

Физико-механически характеристики на скалите, изграждащи покриващия масив на находище "Челопеч"

Венцислав Иванов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. На база на извършени авторски изследвания и оценка на наличната информация за физико-механичните характеристики на скалите за отделни райони от масива е направен обобщен анализ на якостните показатели, деформационното поведение и структурните особености на скалите от покриващия комплекс на находище "Челопеч".

PHYSICAL – MECHANICAL PROPERTIES OF THE ROCKS FROM THE OVERBURDEN AT THE "CHELOPECH" DEPOSIT

ABSTRACT. Strength properties, stress-strain behaviour and structural characteristics of rocks from the overburden at the "Chelopech" deposit were comprehensively analyzed on the basis of tests, performed by the author and assessment of data about physical –mechanical properties of rocks from special spots of the massif.

Увод

В геоложкия доклад за находище "Челопеч", относно строежа на масива е дадено следното описание [1]:

Скалният масив в дълбочина условно е разделен на две зони-зона на туфи и туфобрекчи и зона на окварцяване. В зоната на туфите се наблюдават две области. Първата от тях, е представена от пясъкливи глини, мергели, варовици и полимиктови пясъчници. Втората област, е представена от андезити, андезитови туфи, дацитоандезити и двуслюдени гнайси. Границата между двете зони е твърде променлива. В окварцената зона са вместили рудните тела, обект на експлоатация.

Наличната информация за изследвания на физико-механическите свойства (ФМС) на скалите, изграждащи находището, изложена накратко е следната:

- ✓ В етапа на проучване на находището са прокарани ядрови сондажи, от повърхността: N 105, 127, 69, hg2, hg3 и 80, с дълбочина 500 метра [1]. От сондажите са извадени 78 скални проби, взема ни през 50-100 метра за лабораторни изследвания на ФМС на скалите, съгласно изложената по-горе представа за строежа на масива. От "неспоените скали" на горната зона са изследвани 30, а от окварцената зона-48 образци.
- ✓ С цел оптимизация на системата за експлоатация е извършено изследване на свойствата на скалите от хоризонт 475, в районно на рудно тяло 9. Изпитани са 59 образци от зоната на орудяване [2].
- ✓ През 2001 година от нас, в МГУ "Св. Иван Рилски", са извършени комплексни лабораторни изследвания на ФМС на 125 броя образци, получени от три сондажа, прокарани от повърхността в западния и централния участък [3].

- ✓ Нов цикъл авторски изследвания на ФМС на 106 образци - 75 от пет сондажа, прокарани от повърхността и 31, от два подземни сондажа, е извършен през 2003 г. пак в лабораторията по механика на скалите, в МГУ "Св. Иван Рилски" [4]

Проблем

Настоящата публикация е насочена към характеризация на скалите от т.нар. "горна зона" на покриващия комплекс на находище "Челопеч". Проблемът е актуален тъй като до изпълнението на проектите, описани в [3] и [4], информацията за свойствата на горележащите скали е оскъдна както по обем, така и по обхват.

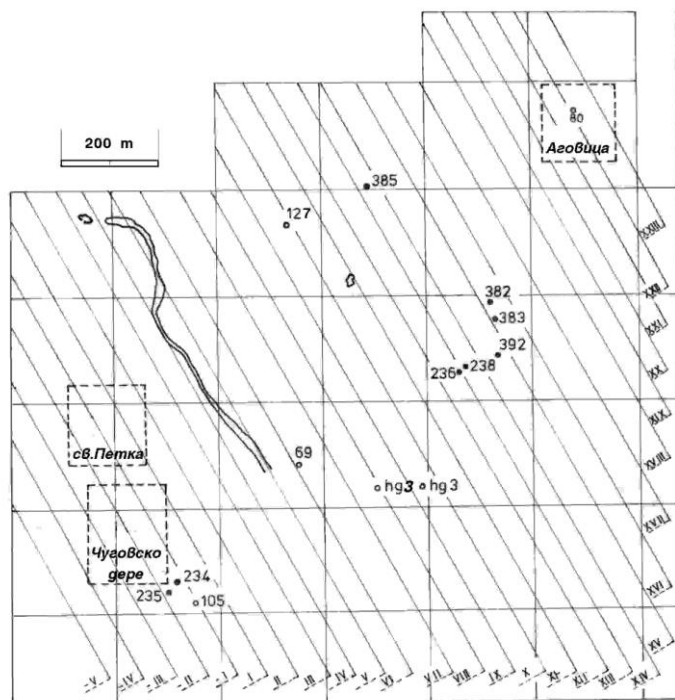
Известно е, че надеждна оценка на напрегнато-деформираното състояние (НДС) на масива и геомеханичните процеси, съпътстващи добивните работи, е възможна при познаване на ФМС на изграждащите го скали.

