

## АБРАЗИВНОСТ НА СКАЛИТЕ ОТ ВЪГЛИЩНИ ОТКРИТИ РУДНИЦИ

Ефросима Занева-Добранова, Пешка Стоева, Евгения Александрова

Минно-геоложки университет "Св.Иван Рилски", София 1700, България, E-mail: jogeni@yahoo.com

### РЕЗЮМЕ

Разработена е методика за определяне на абразивността на различни литоложки разновидности от плиоценския комплекс на откритите въглищни рудници в Източномаришкия басейн (България). Дадени са зависимостите между отделните параметри, описани с математическите им уравнения. Установените тесни връзки между абразивността, водното съдържание, количеството на кварца и фелдшпата служат за качествена характеристика при избор на материал за зъбите, прогнозиране скоростта на движение на роторното колело и времето за използване на гумено-транспортните ленти. Получените резултати могат да бъдат приложени и при други работи, свързани с геолого-експлоатационния цикъл в близки по условия обекти.

При работа на роторните багери в надвъглищния плиоценски комплекс на откритите рудници в Източномаришкия басейн (България) се срещат твърди включения (песъчливи варовици, плътни варовици, кварцови пясъчници и др.), глини и пясъци, които имат голяма абразивност. В резултат на тази абразивност се износват много бързо работните органи на багерите (зъбите на кофите) и платната на гумено-транспортните ленти. Тяхната подмяна е свързана с големи разходи и ускъпяване на производството на въглищата. От друга страна се отчита отрицателното въздействие върху скоростта на изземване на откритката.

Различният минерален състав на литоложките разновидности от надвъглищния комплекс оказва влияние върху абразивността чрез количественото съдържание на отделните компоненти. Те се използвани като основа при изготвянето на методика за аналитичното определяне на коефициента на абразивност.

### МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Абразивността на твърдите включения е изследвана в лабораторни условия по метода на Барон-Кузнецов (1961). Внедрява се стоманен цилиндричен индентор (щифт от калибрована сребърна стомана) чрез сухо триене върху нешлифована повърхност на твърдото включение. Абразивността (А) се определя чрез израза:

$$A = \frac{a}{N}, \text{ mg/km}, \quad (1)$$

където:

а е показателят на абразивност, mg;

N – корекционният коефициент за определяне на абразивността, km.

Използват се три стойности за коефициента N – N=0,01 km; N=0,005 km и N=0,002 km. По теоретични и експериментални съображения е приет коефициент N=0,002 km (табл.1).

Таблица 1

Литолошко описание	Показател на абразивност а, mg	Абразивност, mg/km		
		0,01	0,005	0,002
Глина варовита	19,40	1940	3880	9700
Пясък разнорънест с глинесто варовита спойка	63,30	6330	12660	31650
Пясък едрорънест с варовита спойка	44,90	4490	8980	22450
Пясък дребнорънест с карбонатна спойка	11,60	1160	2320	5800

За глините и пясъците изчисляването на абразивността се извършва по формулата на Кунтиш и др. (1980), подобрена от Стоева, Занева-Добранова и др. (1992):

$$A = \frac{Vd\sigma_{оп}}{100}, \text{ mg/km}, \quad (2)$$

където:

V е приведеното обемно съдържание на високоабразивна компонента (за нашия случай кварц или фелдшпат), %;  
d – едрината на зърната (диаметър на преобладаващата пясъчна или фелдшпатовата фракция), m;

$\sigma_{оп}$  – якостта на опън,  $10^5$  Pa.

За пясъчната фракция (кварц) е прието:

- фин пясък  $d=0,01$  mm;
- дребен пясък  $d=0,25$  mm;
- среден пясък  $d=1,00$  mm (табл.2).

За фелдшпата е прието  $d=0,01$  mm (табл.2).

Направена е оценка на абразивността при  $d=1,00$  mm, който диаметър е най-меродавен.

Таблица 2

Литолошко описание	$\sigma_{оп}$ , $10^5$ Pa	Кварц, %	Абразивност, mg/km при			Фелдшпат, %	Абразивност, mg/km при $d=0,07$ mm
			$d=0,25$	$d=1,00$	$d=0,01$		
Глина сивочерна	1,09	4	109	436	4,36	4	4,36
Глина сивочерна с въглищни включения	1,09	3	81,75	327	3,27	2	2,18
Глина синьозелена с варовити повлекла	1,09	12	327	1308	13,08	9	9,81
Пясък едрозърнест с глинеста спойка	0,33	27	222,75	891	8,91	32	10,56
Глина пясъчлива ръждивокафява	1,56	43	1677	6708	67,08	12	18,72

#### ПОЛУЧЕНИ РЕЗУЛТАТИ

Изследвани са сивочерни глини с и без въглищни включения, синьозелени глини с варовити повлекла и ръждивокафяви пясъчливи глини (Табл.2). Твърдите включения са представени от: пясък разноразмерен с карбонатна спойка, пясъчлив или доломитизиран варовик, глини (аргилити) варовити и др. (Табл.1).

