ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: GÓRNICTWO z. 253 Nr kol. 1566

Robert KACZMARCZYK, Stanisław RYBICKI
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

CHARAKTERYSTYKA ORAZ CECHY GEOTECHNICZNE GŁÓWNYCH POWIERZCHNI STRUKTURALNYCH W GÓROTWORZE NIEKTÓRYCH ZŁÓŻ WĘGLA BRUNATNEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono klasyfikację, charakterystykę oraz właściwości geotechniczne głównych powierzchni strukturalnych występujących w górotworze kopalń węgla brunatnego „Turów" i „Bełchatów". Podano parametry wytrzymałości na ścinanie na tych powierzchniach oraz czynniki wpływające na zmianę tych parametrów.

CHARACTERIZATION AND GEOTECHNICAL FEATURES OF PRINCIPAL STRUCTURAL SURFACES IN ROCK FORMATIONS FROM SELECTED BROWN-COAL DEPOSITS

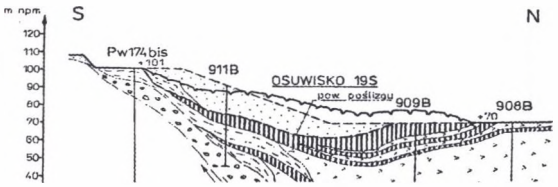
Summary. The paper presents classification, characterization and geotechnical properties of main structural surfaces occurring in rock formations of the „Turów" and the „Bełchatów" brown-coal deposits. The values were calculated of shear strength parameters along these surfaces and factors causing changes of these values were determined.

1. Wprowadzenie

Doświadczenia i obserwacje prowadzone na terenie odkrywkowych kopalń węgla brunatnego wskazują na istnienie w górotworze pewnych charakterystycznych powierzchni, po których dochodzi do powstawania osuwisk. Są to powierzchnie osłabień strukturalnych, powstałe najczęściej w wyniku procesów sedymentacyjnych, erozyjnych, tektonicznych lub glacitektonicznych. W dotychczasowym okresie eksploatacji krajowych kopalń węgla brunatnego w każdej z nich zarejestrowano powstanie kilkudziesięciu osuwisk zarówno na zboczach stałych, jak i eksploatacyjnych, mających związek z powierzchniami strukturalnymi w górotworze, takimi jak: kontakty warstw gruntowych, powierzchnie warstwowania

i laminacji w obrębie warstw, powierzchnie uskoków tektonicznych lub stare powierzchnie paleoosuwiskowe.

Największe osuwiska rozwijały się na ogół wzdłuż przewarstwień ilastych w obrębie serii węglowych, na powierzchniach kontaktu starszego podłoża z utworami młodszymi oraz na kontaktach warstw w obrębie kompleksów nadwęglowych (rys.1). Niejednokrotnie osuwiska te obejmowały kilka pięter górniczych, a kubatura przemieszczonych mas przekraczała 1 mln m^3, (max 6 mln. m^3), [2], [4]. Rozpoznanie wykształcenia strukturalnego oraz cech geotechnicznych na powierzchniach kontaktów warstw jest więc konieczne dla prawidłowego projektowania skarp i zboczy oraz profilaktyki przeciwosuwiskowej w odkrywkach węgla brunatnego.



Rys. 1. Przykład osuwiska powstałego na kontaktach warstw w Kopalni „Bełchatów" [2]
Fig. 1 Example of landslide developed along lithological contacts at the „Bełchatów" mine

2. Charakterystyka wybranych powierzchni strukturalnych

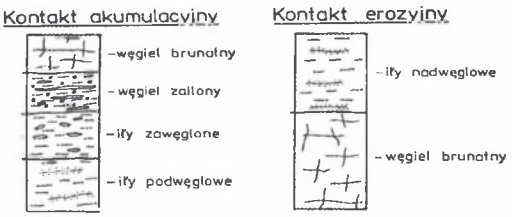
Powierzchnie strukturalne mogą być klasyfikowane według różnych kryteriów, np. genetycznych, litologicznych, sedymentologicznych, geologiczno-inżynierskich i in. Obserwacje prowadzone m.in. na skarpach odkrywek w Koninie, Turowie i Bełchatowie pozwoliły na opracowanie klasyfikacji powierzchni strukturalnych, którą przedstawiono w pracy [1]. Klasyfikacja ta jest oparta na dwóch kryteriach: genetycznym (uwzględnia sposób powstania powierzchni strukturalnej i procesy, jakim podlegała), geologiczno-inżynierskim (uwzględnia wpływ różnych cech powierzchni na wytrzymałość i stateczność górotworu). W praktyce pozwala więc ona na opisanie danej powierzchni zarówno pod względem jej cech geologiczno-strukturalnych, jak i geotechnicznych. Z genetycznego punktu widzenia w odkrywkach węgla brunatnego wydzielono trzy grupy powierzchni strukturalnych: akumulacyjne, degradacyjne, deformacyjne.

