



ОЦЕНКА НА УСТОЙЧИВОСТТА НА БОРДОВЕТЕ НА ОТКРИТ УЧАСТЪК „ЗАПАД“,  
РУДНИК „БЕЛА ВОДА“, ПЕРНИШКИ ВЪГЛИЩЕН БАСЕЙН

Доц. д-р Евгения Александрова – e.aleksandrova@mgu.bg  
Проф. д-р Георги Стоянчев - g.stoyanchev@mgu.bg

ESTIMATION OF STABILITY OF THE BOARDS OF THE OPEN AREA "WEST", MINE "BELA WODA",  
PERNIK COAL BASIN

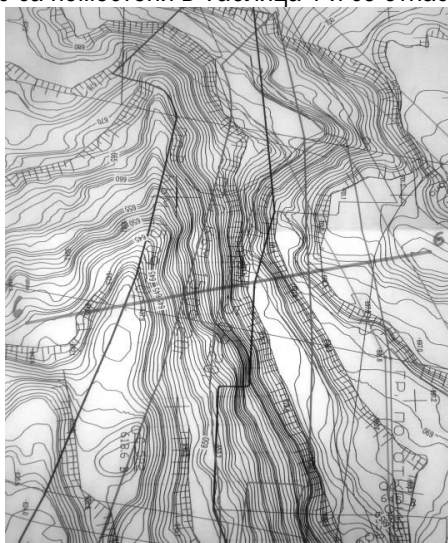
Assoc. Prof. PhD Evgeniya Aleksandrova – e.aleksandrova@mgu.bg  
Prof. PhD Georgi Stoyanchev- g.stoyanchev@mgu.bg

**ABSTRACT**

No mining work has been carried out on the non-working boards of area "Bela voda" for almost two years. Despite the extremely heavy rainfall in the area of the mine, there were no movements on the non-working boards. To observe their sustainability in 2019, surveying stations have been installed. In the period April - October 2019, systematic measurements have been performed. Due to the cessation of the movements of the massif at the end of 2019, the measurements have been suspended. To determine the sustainability of the work boards, an analysis of the development of the mining works in 2021 has been performed, and a profile of 6' - 6' has been determined, which currently appears to be extreme in the section in terms of height (90 m) and slope (41°).

Изходна информация за физико-механичните свойства на масива в района на профил 6' - 6'

За определяне на физикомеханичните свойства на масива по предварително определената профилна линия не са извършени геоложки изследвания чрез сондажи, тъй като изходна информация за геомеханичните изчисления е използван метода на аналогията. Наличните данни са от „Инженерно-геоложки доклад за проучване на рудник „Бела вода“, участък „Запад“, представен през 2017 г. от „Геотехника АБС“ ООД [3]. Конкретно са използвани данни от сондаж № 3 и сондаж № 6. В тези сондажи се срещат същите геоложките разновидности на масива, както тези в профил 6' - 6' (фиг.1). Данните от сондажите № 3 и № 6 са поместени в Таблица 1 и се отнасят за дълбочина до 36 м.



Фиг.1 Профил 6' - 6'



Допълнителни данни за свойствата на масива в дълбочина 150-300 m в разглеждания участък за тези геоложки разновидности са приети от изследване на МНИПКИ "Минпроект" през периода 1975-1979 г. и 1981 – 1982 г. [2].

Известно е, че тенденцията за нарастване на якостта на масива, сцеплението и ъгъла на вътрешно триене нарастват право пропорционално на дълбочината.

За определяне на устойчивостта на профил б' - б' са приети характеристики, съобразени с цитираните по-горе информационни източници, показани в Таблица 2 и контура на профилната линия взет от графичната част на годишния работен проект на рудник „Бела вода“ за развитие на минните работи през 2021г. [1].

Таблица 1. Физико-механични показатели на масива от сондажи №3 и №6.