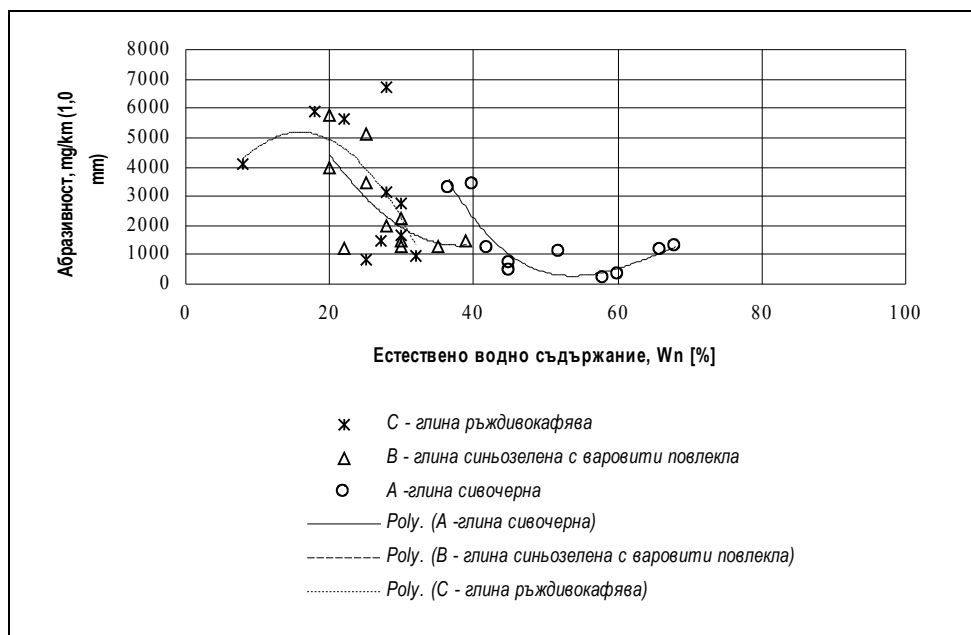
От изследванията се установява, че за определянето на абразивността най-голямо влияние имат размерите на теригенните зърна, естественото водно съдържание и др.

Връзката между абразивността (A) и естественото водно съдържание ( $W_n$ ) на различните глинести разновидности от откривните хоризонти на рудниците от Източномаришкия басейн е много показателна и дава възможност за бъдещите прогнозни оценки по отношение на износване на зъбите и платната на гумено-транспортните ленти.

Сивочерните органични глини с максимално съдържание на органичното вещество до 20% се характеризират с абразивност до 1500 mg/km. При тях с повишаване на естественото водно съдържание абразивността значително намалява (до 200 mg/km при  $W_n=60\%$ , фиг.1, крива А). Граничната стойност за  $W_n$  е около 60%. Възходящият клон на крива А илюстрира нарастване на абразивността до 1300 mg/km с повишаването на водното съдържание (стойности на  $W_n$  над граничните). Това се наблюдава обикновено при черните глини с въглищни включения. Зависимостта между абразивността и  $W_n$  се описва с хипербола от типа:

$$A = 57674,2 - 2847,37W_n + 46,0849W_n^2 - 0,241466W_n^3, \quad (3)$$

при коефициент на корелация  $r=0,72$ .



Фигура 1

Синьозелените глинени се характеризират с много широк диапазон на изменение на абразивността, което се обуславя не само от съдържанието на кварц, но и от различното състояние на варовитата компонента. Стойности на абразивност до 1200 – 1300  $mg/km$  (фиг.1, крива В) се свързват със съдържание на варовитото вещество под формата на повлекла. При литоложките разновидности, съдържащи до 25% кварц и варовитото вещество под формата на конкреции, стойностите на абразивността нарастват до около 5200 – 5700  $mg/km$ . Зависимостта между абразивността и естественото водно съдържание за синьозелените глинени с варовити повлекла се описва с уравнение на параболата и има вида:

$$A = 15190,3 - 729,199W_n + 9,57678W_n^2, \text{ mg/km}, (r=0,47) \quad (4)$$

Ръждивокафявите пясъчливи глинени се характеризират с голямо разсейване на данните (фиг.1, крива С). Високата абразивност до 6000  $mg/km$  се обуславя от едрите, грапави, пясъчни зърна на слабослоените глинени пясъци, които в малка степен се влияят от влагата. Тези резултати са типични за рудниците от Източномаришкия басейн. Даже при по-дребнозърнестите разновидности високата абразивност не се влияе от влагата. Потвърждение за това е

ниският коефициент на корелация ( $r=0,30$ ), който съответства на уравнението на параболата:

