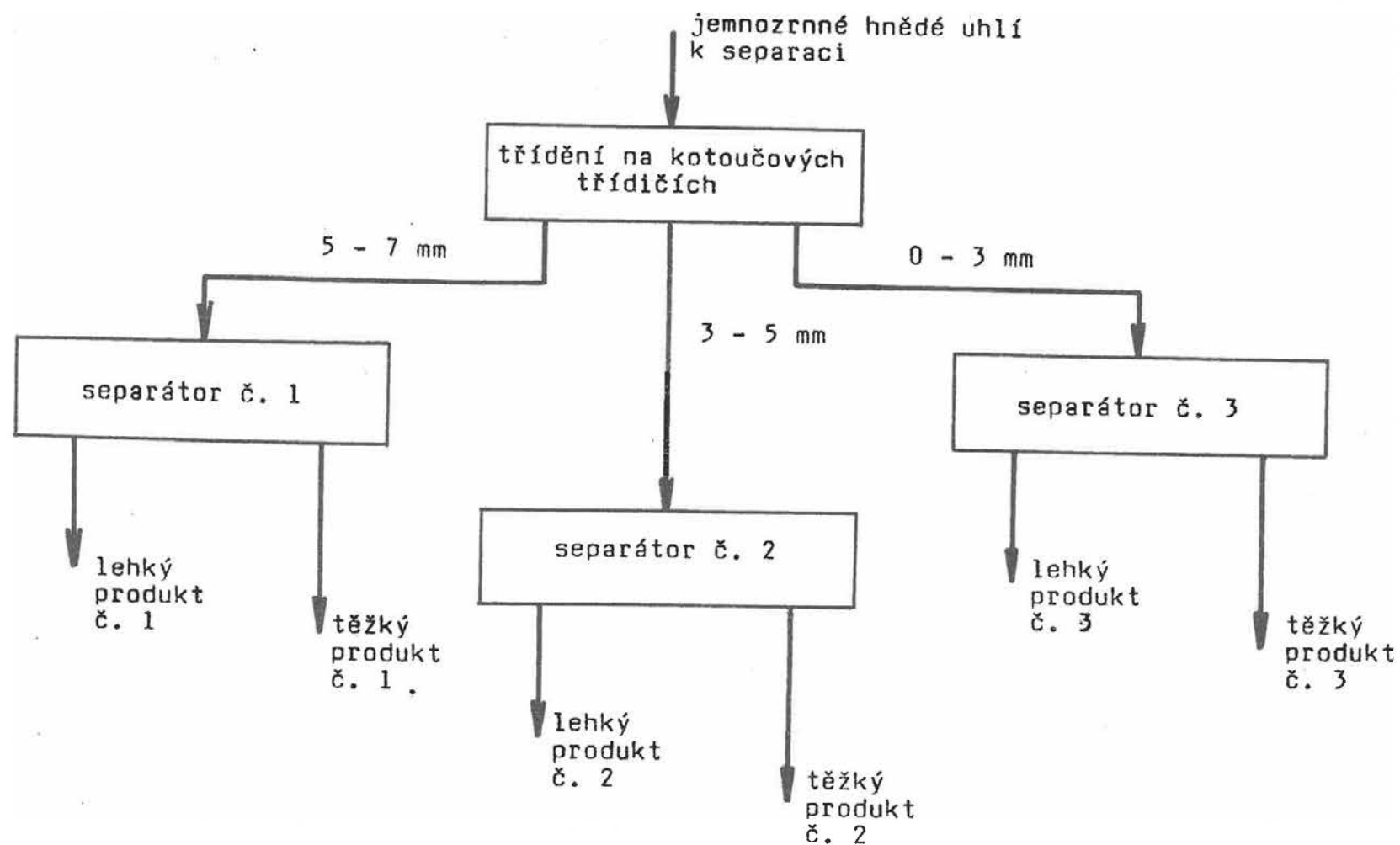
V návaznosti na tyto poznatky byly v rámci řešení grantového projektu GAČR č. 105/98/1237 „Výzkum stanovení upravitelnosti hnědouhelných zásob slojí přerubaných hlubinnou těžbou pro výrobu ekologicky přijatelných produktů v podmínkách sokolovské pánve“ proveden výzkum separace s rozdělením jemných zrnitostních tříd sokolovského hnědého uhlí na pneumatickém fluidním separátoru, vyvinutém v rámci řešení grantového projektu GAČR č. 105/97/0883 „Výzkum upravitelnosti substrátu kolejového lože pro využití ve stavebnictví a energetice“. Skutečnost, že pneumatická fluidní separace je vedle rozdílu hustot separovaných komponent značně ovlivňována také velikostí a tvarem jejich částic, musí být eliminována dodržováním některých základních předpokladů, které při jiných rozdělovacích operacích nehrají tak významnou úlohu. Mezi ně patří např.:

- značně užší předtřídění rozdělované suroviny ve srovnání s mokrým rozdělovacím procesem
- stabilní vrstva rozdělovaného materiálu
- závislost sklonu separátoru a rychlosti vzduchu na zrnitosti rozdělovaného materiálu apod.

Vzhledem k současnému vývoji těžby a nárůstu jejího podílu z částí sloje narušených hlubinnou těžbou lze očekávat také nárůst obsahu popela v důsledku příměsí jílových závalových hornin v jemnozrném materiálu (0 - 10 mm). K provedení separačních pokusů v rámci výzkumu byly z tohoto důvodu připraveny směsi jemnozrného hnědého uhlí s nadložním jílem stejné zrnitosti v různých poměrech. Předtřídění materiálu k separaci bylo provedeno na zrnitostní třídy 0 - 3, 3 - 5 a 5 - 7 mm a to na diskových třídících (roštech) podle schématu na obr. 1. Každá zrnitostní třída byla separována při specifických podmínkách (sklon separátoru, množství vzduchu, otevření vstupní a výstupní štěrbin apod.). Při provozní realizaci separace jemnozrného podílu těžby by bylo vhodné paralelní uspořádání separátoru pro současnou separaci tříděními vzniklých zrnitostních skupin (schéma na obr. 2). Vzniklé produkty separace lze pak v závislosti na množství, kvalitě a způsobu užití expedovat nebo připravit jejich směsi.