Профилна линия работен борд									
МС3									
Дълбочина, м		2,00-2,20	8,40-8,70	19,7-19,9	22,6-22,9	24,8-25,1	27,6-27,9	34,0-34,3	
Наименование	БДС EN ISO 14688-2:2006	siCl	siCl	Cl	въглища	въглища	въглища	въглища	
Обемна плътност, $\rho_n$ , g/cm <sup>3</sup>	ISO/TS 17892-2:2004	1,9	1,5	1,76	1,22	1,28	1,76	1,26	
<b>Якостни параметри</b>		върхова							
Ъгъл на вътрешно триене $\varphi$ , deg	ISO/TS 17892-10:2004	24	18	11	13	33	12	16	
Кохезия С, кРа		42	50	97,9	32,3	17,5	86,9	63,5	
		остатъчна							
Ъгъл на вътрешно триене $\varphi$ , deg		23	9	6	9	33	11	13	
Кохезия С, кРа		19,5	44,6	92,6	31,6	16,3	77,2	56,1	
МС6									
Дълбочина, м		1,40-1,60	12,7-13,0	19,5-19,8	23,1-23,4	26,5-26,8	28,7-29,0	34,5-34,8	36,3-36,6
Наименование	БДС EN ISO 14688-2:2006	siCl	clSi	siCl	въглища	въглища	Cl	въглища	Cl
Обемна плътност, $\rho_n$ , g/cm <sup>3</sup>	ISO/TS 17892-2:2004	1,91	1,88	1,98	1,22	1,14	1,97	1,4	1,77
<b>Якостни параметри</b>		върхова							
Ъгъл на вътрешно триене $\varphi$ , deg	ISO/TS 17892-10:2004	21	28	14	28	26	19	37	13
Кохезия С, кРа		34,7	61,1	63	72,9	21,9	57,6	32,3	59,3
		остатъчна							
Ъгъл на вътрешно триене $\varphi$ , deg		19	24	14	28	23	12	34	10
Кохезия С, кРа		23,4	57,6	28	65,9	17	18,4	17	48,7

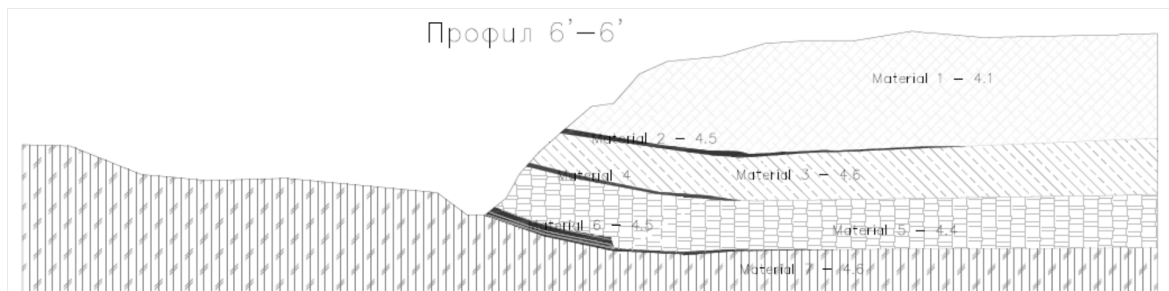
Таблица 2. Физико-механични показатели на масива

№ по ред	Литоложки разновидности	Коефициент на нарушеност	Обемна плътност, g, kN/m <sup>3</sup>	Кохезия, С, kN/m <sup>2</sup>	Ъгъл на вътрешно триене, $\varphi$ , ...°
1	4.1	0.65	17.3	32	23.1
2	4.5	0.7	13.5	26	24
3	4.6	0.8	19.1	40.0	30
4		0.8	13.5	28.2	26
5	4.4	1	18.7	42	36
6	4.5	1	13.5	32.3	37
7	4.7	1	18.7	38.1	37



### Оценка на устойчивостта при фактическо състояние на борда

Оценката на устойчивостта борда се извършва с компютърна програма Slide 2019 (Rockscience), въз основа на изчислителен профил 6' - 6' (фиг.2). Данните показани в Таблица 2 за кохезия и ъгъл на вътрешно триене са коригирани с коефициент за нарушеност, отчитащ подработването на въглищен пласт „Д“.



Фиг. 2 Фактическо положение на борда по профилна линия 6' - 6'

Методът избран за извършване на геотехническа оценка е „Методът на граничните състояния“.

За равновесното състояние на работния борд се изисква спазване на условието:

$$Ed \leq Rd$$

**Ed** – активно действаща сила в резултат на външни и вътрешни натоварвания (въздействия), наричана изчислителна стойност на въздействието.