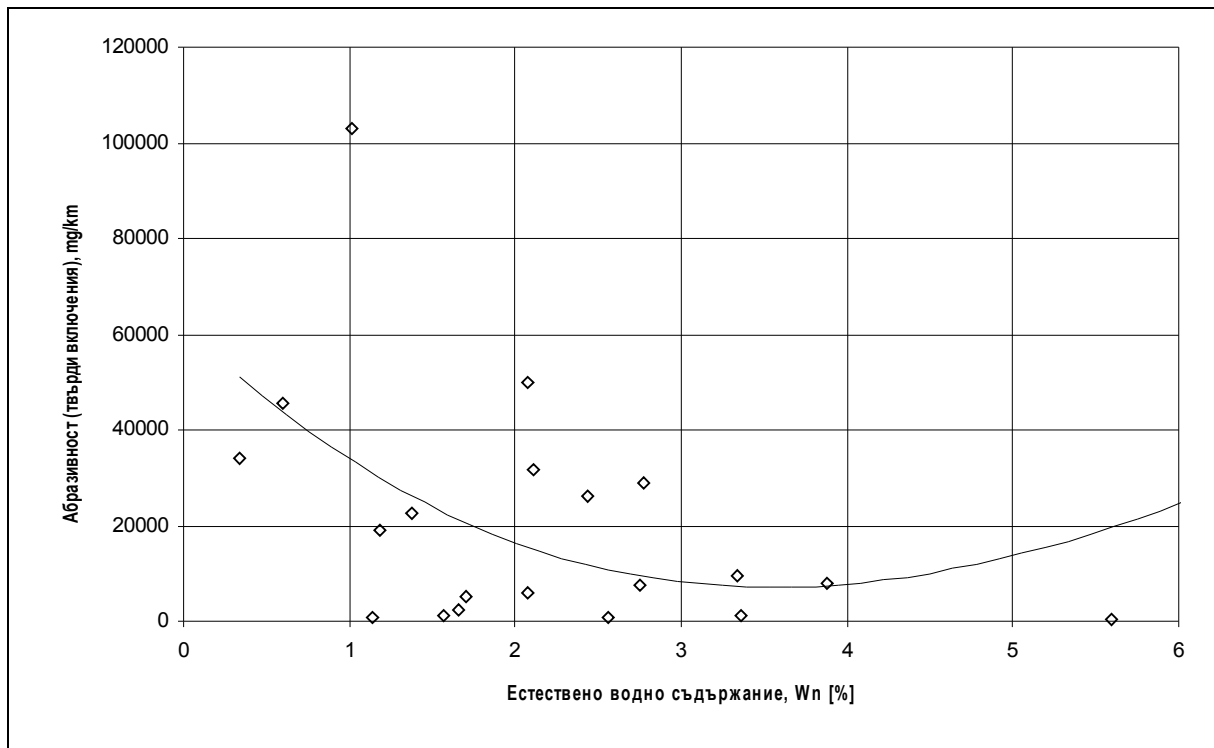
$$A = 1478,82 + 467,692W_n - 14,7564W_n^2, \text{ mg/km}, (r=0,30) \quad (5)$$

Изследванията показват, че при твърдите включения естественото водно съдържание ( $W_n$  до 5,6%) оказва слабо влияние върху абразивността. Така например ниското водно съдържание се дължи на специфичните свойства на включенията, представени предимно от късове литифицирани разновидности.

Причина за широкия интервал на изменение на абразивността (от 1150 до 108100  $mg/km$ ) при едни и същи литоложки типове е свързано с голямото разнообразие на включенията по отношение на минералния им състав, циментационната структура и различните им якостни свойства.

Общата тенденция на връзката  $A=f(W_n)$  се описва с хипербола от вида (фиг.2):

$$A = 62084,7 - 34092W_n + 6109,42W_n^2 - 245,523W_n^3, \text{ mg/km}, (r=0,48) \quad (6)$$



Фигура 2

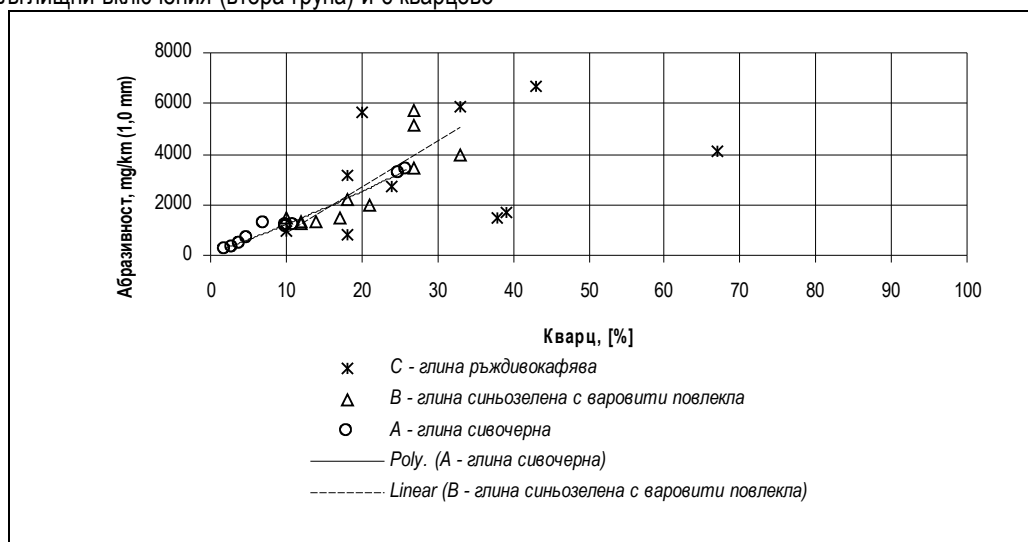
Изследването за влиянието на процентното съдържание на кварца върху абразивността е от особено значение, тъй като той е най-абразивната компонента в плиоценските глини на надвъглищния комплекс.

