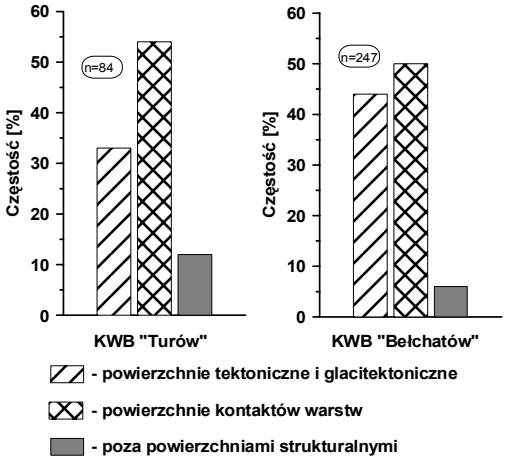
Górnictwo i Geoinżynieria • Rok 31 • Zeszyt 3/1 • 2007

Robert Kaczmarczyk, Stanisław Rybicki**

POWIERZCHNIE STRUKTURALNE W GÓROTWORZE ZŁÓŻ WĘGLA BRUNATNEGO, ICH CHARAKTERYSTYKA I WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOMECHANICZNE

1. Wprowadzenie

Wyniki badań i obserwacji prowadzonych na terenie kopalń odkrywkowych węgla brunatnego „Turów" i „Bełchatów" oraz analiza danych archiwalnych wskazują na istnienie silnych związków pomiędzy budową geologiczną nadkładu a procesami osuwiskowymi w tych kopalniach. Osuwiska powstałe na skarpach wyżej wymienionych kopalń odkrywkowych w zdecydowanej większości przypadków, bo niemal w 90% ogółu i prawie w 100% dużych osuwisk, zachodziły na powierzchniach strukturalnych [7] (rys. 1).



Rys. 1. Częstotliwość osuwisk zachodzących po powierzchniach strukturalnych

* Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Mimo iż właściwości gruntu na powierzchniach strukturalnych mają bardzo istotny wypływ na warunki stateczności zboczy, to w wielu projektach badań geologiczno-inżynierskich nie poświęca się im dostatecznej uwagi. Badania prowadzone w fazie rozpoznania i dokumentowania złoża węgla brunatnego oraz w okresie jego eksploatacji, w oparciu o które projektuje się geometrię skarp, prowadzone były na ogół w obrębie poszczególnych warstw górotworu, a jedynie sporadycznie brano pod uwagę parametry wytrzymałościowe na powierzchniach strukturalnych [3, 4].

Celem prezentowanych niżej badań było rozpoznanie wykształcenia strukturalnego wybranych powierzchni, określenie parametrów wytrzymałości na ścinanie na próbkach z tych powierzchni oraz określenie czynników determinujących zmiany parametrów wytrzymałości na ścinanie i wzajemnych relacji między nimi. Do badań wytypowano powierzchnie, które można obserwować na całym lub znacznym obszarze obydwu odkrywek (np. kontakty ilasto-węglowe w spągu kompleksów węglowych), bądź takie powierzchnie, po których najczęściej dochodzi do procesów osuwiskowych.

2. Charakterystyka powierzchni strukturalnych w kopalniach węgla brunatnego „Turów" i „Bełchatów"

Powierzchnie strukturalne wykazują stosunkowo duże zróżnicowanie pod względem genezy, rozległości, właściwości, wykształcenia i położenia przestrzennego w obrębie rozpatrywanego górotworu, mogą być także klasyfikowane według różnych kryteriów, np. genetycznych, litologicznych, sedymentologicznych, geologiczno-inżynierskich i in. Prace badawcze prowadzone na skarpach odkrywek pozwoliły na opracowanie klasyfikacji powierzchni strukturalnych [5, 7].