Анализ на изследванията

На фигура 1 е показан план на рудното поле "Челопеч", където са означени местоположенията на всички прокарани досега ядрови сондажи, от повърхността, чрез които са изследвани ФМС на скалите от покриващия комплекс.

Първите изследвания на свойства на горележащите скали са тези, описани в [1]. Сондажите, от които са взети пробните тела са разположени както следва:

- западен участък (Чуговско дере)-сондаж 105;
- централен участък:с.127 (север); сондажи N 69, hg2 и hg3-в южната част;
- източен участък (Аговица):сондаж 80.



Фиг. 1.

Получените резултати са показани в таблица 1*

Таблица 1.

Налична информация за горележащите скали

Показател	"Нespoени скали"	
	интервал	средно
Обемна плътност, γ , [MN/m ³]	0,02 ÷ 0,029	0,022
Обем на порите, [%]	11,6 ÷ 37,4	26,3
Съдържание на вода, W [%]	4,2 ÷ 21	12,4
Якост на натиск, σ_c , [Мра]	0,51 ÷ 2,1	1,19
Якост на натиск във водонап- ито състояние	-	-

От изпитаните тогава 30 образци е установено, че слабите, "неспоени" скали са с ниски якостни свойства и че те са разпространени основно в южната част на находището. Съобщава се, че на неспоените скали са определяни пластичността и границите на протичане. Разпространените в дълбочина тектонски глинни са силно пластични и набъбват във вода. Пропилитизирани скали съдържат пиритни впръслеси и под влияние на атмосферата се напукват и разрушават [1].

Наличната информация не съдържа сведения за това какви са изпитаните литоложки разновидности, от кой от изброените сондажи са те, какви са условията на изпитване, какви методи са прилагани, как са обработени резултатите и т.н.

* Показана е частта от таблицата, в която резултатите се отнасят само за скалите от "горната зона". Тук и нататък от анализите са изключени резултатите за свойствата на вместващите рудните тела скали, които са извън задачите на настоящата статия.

През 2001 г. за установяване на границите на развитие на зоните на обрушаване над добивните участъци, от повърхността, са прокарани три ядкови сондажа, от които са получени образци за изследване на свойствата на представените литоложки разновидности.

В западния участък са прокарани сондажи DDH 234 и DDH 235. Те са с еднаква ориентация ($A=302^\circ$), към зоните на обрушаване. DDH 235 е с дълбочина 81 метра и наклон -52° , сондаж DDH 234 е с наклон -41° и е спрял на дълбочина 64 метра. От с.DDH 234 са изпитани 22, от с.DDH 235-40 образци. Подробна информация за проведените изследвания е дадена в [3]. Тук ще отбележим само обстоятелството, че поместените и използвани за настоящите анализи данни от всички изследвания, които се цитират, са само онези, чиято надеждност на определяне е в интервала 0,61-0,998. В таблица 2 са поместени обобщените резултати от изследванията на ФМС на скалите, по литоложки разновидности, от западния участък.

Двата сондажа пресичат едноименни литоложки разновидности: отначало (до 20-22 m) те преминават през слоеве червенокафяви пясъкливи глинни (за които няма предоставени пробни тела), след което следват слоеве силно променен андезит, с мощност 18-19 m за DDH 234 и 38-40 m за DDH 235, а под тях, до края на сондажите залягат туфи и туфобрекчи.

От таблица 2 е видно, че якостните свойства за едноименните разновидности са както следва: σ_c^{cp} за DDH 234 е ≈ 56 Мра, срещу ≈ 95 Мра за андезитите, пресичани от DDH 235. Средната якост на едноосов натиск (ЕН), е също различна за образците туфобрекчи от двата сондажа - σ_c^{cp} за DDH 234 е ≈ 59 Мра, срещу ≈ 79 Мра за DDH 235.

