

WACŁAW ANDRUSIKIEWICZ*

Możliwość zmiany sposobu urabiania soli kamiennej w KS Kłodawa

1. Zarys obecnej techniki urabiania soli w KS Kłodawa

Kłodawska żupa solna jest jedyną polską kopalnią wydobywającą sól kamienną z wysadu solnego klasyczną techniką podziemną. Urabianie soli odbywa się tradycyjną techniką strzałową przy wykorzystaniu materiału wybuchowego. Odstawa urobku jest realizowana za pomocą zgarniaczy lub ładowarek samojezdnych (ładowarki oponowe) do otworów zsypanych, którymi sól opuszczana jest na poziom transportowy. Na wylocie otworu zainstalowany jest system dozowników do załadunku wozów kopalnianych. Pociągi z urobkiem transportują sól do zbiornika przyszybowego, skąd trafia ona do skipu i jest ciągnięta na powierzchnię.

Jak widać, ciąg technologiczny jest prosty, co stanowi niewątpliwie o jego zaletach. Jednak ma też dość istotne wady, do których na pierwszym miejscu można zaliczyć niską wydajność. Ma ona swoje szczególne odzwierciedlenie w robotach przygotowawczych, tj. małych postępach drążonych wyrobisk korytarzowych. Ze stosowaniem techniki strzałowej wiąże się kolejna wada systemu polegająca na występowaniu strefy spękań wokół wyrobisk, co w przypadku tej kopalni soli jest zjawiskiem wysoce niepożądanym. Konsekwencją tego zjawiska są duże wymiary filarów międzykomorowych i półek między poziomowych. Kopalnia stosuje tzw. strzelanie centralne, co wynika z zagrożenia wyrzutami gazów i skał oraz zagrożenia metanowego. Taka forma strzelania ma zapewnić bezpieczeństwo pracującej załodze.

* Katedra Górnictwa Podziemnego AGH, Kraków; e-mail: andrus@agh.edu.pl

Stosowany system eksploatacji – prosty i skuteczny – trudno uznać za zaawansowany technicznie. Sprawdzona przez 50 lat technologia w konsekwencji prowadzi do coraz niższego współczynnika wykorzystania złoża, co wynika m.in. z coraz większej głębokości eksploatacji, wymuszającej większe wymiary filarów oraz półek kosztem objętości komór eksploatacyjnych.

2. Zakres badań

Podjęcie decyzji o wdrożeniu urządzeń do mechanicznego urabiania soli powinno zostać poprzedzone odpowiednimi badaniami, których wyniki mogą przesądzić o powodzeniu planowanego przedsięwzięcia. W związku z tym należy uzyskać odpowiedź na pytanie, czy w ogóle jest możliwe mechaniczne urabianie soli w warunkach KS Kłodawa. Aby rozwiązać wszelkie wątpliwości należało określić wybrane parametry soli kamiennej, które stanowią materiał wyjściowy do dalszych rozważań dotyczących doboru właściwego urządzenia do urabiania oraz wstępnie określenia energochłonność tego procesu.

O możliwości urabiania mechanicznego decydują przede wszystkim następujące wielkości:

- wskaźnik skrawalności A [N/cm],
- kąt bocznego rozkruszania ψ [°]
- wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie R_c [MPa]
- wskaźnik zwięzłości f (wskaźnik Protodiakonowa).

Wymienione parametry mają charakter uniwersalny i mogą być porównywalne dla różnych skał, gdyż są to wielkości wyznaczane empirycznie według ustalonej procedury. Można także stosować metody porównawcze odnoszące się wyłącznie do wybranych skał i poprzez analogię prognozować właściwości innych.

Równoległe dla celów porównawczych przeprowadzono badania na próbkach soli sprowadzonych z jednej z kopalń ukraińskich, która prowadzi wydobycie soli poprzez jej mechaniczne urabianie.