Powierzchnie strukturalne o charakterze **akumulacyjnym** cechuje normalne stratygraficzne następstwo warstw. Jak wynika z obserwacji terenowych, charakteryzują się na ogół znaczną rozległością, zwykle nie wykazują wyraźnych zaburzeń strukturalnych.

Cechą charakterystyczną takich powierzchni jest na ogół brak wyraźnej granicy pomiędzy kontaktującymi się utworami. Najczęściej ma tu miejsce nieostre przejście od jednego rodzaju gruntu do drugiego, związane ze stopniową zmianą barwy, uziarnienia lub udziału domieszek.

Zarówno w Kopalni „Turów" jak i „Bełchatów" typowe powierzchnie o charakterze akumulacyjnym stanowią strefy przewarstwień ilasto-węglowych w spągu kompleksów węglowych. Na terenie obydwu złóż strefy te są wykształcone podobnie. Spągowe warstwy kompleksów węglowych stanowią iły, przechodzące ku górze w iły zawęglone, węgle brunatne zailone i wreszcie węgle brunatne (rys.2). Strefa kontaktu pomiędzy poszczególnymi utworami jest nieostra, rozmyta, zwykle ma tu miejsce stopniowy wzrost zailenia węgli. Zarówno występujący powyżej iłów węgiel brunatny, jak i przerosty ilasto-węglowe cechuje stosunkowo wyraźna podzielność wzdłuż powierzchni uławicenia.

Strefy kontaktów ił-węgiel to powierzchnie oddzielności lokalnie zawilgocone i niekiedy zawodnione. Generalnie jednak na odsłoniętych, niezawodnionych częściach skarpy iły posiadają półzwarty lub zwarty stan konsystencji, a jedynie w miejscach wysięków wód posiadały twardoplastyczny stan konsystencji, a na powierzchniach oddzielności nawet stan plastyczny [3].



Rys. 2. Przykładowe fragmenty profilu powierzchniami strukturalnymi o charakterze akumulacyjnym i erozyjnym z Kopalni „Turów" [1]
Fig. 2.Examples of a sequence cut by accumulational and erosional structural surfaces at the „Turów" mine

Powierzchnie strukturalne o charakterze **degradacyjnym** powstają najczęściej w wyniku erozji wodnej lub lodowcowej i są z reguły ostre, wyraźnie zaznaczone. Są one charakterystyczne dla stropowych części pokładów węgla i osadów kompleksów nadwęglowych. Szczególnie wyraźnie zaznaczają się w stropie pierwszego i drugiego pokładu węgla w „Turowie". Granica ił-węgiel jest tu zwykle ostra i wyraźna, na ogół nie obserwuje się strefy przejściowej typowej dla powierzchni akumulacyjnych. W przypadku egzaracji lodowcowej, np. w Kopalni „Konin", obserwuje się niekiedy występowanie strefy przejściowej między stykającymi się utworami [3].

Gdy kontaktujące się warstwy mają podobny charakter litologiczny, przebieg ich kontaktu może być trudniejszy do wyznaczenia. Przykładem mogą być występujące w odkrywce Bełchatów kontakty zwietrzelin ilastych podłoża mezozoicznego z osadami trzeciorzędu. Granica mezozoik-trzeciorzęd, o zbliżonym rodzaju i podobnej zielonej barwie kontaktujących się utworów, jest niekiedy trudna do precyzyjnego wydzielenia [2].

Powierzchnie strukturalne o charakterze **deformacyjnym** w nadkładzie złóż węgli brunatnych (tektoniczne i glacitektoniczne) wykazują zwykle duże zróżnicowanie pod względem rozprzestrzenienia. Są to zarówno uskoki o stosunkowo niewielkich wymiarach (w obrębie poszczególnych warstw geologicznych), jak i duże deformacje tektoniczne (oddzielające warstwy osadów różnych epok), jak np. uskok główny i południowy w Kopalni „Turów" czy północny i południowy uskok główny w Kopalni „Bełchatów".