Klasyfikacja ta jest oparta na dwóch kryteriach:

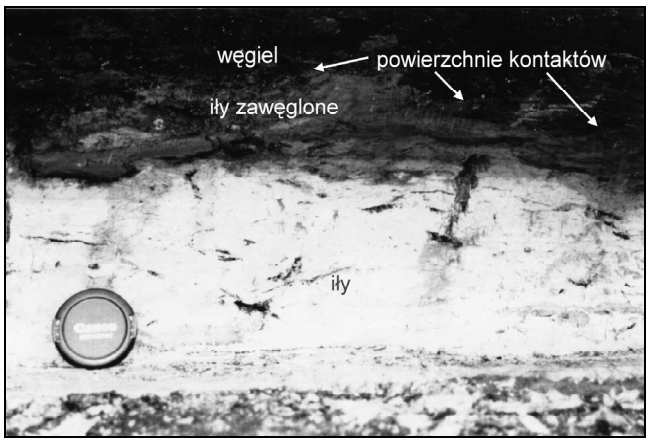
1) genetycznym (uwzględnia sposób powstania powierzchni strukturalnej i procesy, jakim podlegała),
2) geologiczno-inżynierskim (uwzględnia wpływ różnych cech powierzchni na wytrzymałość i stateczność górotworu).

W praktyce, w górotworze kopalń odkrywkowych można wyróżnić cztery zasadnicze typy powierzchni strukturalnych:

1) powierzchnie akumulacyjne,
2) degradacyjne,
3) deformacyjne,
4) antropogeniczne.

Powierzchnie akumulacyjne to powierzchnie o normalnym stratygraficznym następstwie warstw. Cechą charakterystyczną takich powierzchni jest na ogół brak wyraźnej granicy pomiędzy kontaktującymi się utworami (rys. 2). Najczęściej ma tu miejsce stop-

niowe (strefowe) przejście od jednego do drugiego rodzaju gruntu, związane ze stopniową zmianą barwy, uziarnienia, udziału domieszek. Zarówno w Kopalni „Turów", jak i „Bełchatów", typowe powierzchnie o charakterze akumulacyjnym stanowią strefy przewarstwień ilasto-węglowych, występujące najczęściej w spągu kompleksów węglowych. Na terenie obydwu kopalń strefy te są wykształcone podobnie, stropowe warstwy kompleksów podwęglowych stanowią iły przechodzące stopniowo w iły zawęglone, a następnie w węgle zailone i węgiel brunatny kompleksów węglowych. Strefa przejścia (kontaktu) pomiędzy poszczególnymi utworami jest nieostra, rozmyta, zwykle ma tu miejsce stopniowy wzrost zailenia węgli.



Rys. 2. Przykład wykształcenia powierzchni strukturalnej typu akumulacyjnego

Powierzchnie degradacyjne powstają najczęściej w wyniku erozji wodnej lub lodowcowej, są one z reguły ostre (rys. 3), wyraźnie zaznaczone.

Rys. 3. Przykład wykształcenia powierzchni strukturalnej typu degradacyjnego

Strefy kontaktowe o charakterze degradacyjnym (erozyjnym) są charakterystyczne zwłaszcza dla stropowych części pokładów węgla i osadów kompleksów nadwęglowych (np. kontakty zwietrzelin ilastych podłoża mezozoicznego z osadami kompleksu ilasto-piaszczystego), gdzie — jak wynika z obserwacji terenowych — charakteryzują się na ogół znaczną rozległością. Powierzchnie strukturalne o charakterze erozyjnym występują także w spągu kompleksów węglowych, lecz w tych rejonach mają one na ogół znacznie mniejsze rozmiary.

Powierzchnie deformacyjne (tektoniczne i glacitektoniczne) wykazują zwykle większe zróżnicowane pod względem wymiarów, występują tu zarówno uskoki o stosunkowo niewielkich wymiarach w obrębie poszczególnych warstw geologicznych, jak i duże deformacje tektoniczne (oddzielające osady różnych epok), jak np. północny i południowy uskok brzeżny w kopalni Bełchatów.

Powierzchnie antropogeniczne są to powierzchnie powstałe w trakcie eksploatacji złoża poprzez zwałowanie, nasypywanie, składowanie gruntów na podłożu rodzimym lub nasypowym. Zasadniczą część powierzchni strukturalnych typu antropogenicznego w odkrywkach węgla brunatnego stanowią powierzchnie kontaktów gruntów zwałowiska wewnętrznego z gruntami rodzimymi podłoża lub z niewyeksploatowanymi (pozabilansowymi) fragmentami węgla. Najczęściej są to powierzchnie kontaktów: grunt zwałowy — ił, grunt zwałowy — piasek, grunt zwałowy — węgiel, ił — piasek, węgiel — piasek itp.