2.1. Wskaźnik skrawalności A

Wskaźnik skrawalności A określa się poprzez pomiar oporów skrawania bezpośrednio na caliznie – w tym przypadku solnej (można tu odnieść pewną analogię do pracy noży strugowych). Skrawy pomiarowe wykonuje się nożem wzorcowym na wyrównanej powierzchni ociosu, który przemieszcza się po nim na odcinku pomiarowym. Prostoliniowy ruch noża zabezpieczony jest poprzez jego odpowiednie prowadzenie, czemu służy specjalne oprzyrządowanie stanowiska pomiarowego. Na podstawie pomiaru w czasie skrawania nożem wzorcowym na głębokość 2 cm otrzymuje się, po odpowiedniej obróbce sygnału pomiarowego, średnią wartość siły skrawania P .

Stosunek średniej siły skrawania P do głębokości skrawu g_s zdefiniowany jest jako wskaźnik skrawalności A .

$$A = \frac{P}{g_s} \text{ [N/cm]} \quad (1)$$

gdzie:

- P – średnia wartość siły skrawania [N],
- g_s – głębokość (grubość) skrawania [cm].

Wskaźnik ten interpretuje się w ten sposób, że im jego wartość liczbową jest większa, tym urabialność danego materiału jest trudniejsza.

2.2. Kąt bocznego rozkruszania ψ

W trakcie pomiaru wskaźnika skrawalności jednocześnie wyznaczany jest kąt bocznego rozkruszania ψ , którego celem jest określenie struktury minerału (zwięzły/kruchy).

$$\psi = \arctg\left(\frac{b_s - b}{2g_s}\right) \quad (2)$$

gdzie:

- b_s – szerokość skrawu,
- b – szerokość krawędzi skrawającej noża pomiarowego.

Ponieważ do tej pory w Polsce nie prowadzono tego typu badań soli kamiennej, poniżej przytoczono klasyfikację w oparciu o analogiczne badania węgla kamiennego. Według klasyfikacji CMG KOMAG, węgiel o kącie bocznego rozkruszania mniejszym od 60° zaliczany jest do węgla zwięzłych, natomiast węgiel o kącie bocznego rozkruszania większym od 60° do węgla kruchych (tab. 1).

Opisana metodyka wyznaczania wartości wskaźnika skrawalności A i kąta bocznego rozkruszania ψ na drodze empirycznej służy głównie do określania urabialności węgla kamiennych. W omawianym przypadku została zaimplementowana na potrzeby badania calizny solnej; z powodzeniem może być stosowana poprzez analogię do badania innych minerałów.

2.3. Opory urabiania

Urabianie mechaniczne czy to calizny solnej czy węglowej sprowadza się do metody frezowania lub strugania. Aby w sposób właściwy można było dobrać dla tych urządzeń narzędzia skrawające należy wcześniej określić wartość siły oporu urabiania. Badanie to przeprowadza się w warunkach laboratoryjnych na specjalistycznym stanowisku, po dając próbkę badanego minerału skrawaniu, najczęściej pojedynczym nożem. W wyniku badania uzyskuje się wartości sił oporu urabiania, a także istnieje możliwość wyznaczenia:

Klasyfikacja polskich węgla według CMG KOMAG

The classification of Polish hard coals (after CMG KOMAG)

Lp.	Kategoria węgla według stopnia trudności urabiania	Klasa węgla według wskaźnika skrawalności A [N/cm]			
		węgle kruche $\psi > 60$		węgle zwięzłe $\psi < 60$	
		kategoria	wskaźnik A	kategoria	wskaźnik A
1.	Bardzo dobrze urabialny	I	0–600	–	–
2.	Dobrze urabialny	II	601–1 200	–	–
3.	Średnio urabialny	II	1 201–1 800	II	601–1 200
4.	Powyżej średnio urabialny	IV	1 801–2 400	III	1 201–1 800
5.	Trudno urabialny	V	2 401–3 000	IV	1 801–2 400
6.	Bardzo trudno urabialny	–	–	V–VI	2 401–3 600
7.	Szczególnie trudno urabialny	–	–	VII–VIII	3 601–4 200

- zależności sił oporu urabiania od głębokości i podziałki skrawania,
- zależności siły oporu urabiania dla różnych narzędzi skrawających oraz
- porównanie oporów urabiania dla różnych minerałów w tych samych warunkach skrawania.