Powierzchnie deformacyjne, np. północny i południowy uskok brzeżny Kopalni „Bełchatów", to kilkunastometrowej szerokości strefy przejściowe między osadami trzeciorzędu i mezozoiku. W obrębie tych stref obserwuje się liczne powierzchnie spękań, odkłuć, ślizgów i zafałdowań będących efektem oddziaływania uskoku brzeżnego. Strefa ta wypełniona jest głównie przez utwory trzeciorzędowem, to jest: węgiel pokładu głównego, węgle zailone, iły zielone i iły szare, które kontaktują się stopniowo z rumoszem skał mezozoicznych. Iły w rejonie uskoku występowały najczęściej w półzwartym, niekiedy twardoplastycznym stanie konsystencji, charakteryzowały się dobrze widocznymi powierzchniami podzielności, (zlustrowań tektonicznych), zwykle o przebiegu równoległym do powierzchni uskoku głównego [2].

W obrębie nadkładu złóż węgli brunatnych występują także powierzchnie strukturalne o charakterze mieszanym, np. erozyjno-sedymentacyjne, akumulacyjne lub degradacyjne zmienione w wyniku procesów glacitektonicznych lub tektonicznych, np. powierzchnie odkłucia, zlustrowania i przemieszczenia na kontaktach sedymentacyjnych lub erozyjnych [1].

3. Zakres i metodyka badań laboratoryjnych próbek gruntów z niektórych powierzchni strukturalnych

Badania wytrzymałości na ścinanie próbek gruntowych wykonano w aparacie bezpośredniego ścinania typu AB-2a. Z uwagi na fakt, iż w wielu próbkach powierzchnie oddzielności (zlustrowanie lub kontakt warstw) były stosunkowo nierówne, niekiedy nieostro

wykształcone, pomiędzy dolną a górną częścią dwudzielnej karetki aparatu umieszczono ramki o łącznej wysokości około 1,5 cm. Zastosowanie ramek pozwoliło na takie umieszczenie próbek w skrzynce aparatu, aby cała powierzchnia oddzielności znalazła się w ich obrębie, ponadto przebieg płaszczyzny ścięcia nie był wymuszany po ściśle określonej powierzchni. Próbki umieszczono w karetce zgodnie z orientacją w warunkach „in situ".

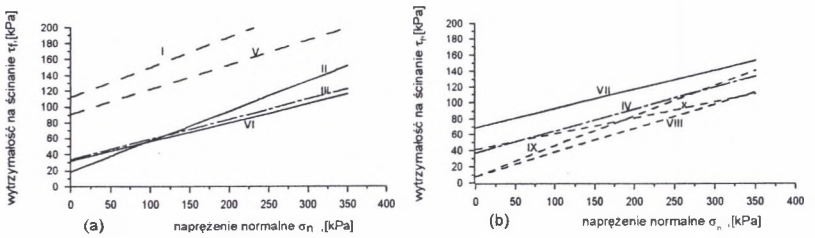
Badania prowadzono w zakresie obciążeń normalnych: 100 - 300 kPa. W badanych próbkach, po oznaczeniu wytrzymałości pierwotnej, cofano karetkę aparatu do położenia początkowego i próbkę ścinano po raz kolejny, powtarzając tę czynność aż do ustalenia się oporów na ścinanie, czyli osiągnięcia przez próbkę tzw. wytrzymałości resztkowej. Następnie próbka pozostając w karetce była zalewana wodą w celu zawodnienia powierzchni poślizgu. Po zawodnieniu próbkę pozostawiano na co najmniej 5 godzin i oznaczano wytrzymałość na ścinanie po zawodnieniu.

Przyjęty schemat badań wytrzymałości na ścinanie pozwala, zdaniem autorów, na stosunkowo dobre odwzorowanie zachowania się gruntu w warunkach naturalnych oraz szeroką analizę wyników. Oznaczanie wytrzymałości pierwotnej pozwala na oszacowanie wytrzymałości na nienaruszonych powierzchniach nieciągłości lub powierzchniach o małym stopniu naruszenia. Oznaczanie wytrzymałości resztkowej miało na celu określenie zmian parametrów wytrzymałościowych, które zachodzą po wtórnym naruszeniu kontaktu i przemieszczeniu się gruntu wzdłuż powierzchni nieciągłości, np. w warunkach występowania zaburzeń tektonicznych, na powierzchniach odprężenia lub powierzchniach paleoosuwiskowych. Natomiast badania wytrzymałości próbek po zawodnieniu powierzchni ścięcia odpowiadają zmianom parametrów fizykomechanicznych gruntów przy wzroście wilgotności na powierzchni poślizgu.