При това, изпитванията установяват, че за образците от DDH 234 якостните характеристики варират съществено,

докато по DDH 235 има ясно изразена тенденция за нарастване на σ_c , с увеличаване на дълбочината. Якостта на опън σ_t^{cp} за андезитите от DDH 234 е ≈ 7 МПа, съответно за DDH 235 σ_t^{cp} е 13 МПа, т.е. тя следва съотношението, което имат и якостите на ЕН. За андезитовите туфобрекчи якостта на опън σ_t^{cp} е също съизмерима: 8,6-8,7 МПа. Сцеплението C , за андезитите и от двата сондажа е около

12 МПа, а ъгълът на вътрешно триене от обобщените якостни паспорти е φ 40-42°. При туфите и туфобрекчите с андезитов състав сцеплението на образците от DDH 234 е по-голямо $C_{cp} \approx 17$ МПа, срещу 12 МПа за C от DDH 235. За тези скали ъгълът на вътрешно триене, по обобщените паспорти на якост е в границите 8-10°, като изключение 30° Съотношението σ_c / σ_t тук е между 5-7.

Таблица 2.

Обобщени якостни и деформационни показатели на скалите от западен участък

Литоложка разновидност	Сондаж №	Обемна плътност γ_{cp} [MN/m ³]	Якост на ЕН σ_c (МПа) мин. макс. ср.	Якост на опън σ_t (МПа) мин макс. ср.	σ_c / σ_t	Кохезия C_{cp} (МПа) ОНС	Ъгъл на вътр. триене φ_{cp} (°) ОНС	Модул на еластичност E_{cp} [GPa]	Коеф. на Поасон ν_{cp}
Силно променен андезит	DDH 234	0,0262	27,3 87,7 55,7	3,6 10,3 7,0	8,0	12,0	43	23,6 ÷ 54,2	0,24
	DDH 235	0,0261	45,8 115,4 94,5	1,2 19,2 12,5	7,6	11,7	40	17,2 ÷ 22,5	0,21
Туфобрекча андезито	DDH 234	0,0258	28,1 91,5 58,7	6,8 10,0 8,7	6,8	17,1	3 - 8	-	-
	DDH 235	0,0257	43,8 131,8 79,1	2,44 14,0 8,6	5,2	12,1	6 - 10	-	-

Деформационните изпитвания показват, че андезитите в дълбочина имат сравнително по-изразена пропорционалност между напреженията и деформациите в диапазона на натоварване. При деформационните тестове на туфобрекчата, всички изпитани образци показват натрупване на големи остатъчни деформации при цикличните натоварвания. Общо и двете представени разновидности, в началните етапи на натоварване, са с относително голям нелинеен участък-основната маса микродефекти се затварят при напрежения около 6-7 МПа. Обвиващите криви на построените обобщени якостни паспорти са различни. При андезитите са с вид на парабола, докато при туфите и туфобрекчите ъгълът на вътрешно триене намалява до 8-9° и обвиващата е с тенденция за паралелност към оста на нормалните напрежения.

От стратиграфските колонки е установено, че в областта на проучваното направление скалите са интензивно напукани и пресичат тектонски, силно стрити зони - две за DDH 234 и шест за DDH 235, които са с дебелина, изменяща се от 15 до 70 см. Тези обстоятелства обуславят и много ниския показател на получаваната ядка. Скалите са нееднородни, съдържат прожилки от кварцит и хематит, имат ясно изразена слоестост. Туфите и туфобрекчите са грубозърнести и съдържат андезитови късове с големина 1-3 см, с което се обясняват описаните особености в деформационното им поведение.

Третият сондаж, от който за изследване са получени 63 образци е DDH 385, който е прокаран в северната част на централния участък (фиг. 1). Сондажът е ориентиран на ЮИ ($A=155^\circ$), има дължина 143 m и наклон -72° . В таблица 3 са показани резултатите за ФМС на изпитаните скални разновидности.

Якостните изследвания показват, че тук най-високи якостни показатели имат горележащите разновидности-флиш, със $\sigma_{cp} \approx 67$ МПа и червените детритусни варовици, с якост на ЕН $\sigma_c^{cp} = 64$ МПа. В низходящ ред следват туфобрекчите и олигомиктовите споени и неспоени пясъч-

ници със средни якостни σ_c^{cp} , съответно от 29, 19 и 13 МПа. Образците от двуслюдения пясъчник, който заляга най-дълбоко имат средна якост на ЕН $\sigma_c^{cp} = 50$ МПа, съществено варираща в проучвания участък. По принцип, очертаните тенденции се отнасят и за якостта на опън σ_t , която има средни стойности на изменение от ≈ 1 до 7 МПа за най-слабите и най-здравите скали, съответно. Тук, отношението σ_c / σ_t е съществено изменящо се за различните разновидности, най-малко – 5 е при споените, най-голямо – 18, е при неспоените олигомиктови пясъчници.