2.4. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie R_c

Określenie wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie R_c odbywa się zgodnie z zapisami zawartymi w normie PN-EN 12390-3:2001. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie R_c , której wyznaczenie nie jest skomplikowane, można odnosić do wyników uzyskanych z badania oporów urabiania oraz wskaźnika A . Badanie przeprowadza się na odpowiednio przygotowanych próbkach materiału, które poddano badaniu z uwzględnieniem kierunków uławicenia.

2.5. Wskaźnik zwięzłości f

Jednym z istotnych parametrów mówiących o urabialności minerału, a szczególnie o jego kruszalności, jest wskaźnik zwięzłości f wyznaczany zgodnie z normą BN-77/8704-12 i BN-77/8704-13. Im wartość tego wskaźnika jest większa, tym kruszalność badanego minerału jest mniejsza, czyli trudniej ulega on degradacji w całym procesie urabiania.

3. Wyniki badań

Omówione badania wykonano częściowo *in situ* w Kopalni Soli „Kłodawa”, a częściowo w warunkach laboratoryjnych. Poniżej przedstawiono i omówiono uzyskane wyniki.

3.1. Wyznaczenie wskaźnika skrawalności A i kąta bocznego rozkruszania ψ

Wyznaczenie wskaźnika skrawania A i kąta bocznego rozkruszania ψ przeprowadzono w warunkach dołowych KS Kłodawa na poziomie 750 w polu 3 na granicy z polem 5. Do zabudowy stanowiska badawczego wytypowano trzy miejsca, w których sól kamienna różniła się między sobą zabarwieniem oraz kierunkiem uwarstwienia (pomiar a–c). Na każdym z tych stanowisk przeprowadzono pomiar według następującego schematu:

- zabudowa stojaków, montaż trawersy z wózkiem i siłownikiem hydraulicznym (rys. 1),
- podłączenie zasilania przewodami giętkimi z agregatu hydraulicznego,
- zamocowanie przetworników ciśnień na siłowniku hydraulicznym,
- podłączenie przetworników ciśnień do specjalnego, przenośnego rejestratora pomiarowego,
- włożenie w uchwyt nożowy noża wyrównującego i wykonanie skrawu wyrównującego,



Rys. 1. Widok przyrządu do badania skrawalności na stanowisku nr 1 (sól różowa)

Fig. 1. View of the attachment for machinability testing, stand no 1 (pink salt)

- wymiana noża na nóż pomiarowy i wykonanie skrawu pomiarowego z rejestracją ciśnień na zasilaniu i spływie,
- pomiar głębokości g_s i szerokości b_s skrawu pomiarowego oraz jego wysokości od spągu.

Wyniki poszczególnych pomiarów w rzeczywistości są wartościami ciśnień w układzie hydraulicznym obsługującym stanowisko (zasilanie i spływ) i wymagają odpowiedniej obróbki, by możliwe było wyznaczenie wartości średniego wskaźnika skrawalności A oraz wartości minimalnej A_{\min} i maksymalnej A_{\max} .

Zmierzone wartości głębokości skrawania g_s oraz szerokości skrawu b_s wykorzystano do wyznaczenia wartości średniego kąta bocznego rozkruszania ψ .

W tabeli 2 przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań.

