

Włodzimierz SIKORA

Instytut Mechanizacji Górnictwa
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

Wojciech SKOCZYŃSKI

CMG KOMAG - Gliwice

WPLYW WZMOŻONYCH CIŚNIEŃ GÓROTWORU NA URABIALNOŚĆ WĘGLA

Streszczenie. Zagadnienie zmian urabialności węgla w funkcji zmiany ciśnienia górotworu jest przedmiotem badań od wielu lat. Pierwsze badania w tym zakresie przeprowadzono dla naszych węgla w latach sześćdziesiątych na stanowisku badawczym w VVUK w Radwanicach (CSRS). Badania te wykazały wpływ obciążeń pionowych na siły skrawania. Następnie badania te rozszerzono o obciążenia poziome. Pozwoliło to na określenie wielkości sił skrawania w dwuwymiarowym stanie naprężeń. Na podstawie wzorów W. Budryka, M. Boreckiego i M. Chudka wyznaczono naprężenia panujące na ociosie wyrobisk ścianowych dla różnych głębokości zalegania pokładów. Przeanalizowano wpływ tych naprężeń na stan fizyczny ociosu ścianowego, a tym samym na proces urabiania mechanicznego. Wyróżniono 4 typy pęknięcia ociosu w zależności od warunków naturalnych zalegania pokładu. Odpowiedni dobór technologii urabiania do typu pęknięcia ociosu może podwyższyć wydajność kombajnu bębnowego lub struga oraz obniżyć energię jednostkową urabiania. Analiza stanu dotychczasowych badań wskazuje na konieczność dalszego ich rozszerzenia i pogłębienia, zwłaszcza w aspekcie możliwości poprawy składu ziarnowego urobku.

1. WPROWADZENIE

Problem zmian urabialności węgla w zależności od warunków obciążenia pokładów jest od kilku lat wielostronnie badany. Wysuwa się kilka różnych modeli zmian stanu naprężeń w pokładzie. Wynikają one z następujących przyczyn:

- zmiany głębokości zalegania pokładu,
- różnych podporności obudowy w przodkach eksploatacyjnych,
- różnych prędkości przemieszczania frontów eksploatacyjnych.

Wynika stąd, że istnieją czynniki obiektywne i subiektywne. Na czynniki obiektywne nie mamy wpływu, natomiast czynniki subiektywne możemy kształtować w oparciu o przeprowadzone badania teoretyczne, laboratoryjne i dołowe. Realizując zmianę czynników subiektywnych, możemy uzyskać poprawę warunków urabiania lub też pogorszenie.

Dlatego też problem ten winien być rozpatrywany nie tylko w aspekcie warunków naturalnych eksploatacji ale także układu technologicznego, w któ-

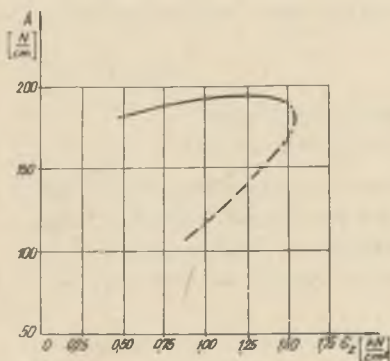
rym parametry poszczególnych maszyn i urządzeń mogą wpływać na urabialność węgla w pokładzie.

Jako przykład można przytoczyć wpływ podporności obudowy zmechanizowanej na pracę urządzenia urabiającego i odwrotnie. Konstrukcja obudowy zmechanizowanej powinna prowadzić do optymalizacji pracy urządzenia urabiającego. Wymaga to z kolei przeanalizowania wzajemnego wpływu ciśnienia górotworu i podporności obudowy zmechanizowanej itp. Musi być określony kompromis między optymalnym utrzymaniem stropu a optymalnymi wynikami urabiania.

2. STAN NAPRĘŻEŃ W POKŁADZIE A JEGO URABIALNOŚĆ

Od kilku już lat badany jest wpływ stanu naprężeń na urabialność węgla w pokładzie, mierzona różnymi wskaźnikami. Badania takie prowadzone były w szeregu instytutach badawczych krajów zajmujących się rozwojem technologii górniczych, a więc ZSRR, CSRR, Francji, PRL itp. Najwięcej badań in situ przeprowadzono w ZSRR, natomiast w laboratoriach w CSRS i PRL.