Obr. 1 Předtřídění jemnozrnného hnědého uhlí na koučových třídících (roštech) před pneumatickou separací



Obr. 2 Schéma paralelní pneumické separace zrnitostních tříd jemnozrnného hnědé uhlí

Výsledky výzkumu separace a jejich analýza

Pro každou zrnitostní třídu byly empiricky zjištěny podmínky separace. Vzhledem k náročnosti zajištění konstantních podmínek rozdužování z důvodu citlivosti procesu pneumatické separace byla měření se stejným materiálem za stejných podmínek vždy opakována. Úspěšnost a kvalita separace byla vyhodnocována frakční analýzou vzorku přívodu do separátoru a rovněž vzorků vzniklých produktů, kvantitativně byla separace posouzena stanovením výnosů produktů a současně byla rovněž vypočtena účinnost separace metodou výtěžností.

a) Separace zrnitostní třídy 0 – 3 mm

Výsledky plavící analýzy vzorků přívodu a produktů separace jsou uvedeny v tab. 1, 2 a 3. Grafické znázornění výsledků plavících analýz v HR zobrazení ve formě křivek upravitelnosti je na obr. 3, 4 a 5. Průběh křivek upravitelnosti potvrzuje, že v průběhu separace se oddělil lehčí podíl o obsahu popela výrazně nižším než má původní surovina. Současně vznikl těžší produkt separace s vysokým obsahem popela (viz. tab. 1, 2, 3). Ze suroviny o popelnatosti cca 44,7 % tak byly vyrobeny produkty o obsahu popela cca 31 % a 70,5 %. Vypočtené výnosy produktů mají hodnotu cca 65 % (lehčí produkt) a cca 35 % (těžší produkt). Účinnost separace vypočtená metodou výtěžností má úroveň okolo 36 % a potvrzuje obtížnost stabilizace ostrosti pneumatické separace, zjištěnou při dřívějších výzkumech.

b) Separace zrnitostní třídy 3 – 5 mm

Výsledky frakční analýzy přívodu a produktů separace této zrnitostní třídy včetně grafického znázornění ve formě křivek upravitelnosti jsou součástí závěrečné zprávy grantového projektu jako tab. 35, 36 a 37 a obr. 35, 36, 37. Z hodnot tabulek i grafického zobrazení vyplývá, že při separaci došlo ke snížení původního obsahu popela v surovině o cca 22 % (lehký produkt separace) a nárůst obsahu popela v těžkém produktu na cca 80 %, tj. asi o 26 %. Výnos lehčího produktu dosáhl úrovně cca 54 % a účinnost separace $\eta = 48,7 \%$.

c) Separace zrnitostní třídy 5 – 7 mm

Rovněž výsledky experimentů se zrnitostní třídou 5 – 7 mm dokládají reálnost praktického využití pneumatické fluidní separace zrnitostních tříd jemnozrnného podílu z těžby hnědé uhlí. Výsledky plavících rozborů vzorků separované suroviny a produktů separace jsou seřazeny v tab. 4, 5, 6 a graficky znázorněny na obr. 6, 7, 8. Snížení obsahu popela v rozdužované zrnitostní třídě ze 41 % na cca 25 % v lehčím produktu a popelnatost těžkého produktu separace cca 72 % jsou z hlediska posouzení úspěšnosti separace akceptovatelné. Při výnosu lehkého produktu $v_L = 66 \%$ je účinnost separace $\eta = 44 \%$.

d) Ověření vícestupňové separace

Relativně jednoduchý provoz pneumatického fluidního separátoru umožňuje zařazení přechistné separace některého z produktů vyrobených v I. stupni rozdužování v případě potřeby dalšího zlepšení kvality tohoto produktu. Schématické uspořádání separačních zařízení je zřejmé z obr. 9 pro následnou separaci lehkého produktu I. stupně separace. Při výzkumu byla ověřena separace lehkého produktu zrnitostní třídy 3 – 5 mm. Výsledkem přechistné operace byl lehčí produkt o popelnatosti cca 23 %, tj. s obsahem popela oproti původní surovině nižší

Tabulka 1 : Vyhodnocení plavící analýzy přívodu do separátoru při rozdružování směsi uhlí a jílů o zrnitosti 0 – 3 mm

hustota	hmotnost frakce	výnos frakce	obsah popela	množství popela	Σ množství popela ↓	Σ výnosů ↓ %	Ø obsah popela ↓ %	Σ množství popela ↑	Σ výnosů ↑ %	Ø obsah popela ↑ %
kg.dm ⁻³	g	%	%		plovoucí frakce			kleslé frakce		
- 1,3	150,0	39,3	5,76	226,2	226,20	39,3	5,76	4.468,72	100,0	44,69
1,3 – 1,4	39,0	10,2	9,86	100,67	326,87	49,5	6,61	4.242,52	60,7	69,86
1,4 – 1,5	5,0	1,3	20,18	26,43	353,30	50,8	6,96	4.141,85	50,5	81,98
1,5 – 1,6	3,0	0,8	29,44	22,96	376,26	51,6	7,30	4.115,42	49,2	83,63
1,6 – 1,8	2,0	0,5	39,60	20,59	396,85	52,1	7,62	4.092,46	48,4	84,50
+ 1,8	183,0	47,9	84,99	4.071,87	4.468,72	100,0	44,69	4.071,87	47,9	84,99
součet	382,0	100,0	44,69	4.468,72						