W obrębie nadkładu złóż występują także powierzchnie strukturalne o charakterze mieszanym, np. erozyjno-sedymentacyjne, akumulacyjne lub degradacyjne zmienione w wyniku procesów tektonicznych, glacitektonicznych, ale także procesów technologicznych; są to np. powierzchnie odkłucia, zlustrowania i przemieszczenia na kontaktach sedymentacyjnych lub erozyjnych.

3. Właściwości geotechniczne powierzchni strukturalnych

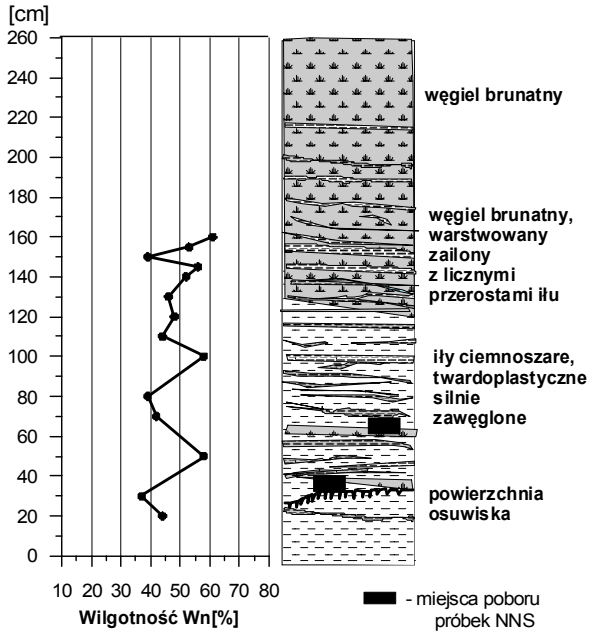
Rozpoznanie geotechnicznych własności powierzchni strukturalnych stanowi złożony problem, ponieważ na uzyskiwane wyniki badań wpływa znacznie więcej czynników, niż ma to miejsce w gruntach jednorodnych.

Na wartości oporu ścinania wpływają między innymi takie czynniki, jak [5, 6, 8]:

— rodzaj kontaktujących się utworów,
— wytrzymałość na ścinanie tych utworów poza powierzchniami strukturalnymi,
— typ powierzchni strukturalnej,
— stopień naruszenia powierzchni strukturalnej,
— stopień plastyczności gruntu na kontakcie i w jego otoczeniu,
— zawodnienie powierzchni oddzielności,
— podatność gruntów na rozmakanie,
— historia ruchów masowych,

— wytrzymałość na powierzchniach osuwiskowych lub paleoosuwiskowych,
— rodzaj materiału wypełniającego szczelinę,
— morfologia powierzchni strukturalnej,
— gęstość spękań i ich orientacja względem powierzchni strukturalnej.

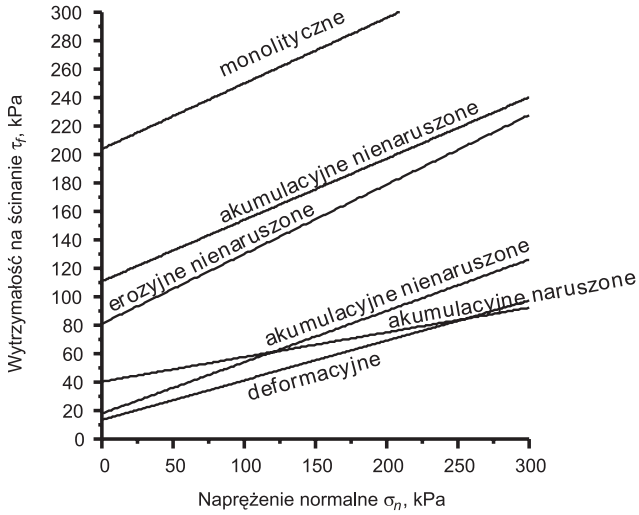
W badanych odkrywkach węgla brunatnego górotwór jest mniej lub bardziej niejednorodny, nawet w obrębie jednej głównej powierzchni strukturalnej można zaobserwować duże zróżnicowanie jej wykształcenia (rys. 4). Występujące w jego obrębie powierzchnie strukturalne są niejednokrotnie zaburzone tektonicznie lub glacitektonicznie, zafałdowane, spękane, zlustrowane, często także zawodnione, co dodatkowo przyczynia się do ich wykorzystania przez ruchy masowe gruntów. Wskazanie, które z wyżej wymienionych czynników mają decydujący wpływ na parametr wytrzymałości na ścinanie, a które z nich mają znaczenie drugorzędne, nie zawsze jest bezsporne, albowiem końcowy rezultat badań jest zwykle wynikiem wzajemnych relacji między poszczególnymi czynnikami.