4. Analiza wyników badań

Analiza parametrów geotechnicznych powierzchni strukturalnych (kontaktów warstw i powierzchni nieciągłości) stanowi relatywnie trudny problemem. O wartości oporów ścinania decyduje bowiem nie tylko rodzaj kontaktujących się gruntów i ich stan konsystencji, lecz wiele dodatkowych czynników, takich jak: przebieg powierzchni nieciągłości, gęstość spękań, ich ilość, stopień naruszenia kontaktu, jego zawodnienie, materiał wypełniający strefę kontaktu i inne.

W badanych utworach największą wytrzymałością na ścinanie charakteryzowały się kontakty ił - węgiel typu akumulacyjnego, w których nie zaobserwowano ich wcześniejszego naruszenia. Kontakty ilasto-węglowe, których struktura została naruszona, posiadają znacznie mniejszą wartość spójności przy nieznacznej zmianie kąta tarcia wewnętrznego (rys.3a) w stosunku do kontaktów naruszonych. Wartości oporów ścinania są tu zbliżone do wytrzymałości resztkowej dla próbek nienaruszonych (rys.5a). Badane kontakty erozyjne posiadają nieco mniejsze wartości kąta tarcia wewnętrznego, co jest zapewne wynikiem stosunkowo równej powierzchni styku kontaktujących się warstw (rys.3a, 3b). Powierzchnie takich kontaktów są ze sobą na ogół słabiej związane, stykające się utwory wykazują tendencję do stosunkowo łatwego pękania i rozwarstwiają się pod wpływem zmian wilgotności. Zjawisko to jest wynikiem wyraźnych różnic parametrów fizycznych obydwu kontaktujących się utworów. Kontakty deformacyjne wykazują największe zróżnicowanie wartości oporów ścinania, będące głównie rezultatem różnic w strukturze i przebiegu powierzchni oddzielności między poszczególnymi rodzajami gruntów w obrębie badanego górotworu.



I, V - kontakty akumulacyjne nienaruszone
II, III, VII - kontakty akumulacyjne naruszone
IV,VI - kontakty degradacyjne
VIII, IX, X - kontakty deformacyjne

Rys. 3. Wytrzymałość na ścinanie: a - kontakty ił - węgiel, b- kontakty w obrębie warstw ilastych
Fig. 3. Shear strength: a – clay-coal contacts, b – contacts within clay layers

W próbkach pobranych z powierzchni kontaktów, inaczej niż w przypadku próbek gruntów monolitycznych pobranych poza strefą kontaktu, znaczny wpływ na opór ścinania wywiera morfologia powierzchni nieciągłości. Szczególnie w przypadku gdy powierzchnia ta wykazuje znaczne nierówności przebiegu, a naprężenia normalne są dostatecznie wysokie, rejestruje się przy ścinaniu występowanie spójności pozornej wynikającej z sukcesywnego ścinania tych nierówności. W nienaruszonych próbkach z kontaktów ił-węgiel powierzchnia ścięcia obejmowała niejednokrotnie także fragmenty węgla. Podczas ścinania dochodziło niekiedy do ich kruszenia, co miało niewątpliwie wpływ na wartości otrzymanych wyników.

Przebieg ścinania dla nienaruszonych kontaktów ił-węgiel obrazuje między innymi

charakterystyczny nierówny (szarpany) przebieg krzywych τ-ε (rys.4, krzywa 1), jednakże dla większości próbek ze stref oddzielności ścięcie miało charakter plastyczny (rys.4, krzywa 2).