TABELA 2

Wartości wskaźnika skrawalności (A , A_{\min} , A_{\max}) i kąta bocznego rozkruszania ψ

TABLE 2

Values of machinability coefficient and the side grinding angle

Lp.	Stanowisko, sól	Wskaźnik skrawalności [N/cm]			Średni kąt bocznego rozkruszania ψ [°]
		średni A	min. A_{\min}	max. A_{\max}	
1.	Stanowisko nr 1, sól różowa	8 341	2 521	16 672	56°18'
2a.	Stanowisko nr 2, sól biała – pomiar a	3 092	943	6 115	53°08'
2b.	Stanowisko nr 2, sól biała – pomiar b	2 930	1 890	4 470	63°26'
2c.	stanowisko nr 2, sól biała – pomiar c	5 178	2 001	8 425	59°02'
3.	Stanowisko nr 3, sól szara	5 150	2 046	10 757	64°54'

3.2. Wyznaczenie oporów urabiania w warunkach laboratoryjnych

W celu określenia wartości oporów urabiania w funkcji parametrów skrawania przeprowadzono badania oporów urabiania na dwóch rodzajach soli (w sensie jej pochodzenia): soli różowej z Kłodawy oraz soli szarej z kopalni ukraińskiej. Sól ukraińską w badaniu laboratoryjnym potraktowano jako „bazę”, gdyż jak już wcześniej wspomniano, pozyskiwana jest systemem zmechanizowanego urabiania. Próbkę laboratoryjną – „kłódawską” i „bazową” poddano takiej samej procedurze badawczej. Polegała ona na:

- przeprowadzeniu prób skrawania na trzech wzajemnie prostopadłych powierzchniach, a na każdej powierzchni w dwóch prostopadłych kierunkach,

- każdorazowym wyrównaniu powierzchni na której wykonywane będą skrawki o ustalonej, porównywalnej głębokości skrawania oraz przy porównywalnej podziałce skrawania,
- wykonaniu minimum trzech skrawków o tych samych parametrach, przy równoczesnym pomiarze i rejestracji składowych siły i oporów urabiania,
- pomiarze rzeczywistej głębokości i szerokości skrawku.

Na potrzeby badań próbki zastabilizowane zostały w przyrządzie pomiarowym oraz odpowiednio przygotowano powierzchnie pomiarowe, na których prowadzono skrawanie badawcze. Zapisane w urządzeniu rejestrującym wyniki uśredniano i na tej podstawie przeprowadzono stosowne przeliczenia. Procedura ta była powtarzana trzykrotnie (na trzech wzajemnie prostopadłych płaszczyznach każdej próbki), osobno dla każdej z próbek (rys. 2).



Rys. 2. Widok próbki soli różowej (KS Kłodawa) podczas przeprowadzania prób skrawania na jednej z wybranych płaszczyzn

Fig. 2. View of the pink salt sample (Kłodawa) during the machinability test

Wyniki uzyskane bezpośrednio z pomiarów oraz obliczone na podstawie wyników pomiarów wartości głębokości i szerokości dla poszczególnych skrawków po obróbce statystycznej sprowadzają się do uśrednienia zmierzonych wartości poszczególnych parametrów skrawania (głębokość i szerokość skrawku, wartość siły skrawania P_s , siły bocznej P_b , i siły docisku P_d) oraz obliczenia na ich podstawie wartości kąta bocznego rozkruszania ψ_L i wskaźnika skrawalności A_L .

Wyniki pomiarów przedstawiono odpowiednio w tabeli 3.

TABELA 3

Wyniki badania siły oporu urabiania oraz obliczonego wskaźnika skrawalności i kąta bocznego rozkruszania

TABLE 3

The results of: winning resistance testing, calculated machinability coefficient and the side grinding angle

	Siła oporu urabiania P [kN]	Wskaźnik skrawalności A_L [N/cm]	Kąt bocznego rozkruszania ψ [°]
Sól różowa (Kłodawa)	21,8–65,2	5 300–7 500	9–42
Sól szara (Ukraina)	26,9–54,6	4 000–7 000	13–50

3.3. Wyznaczenie wartości wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie R_c i wskaźnika zwięzłości f

Próby wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie R_c próbek soli kamiennej różowej (KS Kłodawa) i szarej (Ukraina) przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 12390-3:2001 w maszynie wytrzymałościowej (rys. 3).