Деформационни тестове са извършени на представените образци от червените детритусни варовици и двуслюдените пясъчници. Варовиците, най-общо са показали линейно поведение до 15-17 МПа. При разтоварванията остатъчните им деформации са пренебрежимо малки. При изпитванията на двуслюдените пясъчници графиката $\sigma - \epsilon$ притежава голям начален участък на повишена деформируемост и на практика не съдържа такъв с линейна зависимост между прилаганото напрежение и деформацията на образеца.

Обобщените паспорти на якост показват, че обвиващата на пределните Морови окръжности, при обемно напрегнато състояние и за червените варовици и за двуслюдения пясъчник е с параболична форма. Параметрите на обвиващата, получени от тях, са: сцепление $C \approx 14$ и 11 МПа, съответно за варовиците и пясъчника, а ъгълът на вътрешно триене $\varphi = 34-37^\circ$. Силно изменящо се е отношението σ_c / σ_t . За тези изследвания, то е в диапазона 5,4 - 18, като максималното регистрирано е при олигомиктовите пясъчници.

В стратиграфски план DDH 385 пресича седем литоложки вида скали, от които не са изследвани ФМС само на най-горележащите червенокафяви пясъкливи глини, поради липса на представени образци. Сондажът е с нисък коефициент на изваждана ядка. След 32-я метър скалите са силно натрошени или са нарушени от многобройни,

тънки (10-15 cm) тектонски стрити зони, особено интензивни при червените варовици. Скалите са слоести, съдържат

включения и прожилки, както и прослойки от въглища или от органогенен характер.

Таблица 3.

Обобщени якостни и деформационни показатели на скалите от централния участък.

DDH 385								
Литоложка разновидност	Обемна плътност, γ_{cp} [MN/m ³]	Якост на ЕН, σ_c (МПа) мин. макс. ср.	Якост на опън σ_t (МПа) мин. макс. ср.	σ_c / σ_t	Кохезия C_{cp} (МПа) ОНС	Ъгъл на триене φ_{cp} (...°) ОНС	Модул на еластичност E_{cp} [GPa]	Коеф. на Поасон ν_{cp}
Флиш от пясъчници	0,026	55,5 83,0 67,3	7,1 7,1 7,1	9,5	-	-	-	-
Червени детритусни варовици	0,027	42,0 84,0 63,7	4,5 7,2 5,8	11	14	35	57,2 ÷ 69,9	0,24
Туфобрекча андезитова	0,025	27,2 31,2 29,2	1,0 2,7 2,1	13,6	12	10	10,4 ÷ 47,2	0,29
Олигомиктови пясъчници добре споени	0,025	16,4 21,1 18,7	3,3 3,7 3,5	5,4	7,5	24	-	-
Олигомиктови пясъчници не добре споени	0,023	10,3 15,1 12,7	0,5 0,9 0,7	18,1	7	20	-	-
Двуслюден пясъчник	0,026	25,9 86,5 51,4	3,0 8,7 5,5	9,3	11	38	14,3 ÷ 29,4	0,23

През 2003 г., във връзка с проект за наклонена шахта, за проучване на скалите, представени по трасето ѝ, са прокарани пет ядрови сондажа, от които са ни предоставени 75 образци за изследване на ФМС [4].

Сондажите са в източната част на находището и са разположени както следва:

- DDH 236, ориентиран на север ($A = 6^\circ$) с дължина 40 m и наклон – $59,50^\circ$, близо до него DDH 238 с ориентация на СЗ ($A=278^\circ$) и наклон – 53° , дълг е 40 m;
- DDH 382 - вертикален, с дължина 70 m и DDH 383 с дължина 65 m, ориентиран на СИ ($A=38^\circ$) и наклон – 49° ;
- DDH 392 с дължина 73 m, насочен на СЗ ($A=302^\circ$) и наклон – 48° , разположен в зоната между горните двойки сондажи, отстоящи една от друга, приблизително на 150-160 m.

Изпитаните образци по сондажи са: 13 от DDH 236 и DDH 238; 52 от DDH 382 и 383 и 10 образци от DDH 392. Обобщените резултати от тези изпитвания са представени по литоложки разновидности в таблица 4.

