

STRUCTURAL ANALYSIS OF ORIENTED DRILL CORE DATA BY A STEREOGRAPHIC METHOD FOR UNDERGROUND MINING PURPOSES

Dian Strahilov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: d.strahilov@mgu.bg

ABSTRACT. Before starting the progress of any underground works, it is of utmost importance to reliably assess the characteristics of the massif, namely the lithological varieties, the strength of the rocks, hydrogeological conditions, the nature of the discontinued structures, etc. An essential part of this assessment is the study of the discontinuities because, depending on their character and orientation in space in relation to the future mine working, they could pose a direct risk to human life and health and be a significant complication for the work progress. In the current work, this problem is solved by collecting information via a directional drillhole and processing the information by a stereographic method that combines data obtained from surface observations. The data were obtained from an inclined borehole that followed the future capital mine working using the method of measuring auxiliary angles in an oriented core (e.g. Marjoribanks, 2010) and were subsequently processed with the *GEOrient* software freely available on the Internet. The decline will be used as the main mine opening. The mine working is an inclined shaft that will act as a capital work (with a long working life) in an underground mine.

Key words: Structural analysis, oriented core, inclined mine workings, stereographic projection.

СТРУКТУРЕН АНАЛИЗ НА ДАННИ ОТ ОРИЕНТИРАНА СОНДАЖНА ЯДКА ЧРЕЗ СТЕРЕОГРАФСКИ МЕТОД ЗА ЦЕЛИТЕ НА ПОДЗЕМНО МИННО СТРОИТЕЛСТВО

Диан Страхилов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. Преди стартиране на прокарването на всяка една подземна минна изработка е от изключителна важност надеждното оценяване на характеристиките на масива по протежение на изработката, а именно литоложките разновидности, якостта на скалите, хидрогеоложката обстановка, характера на крехките структури и други. Съществена част от тази оценка е изследването на крехките структури, тъй като в зависимост от характера и ориентацията им в пространството спрямо бъдещата минна изработка, те биха могли да представляват пряка опасност за човешкото здраве и съществена трудност при прокарването на изработката. В тази работа се разглежда решаването на този проблем чрез стереографски метод, който съчетава данни, добити от ориентирана сондажна ядка и повърхностни наблюдения. Данните са добити от наклонен сондаж по протежение на бъдещата минна изработка чрез метода на измерване на спомагателните ъгли в ориентирана ядка (Marjoribanks, 2010) и в последствие са обработени със свободно достъпния в интернет софтуер „*GEOrient*“.

Минната изработка представлява наклонена шахта, която ще играе роля на капитална изработка (с дълъг експлоатационен живот) в подземен рудник.

Ключови думи: Структурен анализ, ориентирана ядка, минна изработка, стереографска проекция.

Въведение

Настоящата работа представя данни от находище „Милин Камък“. Находището попада в ареала на Западното Средногорие, в близост до град Брезник и е част от горнокредния Апусени-Банат-Тимок-Средногорски (ABTS) магматичен и металогенен пояс (Popov et al., 2002). Находището е от епитермален, жилин тип с доказани промишлени количества от сребърно-златна руда. Петрологията, геохимията и минералогията на орудяването са добре проучени (Velinov, 1967; Stoykov et al., 2007; Hikov et al. 2017; Sabeva et al., 2017, Nikolova et al. 2019; Nikolova, 2022). Публикувани са и изследвания, насочени към структурните характеристики на находището, в които се описва тенденцията на рудата да се натрупва в рудни стълбове (Marinov et al., 2018; Marinov et al. 2019) и на база на кинематични индикатори са обяснени факторите отговорни за геометрията на рудните тела (Strahilov et al. 2022).