Tabulka 2 : Vyhodnocení plavící analýzy lehčího produktu separace směsi o zrnitosti 0 – 3 mm

hustota	hmotnost frakce	výnos frakce	obsah popela	množství popela	Σ množství popela ↓	Σ výnosů ↓ %	Ø obsah popela ↓ %	Σ množství popela ↑	Σ výnosů ↑ %	Ø obsah popela ↑ %
kg.dm ⁻³	g	%	%		plovoucí frakce			kleslé frakce		
- 1,3	386,0	62,2	6,14	381,66	381,66	62,2	6,14	3.107,60	100,0	31,08
1,3 – 1,4	28,0	4,5	11,76	53,04	434,70	66,7	6,52	2.725,94	37,8	72,04
1,4 – 1,5	10,0	1,6	23,98	38,61	473,31	68,3	6,93	2.672,90	33,3	80,20
1,5 – 1,6	5,0	0,8	31,74	25,39	498,70	69,1	7,22	2.634,29	31,7	83,05
1,6 – 1,8	2,0	0,3	40,94	13,10	511,80	69,4	7,37	2.608,90	30,9	84,37
+ 1,8	190,0	30,6	84,83	2.595,80	3.107,60	100,0	31,08	2.595,80	30,6	84,83
součet	621,0	100,0	31,08	3.107,60						

Tabulka 3 : Vyhodnocení plavíci analýzy těžšího produktu separace směsi o zrnitosti 0 – 3 mm

hustota	hmotnost frakce	výnos frakce	obsah popela	množství popela	Σ množství popela ↓	Σ výnosů ↓ %	Ø obsah popela ↓ %	Σ množství popela ↑	Σ výnosů ↑ %	Ø obsah popela ↑ %
kg.dm ⁻³	g	%	%		plovoucí frakce			kleslé frakce		
- 1,3	25,0	2,9	3,64	10,45	10,45	2,9	3,64	7.050,91	100,0	70,51
1,3 – 1,4	120,	13,8	6,39	88,05	98,50	16,7	5,92	7.040,46	97,1	72,48
1,4 – 1,5	14,0	1,6	23,92	38,51	137,01	18,3	7,50	6.952,41	83,3	83,41
1,5 – 1,6	4,0	0,5	32,52	14,96	151,97	18,8	8,12	6.913,90	81,7	84,58
1,6 – 1,8	3,0	0,3	48,85	16,61	168,58	19,1	8,84	6.898,94	81,2	84,88
+ 1,8	705,0	80,9	85,03	6.882,33	7.050,91	100,0	70,51	6.882,33	80,9	85,03
Součet	871,0	100,0	70,51	7.050,91						

Tabulka 4 : Vyhodnocení plavíci analýzy přívodu do separátoru při rozdužování směsi uhlí a jílů o zrnitosti 5 – 7 mm

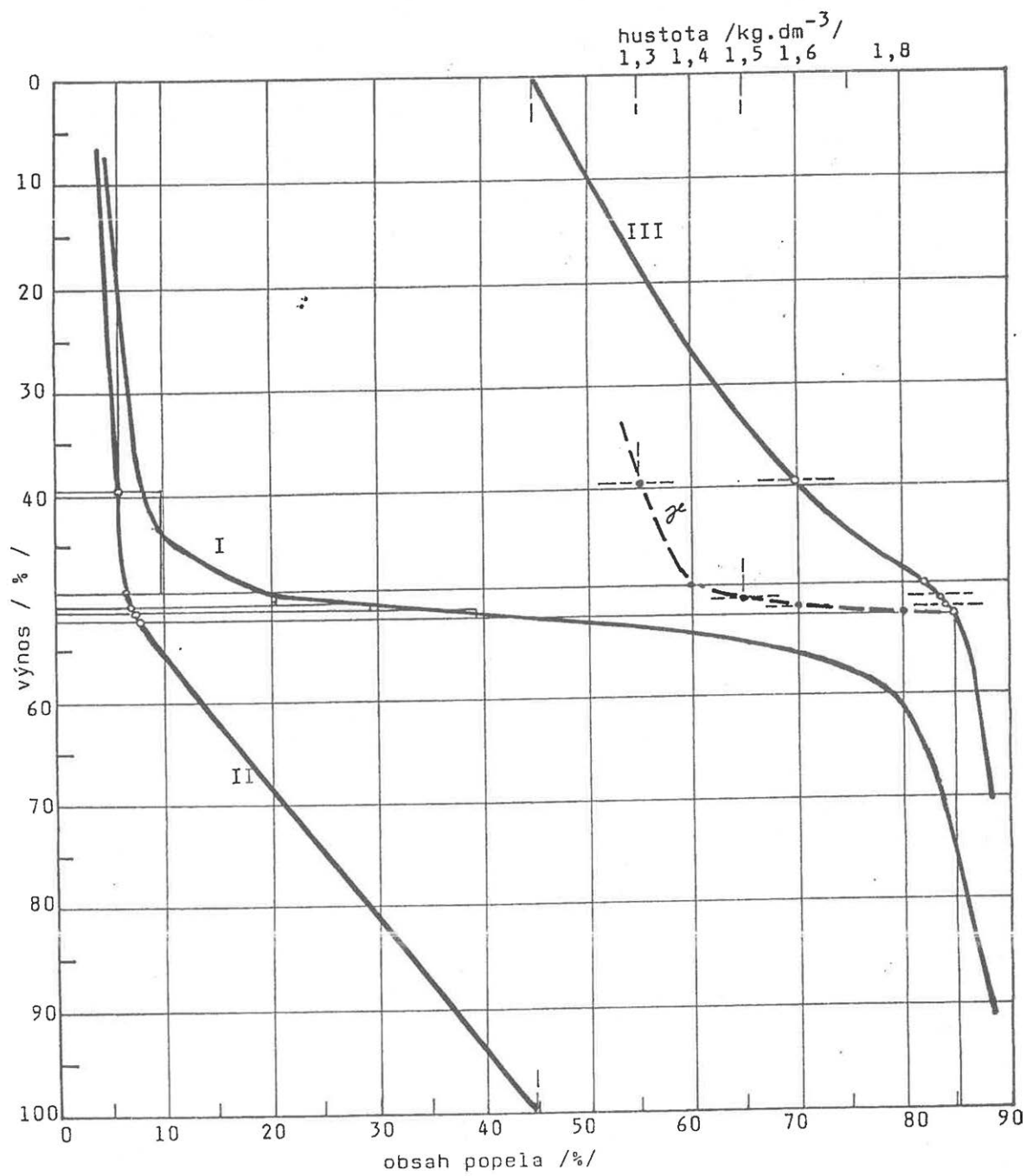
hustota	hmotnost frakce	výnos frakce	obsah popela	množství popela	Σ množství popela ↓	Σ výnosů ↓ %	Ø obsah popela ↓ %	Σ množství popela ↑	Σ výnosů ↑ %	Ø obsah popela ↑ %
kg.dm ⁻³	g	%	%		plovoucí frakce			kleslé frakce		
- 1,3	825,0	54,4	7,89	428,90	428,90	54,4	7,89	4.123,24	100,0	41,23
1,3 – 1,4	31,4	2,1	33,06	68,43	497,33	56,5	8,81	3.694,34	45,6	80,94
1,4 – 1,5	11,5	0,8	42,65	32,41	529,74	57,3	9,26	3.625,91	43,5	83,22
1,5 – 1,6	5,9	0,4	53,73	20,95	550,69	57,7	9,56	3.593,50	42,7	83,94
1,6 – 1,8	16,9	1,1	63,69	70,70	621,39	58,8	10,59	3.572,55	42,3	84,22
+ 1,8	627,0	41,2	84,77	3.501,85	4.123,24	100,0	41,23	3.501,85	41,2	84,77
součet	1.517,7	100,0	41,23	4.123,24						