При сивочерните глини със съдържание на кварц до 18%, стойностите на абразивността е от порядъка 50 до 1400 mg/km, което е първата група за тези глини. За сивочерните глини с въглищни включения (втора група) и с кварцово

съдържание над 18%, стойностите на абразивността нарастват до 3600 mg/km.

Зависимостта абразивност – кварц  $[A=f(\text{SiO}_2)]$  се описва с уравнение на парабола (фиг.3, крива А):

$$A = 142,59 + 85,477\text{SiO}_2 + 1,488\text{SiO}_2^2, \text{ mg/km} \quad (r=0,97) \quad (7)$$



Фигура 3

Тенденцията на изменение на абразивността в зависимост от съдържанието на кварц при синьозелените глини с варовити повлекла е аналогична на тази при сивочерните глини (фиг.2, крива В). При съдържание на кварц от 10 до 15% абразивността е 1300 – 1500 mg/km. Значително по-

високи стойности (5200 – 5800 mg/km) се наблюдават с нарастването на съдържанието на кварца над 15%. Това се дължи и на наличието на варовито вещество под формата на конкреции.

Зависимостта между абразивността и кварца за синьозелените глини с варовити повлекла се описва с уравнение на права:

$$A = -913,977 + 180,742SiO_2, \text{ mg/km}, \quad (r=0,71) \quad (8)$$

Поради малкия обем данни за абразивността на ръждивокафявите пясъчливи глини корелационният коефициент е  $r=0,168$ . Това изключва възможността да бъде описана и анализирана зависимостта  $A=f(SiO_2)$  с математичен апарат. Полученото разпределение е илюстрирано на Фигура 3.

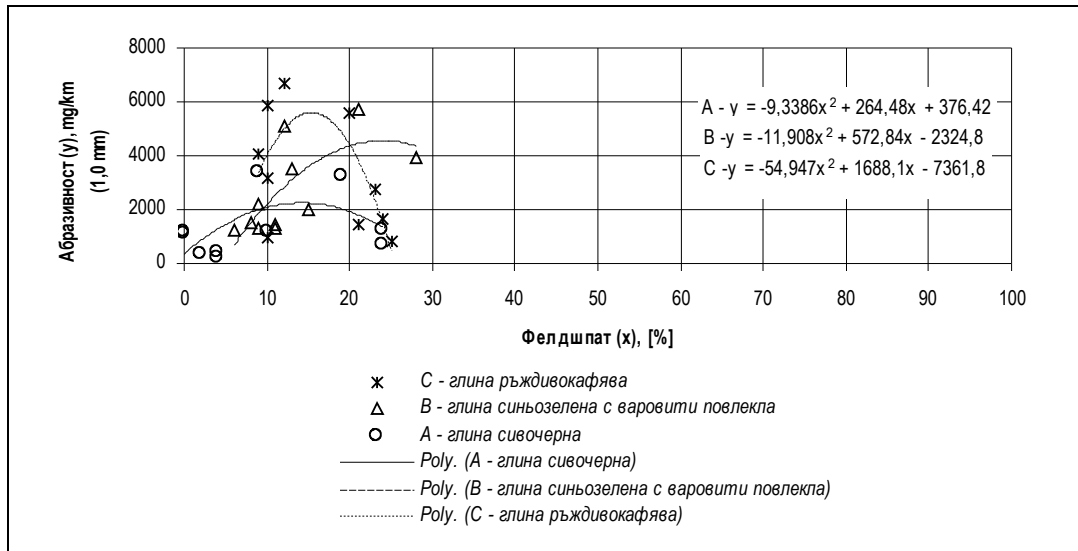
Връзката между фелдшпатовата компонента и абразивността има еднаква тенденция (фиг.4, криви А, В и С) и при

трите литоложки разновидности. При оценка на степента на износването на зъбите и гумено-транспортните ленти е необходимо да се отчетат максималните стойности на абразивността, а именно:

- за сивочерните глини – до 2000 mg/km при съдържание на фелдшпат 16%;

- за синьозелените глини с варовити повлекла – до 4500 mg/km при съдържание на фелдшпат – 26%;

- за ръждивокафявите пясъчливи глини – до 5600 mg/km при 15% съдържание на фелдшпат.



Фигура 4

Резултатите от направените изследвания за абразивността на различните литоложки разновидности са обобщени в табл.3. Тя може да служи като основа за предварителна качествена характеристика за избор на материал за зъбите и оценка на съпротивителните им възможности. В тясна

възска с това е скоростта на движение на роторното колело (респ. производителността на багера) при изземване на всяка стружка от масива, която съответства на литоложка разновидност с определени свойства.