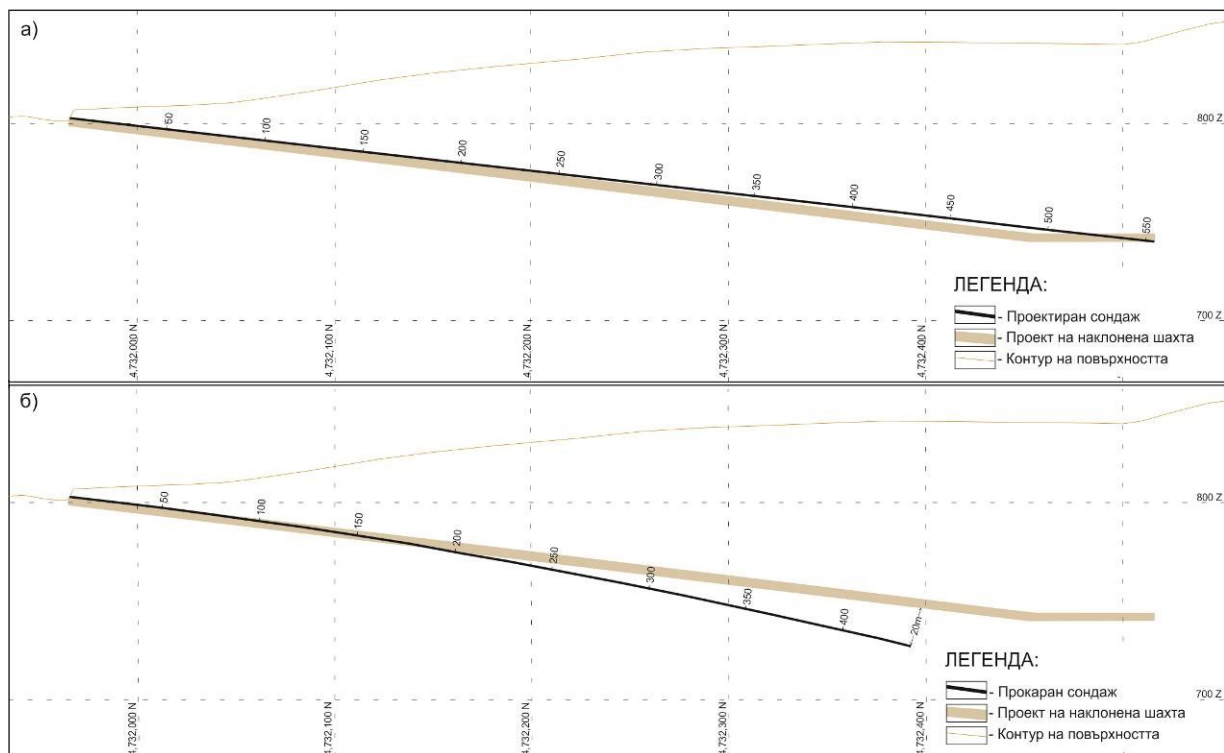
Към днешна дата находището се подготвя за стартиране на добив чрез подземен способ от фирма „Брезник Минералс“, като се очаква в края на тази календарна година да стартират подземни дейности по разкриване на рудата. Първата основна задача е изграждането на подземна минна изработка, която ще

играе роля на втори основен вход/изход в рудника (Наклонена Шахта Запад - НШЗ). Минната изработка представлява наклонена шахта с дължина от 560 метра, азимут 4° , светло сечение 25 m^2 и наклон от 0 до $493 \text{ m} - 6,8^\circ (12\%)$, а от 493 m до края изработката ще бъде с обратен наклон от 3% . Целта на настоящето изследване е да се направи структурна характеристика на масива вместиращ НШЗ.

За да бъде максимално точно оценена както структурната характеристика на масива, така и литоложките и геомеханичните му характеристики, които тук няма да бъдат разгледани, по протежение на НШЗ е проектиран наклонен сондаж с дължина 560 m, азимут 4° и наклон $-6,5^\circ$. Сондажът е проектиран, така, че устието му да бъде в тавана на минната изработка в нулевият ѝ метър, а забоят му в дъното на изработката в краят ѝ (фиг. 1. а).

Основно изложение

За да бъде информацията от сондажа максимално достоверна, от съществено значение при прокарването му, е той да се изпълни с минимално отклонение от проекта.



Фиг. 1. а) Разрез S-N по протежение на НШЗ с изобразен проектния сондаж по протежението и. б) Разрез S-N по протежение на НШЗ с изобразен прокарания сондаж по протежението и. Изображенията са генерирани в GEOVIA Surpac 2022.

Проследяването на реалното направление на сондажа по време на сондирането се осъществи чрез инклинометрия на всеки 9 метра напредък и визуализиране на сондажа в използвания минен софтуер (GEOVIA Surpac 2022).