От изследванията е видно, че всички представени в района разновидности скали са с много ниски якостни показатели. Якостта на ЕН се изменя средно от 0,7 до малко над 1 МПа. Относително най-здрави са червенокафявите пясъкливи глини, като при това, те са с различна якост в различните райони. Тези, от DDH 238 са най-слаби, докато тези от DDH 236 и DDH 382 и 383 са по-здрави и са съизмерими по този показател. Следващи по якост на ЕН са сивите пластични глини ($\sigma_c^{cp} \approx 0,97$ МПа) и най-слаби са изветрелите вулканити и силно променените андезити, с якост на ЕН около 0,7 МПа. Много ниска също така е якостта на скалите на опън σ_t , която е в границите 0,1-0,3 МПа. Изследванията установяват, че якостните показатели намаляват с нарастване на дълбочината. Отношението σ_c / σ_t за представените в участъка скали е в границите от 2 до 6.

Същата тенденция, на намаляване на показателите в дълбочина, е видна и при водното съдържание [4], което за червените глини е $W=17\%$, за сивите пластични глини е $W=13\%$, а за вулканитите $W=5-6\%$.

Обратно на изменението на якостните свойства и водното съдържание е плътността на скалите, която е по-малка ($\sigma_{cp} = 0,02$ MN/m³), за относително най-здравите, червенокафяви пясъкливи глини и най-голяма $0,03$ MN/m³ - за най-слабите-изветрелите вулканити и променените андезити.

Обобщените паспорти за якост са с типична за тези слаби скали форма. Обвиващата на пределните Морови окръжности е полегата, със средни стойности на параметрите си, както следва: сцеплението C се изменя от 0,4 МПа, за най-здравите, до 0,19 МПа за най-слабите разновидности. Ъгълът на вътрешно триене φ е в границите $24-26^\circ$.

Стратиграфските описания на всички сондажи отбелязват ниския процент и качество на изважданата ядка. В слоевете глини се съдържат късове андезит или окварчени вулканити, които правят образците много нехомогенни. В зоната на вулканитите и андезитите се разкриват мощни, силно раздробени зони, което се засича от всички пресичащи ги сондажи. Скалите са с ярко изразена слоестост и за процепени от прожилки.

Изводи

Анализирана е първоначалната налична информация за ФМС на скалите от покриващия масив, получена при проучването на находището. Тя е в общо съгласие с по-късните изследвания, притежава определена степен на полезност за времето си, но от гледна точка на съвременния етап, е крайно недостатъчна по обем и информативност.

Извършен е общ анализ на резултатите от два цикъла комплексни лабораторни изследвания на свойствата на скалите от т.нар. "горна зона", който обуславя следните обобщения:

А. Най-здравите скални разновидности, изграждащи покриващия комплекс са тези, от участък "Запад". Якостни-

те им характеристики, при това нарастват в дълбочина на масива. Проученият участък има най-прост строеж – покриващ слой от червенокафяви пясъкливи глини, последвани от два мощни слоя - силно променен андезит и залягаща най-отдолу туфобрекча.

Таблица 4.

Обобщени якостни показатели на скалите от източен участък

Литоложка разн. видност	Сондаж №	Обемна плътност $\gamma_{\text{ср.}}$ [MN/m ³]	Якост на ЕН σ_c (МПа) мин. макс. ср.	Якост на опън σ_t (МПа) мин макс. ср.	σ_c / σ_t	Кохезия $C_{\text{ср.}}$ (МПа) ОНС	Ъгъл на вътр. триене $\Phi_{\text{ср.}}$ (°) ОНС
Червенокафяви пясъкливи глини	DDH 236	0,02	0,18 1,23 1,2	0,18 0,20 0,15	6,4	0,3	26
	DDH 238	0,02	0,46	0,14	3,3	0,3	26
	DDH 382	0,02	0,66 1,54 1,13	0,11 0,17 0,14	8,1	0,53	0,17
	DDH 382	0,02	1,51 1,54 1,53	0,15 0,17 0,16	-	0,53	17
	DDH 383	0,02	0,86	0,12 0,21 0,15	5,7	0,53	17
Сиви пластични глини	DDH 382	0,024	0,63 0,85 0,74	0,35	2,1	-	-
	DDH 382	0,024	0,96	0,32 0,46 0,39	2,5	-	-
	DDH 383	0,023	1,0 1,42 1,22	0,21 0,28 0,25	4,9	0,2	27
Изветрели вулканити	DDH 382	0,03	0,62 1,1 0,83	0,11 0,30 0,21	4,0	0,24	24
	DDH 392	0,03	0,35 0,77 0,57	0,06 0,43 0,17	3,4	0,24	24
Силно променен андезит	DDH 383	0,03	0,45 0,93 0,70	0,05 0,29 0,12	5,8	-	-

Масивът е изграден от интензивно напукани скали, с нееднороден състав и е нарушен от тектонски стрити зони.