Таблица 3

АБРАЗИВНОСТ, mg/km	120000	x
	110000	
	100000	
	50000	
	40000	

30000									
20000								x	
10000					x				
8000				x	x		x		
6000							x		
4000						x			
2000		x							
0	x x		x						
	Черни глини	Черни глини с въглищни включения	Синьо-зелени глини с варовити повлека	Едрозърнести, слабо слоени пясъци	Песчливи варовици	Глинести варовици	Свързани пясъци и пясъчници с карбонатна слойка	Пясъчници едрозърнести, слабо свързани със силициева слойка	Плътни удрозърнести пясъчници

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените зависимости за връзката на абразивността с естественото водно съдържание, количеството на кварца и фелдшпата при глините, пясъците и твърдите включения представляват интерес. Те дават характеристики, които са критерии за износването на зъбите на кофите на роторните багери и платната на гумено-транспортните ленти и влияят върху технологичния процес. Представените резултати имат практическо приложение и при:

- сондажни проучвания във връзка с годишното планиране на минните работи;
- прогнозиране на обемите от откривката за всяка следваща година;

- геофизични проучвания в зоните с концентрация на твърди включения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Барон Л.И., А.В.Кузнецов. 1961. Абразивность горных пород при добивании. *Изд. АНССР, Москва.*
- Кунтыш М.Ф. и др. 1980. Методы оценки свойств угольных пластов сложного строения. *Наука, Москва.*
- Стоева П., Е.Занева-Добранова.1998. Абразивност на скалите от Източномаришкия басейн. *Отчет по договор на тема – МГУ.*

*Препоръчана за публикуване от  
катедра "Геология и проучване на полезни изкопаеми" на ГПФ*

## ROCK ABRASIVITY IN OPEN-PIT COAL MINES

Efrosima Zaneva-Dobranova<sup>1</sup>, Peshka Stoeva, Evgenia Alexandrova<sup>2</sup>

University of mining and geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700, Bulgaria; e-mail:geoenergy@mail.mgu.bg<sup>1</sup>; e-mail:jogeni@yahoo.com<sup>2</sup>

### ABSTRACT

A methodology has been developed for determining the abrasivity of different lithological varieties from the Pliocene complex of open-pit coal mines in the East Maritsa Coal Basin (Bulgaria). The relationships between the individual parameters are presented and described by their mathematical equations. Close relationships have been established between abrasivity and the moisture content, quartz and feldspar quantities which serve as qualitative parameters in selecting the material for manufacturing the bucket teeth, in predicting the rate of the bucket wheel motion and the conveyor belt service time. The results obtained can be used in other operations related to the geological and mining cycle on sites under similar conditions.

### INTRODUCTION

Hard inclusions (sandy limestones, compact limestones, quartz sandstones, etc.), clays and sands of high abrasivity are encountered during the operation of bucket-wheel excavators in the Pliocene overburden complex of open-pit mines in the East Maritsa Coal Basin. As a result of that abrasivity, the cutting devices of the excavators (bucket teeth) and the conveyor belts wear out fast. Their replacement is very expensive thus raising the coal production costs. On the other hand, the negative effect on the overburden stripping rate is taken into account as well.

The different mineral composition of the overburden lithological varieties affects the abrasivity through the quantitative content of the individual constituents. The latter have been used as a basis for creating a methodology for analytical determination of the abrasivity coefficient.

### INVESTIGATION METHODOLOGY

The abrasivity of hard inclusions was tested under lab conditions by the Baron-Kuznetsov method (1961). A steel cylindrical indenter (a pin of grooved silver steel) was introduced by dry friction on the non-polished surface of the hard inclusion. The abrasivity (A) is determined by the expression:

$$A = \frac{a}{N}, \text{ mg/km}, \quad (1)$$

where:

- a - abrasivity index, mg;
- N - correction coefficient for abrasivity determination, km.

Three values are used for the coefficient N – N=0,01 km; N=0,005 km and N=0,002 km. Coefficient N=0,002 km (Table 1) is accepted for theoretical and experimental reasons.

Table 1

Lithological description	Abrasivity index a, mg	Abrasivity, mg/km		
		0,01	0,005	0,002
Calcareous clay	19,40	1940	3880	9700
Varigrained sand with clayey-calcareous welding	63,30	6330	12660	31650
Coarse-grained sand with calcareous welding	44,90	4490	8980	22450
Fine-grained sand with carbonate welding	11,60	1160	2320	5800

For clays and sands the abrasivity is determined following the formula proposed by Kuntysch et al (1980) and improved by Stoeva, Zaneva-Dobranova et al (1992):

$$A = \frac{Vd\sigma_{on}}{100}, \text{ mg/km}, \quad (2)$$

where:

V - reduced volume content of a highly abrasive constituent (for this case quartz or feldspar), %;

d – grain size (diameter of prevalent sand or feldspar fraction), m;

$\sigma_{on}$  – tensile strength,  $10^5$  Pa.

For the sand fraction (quartz) it is assumed that:

- fine-grained sand d=0,01 mm;
- small-grained sand d=0,25 mm;
- medium-grained sand d=1,00 mm (Table 2).

For the feldspar it is assumed that d=0,01 mm (Table 2).

Table 2

Lithological description	$\sigma_{on}, 10^5$ Pa	Quartz, %	Abrasivity, mg/km for			Feldspar, %	Abrasivity, mg/km for d=0,07 mm
			d=0,25	d=1,00	d=0,01		
Greyish-black clay	1,09	4	109	436	4,36	4	4,36
Greyish-black clay with coal inclusions	1,09	3	81,75	327	3,27	2	2,18



Bluish-green clay with dust-like carbonate substances	1,09	12	327	1308	13,08	9	9,81
Coarse-grained sand with clay welding	0,33	27	222,75	891	8,91	32	10,56
sandy rust-coloured clay	1,56	43	1677	6708	67,08	12	18,72

The abrasivity was determined for d=1,00 mm, a diameter proved to be most reliable.