Rys. 3. Widok prasy hydraulicznej wykorzystanej do badań wytrzymałościowych próbek soli

Fig. 3. View of hydraulic press used for salt sample strength testing



Rys. 4. Widok próbki soli szarej (Ukraina) po próbie ściskania

Fig. 4. View of the grey salt sample (Ukraina) after the compression strength test

Przygotowane próbki ściskano w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach (wzdłuż i w poprzek uławicenia), aż do momentu ich zniszczenia. Wartość siły niszczącej została zarejestrowana dla każdej próbki. Przykładowy widok próbki soli szarej (Ukraina) po badaniu pokazano na rysunku 4.

Wartość wskaźnika zwięzłości f według Protodiakonowa próbek soli kamiennej różowej (KS Kłodawa) i szarej (Ukraina) wyznaczono zgodnie z normą BN-77/8704-12 i BN-77/8704-13.

Wyniki przedstawiono w tabeli 4.

TABELA 4

Zestawienie wyznaczonych wartości wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie R_c i wskaźnika Protodiakonowa f dla soli różowej (KS Kłodawa) i szarej (Ukraina)

TABLE 4

The list of the obtained values: uniaxial compression strength R_c , Protodiakonov's coefficient – for pink salt (Kłodawa) and grey salt (Ukraina)

Lp.	Sól różowa (Kłodawa)		Sól szara (Ukraina)	
	R_c [MPa]	f	R_c [MPa]	f
1.	23,13	1,38	29,59	1,42
2.	27,95	1,29	24,86	1,50
3.	29,02	1,20	21,77	1,42

Wnioski

Uzyskane wyniki badań pozwalają na wysnucie następujących wniosków:

- wartość wskaźnika skrawalności mieszcząca się w przedziale 3–8 [kN/cm] wskazuje, że sól kamienna w KS Kłodawa może być urabiana mechanicznie,
- szeroki zakres wartości wskaźnika skrawalności wynika z miejsca prowadzonych badań – najwyższą wartością charakteryzuje się sól różowa, a najmniejszą sól biała,
- wskaźnik skrawalności soli białej jest porównywalny do wskaźnika skrawalności węgla kamiennego,
- wszystkie rodzaje badanej soli charakteryzują się dużą wartością kąta bocznego rozkruszania (w przeciwieństwie do węgla kamiennych),
- w trakcie badania wskaźnika skrawalności nie stwierdzono dużej zmienności oporów urabiania,
- wielkość wskaźnika skrawalności A_L i kąta bocznego rozkruszania ψ_L w sposób zauważalny zależy od powierzchni i kierunku urabiania (dotyczy to obu gatunków badanej soli),
- średnia wartość wskaźnika skrawalności zmierzonego w warunkach laboratoryjnych A_L dla próbki soli różowej (KS Kłodawa) wynosi 6455 [N/cm] i jest większa niż dla próbki soli szarej (Ukraina – $A_L = 5419$ [N/cm]),
- odwrotnie kształtuje się średnia wartość kąta bocznego rozkruszenia ψ_L : jest mniejsza dla próbki soli różowej ($\psi_L = 24^\circ 32'$) niż dla próbki soli szarej ($\psi_L = 35^\circ 29'$), wartość wskaźnika skrawalności A_L zależy również od powierzchni i kierunku skrawania, a różnice są dość znaczne zarówno dla soli różowej jak i szarej,
- badane próbki wykazują właściwości anizotropowe, a wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie zależy od kierunku ściskania (działania siły),
- wartość wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie badanych próbek soli jest porównywalna, z lekką przewagą próbek soli kamiennej różowej (KS Kłodawa),
- wartości wskaźnika zwięzłości f są dla obu próbek soli wysokie, co świadczy o ich niskiej kruszalności i dużych oporach stawianych przy urabianiu,
- różnice w wartości wskaźnika f potwierdzają obserwacje poszczególnych próbek soli po próbie ściskania w prasie: próbka soli różowej (KS Kłodawa) uległa rozkruszeniu na drobne elementy, natomiast próbka soli szarej (Ukraina) po ściśnięciu była tylko popękana,
- uzyskane wyniki upoważniają do tezy, że w procesie urabiania soli różowej (KS Kłodawa) wystąpią duże siły oporu urabiania, a urobek powinien mieć małą ilość frakcji pylastej,
- kłodawska sól kamienna może być urabiana mechanicznie metodą frezowania.