Tabulka 5 : Vyhodnocení plavící analýzy lehčího produktu separace směsi o zrnitosti 5 – 7 mm

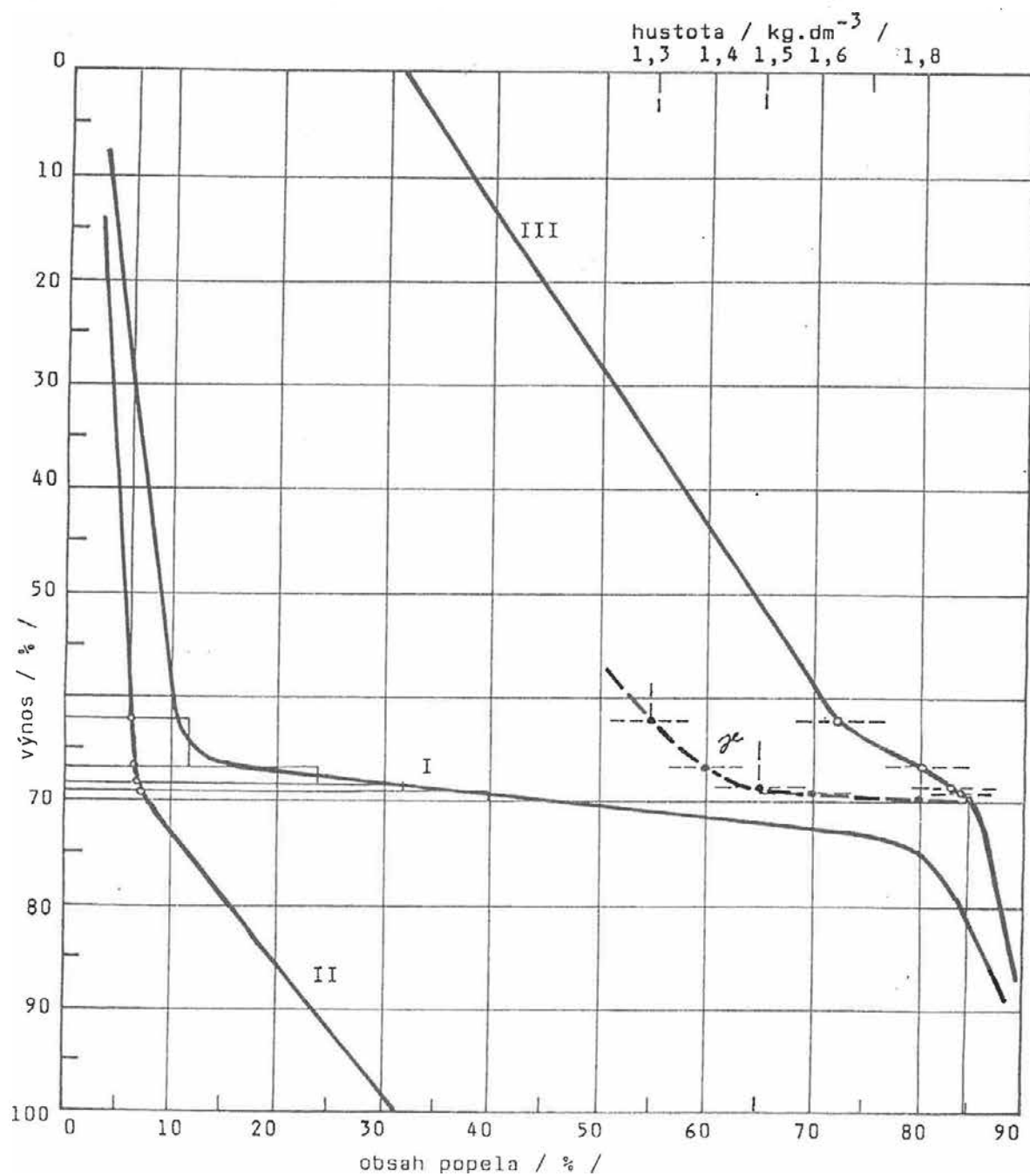
hustota	hmotnost frakce	výnos frakce	obsah popela	množství popela	Σ množství popela ↓	Σ výnosů ↓ %	Ø obsah popela ↓ %	Σ množství popela ↑	Σ výnosů ↑ %	Ø obsah popela ↑ %
kg.dm ⁻³	g	%	%		plovoucí frakce			kleslé frakce		
- 1,3	1.048,0	75,3	7,93	597,29	597,29	75,3	7,93	2.522,78	100,0	25,23
1,3 – 1,4	21,4	1,5	32,98	50,79	648,08	76,8	8,43	1.925,49	24,7	78,02
1,4 – 1,5	12,3	0,9	41,13	36,19	684,27	77,7	8,80	1.874,70	23,2	81,02
1,5 – 1,6	4,8	0,4	50,08	17,53	701,80	78,1	8,99	1.838,51	22,3	82,52
1,6 – 1,8	8,9	0,6	62,24	39,83	741,63	78,7	9,42	1.820,98	21,9	83,11
+ 1,8	296,0	21,3	83,74	1.781,15	2.522,98	100,0	25,23	1.781,15	21,3	83,74
Součet	1.391,4	100,0	25,23	2.522,78						