На 436-тия метър сондажът бе с отклонение спрямо НШЗ от 20 метра, а ако бе завършен с това направление щеше да има отклонение от крайната си цел 40 метра. Това голямо отклонение и неуспешните опити на сондърският екип да коригират направлението наложи спиране на сондажа (фиг. 1 б).

Резултати от изследването

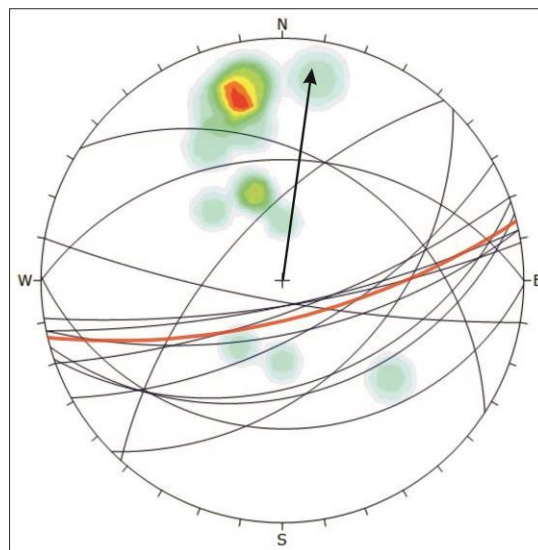
От ориентираната сондажна ядка са измерени общо 149 строежни елемента: 13 разломни плоскости, 77 пукнатини и 59 жили.

Поради сравнително голямата дължина на сондажа, първоначално данните от него бяха изследвани като се разделиха на отделни сегменти, от което се получи еднородни резултати и това позволи данните от сондажа да се изследват съвкупно. Тъй като от геомеханична гледна точка жилите не са от съществено значение тук те няма да бъдат разглеждани.

Анализ на разломите. На територията на находището разломните групи доказано са две – север-южна и изток-североизток-запад-северозападна (Strahilov et al., 2022). При анализа на разломите от сондажа се констатира само изток-североизток-запад-северозападна разломна система (фиг. 2).

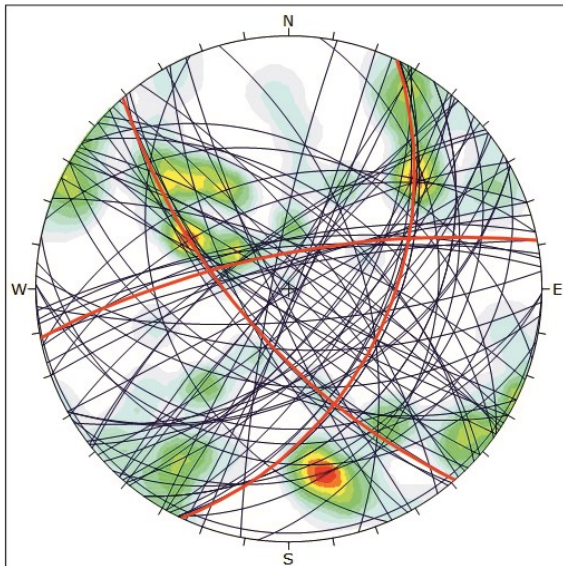
Това се обяснява със северното направление на сондажа, което на практика е успоредно на север-южната разломна система и по този начин прави много трудно установяването и. Това, че разломи от тази система не са отчетени в сондажната ядка не отхвърля съществуването

им. На база на теренните наблюдения, тя със сигурност трябва да се очаква и да се вземе предвид.



Фиг. 2. Стереograma със следите на всички 13 разлома измерени в сондажната ядка. С червена линия е изобразен техният максимум (страна и наклон 166/75), а с черна стрелка е обозначена ориентацията на НШЗ. Долна полусфера, равногълна проекция.

Анализ на пукнатините. Разкритите пукнатини от сондажа имат ясна статистическа групировка в три посоки: североизток-югозапад (със страна и наклон 117/47), северозапад-югоизток (със страна и наклон 230/76) и изток-североизток-запад-югозапад (със страна и наклон 348/74) (фиг. 3). От общата стереограма на пукнатините се вижда, че наклоните са стръмни до вертикални, но се срещат и полегати пукнатини с наклон от около 30° до почти субгоризонтални потъващи към юг.