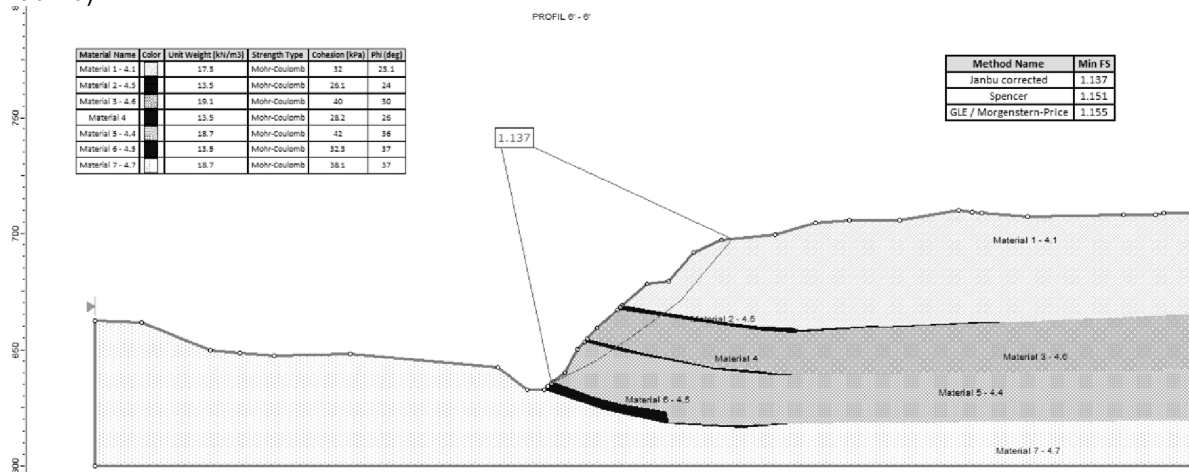
**Rd** - максимална съпротивителна сила, якост, наричана изчислителна стойност на якостта или на носещата способност.

За определяне на **Rd** се използва комбинативен метод.

- Съгласно Наредба № 12/03.07.2001 г., при основно и съчетание на натоварването минималния коефициент на устойчивост, трябва да отговаря на условието:  $F_s \geq 1,25$ .

- Съгласно БДС EN 1997 - 1:2005 и приложеният изчислителен метод 3 (DA 3), при основно и съчетание на натоварването минималния коефициент на устойчивост, трябва да отговаря на условието:  $F_s \geq 1.00$ .

За оценка на устойчивостта на откосите на стъпалата и бордовете на кариерата са възприети изчислителните методи на Моргенщерн и Прайс (отчитащ критичното хоризонтално ускорение, което би възникнало в потенциални повърхнини на плъзгане в свързани почви или в повърхнини с остатъчна якост при условие на гранично равновесие), метод на Спенсър (допуска се, че външните сили са наклонени под ъгъл  $\theta$  спрямо хоризонтална равнина) и метода на Janbu (използва се корекционен коефициент за геометричните параметри на стъпалата и бордовете и якостните характеристики на масива).

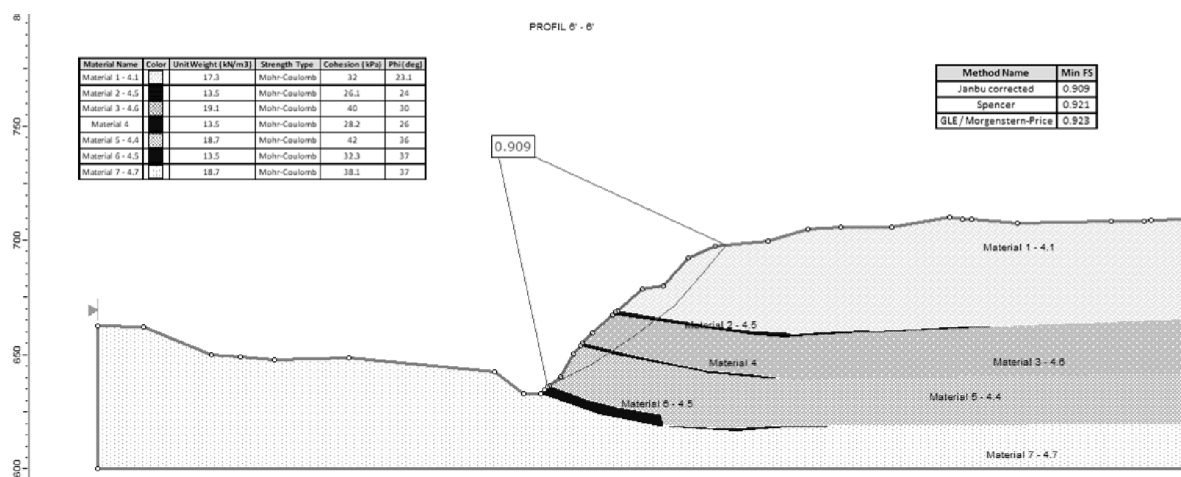


Фиг.3 Оценка на устойчивостта на борда при нормативни показатели на физико-механичните свойства



Минималния коефициент на сигурност 1,3 и 1,0 се считат за приемливи за статичен и псевдо динамичен анализ.