Tabulka 6 : Vyhodnocení plavící analýzy těžšího produktu separace směsi o zrnitosti 5 – 7 mm

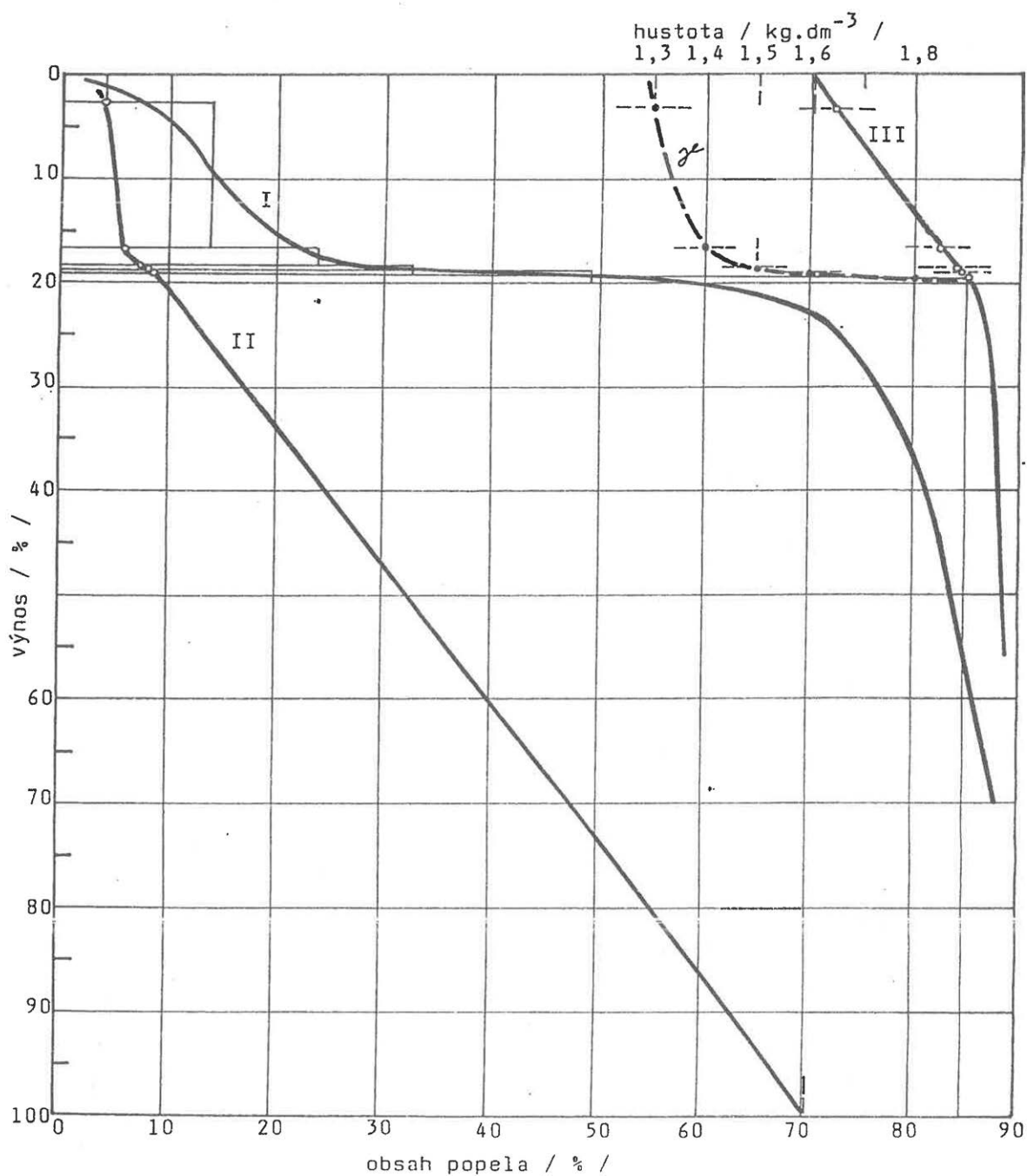
hustota	hmotnost frakce	výnos frakce	obsah popela	množství popela	Σ množství popela ↓	Σ výnosů ↓ %	Ø obsah popela ↓ %	Σ množství popela ↑	Σ výnosů ↑ %	Ø obsah popela ↑ %
kg.dm ⁻³	g	%	%		plovoucí frakce			kleslé frakce		
- 1,3	216,0	13,3	8,04	106,61	106,61	13,3	8,04	7.250,71	100,0	72,51
1,3 – 1,4	14,8	0,9	28,53	25,96	132,57	14,2	9,36	7.144,10	86,7	82,36
1,4 – 1,5	12,5	0,8	41,63	32,06	164,63	15,0	11,02	7.118,14	85,8	82,93
1,5 – 1,6	10,1	0,6	51,38	31,86	196,49	15,6	12,63	7.086,08	85,0	83,31
1,6 – 1,8	19,2	1,2	61,05	72,04	268,53	16,8	16,04	7.054,22	84,4	83,54
+ 1,8	1.356,0	83,2	83,86	6.982,18	7.250,71	100,0	72,51	6.982,18	83,2	83,86
součet	1.628,6	100,0	75,51	7.250,71						