RESULTS

Greyish-black clays with and without coal inclusions, bluish-green clays with dust-like carbonate substances and rust-coloured sandy clays were tested (Table 2). The hard inclusions were presented by: varigrained sand with carbonate welding, sandy or dolomitized limestone, calcareous clays (argillites), etc. (Table 1).

The tests proved that the abrasivity determination depends mostly on the terrigenous grain size, natural moisture content, etc.

The relationship between abrasivity (A) and natural moisture content (W<sub>n</sub>) of the different clay varieties from the overburden horizons of the East Maritsa Basin mines is very indicative and

permits future prediction assessments concerning the wear-and-tear of the bucket teeth and conveyor belts.

The greyish-black organic clays having up to 20% maximum content of organic substance are characterised by 1500 mg/km maximum abrasivity. In those clays, the abrasivity decreases considerably (up to 200 mg/km for W<sub>n</sub>=60%) with increasing the natural moisture content (Fig.1, curve A). The limit value for W<sub>n</sub> is approx. 60%. The rising branch of curve A shows an increase in abrasivity of up to 1300 mg/km with increasing the moisture content (W<sub>n</sub> values above the limit ones). This can usually be observed in black clays with coal inclusions. The relationship between abrasivity and W<sub>n</sub> is described by a hyperbola of the type:

$$A = 57674,2 - 2847,37W_n + 46,0849W_n^2 - 0,241466W_n^3, \text{ mg/km}, \tag{3}$$

or a correlation coefficient r=0,72.

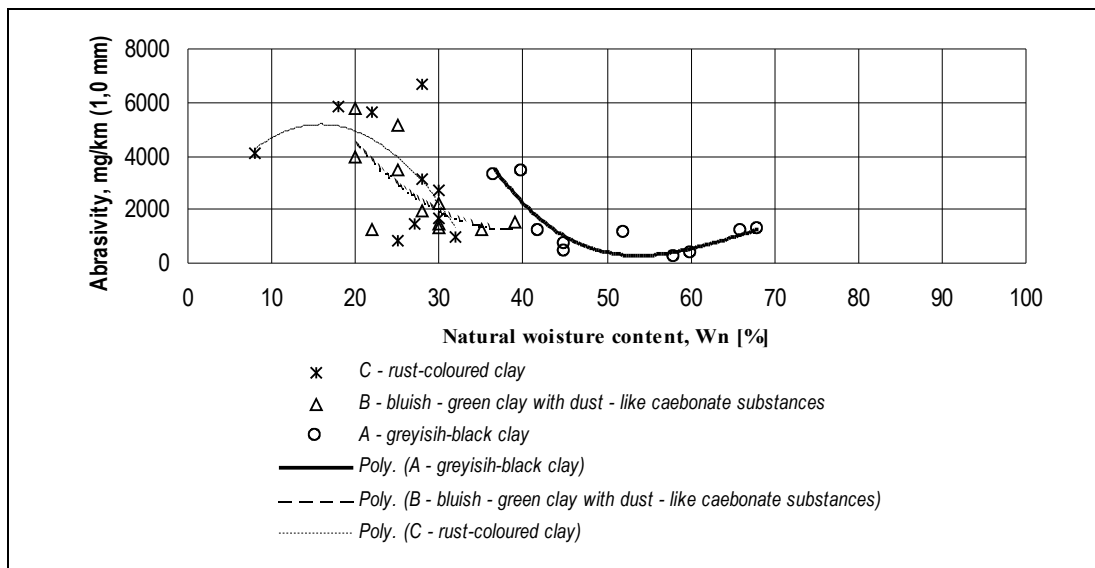


Figure 1.

The bluish-green clays are characterised by a very wide range of abrasivity variation determined not only by the quartz content but also by the different state of the calcareous constituent. Abrasivity values of up to 1200-1300 mg/km (Fig. 1, curve B) are related to the calcareous content in the form of dust-like carbonate substances. In lithological varieties containing up to 25% quartz and calcareous substance in the form of concretions, the abrasivity values increase up to 5200-5700 mg/km. The relationship between abrasivity and natural moisture content for the bluish-green clays with dust-like carbonate substances is described by a parabola equation and has the following form:

$$A = 15190,3 - 729,199W_n + 9,57678W_n^2, \text{ mg/km}, (r=0,47) \tag{4}$$

The rust-coloured sandy clays are characterised by high data scattering (Fig. 1, curve C). The high abrasivity of up to 7000 mg/km is determined by the large-sized, uneven, sandy grains of the weakly welded sands which are insignificantly affected by the moisture content. Those results are typical of the East Maritsa Basin mines. Even in small-grained varieties the high abrasivity is not influenced by the moisture content. A proof of that is the low correlation coefficient (r=0,30) corresponding to the parabola equation:

$$A = 1478,82 + 467,692W_n - 14,7564W_n^2, \text{ mg/km}, (r=0,30) \tag{5}$$

The tests show that in hard inclusions the natural moisture content ( $W_n$  up to 5,6%) has an insignificant effect on the abrasivity. For instance, the low moisture content is due to the specific properties of the inclusions presented mainly by lumps of lithified varieties.