Фиг. 3 Стереограма със следите на всички 77 измерени пукнатини от сондажа и нанесени с червени линии следите на образуваните три максимума – 117/47, 230/76 и 348/74. Долна полусфера, равноъгълна проекция.

Съгласно добитите данни от изпълнения сондаж и наличните по-стари проучвателни сондажи от геоложкия профил, се изготви геоложки разрез по протежението на изработката (фиг. 4).

Дискусия

Съставеният разрез предоставя лесно и бързо разбираема информация за литоложкия състав, през който ще премине НШЗ, наличието на интензивно променени хидротермални зони, характеризиращи се с високо съдържание на глинеста компонента, в които масивът е със значително занижена якост (зоните на аргилизация), локализиране на тектонските зони и по-големите разломни структури.

Разломи. Групата на север-южните разломи най-вероятно представя съвременните разломни движения (млади активни разломи) демонстрирани в скорошни изследвания на Димитров и Наков (2020) чрез GPS измервания на преместванията. Север-южната посока на движенията е

констатирана и от формата на кинематичният тензор, получен при неотдавнашен кинематичен анализ за територията на находището (Strahilov et al., 2022). Така север-южната система би следвало да се счита за най-опасна, поради неблагоприятното си разположение спрямо посоката на НШЗ и възможността от движения при евентуален сеизмичен импулс. Вероятно напречното разместване пък се обуславя от разломите с посока изток-североизток-запад-югозапад, които пресичат изработката и най-вероятно представляват стари реактивирани сръзвания.

Пукнатини. От минно-техническа гледна точка пукнатините формират блокове с преобладаваща пирамидална форма и остър връх на пирамидата нагоре и основа надолу (фиг. 5), които ще висят в тавана на изработката.

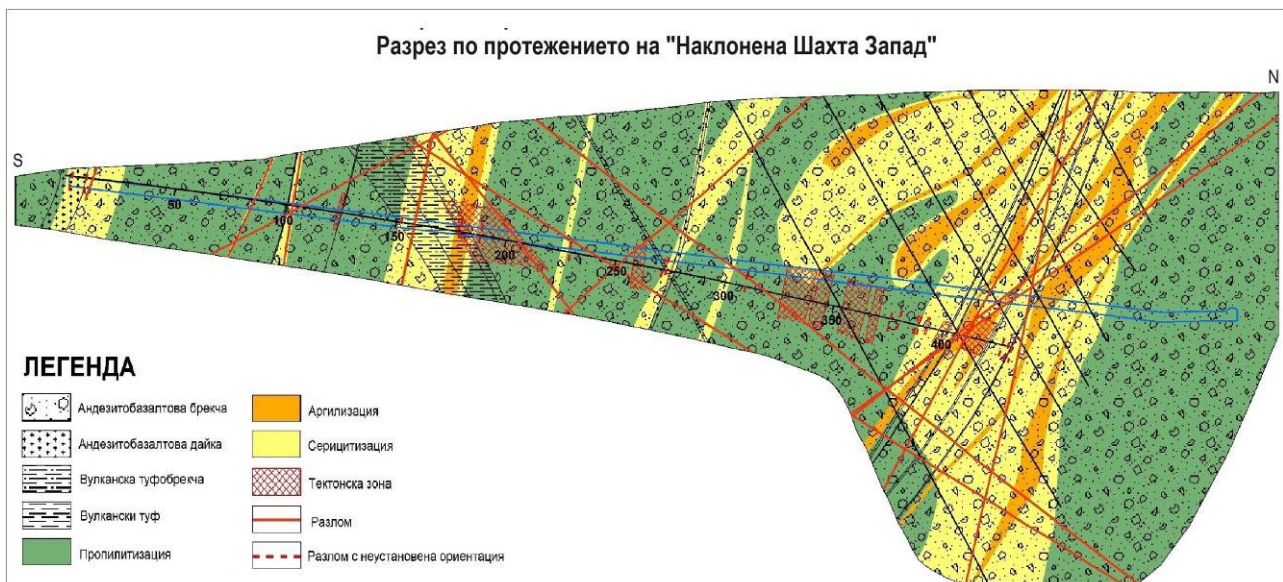
Установените пукнатини със стръмни наклони ще създават висящи пластини в тавана и стените на НШЗ.