Б. Строежът на покриващия масив на участък "Централен" е по-сложен. Пресечените от сондаж DDH 385 шест типа скали са със съществени различия в якостните си показатели. Тук, най-отгоре, залягат флиша и червените детритусни варовици, най-отдолу-двуслюдените пясъчници. Това са и най-здравите скали, чиито якостни параметри са съизмерими с тези, от участък "Запад". Между здравите скали, в низходящ ред, са представени туфобрекчи и два слоя олигомиктови пясъчници с намаляващи якостни показатели на натиск и опън в дълбочина.

В деформационните тестове пропорционалност между напрежението и деформациите показват червените детритусни варовици, докато деформационните графики на пясъчниците практически не съдържат линейни участъци. Скалите в дълбочина също са натрошени или нарушени от многобройни стрити зони с малка мощност, съдържат включения и са процепени от въглищни и органогенни прослойки.

В. Най-слаби са горележащите скали на участък "Изток", който по същество е изграден от разновидности глини. Дори представените в дълбочина вулканити и андезити съдържат съществени глинести прослойки и раздробени зони, включения и най-изразена слоестост.

Якостта на натиск на скалите едва надхвърля 1,0 МПа, за най-здравите видове. Якостните параметри общо намаляват в дълбочина.

Деформационните показатели на андезитите обуславят поведение, близко до еластичното, докато туфите и туфобрекчите са склонни към съществени остатъчни деформации.

Независимо от литоложките различия, в геомеханичен аспект, от всички представени разновидности може да се очаква поведение на кохезивни материали: Ниска якост, големи пластични деформации при ниски напрежения, слягане и консолидация и влошаване на механичните им показатели под влияние на подземните води.

Г. Скалният масив, покриващ находище "Челопеч" е със сложен строеж, съставен от над дванадесет разновидности скали, със съществени различия в якостно-деформационните си показатели дори при едноименните литоложки видове. Редуването на слоеве с рязко отличаващи се ФМС, интензивната нарушеност и нехомогенния състав на скалите характеризират масива като силно анизотропен.

Д. Натрупаната нова геомеханична информация обуславя извода, че вместо общоприетото разделяне на терена на находището на западен, централен и източен при анализи на НДС, е по-приемливо той да се районира по свойства като северозападен и югоизточен. Условната граница на това разделение може да се търси по линията, свързваща котите на проучвателните сондажи с.80 и DDH 235 (фиг. 1).

Е. При възникване на ситуация за загуба на устойчивост, най-вероятния механизъм на разрушаване на масива ще е обусловен от преобладаващи придвижвания по структурните нарушения, като процесът ще се инициира по съществуващите разнообразни контактни зони между покриващите и вместващите рудните тела скали.

Заклучение

Анализирана е и е обобщена наличната информация от изследванията на физико-механичните свойства на скалите от горната зона на покриващия масив на находище "Челопеч".

Извършена е геомеханична характеризация на комплекса горележащи скали по механично състояние и якостно-деформационни параметри, в съответствие с неговия геоложки строеж и нарушеност.

Прогнозирано е най-вероятното механично поведение на горележащите скали при ситуация на загуба на устойчивост.

Направените изводи са валидни за зоните, от които са изследваните образци и не позволяват екстраполация на установените характеристики извън тези зони.

Поръчаните от ръководството на рудник "Челопеч" изследвания са необходими и полезни. С извършването им е придобита актуална, комплексна и количествена информация за свойствата на покриващите скали, за изследване и анализ на НДС, при планираното развитие на минните технологии.

Литература

Геоложки доклад за находище "Челопеч", I-773.

"Изследване на геомеханичните условия и развитие на минните технологии" Изследователски отчет по договор 1504/1996 г., НИС при МГУ "Св. Иван Рилски".

"Определяне на якостните и деформационните характеристики на комплекса покриващи скали на находище "Челопеч" чрез изследване на ядки от повърхността" Изследователски отчет по договор 1729/2001г., НИС при МГУ "Св. Иван Рилски".

"Определяне на якостните и деформационни характеристики на скали от находище "Челопеч" чрез изследване на сондажни ядки" Изследователски отчет по договор 1816/2003г. НИС при МГУ "Св. Иван Рилски".