The reason for the wide range of abrasivity variation (from 1150 to 108100 mg/km) for the same lithological types can be

accounted for by the broad variety of inclusions as regards their mineral composition, cementation structure and various strength characteristics.

The general trend of the relationship  $A=f(W_n)$  is described by a hyperbola of the form (Fig. 2):

$$A = 62084,7 - 34092W_n + 6109,42W_n^2 - 245,523W_n^3, \quad \text{mg/km} \quad (r=0,48) \quad (6)$$

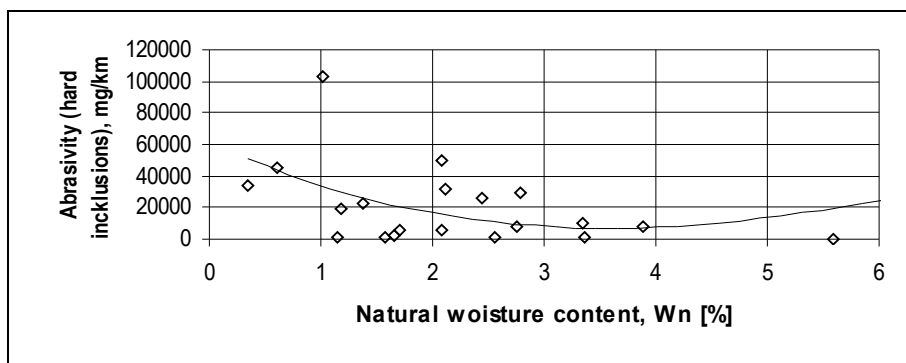


Figure 2.

The study on the effect of the proportional content of quartz on the abrasivity is of particular significance since it is the most abrasive constituent in the Pliocene overburden clays.

For the greyish-black clays having up to 18% quartz content, which form the first group of those clays, the abrasivity values are in the order of 50-1400 mg/km. For the second group of such clays, having coal inclusions and over

18% quartz content, the abrasivity values rise up to 3600 mg/km.

The relationship between abrasivity and quartz  $[A=f(\text{SiO}_2)]$  is described by the parabola equation (Fig. 3, curve A):

$$A = 142,59 + 85,477\text{SiO}_2 + 1,488\text{SiO}_2^2, \quad \text{mg/km} \quad (r=0,97) \quad (7)$$

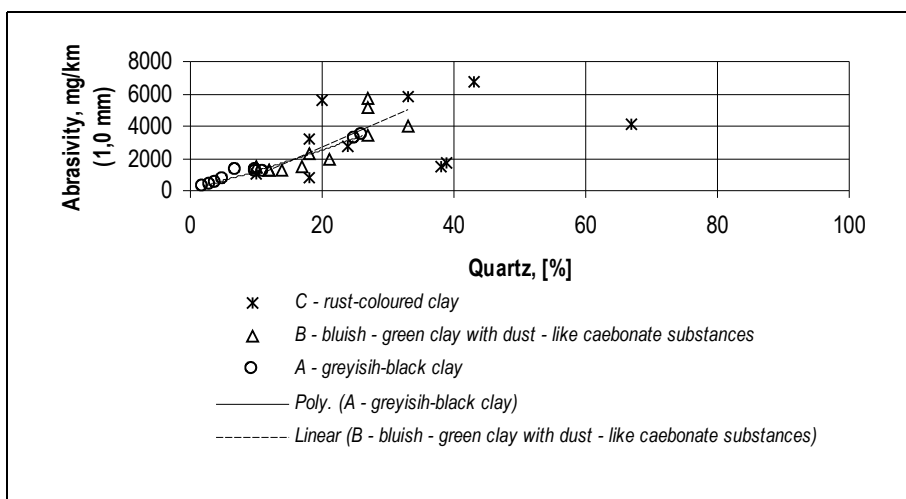


Figure 3.

The tendency towards changing the abrasivity depending on the quartz content in the bluish-green clays with dust-like carbonate substances is similar to that in the greyish-black clays (Fig. 2, curve B). For a quartz content of up to 10-15%, the abrasivity is 1300-1500 mg/km. Considerably higher values (5200-5800 mg/km) can be observed with increasing the quartz content over 15%. This is due to the presence of calcareous substance in the form of concretions.

The relationship between abrasivity and quartz for the bluish-

green clays containing dust-like carbonate substances is described by a straight-line equation:

$$A = -913,977 + 180,742\text{SiO}_2, \quad \text{mg/km}, \quad (r=0,71) \quad (8)$$

Due to the small amount of data on the abrasivity of the rust-coloured sandy clays, the correlation coefficient is  $r=0,168$ . This makes it impossible to describe and analyse the relationship  $A=f(\text{SiO}_2)$  by using mathematical tools. The distribution obtained is shown in Fig. 3.

The relationship between the feldspar constituent and abrasivity has the same tendency (Fig. 4, curves A, B, C) for all three lithological varieties. When assessing the degree of wear of the bucket teeth and conveyor belts, it is necessary to take into account the maximum abrasivity values, namely:

- for the greyish-black clays - up to 2000 mg/km for 16%

feldspar content;

- for the bluish-green clays containing dust-like carbonate substances - up to 4500 mg/km for 26% feldspar content;

- for the rust-coloured sandy clays - up to 5600 mg/km for 15% feldspar content.