Rys. 4. Przykład zróżnicowania litologicznego w strefie kontaktu I pokładu węgla z kompleksem iłów podwęglowych w KWB „Turów"

Wyniki dotychczasowych prac (oparte na analizie parametrów geotechnicznych ok. 300 próbek, pobranych z 11 powierzchni strukturalnych) pozwalają stwierdzić, że czynnikiem odgrywającym najistotniejszą rolę w kształtowaniu wartości oporów ścinania na powierzchniach strukturalnych jest charakter naruszenia powierzchni (nienaruszone, naruszo-

ne bez przemieszczenia, naruszone z przemieszczeniem). Ważną rolę odgrywają również takie czynniki, jak: typ powierzchni strukturalnej, stan konsystencji oraz jej morfologia. W badanych odkrywkach naruszenie powierzchni strukturalnych było wynikiem zarówno naturalnych procesów geologicznych, takich jak ruchy tektoniczne, glacitektoniczne, paleoosuwiskowe, jak i procesów wtórnych (antropogenicznych), będących wynikiem prowadzonych prac górniczych. Odkrywkowy system eksploatacji złóż węgla brunatnego związany jest bowiem z koniecznością wydobycia i przemieszczenia bardzo dużych mas gruntów. Zdejmowanie nadkładu złoża wpływa na zmianę istniejącego w górotworze stanu naprężeń, czego rezultatem jest wzrost odprężonych objętości gruntów i skał. Wzrost takich objętości gruntów powoduje zmniejszenie wytrzymałości na ścinanie w obrębie całego odprężonego górotworu, niemniej spadek ten zaznacza się w sposób szczególny na głównych powierzchniach strukturalnych. Niejednorodność budowy strukturalnej górotworu wpływa na zróżnicowanie przyrostów objętości pomiędzy poszczególnymi warstwami i w konsekwencji powoduje powstanie dodatkowych naprężeń stycznych na kontaktach różniących się warstw lub na innych powierzchniach strukturalnych [2]. Zjawisko to jest szczególnie widoczne w przypadku kontaktów utworów o różnej sprężystości, np. węgla i iłu, gruntów przekonsolidowanych i normalnie skonsolidowanych, oraz w obrębie pokładów węgla (np. powstawanie szczelin odprężeniowych). Prowadzi to często do znacznego zmniejszenia spójności na takich powierzchniach (rys. 5).



Rys. 5. Wytrzymałość na ścinanie na różnych powierzchniach strukturalnych z KWB „Turów" i KWB „Bełchatów"

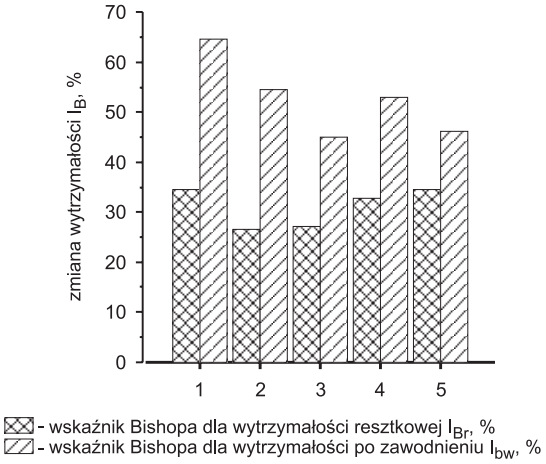
Przy projektowaniu skarp dla potrzeb górnictwa odkrywkowego istotne jest oszacowanie zmian wytrzymałości na powierzchniach strukturalnych, które występują po utworzeniu się w górotworze powierzchni poślizgu oraz zmian wytrzymałości po ewentualnym zawod-

nieniu tej powierzchni. Do liczbowej oceny zmniejszenia wytrzymałości na ścinanie przy przejściu od wytrzymałości maksymalnej (τ_f) do resztkowej (τ_r) można wykorzystać wskaźnik zaproponowany przez Bishopa I_B [1].