Badania laboratoryjne prowadzone były i prowadzone są nadal na specjalnie do tego celu zbudowanych stanowiskach badawczych. Już w latach sześćdziesiątych stanowisko takie zbudowane zostało w VVU w Radwanicach CSRS. Na stanowisku tym, w ramach dwustronnej współpracy między VVUU a Głównym Instytutem Górnictwa, prowadzono badania strugalności węgla polskich. Następnie zbudowane zostało stanowisko badawcze w CMG - Komag w Gliwicach, na którym badania prowadzone są do dzisiaj. Na podstawie badań strugalności węgla [1] stwierdzono, że w miarę wzrostu składowej pionowej nacisku na próbkę węglową następował wzrost wskaźnika urabialności A , mierzony wielkością siły skrawania na 1 cm głębokości skrawu (rys. 1).



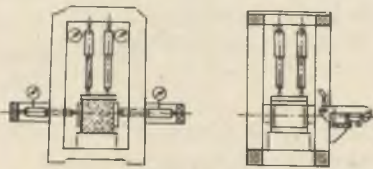
Rys. 1

Z rysunku tego widać wyraźnie, że w miarę przyrostu siły obciążającej P_z wzrasta do pewnej granicy wskaźnik skrawalności A , po czym, po przekroczeniu wytrzymałości bryły węgla następuje obniżenie wskaźnika urabialności. Wytlumaczyć to można spękaniem bryły węgla, przez co następuje nie tylko struganie calizny węglowej, lecz także odłupywanie spękanych fragmentów węgla.

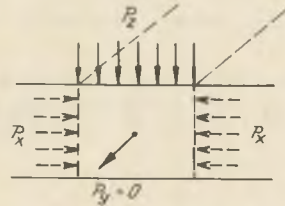
Na rys. 1 przedstawione zostały wyniki badań dla węgla o dużej wytrzymałości, a tym samym trudno urabialnych. Z badań tych wynika wyraźnie, że dla uzyskania korzystniejszych warunków urabiania należy doprowadzić do zniszcze-

nia struktury węgla poprzez odpowiednio wysokie naciski górotworu na pokład.

W następstwie tych badań podjęte zostały w KOMAG Gliwice, a także w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach systematyczne badania mające na celu uchwycenie ścisłych związków ilościowych między stanem naprężeń w próbce węgla a wskaźnikiem urabialności [2]. Badania prowadzone były na stanowisku badawczym, którego schemat przedstawia rys. 2. Badania te tym różniły się od poprzednich, że prócz składowej pionowej P_z włączona została składowa pozioma P_x . W kierunku osi y , gdzie prowadzono pomiary skrawania, naprężenia były równe 0. A zatem stan naprężeń można określić jako dwukierunkowy, tj. $\sigma_z \neq 0$, $\sigma_x \neq 0$, $\sigma_y = 0$, a także stan odkształceń jako dwukierunkowy, tj. $\epsilon_z \neq 0$, $\epsilon_x \neq 0$, $\epsilon_y = 0$. Stan naprężeń w kierunku osi z oraz osi x przy utrzymaniu odkształceń $\epsilon_x = 0$ w przybliżeniu odzwierciedla obciążenie pokładu węgla w wyrobisku ścianowym (rys. 3).

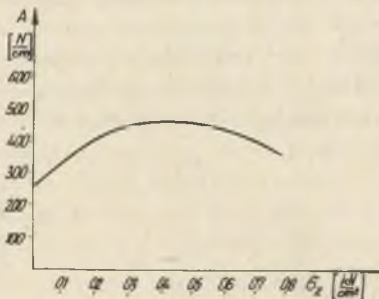


Rys. 2



Rys. 3

W ten sposób zamodelowano stan obciążeń, a w następstwie wynikający z niego stan naprężeń oraz stan odkształceń występujący w pokładzie. Na podstawie tych badań uzyskano interesujące wyniki [3], potwierdzające częściowo wyniki uzyskane poprzednio w badaniach strugalności. Wyniki badań przedstawiono na rys. 4.