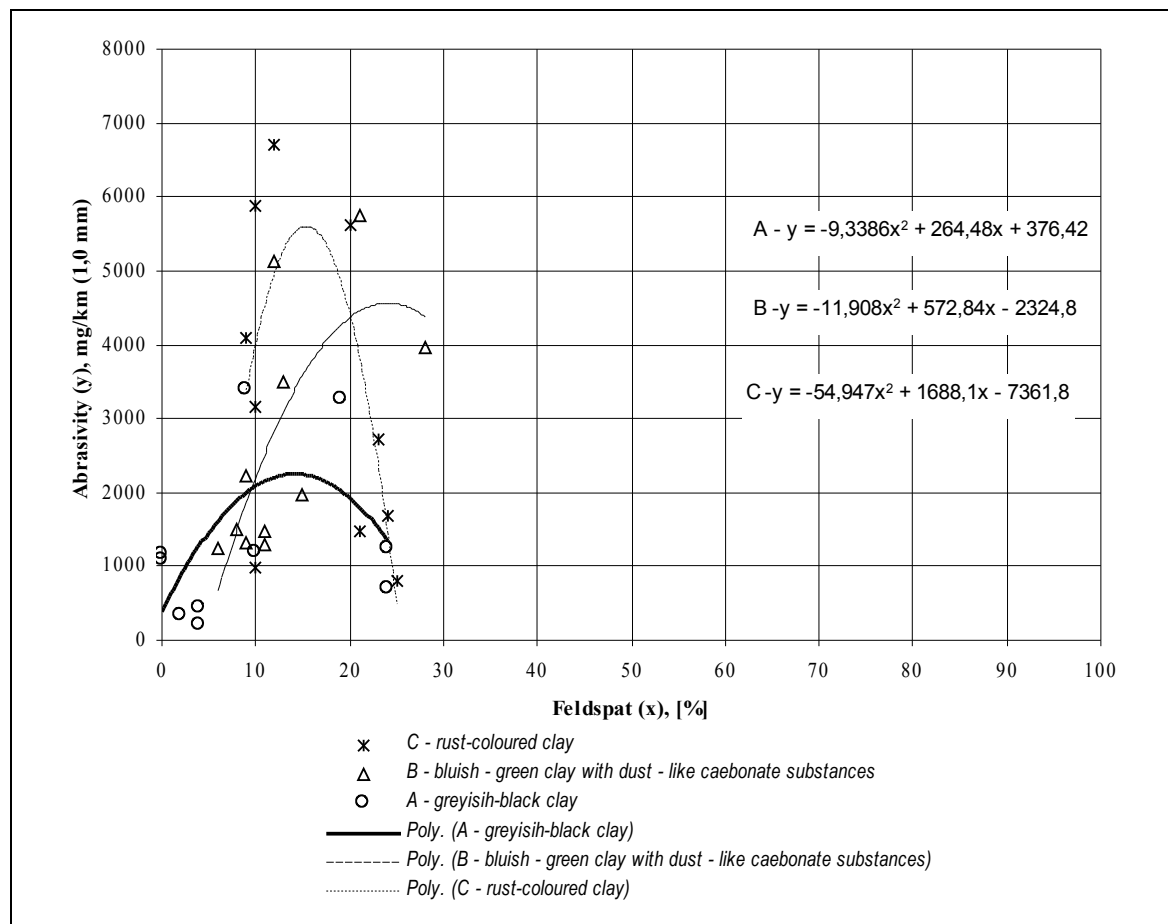


Figure 4.

The results of the tests carried out to determine the abrasivity of the different lithological varieties are summarised in Table 3. It can serve as a basis for a preliminary qualitative parameter in selecting the material for manufacturing bucket teeth and

estimating their resistance capacities. Closely related to the latter is the rate of the bucket wheel motion (the excavator output, respectively) when cutting each coal web of the respective lithological variety.



#### 4. CONCLUSION

The relationships obtained between abrasivity and the natural moisture content, quartz and feldspar quantities in clays, sands and hard inclusions are of particular interest. They provide characteristics which can serve as criteria for the wear-and-tear of the BWE teeth and conveyor belts and can influence the technological process. The results presented have certain practical applications in:

- borehole explorations related to the annual planning of

#### REFERENCES

- Baron, L.I. & Kuznetsov, A.V. (1961). Rock Abrasivity in Mining. USSR Acad. Sc. *Publishing House, Moscow (in Russian)*.
- Kuntysh, M.F. et al. (1980). Methods for Evaluating the

mining operations;

- predicting the overburden volumes for each subsequent year;

1. geophysical exploration in zones of hard inclusion concentrations.

Properties of Complex Coal Seams. *Nauka Publishing House, Moscow. (in Russian)*.

- Stoeva P., Zaneva-Dobranova E. (1998). Rock Abrasivity in the East Maritsa Coal Basin. *Contract Report, Univ. of Mining & Geology. (in Bulgarian)*.

*Recommended for publication by Department  
of Economic Geology, Faculty of Geology*