$$I_B = \frac{\tau_f - \tau_r}{\tau_f} \cdot 100\%$$

Wskaźnik ten określa procent zmniejszenia się wytrzymałości, który może powstać w skutek postępującego zniszczenia w gruncie.

Ogólnie biorąc, zmiana wytrzymałości na powierzchniach nieciągłości w stosunku do wytrzymałości masywu jest tym większa, im większa jest wytrzymałość utworów budujących masyw. Tak więc wpływ ten w gruntach zwartych o nienaruszonej strukturze jest znacznie większy niż w twardoplastycznych i plastycznych. Potwierdzają to wyniki badań laboratoryjnych. Największe spadki wytrzymałości zanotowano dla próbek o nienaruszonej strukturze w półzwartym stanie konsystencji (rys. 6, poz. 1, 4), mniejsze na powierzchniach strukturalnych w twardoplastycznym stanie konsystencji (rys. 6, poz. 2, 5), najmniejsze zmiany wytrzymałości zanotowano na naruszonych powierzchniach o konsystencji plastycznej (rys. 6, poz. 3).

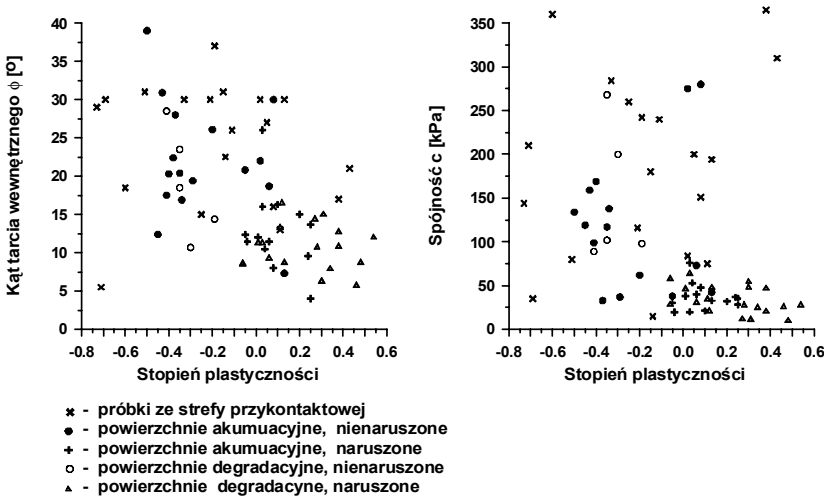


Rys. 6. Średnie zmiany wytrzymałości kontaktów ił — węgiel z KWB „Turów", po ścinaniu wielokrotnym (wytrzymałość resztkowa) i po zawodnieniu próbek, w stosunku do wytrzymałości pierwotnej: 1 — powierzchnie degradacyjne, nienaruszone, w półzwartym stanie konsystencji; 2 — powierzchnie degradacyjne,naruszone w twardoplastycznym stanie konsystencji; 3 — powierzchnie degradacyjne, nienaruszone w plastycznym stanie konsystencji; 4 — powierzchnie akumulacyjne nienaruszone w półzwartym stanie konsystencji; 5 — powierzchnie akumulacyjne naruszone w twardoplastycznym stanie konsystencji

Analizując wykresy zmian wytrzymałości, należy zwrócić uwagę na fakt, że przedstawiają one względną zmianę wytrzymałości na ścinanie, tj. wartość zmniejszenia się wy-

trzymałości na ścinanie w stosunku do wytrzymałości maksymalnej w danej grupie próbek. W gruntach zwartych o nienaruszonej strukturze, pomimo znacznej, nawet 70% redukcji oporów ścinania, bezwzględna wartość wytrzymałości resztkowej i wytrzymałości po zawodnieniu była zwykle większa niż w próbkach o naruszonej strukturze. Dzieje się tak dlatego, że w próbkach o nienaruszonej strukturze powierzchni maksymalna wytrzymałość przy ścięciu pierwotnym była niejednokrotnie kilkakrotnie większa niż w próbkach o strukturze naruszonej.