В момента по направление на профилна линия 6' - 6' има движение на масива. От направената оценка и по трите изчислителни метода (фиг.№№3-4, табл.3) се установява, че устойчивостта на борда в момента е недостатъчна.



Фиг.4 Оценка на устойчивостта на борда при показатели на физико-механичните свойства, съгласно DA3

Таблица 3. Коефициенти на устойчивост

Изчислителен метод	Коефициент на устойчивост	
	Нормативни стойности на физико-механичните показатели	Eurocode 7 – Design Approach 3 (DA3)
Janbu	1.137	0.909
Spencer	1.151	0.921
Morgenstern&Price	1.155	0.923

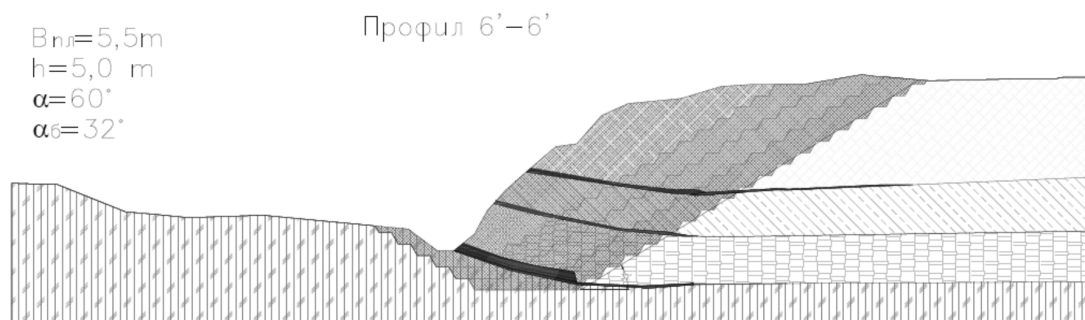
Съвпадането на фактическото състояние с изчислителната стойност за устойчивост показва, че данните, които са приети и математическия модел за изчисление са коректни.

#### Оценка на устойчивостта при проектно състояние на борда

Предвижда се ъгъл на работния борд 32°.

Проектни параметри на стъпалата:

- Височина – 5,0 m;
- Ъгъл на откоса на стъпалото - 60°;
- Широчина на площадката – 5,5 m.



Фиг.5 Проектно положение на борда по профилна линия 6' - 6' – вариант 1



В Таблица 4 са представени резултатите от оценката на устойчивостта по профил 6' - 6' при проектно положение на рудника п тримесечия.

Таблица 4. Коефициенти на устойчивост

Изчислителен метод	Коефициент на устойчивост							
	Нормативни стойности на физико-механичните показатели				Eurocode 7 – Design Approach 3 (DA3)			
	1 трим.	2 трим.	3 трим.	4 трим.	1 трим.	2 трим.	3 трим.	4 трим.
Janbu	1.317	1.246	1.268	1.268	1.054	1.052	1.014	1.014
Spencer	1.322	1.249	1.261	1.278	1.057	1.024	1.009	1.023
Morgenstern&Price	1.321	1.249	1.259	1.268	1.056	1.025	1.008	1.014

В заключение могат да се направят следните изводи:

От извършения анализ за устойчивостта на масива при проектно състояние на рудника по тримесечия с нормативните стойности на физикомеханичните показатели се установява, че приетият проектен ъгъл от 32° за работен борд, осигурява необходимата устойчивост за извършване на минните работи в рудник „Бела вода“, участък „Запад“, Пернишки възлищен басейн за 2021 г;

Развитието на минните работи през 2021 г. на открит участък „ Запад“ на рудник „Бела вода“ с така определените бордове ще осигурят безопасна работа с оптимален обем на откривните работи.

#### Литература

1. Годишен работен проект на рудник „Бела вода“ през 2021г.
2. Доклад за резултатите от извършените проучвателни работи от МНИПКИ “Минпроект“ през периода 1975-1979 г. и 1981 – 1982 г.
3. Инженерно-геоложки доклад за проучване на рудник „Бела вода“, участък „Запад“- 2017 г., „Геотехника АБС“ ООД.