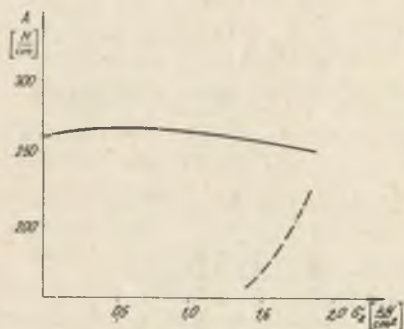


Rys. 4

Z rysunku 4 widać, że w miarę przyrostu naprężenia σ_z oraz naprężenia σ_x do pewnej granicy następuje przyrost wskaźnika urabialności A , po czym obserwuje się stopniowy spadek tego wskaźnika, jednakże nie zmniejsza się on prawie nigdy poniżej wskaźnika urabialności początkowej, tj. w stanie nieobciążonym węgla w próbce. Pomiary prowadzone były do momentu spękania próbki węgla. Jednakże ich wyniki nie były całkowicie zgodne z badaniami poprzednimi ani z dokonanymi obserwacjami dołowymi, z których wynika-

to, że przy obciążeniach przekraczających wytrzymałości pokładu następuje wyraźny spadek wskaźnika urabialności.

W związku z tym W. Biały przeprowadził kolejne badania laboratoryjne [4], w których przyjęte zostało założenie, aby skrawać węgiel na stanowisku badawczym przy obciążeniach powodujących przekroczenie wytrzymałości próbki na ściskanie, a więc po jego spękaniu. I dopiero w tej serii badań potwierdziły się wyniki badań strugalności oraz potwierdziły się obserwacje dołowe. Na rysunku 5 przedstawiono uzyskane wyniki.



Rys. 5

Z przebiegu krzywych widać wyraźnie, że po przekroczeniu granicy wytrzymałości spada wskaźnik urabialności i to spada w sposób wyraźny, osiągając wielkości zdecydowanie poniżej wskaźnika urabialności początkowej, tj. w stanie nieobciążonym. A zatem z badań tych wynika że istnieją możliwości obniżenia wskaźnika skrawalności w sposób odczuwalny także dla maszyny urabiającej, jeżeli doprowadzi się do zniszczenia struktury pokładu.

Wyniki tych badań odgrywać będą poważną rolę w ustalaniu parametrów maszyn i urządzeń wchodzących w układy technologiczne, stosowane aktualnie w górnictwie węgla kamiennego.

3. OKREŚLENIE NAPRĘŻEŃ PANUJĄCYCH W POKŁADZIE

W warunkach dółowych zachodzi stan naprężeń, który został zamodelowany w warunkach laboratoryjnych. Istnieje wiele teorii, które pozwalają na wyznaczenie panującego stanu naprężeń w pokładzie węgla, a szczególnie w partii przyciosowej.

Wzrost naprężeń pionowych może w wielu przypadkach doprowadzić do zniszczenia calizny węglowej, a tym samym do poprawy warunków urabiania węgla [5]. Według teorii fali ciśnienia Budryka naprężenia pionowe w pokładzie można wyznaczyć ze wzoru:

$$\sigma_z = p_z \left(1 + \pi \frac{1}{L} \right)^2 \quad (1)$$

gdzie:

p_z - ciśnienie pionowe, $\left[\frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \right]$

1 - długość wspornika, $[\text{cm}]$

L - długość fali, $[\text{cm}]$

Ze wzoru tego widać, że wzrost naprężeń σ_z zależny jest od stosunku długości wspornika do długości fali oraz od głębokości zalegania pokładu. Według badań Boreckiego, przeprowadzonych w kopalniach węgla kamiennego, naprężenia te wyliczyć można ze wzoru:

$$\sigma_z = p_z \left(1 + \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \right), \quad (2)$$

gdzie:

p_z - ciśnienie pionowe, $\left[\frac{N}{cm^2} \right]$

k_1 - współczynnik oporu calizny węglowej,

k_2 - współczynnik oporu zrobów zawałowych.

Jak widać ze wzoru (2), wzrost naprężeń pionowych w pokładzie wynika przede wszystkim ze stosunku współczynników oporu calizny węglowej oraz ze zrobów zawałowych, co w konsekwencji rzutuje na ugięcie stropu bezpośredniego oraz z głębokości zalegania.

Według Chudka i Stefańskiego [6] naprężenia w caliznie wyznaczyć można ze wzoru:

$$\sigma_z = p_z \frac{R_c}{0,18 p_z + 0,13 R_c} \quad (3)$$

gdzie:

p_z - ciśnienie pionowe, $\left[\frac{N}{cm^2} \right]$

R_c - wytrzymałość węgla na ściskanie $\left[\frac{N}{cm^2} \right]$

Wzór ten wyprowadzony został na podstawie teorii ugięcia wspornika belki stropowej. W oparciu o tę teorię można wyznaczyć wzrost naprężeń w pokładzie, który ma inny przebieg niż u pozostałych cytowanych autorów. Jednakże ze względu na to, że w niniejszej pracy interesuje nas stan naprężeń w strefie ociosowej, można wyniki porównać z wynikami wyznaczonymi na podstawie poprzednich wzorów. W tabelicy 1 przedstawiono wyniki obliczone poszczególnymi wzorami dla głębokości zalegania pokładu 800 m.