Próba oceny wytrzymałości na ścinanie oparta na poszukiwaniu zależności korelacyjnych pomiędzy stopniem plastyczności gruntów na powierzchniach strukturalnych a oporem na ścinanie (metoda B) [9] daje w odniesieniu do powierzchni strukturalnych niejednoznaczne wyniki (rys. 7), niemniej i tu widoczna jest zależność pomiędzy naruszeniem powierzchni strukturalnej i wzrostem stopnia plastyczności (naruszone powierzchnie stanowią uprzywilejowane drogi filtracji wód opadowych i złożowych), a wytrzymałością na ścinanie. Jednakże zastosowanie metod korelacyjnych szacowania parametrów obliczeniowych wydaje się być odpowiednie jedynie dla gruntów jednorodnych bez widocznych powierzchni osłabień. Na powierzchniach strukturalnych bardziej właściwym podejściem do szacowania wartości parametrów mechanicznych wydaje się być zatem ich bezpośrednie wyznaczanie.



Rys. 7. Relacje pomiędzy kątem tarcia wewnętrznego i spójnością a stopniem plastyczności na powierzchniach strukturalnych

4. Podsumowanie

Wydzielanie i zbadanie najsłabszych elementów budowy geologicznej górotworu i poznanie parametrów wytrzymałościowych na tych powierzchniach jest niewystarczające dla

oceny stateczności skarp kopalń węgla brunatnego. Konieczne jest uwzględnienie także czynników geologicznych związanych z budową strukturalną górotworu, takich jak: rozległość powierzchni strukturalnej, kierunek zapadania warstw (zgodny bądź przeciwny do odkrywki), kąt ich zapadania, częstotliwość występowania itp. W kopalniach odkrywkowych, dla oceny stateczności skarp, ważną rolę odgrywają także czynniki antropogeniczne (techniczne), związane ze sposobem eksploatacji złoża; wysokość skarp, ich pochylenie, prędkość urabiania, skuteczność odwodnienia górotworu i inne.

LITERATURA

[1] *Bischop A.*: Progressive failure-with special reference to the mechanism causing it, Discus. Proc. Geotech. Conf., Oslo 1967

[2] *Burland J.B, Longworth T.J., Moore J.F.*: A study of ground movement and progressive failure caused by a deep excavation in Oxford Clay. Geotechniqu'e, 4, 1977

[3] Dodatek do Kompleksowej Dokumentacji Geologicznej złoża węgla brunatnego Bełchatów, w kat. C_1 + B. Połe Bełchatów. Zakład Geologii Stosowanej, Uniwersytet Wrocławski 1994

[4] Dokumentacja geologiczna złoża węgla brunatnego „Turów" w kat. A + B + C_1 + C_2 — część geologiczno-inżynierska. Wrocław, Przedsiębiorstwo Geologiczne 1991

[5] *Kaczmarczyk R., Rybicki S.*: Charakterystyka oraz cechy geotechniczne głównych powierzchni strukturalnych w górotworze niektórych kopalń węgla brunatnego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej 2003

[6] *Kaczmarczyk R.*: Geotechniczne własności stref kontaktów ilasto-węglowych w górotworze niektórych kopalń węgla brunatnego. Konferencja doktorantów. Szklarska Poręba 2003

[7] *Kaczmarczyk R.*: Geologiczno-inżynierska charakterystyka głównych powierzchni strukturalnych w górotworze wybranych złóż węgla brunatnego. Rozprawa doktorska. Kraków, 2004

[8] *Marcak H.*: Modele wpływu spękań powstałych w wyniku wpływu eksploatacji górniczej w kopalniach węgla na pole sejsmiczne. XXV Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu. Geotechnika i Budownictwo Specjalne. Zakopane 2002

[9] Norma PN-81/B-03020: Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie. Obliczenia statyczne i projektowanie