От установените 3 пукнатинни системи, най-неблагоприятно е разпространението на североизток-югозападна система поради сравнително надлъжната ѝ посока спрямо НШЗ.

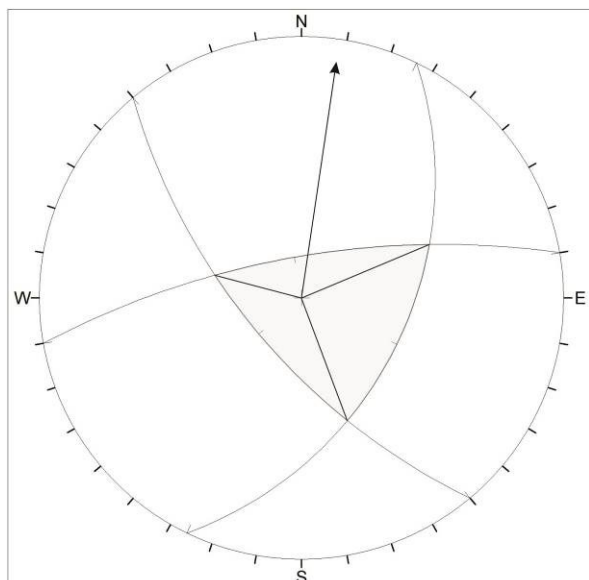
Ъглите, които пукнатините системи сключват с наклонената шахта са:

- североизток-югозападна система - 45°
- северозапад-югоизток - 51°
- изток-североизток-запад-югозапад- 70°

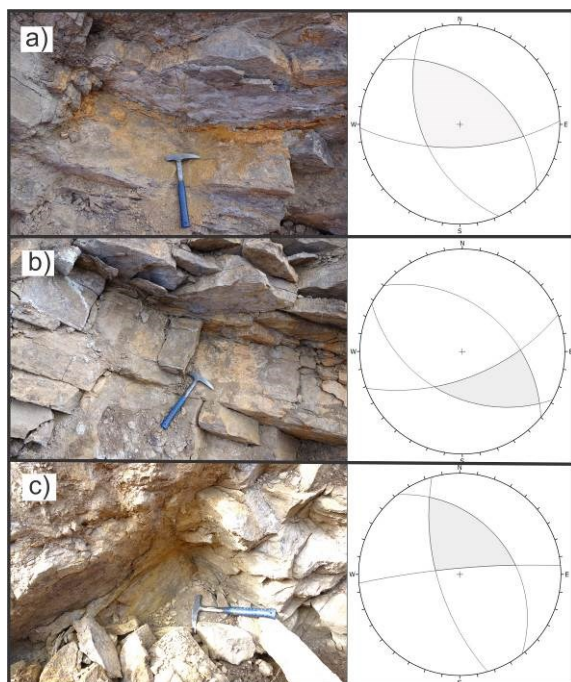
Скалите, през които преминава сондажът, са предимно андезитобазалтови туфобрекчи. Единствено в участъка между 165 и 182 метър, сондажът преминава през участък от слоисти туфи, в които не е възможно ориентирането на ядката и добиване на информация от тях. В повърхностни разкрития, този участък от туфи е добре изучен и на места систематичната напуканост, при пресичането си със слоистостта, образува пирамидални и призматични блокове. Това е проява на типично клиновидно обрушаване (wedge sliding) като формата и геометрията на клиновете може да се види от диаграмите съставени за всеки един от наблюдаваните клинове (фиг. 6).



Фиг. 4 Разрез по протежението на бъдещата Наклонена Шахта Запад.



Фиг. 5 Стереограма с нанесени полюсите на трите максимума на пукнатинните системи от фигура 3, с изчертан клин, който образуват. С черна стрелка е обозначена ориентацията на НШЗ.



Фиг. 6 Фотографии на наблюдавани призматични клинове в туфите и стереограма към всеки с нанесени следите на структурите, които образуват наблюдавания клин. а) Слоистост 040/42, пукнатини 178/64 и 248/48. б) Слоистост 040/42, пукнатини 159/61 и 208/43. в) Слоистост 062/40, пукнатини 355/83 и 254/65.