Porównując obliczone poszczególnymi wzorami wielkości naprężeń pionowych można stwierdzić, że największe wynikają z teorii Budryka, natomiast pozostałe są do siebie zbliżone.

Wytrzymałość próbek z pokładów węgla na ściskanie waha się w dość szerokich granicach, a mianowicie od około $600 \frac{N}{cm^2}$ do $3000 \frac{N}{cm^2}$ i więcej. Wyniki te uzyskano przy ciśnieniu próbek w jednoosiowym stanie naprężeń. Według opinii niektórych autorów przy dwuwymiarowym stanie naprężenia, a tak stan występuje na ociosie wyrobiska ścianowego, wytrzymałość próbek na ści kamie jest 2-3 razy większa. A zatem można się spodziewać, że wytrzymałość węgla w pokładzie w ociosie wyrobiska ścianowego wynosić może od $1200 \frac{N}{cm^2}$

do $6000 \frac{N}{cm^2}$, a nawet więcej. Stąd, też, nawet przy tej podwyższonej wytrzymałości na ściskanie naprężenia występujące w ociosie na głębokości 800 m (przedstawione w tabelicy 1) są wystarczające dla zniszczenia struktury pokładów, a co za tym idzie, obniżać będą wskaźnik urabialności A.

Tabela 1

1. Według Budryka	$\frac{1}{L}$	0,05	0,1	0,2	0,3	
	$\left[1 + \pi \frac{1}{G}\right]^2$	1,34	1,73	2,65	3,57	
	$\sigma_z \left[\frac{N}{cm^2}\right]$	2680	3460	5300	7540	
2. Według Boreckiego	$\frac{k_1}{k_2}$	1	2	3	4	5
	$\left(1 + \sqrt{\frac{k_1}{k_2}}\right)$	2	2,4	2,75	3	3,25
	$\sigma_z \left[\frac{N}{cm^2}\right]$	4000	4800	5500	6000	6500
3. Według Chudka	$R_c \left[\frac{N}{cm^2}\right]$	500	1000	1500		
	$0,18p_2 + 0,13R_c$	1,17	2,04	2,70		
	$\sigma_z \left[\frac{N}{cm^2}\right]$	2340	4080	5400		

W dotychczasowych rozważaniach pominięto wpływ obudowy zabudowanej w wyrobiskach ścianowych. Obudowy, zwłaszcza zmechanizowane, cechują się bardzo zróżnicowanymi podpornościami mierzonymi w $\frac{kN}{m^2}$. Obudowy zmechanizowane produkowane w Polsce mają podporność dochodzącą do $900 \frac{kN}{m^2}$.

Wstępne badania wykazały wpływ podporności obudowy na obciążenie pokładu. W swoich badaniach M. Major wykazał, że w określonych warunkach górniczych [7] obudowa o wyższej podporności powoduje niższe obciążenie pokładu niż obudowa o niższej podporności. Badania prowadził w ścianach, w których zainstalowana była obudowa FAZOS-70 i FAZOS-150. Miarą zmiany obciążenia był wychód zwiercin z wierconego otworu. Równoległe prowadzone były pomiary dynamometryczne. Pomiary te uznać można za wstępne potwierdzenie istniejących hipotez o wpływie podporności obudowy na obciążenie pokładu.

Obecnie brak jest dokładnego rozeznania tego problemu na podstawie pomiarów jak również nie ma dostatecznie dokładnych rozwiązań teoretycznych,

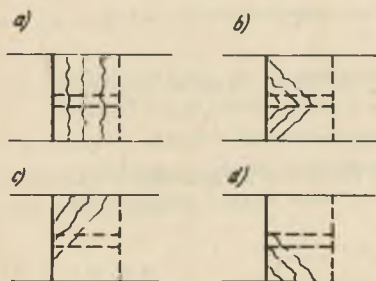
tym niemniej problem ten nabiera coraz większego znaczenia i jest przedmiotem badań w wielu krajach w tym również w Polsce.