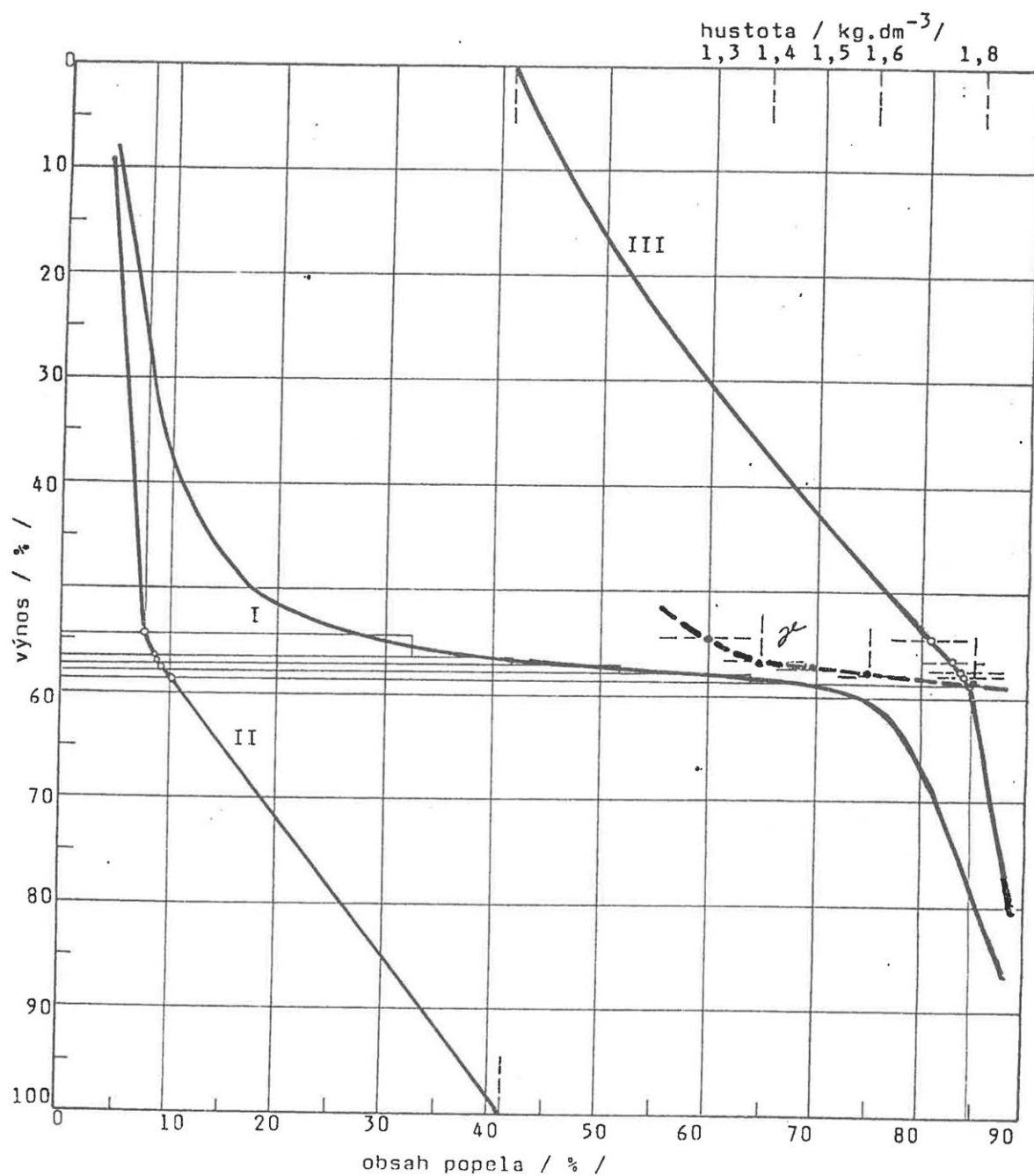
Obr. 3 Křivky upravitelnosti přívodu do separátoru (směs 0 - 3 mm)