LITERATURA

- Andrusikiewicz W., 2006 – Możliwości modernizacji technik eksploatacji złóż soli. AGH, Kraków (maszynopis niepublikowany).
- Andrusikiewicz W., 2007 – Możliwość mechanizacji eksploatacji soli na przykładzie Kopalni Soli „Kłodawa”. *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* nr 9/440, s. 5–16.
- Andrusikiewicz W., Krauze K., Kotwica K., Poborska-Młynarska K., 2005 – Koncepcja eksploatacji soli różowej w polu nr 5 pomiędzy poziomem 600–750 m w Kopalni Soli „Kłodawa”. Etap I. Koncepcja rozcięcia poziomu 750. AGH, Kraków (maszynopis niepublikowany).
- Krauze K., Kotwica K., Wydro T., Andrusikiewicz W., 2005 – Ocena możliwości zastosowania mechanicznego urabiania soli kamiennej w warunkach Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. AGH, Kraków (maszynopis niepublikowany).

MOŻLIWOŚĆ ZMIANY SPOSOBU URABIANIA SOLI KAMIENNEJ W KS „KŁODAWA”

Słowa kluczowe

Górnictwo solne, mechanizacja urabiania soli, badanie parametrów mechanicznych soli

Streszczenie

Kopalnia Soli „Kłodawa” jest jedyną w Polsce kopalnią pozyskującą sól kamienną metodą „na sucho”. Stosowany system eksploatacji soli jest oparty na sprawdzonych rozwiązaniach techniki strzałowej. W latach osiemdziesiątych XX stulecia kopalnia podjęła próbę wdrożenia kombajnu górniczego, która zakończyła się niepowodzeniem, na które złożyło się szereg czynników, w tym m.in. brak jakichkolwiek badań, które potwierdziłyby jego przydatność w warunkach kłodawskich. Na bazie tych doświadczeń oraz doświadczeń europejskiego górnictwa solnego (głównie ukraińskiego i białoruskiego) podjęto kolejną próbę wdrożenia mechanicznego systemu eksploatacji soli. W tym celu opracowano program badań i prac studialnych, mający dać odpowiedź na pytanie, jakie warunki powinny być spełnione, by planowane zamierzenie zostało zwieńczone sukcesem.

W referacie przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości kłodawskiej soli wykonanych pod kątem planowanej mechanizacji procesu urabiania.

THE POSSIBILITY OF CHANGE OF MINING METHOD IN KŁODAWA SALT MINE

Key words

Salt mining, salt mining mechanization, examination of salt mechanic parameters

Abstract

„Kłodawa” is the only mine in Poland, where salt is excavated by drilling-and-blasting method. In the eighties of XX c. the attempts were made to employ the continuous miner for salt extraction. The attempt was unsuccessful. The main reason was that any previous examination to check the machine usability had not been performed in Kłodawa mine earlier. On the basis of gathered experiences (mainly from Ukraina and Belorus) the next attempt to employ the continuous miner in Kłodawa mine has been performed recently. The programme of investigation were developed to qualify the conditions for mechanization in salt winning process, especially to check the machine workability of rock salt. In the article the results of some salt properties testing are described.