4. OKREŚLENIE WARUNKÓW PRACY MASZYN ŚCIANOWYCH W ŚWIETLE BADAŃ ZMIAN URABIALNOŚCI

Jak wynika z przeprowadzonych badań laboratoryjnych, istnieje możliwość poprawienia współczynnika urabialności poprzez wytworzenie odpowiedniego stanu naprężeń w pokładzie.

W rzeczywistych warunkach dołowych istnieje kilka modeli pękania pokładu. Zależy to od struktury petrograficznej pokładu. Ponieważ pokłady węgla składają się z różnych warstw petrograficznych jak również z różnych przerostów skały płonnej, więc i ich zachowanie się pod wpływem obciążeń będzie różne.

W zależności od układu warstw petrograficznych można wyodrębnić cztery zasadnicze typy pękania ociosu węglowego (rys. 6).



Rys. 6

Spękanie typu "a" występuje wtedy, gdy między pokładem a stropem i spągiem istnieje warstwa skalna o charakterze plastycznym. Następuje w tym przypadku powstawanie bloków pokładu w kształcie płyt o różnej grubości. Tego typu spękania stanowią ułatwienie dla urabiania, głównie przy zastosowaniu strugów, ale także za pomocą kombajnów bębnowych. Spękania typu "b" występują w przypadku "przypieczonej" warstwy węgla do stropu i spągu. Jest to typowy rodzaj spękania, obserwowany także na próbkach badanych

na prasie z tarciami przy podstawach. W tym przypadku występuje ułatwienie urabiania w środkowej części pokładu, co zwłaszcza w pokładach cienkich i średniej grubości może stanowić ważny element wzrostu wydajności maszyny urabiającej.

Spękanie typu "c" występuje w przypadku istnienia warstwy poślizgowej przy stropie. W tym przypadku następuje odspajanie naroży pokładu w górnej jego części w postaci bloków o objętości przekraczającej nawet 1 m^3 . Można powiedzieć, że następuje tutaj jak gdyby samourabianie części pokładu, jednak pozostałe części pokładu są całkowicie odprężone. Odspojone bloki węgla muszą być dodatkowo urabiane. Ten rodzaj spękania pokładu stwarza raczej trudności technologiczne i nie może być uznany jako ułatwiający urabianie.

Spękanie typu "d" jest odwrotnością spękania typu "c". Występuje przy istnieniu warstwy poślizgowej przy spągu pokładu. W takim przypadku nastę-

puje odspojenie naroża pokładu przy spągu. Ułatwia to urabianie zarówno strugiem, jak i dolnym bębnum kombajnu. Istotnym problemem jest ustalenie szerokości strefy spekanej. Dla jej określenia przeprowadzonych zostało wiele badań, szczególnie w instytutach badawczych w ZSRR. Na podstawie kilku tysięcy pomiarów stwierdzono, że dezintegracja pokładu ma miejsce na szerokości zabioru wynoszącej 0,3-0,5 grubości pokładu, z tym że optymalne warunki urabiania znajdują się w przedziale od 0 do 0,3 grubości pokładu. W badaniach tych, prowadzonych różnymi metodami, w tym także metodą skrawania, stwierdzono stopień odprężenia pokładu, który jest różny dla różnych typów węgla zalegającego w pokładzie.

Badania te potwierdzają w całej rozciągłości istniejące teorie, pozwalające na określenie wielkości naprężeń w czole ściany jak również strefy dezintegracji pokładu.

W praktyce w kopalniach obserwuje się wpływ ciśnienia górotworu na urabialność węgla w pokładach [8]. Szczególnie fakt ten można było zaobserwować, gdy w przodkach stosowana była obudowa indywidualna i poprzez jej odpowiednie zagęszczenie lub rozrzedzenie można było uzyskiwać lepsze wyniki urabiania.

Obecnie przy masowym stosowaniu obudów zmechanizowanych o wysokiej podporności, zarówno wstępnej jak i roboczej, warunki urabiania pogorszyły się, co między innymi powoduje stały wzrost mocy stosowanych maszyn urabiających.

Prowadzone aktualnie badania pozwalają przewidywać, że poprzez zmiany podporności obudowy zmechanizowanej w przodkach ścianowych można będzie wpływać na urabialność węgla w pokładzie. Przeprowadzone badania laboratoryjne dają podstawy do prowadzenia dalszych badań dołowych, a następnie konstrukcyjnych w kierunku opracowania obudów o regulowanej podporności.