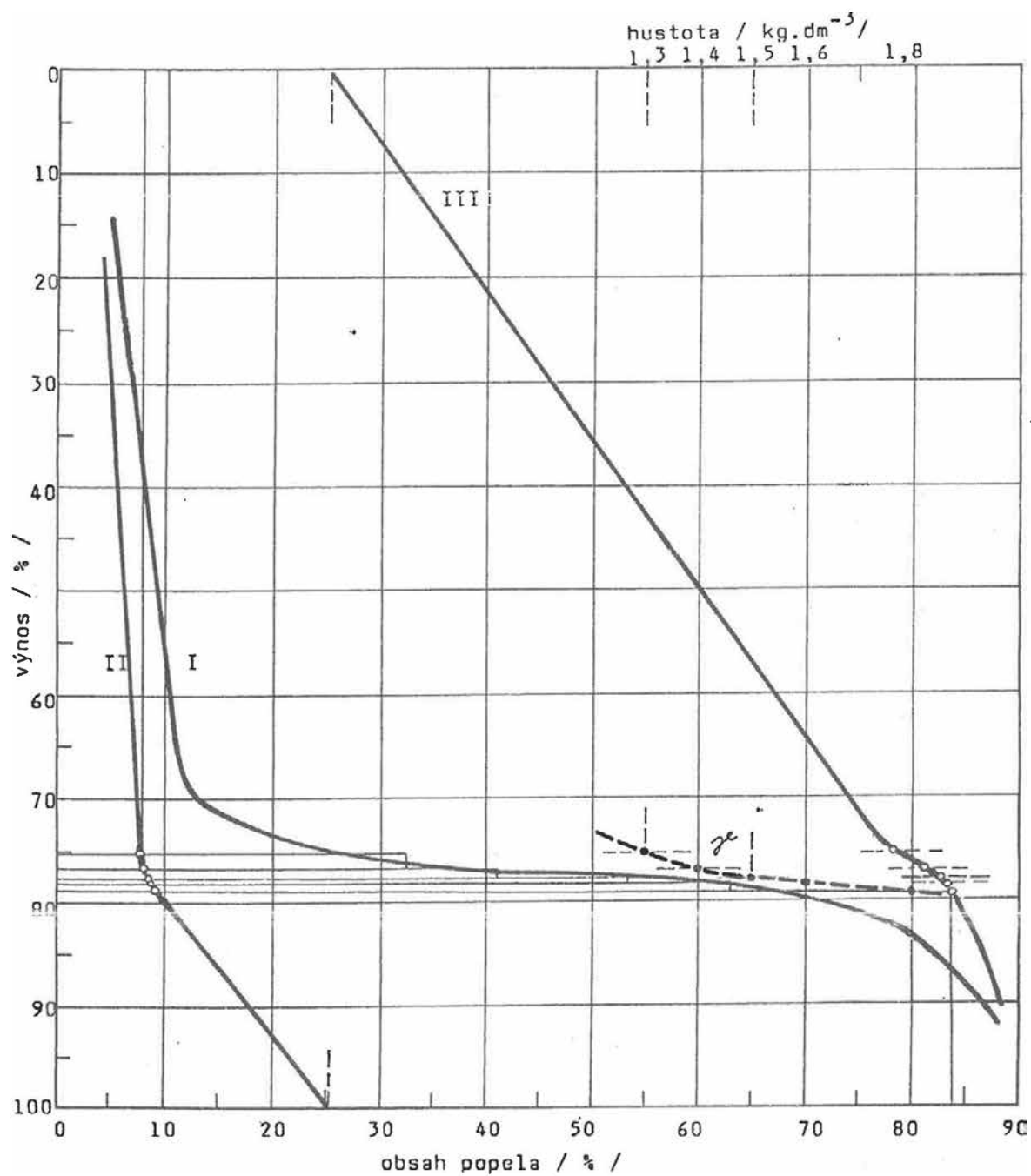
Obr. 4 Křivky upravitelnosti lehčího produktu separace (směs 0 - 3 mm)



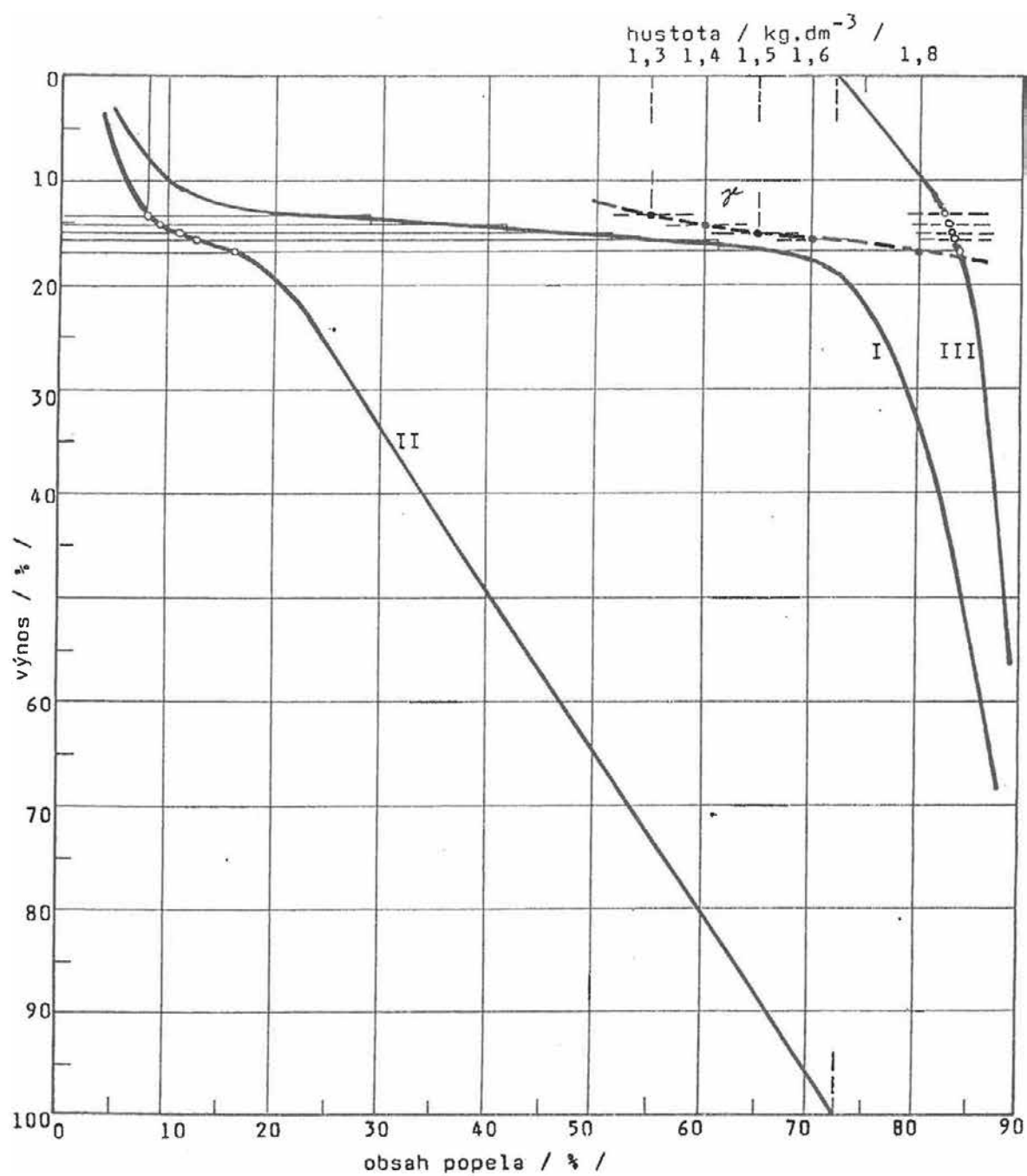
Obr. 5 Křivky upravitelnosti těžšího produktu separace (směs 0 - 3 mm)