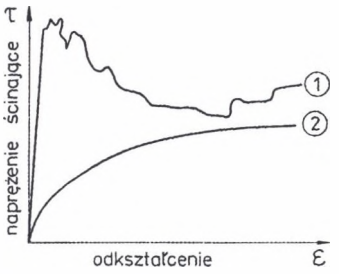
Tabela 1

Wartości parametrów wytrzymałościowych dla badanych powierzchni strukturalnych

Nr	Miejsce poboru próbek	Rodzaj kontaktu	Typ kontaktu/ stan gruntu na kontakcie	Kąt tarcia wewnętrznego ϕ [°]	Spójność c [kPa]
I	„Turów", powierzchnie w obrębie I i II pokładu węgla	Ił/węgiel	Akk /NN/pzw	20,8	112,2
II		Ił/węgiel	Akk/NA/pzw	20,7	19,8
III		Ił/węgiel	Deg / NA/pzw	14,3	34,1
IV	„Bełchatów", zbocze północne	iły/ zwietrzeliny margli	Deg/NA/tpl	15,6	37,1
V	„Bełchatów", iły spągu kompleksu węglowego	Ił/węgiel	Akk /NN/pzw	17,2	92,0
VI		Ił/węgiel	Akk /NA/tpl	13,5	32,0
VII		Iły	Akk /NA/pzw	13,5	69,0
VIII	„Turów", iły międzywęgl.	Iły	Def/NA/tpl/pl	16,5	9,3
IX	„Bełchatów", uskok północny	Iły silnie zlustrowane	Def/NA/pzw	20,8	8,9
X	„Bełchatów", uskok południowy	Iły słabo zlustrowane	Def/NA/pzw	11,3	42,0

Akk – akumulacyjny
Deg – degradacyjny (erozyjny)
Def – deformacyjny (tektoniczny)

NN – kontakt nienaruszony
NA - kontakt naruszony

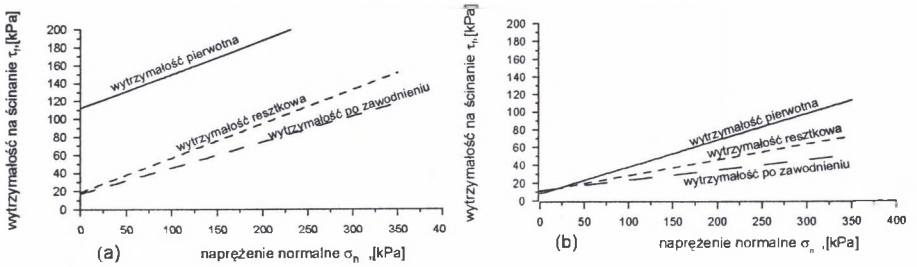


Rys. 4. Wykres τ-ε dla ścięć w obrębie z nienaruszonych kontaktów ił-węgiel (1) i w obrębie kontaktów naruszonych (2)

Fig. 4. τ–ε plot for shears within: (1) undisturbed clay-coal contacts, (2) disturbed contacts

Dla badanych próbek wytrzymałość resztkowa (rezydualna) stanowiła od 40% do 80% wytrzymałości maksymalnej. Zmiana oporów ścinania zależała przede wszystkim od rodzaju i charakteru powierzchni oddzielności oraz stanu konsystencji gruntu na kontakcie. Największe wartości zmian oporu ścinania (spójności) zaobserwowano w próbkach z akumulacyjnych, nienaruszonych kontaktów ił-węgiel z Kopalni „Turów" (rys.5a), najmniejsze dla zawilgoconych kontaktów o charakterze powierzchni deformacyjnych,

w których zanotowano główne nieznaczny spadek wartości kąta tarcia (rys.5b). Dla pozostałych gruntów nie zaobserwowano wyraźnej zależności między charakterem powierzchni kontaktu a wartością spadków oporów ścinania.



Rys.5. Zmiany wytrzymałości na ścinanie:
a – nienaruszony kontakt akumulacyjny il-węgiel, b– kontakt deformacyjny w obrębie iłu
Fig. 5. Changes in shear strength values:
a – undisturbed, clay-coal accumulational contact, b – deformational contact within clay

We wszystkich próbkach badanych po zawodnieniu powierzchni poślizgu występowało znaczne zmniejszenie wartości oporów ścinania. Nie było jednak jednakowe dla gruntów pobranych z różnych powierzchni strukturalnych. Największe 3 - 4 - krotne spadki oporów ścinania odnotowano w gruntach, w których występowały pojedyncze i stosunkowo gładkie powierzchnie nieciągłości. Mniejsze zmiany obserwowano dla próbek o kilku stosunkowo nierównych powierzchniach nieciągłości w strefie ścinania.