Съществува чисто гравитационен сценарии на активация по гореизброените плоскости.

При гравитационния сценарии движението на блоковете между пукнатините ще се възпрепятства от триенето на повърхностите в отгоре-лежащите скали. Това задвижване е ограничено от теглото на скалите и от ъгъла на пукнатинно триене. То може допълнително да се стабилизира чрез наситено анкерирание.

Гравитационният натиск е неизбежен и постоянен, като нараства с времето, поради деградацията на скалите над минната изработка.

Благодарности. Благодарности към фирма „Брезник Минерал“ за предоставените данни и съгласието за публикуването им.

Литература

- Dimitrov, N., R. Nakov. (2020). Recent GPS results on the geodynamics of the area around Sofia (Central Western Bulgaria). – Rev. Bulg. Geol. Soc., 81, 3, 241–243. doi 10.3390/app12052682
- Hikov, A., N. Velinova, C. Lerouge, A. Kunov. (2017). Geochemistry of advanced argillic altered rocks in the area of Breznik, Western Srednogorie Unit (Bulgaria). – Geol. Balcanica, 46, 1, 93–108. doi 10.52321/GeolBalc.46.1.93
- Popov, P., T. Berza, A. Grubic, I. Dimitru. (2002). Late Cretaceous Apuseni-Banat-Timok-Srednogorie (ABTS) magmatic and metallogenic belt in the Carpathian-Balkan Orogen. – Geol. Balcanica, 32, 145–163. doi 10.52321/GeolBalc.32.2-4.145
- Sabeva R., V. Mladenova, A. Mogessie. (2017). Ore petrology, hydrothermal alteration, fluid inclusions, and sulfur stable isotopes of the Milin Kamak intermediate sulfidation epithermal Au-Ag deposit in Western Srednogorie. – Bulgaria Ore Geology Reviews, 88, 400–415. doi 10.1016/j.oregeorev.2017.05.013
- Stoykov, S., S. Strashimirov, R. Moritz, D. Dimitrov, J. Todorov. (2007). Mineral composition of the Breznik-Bardoto Au epithermal ore occurrence (preliminary data). – Annual of the University of Mining and Geology St Ivan Rilski, 50, 1, 117–122.
- Strahilov, D., Doichev, P., Dimitrov, I. (2022). Ore shoots formation in a sinistral strike-slip structural environment interpreted from the map of the Au-Ag Milin Kamak deposit in the Breznik area, Southwest Bulgaria. – Rev. Bulg. Geol. Soc., 83, 3, 131-134. doi 10.52215/rev.bgs.2022.83.3.131
- Velinov, I. (1967). Propylites and alunite quartzites in the region of Breznik. – Review of the Geological Institute, Bulgarian Academy of Science, ser. Geochemistry, Mineralogy and Petrology, 16, 205–220.
- Nikolova, D. (2022). Mineral associations in the geochemical halos of Milin Kamak ore deposit, Bulgaria. – Rev. Bulg. Geol. Soc., 83, 3, 31-34. doi 10.52215/rev.bgs.2022.83.3.31
- Nikolova, D., S. Dobrev, K. Ruskov. (2019). Mineralization in Ore Zone 1, Milin Kamak deposit, Western Srednogorie, Bulgaria. – Journal of Mining and Geological Sciences, 62, 1, 11–16. doi 10.52215/rev.bgs.2022.83.3.31
- Marinov I., K. Popov, K. Ruskov, D. Nikolova. (2019). Factor analysis of the geochemical associations in Milin Kamak ore deposit, Bulgaria. – Rev. Bulg. Geol. Soc., 80, 3, 142–144.
- Marinov, I, N. Temelakiev, P. Doychev, K. Popov. (2018). Фактори, контролиращи рудообразователните процеси в златно-сребърно находище Милин камък, Западно Средногорие, Bulgaria. – Rev. Bulg. Geol. Soc., 79, 3, 125–126.
- Marjoribanks, R. (2010). *Geological Methods in Mineral Exploration and Mining* (2nd ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi 10.1007/978-3-540-74375-0