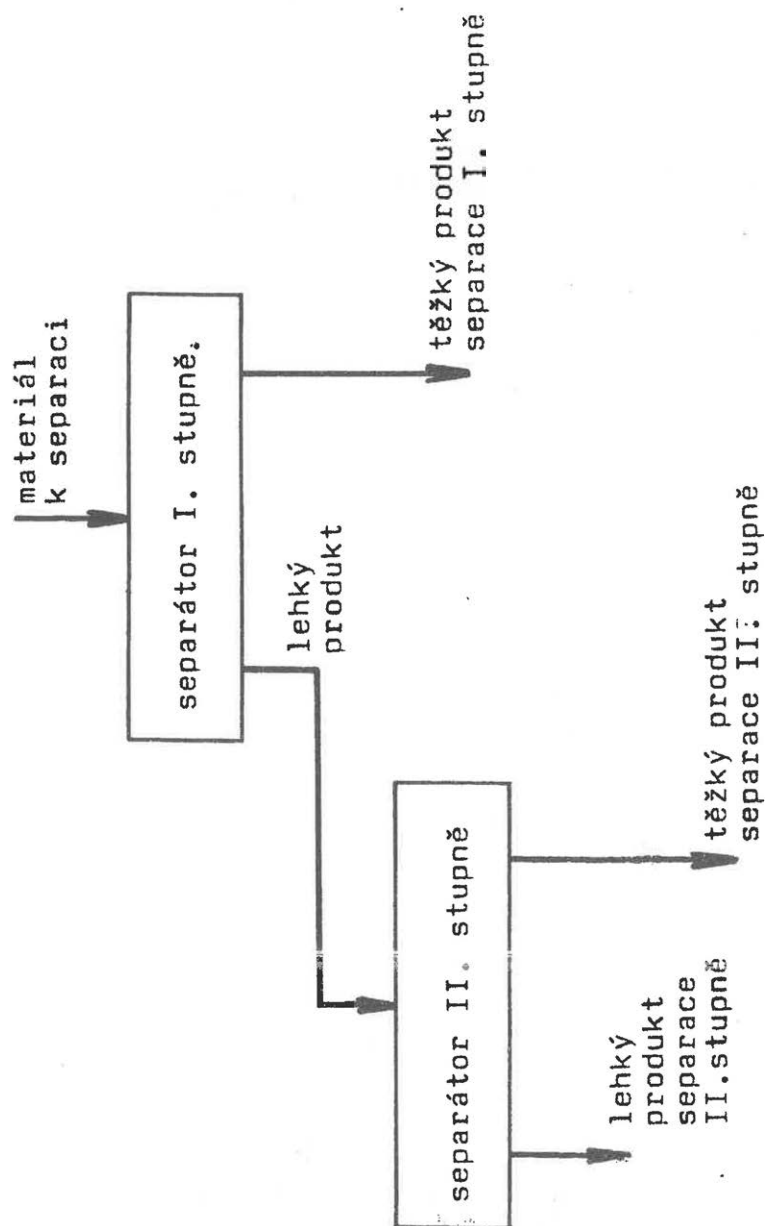
Obr. 6 Křivky upravitelnosti přívodu do separátoru (směs 5 - 7 mm)



Obr. 7 Křivky upravitelnosti lehčího produktu separace (směs 5 - 7 mm)



Obr. 8 Křivky upravitelnosti těžšího produktu separace (směs 5 - 7 mm)



Obr. 9 Schéma pneumatické separace s přechitným rozdučováním lehkého produktu I. stupně separace

o cca 30 %. Těžký produkt má opět vysoký obsah popela a to cca 61 %. Výnos lehkého produktu dosáhl úrovně cca 78 % a účinnost separace $\eta = 30 \%$.

Závěr

Výzkum separace části jemnozrnného podílu těžby hnědé uhlí na pneumatickém fluidním separátoru potvrdil reálnost využití tohoto typu separace v praxi. Pneumatická fluidní separace jemných zrnitostních tříd byla ověřena v rozsahu 0 - 7 mm a výsledky naznačují, že snížení obsahu popela oproti původní surovině dosahuje značných hodnot stejně jako zvýšení obsahu popela v těžkém produktu separace. Výsledky výzkumu naznačují, že lze nalézt vhodné podmínky pneumatické separace, které umožní z jemnozrnného podílu těžby hnědé uhlí výrobu dvou nebo více produktů různé kvality podle potřeb nebo možností využití.

Literatura

1. Hladký, K.: Báňsko-technická studie těžby lomu Jiří v závalových polích po předchozí hlubinné činnosti. Výzkumná zpráva č. 175/96, VÚHU Most
2. Reich, R.: Směřování uhlí z lomu východní oblasti do PKU. Technická zpráva, Báňské projekty Teplice, 1983
3. Menšík, J.: Rozvoj Sokolovského revíru při aktualizovaných těžbách uhlí, díl - úprava a zušlechťování uhlí. Zpráva BP 69-6-3102, Báňské projekty Teplice, 1990
4. Nováček, J. - Bláhová, O. - Rucký, P.: Poznatky z výzkumu úpravy substrátu kolejového lože na pneumatickém fluidním separátoru. Uhlí-Rudy-Geologický průzkum, č. 9/1999, str. 11 - 14