5. Podsumowanie

- Przeprowadzone obserwacje terenowe oraz wyniki badań laboratoryjnych pozwalają stwierdzić, że relatywnie najsłabsze strefy nadkładu złóż węgla brunatnego stanowią powierzchnie strukturalne, takie jak: kontakty warstw, laminacje, przewarstwienia, strefy występowania uskoków tektonicznych lub zaburzeń glacitektonicznych. Powierzchnie te, z punktu widzenia ich wykształcenia i genezy, podzielono na trzy grupy: akumulacyjne, degradacyjne, deformacyjne.
- Rozpoznanie geotechnicznych własności stref kontaktowych stanowi złożony problem. Na uzyskiwane wyniki badań ma wpływ znacznie więcej czynników, niż ma to miejsce w gruntach jednorodnych. Są to: rodzaj kontaktujących się gruntów, ich stan konsystencji, przebieg i rodzaj powierzchni nieciągłości, gęstość spękań, stopień

naruszenia kontaktu, stopień zawodnienia powierzchni nieciągłości, materiał wypełniający szczeliny i inne.

- Największą wytrzymałością na ścinanie charakteryzowały się próbki z nienaruszonych kontaktów ił–węgiel typu akumulacyjnego; próbki z kontaktów: akumulacyjnych naruszonych, erozyjnych i deformacyjnych miały mniejszą wytrzymałość. Posiadały one ok. 2 - 3 - krotnie mniejszą wartość spójności, przy podobnej wartości kąta tarcia wewnętrznego.
- Zawodnienie powierzchni ścięcia wpłynęło na dalszy nawet 80 % spadek oporów ścinania w stosunku do wytrzymałości początkowej.

LITERATURA

1. Rybicki S., Herzig J., Kaczmarczyk R., Tylikowski M.: Geologiczno-inżynierska charakterystyka głównych powierzchni strukturalnych w nadkładzie niektórych złóż węgla brunatnego. Górnictwo Odkrywkowe Nr XLII, 1, 2000.
2. Sowiński L., Tylikowski M. i inni: Określenie rzeczywistych parametrów fizyko-mechanicznych gruntów na podstawie obliczeń odwrotnych w zaistniałych rejonach osuwiskowych pola „Bełchatów". Wrocław PROGiG 2000 (maszynopis).
3. Herzig J., Rybicki S., Szczepańska J.: Geologiczno – inżynierska charakterystyka stref kontaktowych w nadkładzie złóż węgla brunatnego rejonu Konina. Górnictwo Odkrywkowe Nr 7-8, 1980.
4. Rybicki S.: Zjawiska osuwiskowe w krajowych kopalniach węgla brunatnego, ich skala, charakter i uwarunkowania. Problemy geotechniczne w praktyce inżynierskiej. Kraków – Wieliczka, 1995.

Recenzent: Dr hab. inż. Marek Pozzi, prof. Pol. Śl.

Abstract

In the Polish brown-coal (lignite) deposits hundreds of landslides have been recorded from both the exploitation walls and the permanent slopes. These landslides are related to the presence of structural surfaces within the rock formations.

The field observations and the results of laboratory analyses and measurements allow to conclude that these surfaces are: contacts of soil layers, bedding and lamination planes within rock formations, fault planes and paleoslide surfaces.

Observations made at Konin, Turów and Bełchatów open-pit mines enabled the classification of structural surfaces. The classification is based upon the two criteria: genetic (i.e., the origin of structural surfaces and processes affecting them) and geological-engineering (i.e., the influence of various surface features on strength and stability of rock formation). From the genetic point of view three types of structural surfaces were distinguished: accumulational, degradational and erosional.

Analysis of geotechnical parameters of structural surfaces is a difficult problem. The shearing strength is controlled not only by the types of contacting soils and their consistence but by many other factors, e.g.: geometry of discontinuity surface, fracture density, number of fractures, degree of surface disturbance, water content, material covering the contact surface and others. In the studied overburden soils from the Bełchatow and the Turów mines the highest shearing strength was found for previously undisturbed, accumulational clay-coal contacts. Samples from disturbed accumulational contacts and erosional contacts revealed shearing strength 2-5 times lower than that for accumulational surfaces at the small changes of internal friction angle. Lowest values of shear strength were determined for samples from deformational contacts. Water content at the shear surfaces caused further decrease of shearing strength by 80% in relation to initial strength for a given contact.