WNIOSKI

1. Przeprowadzone badania laboratoryjne urabialności węgla wykazały zależność wskaźnika urabialności A od obciążenia próbki w dwuwymiarowym stanie naprężeń.
2. Wydatne obniżenie wskaźnika A obserwuje się przy obciążeniach przekraczających naprężenia krytyczne w próbce, tzn. przy skrawaniu spekanej już bryły węgla.
3. Istnieją analogie ilościowe między stanem naprężeń uzyskanym w laboratorium a stanem naprężeń w ociosie calizny węglowej.
4. Wykorzystanie wyników badań laboratoryjnych w praktyce wymagać będzie pogłębienia badań dołowych, zwłaszcza badań nad wpływem podporności obudów zmechanizowanych na obciążenie calizny węglowej.

LITERATURA

- [1] Sikora W.: Strugalność węgla. Komunikat GIG nr 687, Katowice 1978.
- [2] Biały W.: Stanowisko badawcze do badania urabialności węgla. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 137, Gliwice 1985.
- [3] Biały W.: Wskaźnik urabialności A_{ψ} uwzględniający rzeczywisty kształt przekroju bruzdy skrawu pomiarowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 137, Gliwice 1985.
- [4] Praca zbiorowa: Badania urabialności węgla. Politechnika Śląska Gliwice (niepublikowane).
- [5] Borecki M., Chudek M.: Mechanika górotworu. "Śląsk", Katowice 1982.
- [6] Chudek M., Stefański L.: Obciążenie i naprężenia w otoczeniu wyrobiska ścianowego... Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo z. 128, Gliwice 1983.
- [7] Major M.: Obciążenie pokładu przed frontem ściany i wpływ tego obciążenia na wybrane elementy techniki eksploatacji. Przegląd Górniczy Nr 1 1984.
- [8] Sikora W., Major M.: Wpływ podporności obudowy na wychód sortymentów. Przegląd Górniczy, (w druku).
- [9] Sikora W.: Gewinnbarkeit der Kohle unter erhöhtem Gebirgsdruck, Proceedings of the 9th Plenary Scientific Session of the IBSM, Varna, June 1985.

Recenzent: Doc. dr inż. Karol Reich

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1986 r.

ВЛИЯНИЕ УВЕЛИЧЕННЫХ ДАВЛЕНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД НА ЗАРУБАЕМОСТЬ УГЛЯ

Р е з ю м е

Проблема изменений зарубаемости угля в функции изменения давления горных пород является предметом исследований уже много лет. Первые исследования по этой проблеме были проведены в 60-х годах на исследовательском стенде ВУУК в Радваняцах (ЧССР). Эти исследования показали влияние вертикальных нагрузок на силы резания. Затем исследования расширено о горизонтальные нагрузки. Это позволило на определение величины сил резания в двумерном состоянии напряжений. Опираясь на формулы В. Будрыка, М. Борещкого, М. Худка, найдены напряжения действующие на откосе штрековых выработок на разных глубинах залегания пластов. Проанализировано влияние этих напряжений на физическое состояние откоса забоя, а тем самым на процесс механической зарубаемости. Выделено 4 типа трескания откоса в зависимости от натуральных условий залегания пластов. Соответственный подбор технологии зарубаемости для типов трескания откосов может повысить производительность комбайна или струга и понизить единичную энергию зарубаемости. Анализ предшествующих исследований показывает необходимость их дальнейшего расширения и углубления, а более всего в аспекте возможности улучшения состава зерновой выработки.

INFLUENCE OF BIGGER ROCK PRESSURES ON COAL GETTABILITY

S u m m a r y

The problem of coal gettability changes in the function of rock pressure change has been considered for many years. The first tests were made for our coal in the 60-ties on a test stand in VVUK in Radwanice CSRS. The tests showed the influence of vertical loads on cutting forces. Next tests included also horizontal loads. It allowed to define cutting forces in two-dimensional state of stresses. On the base of the formulae by W. Budryk, M. Borecki and M. Chudek the stresses occurring on the side of work for different depths of strata deposition have been defined. The influence of these stresses on physical state of the side of work, and by this on the process of mechanical mining has been analyzed. Four types of cracking of side of work has been found according to natural conditions of deposition of strata. Mining technology selected properly for a given type of side of work cracking may increase mechanical miner or plane capacity and decrease winning energy. Analysis of the tests that have been made so far points to the necessity of making further tests, particularly concerning possibility of making mine run contents better.