

Krystyna KOLASA

Geologiczno-inżynierskie własności utworów z osadników kopalń węgla kamiennego

WSTĘP

W związku z budową wielkich stawów osadnikowych przy niektórych kopalniach — zwłaszcza rud, siarki i węgla kamiennego — poznanie własności mechanicznych składanych tam osadów nabiera dużego znaczenia. W artykule omówiono budowę i własności fizykomechaniczne osadów gromadzonych w osadnikach kopalń węgla kamiennego.

Geneza materiału doprowadzonego do osadników jest następująca. Urobek węglowy z szeregu kopalń podlega oczyszczaniu i sortowaniu za pomocą płuczek ciężkich (np. piaskowych, magnetytowych itp.). Wody płuczkowe zanieczyszczają się przy tym cząstkami węgla i skał płonnych; po zakończeniu swego obiegu w zakładzie przerobczym zawierają do 200 g/l części stałych w postaci zawiesiny. Największy udział w zawieszynie (średnio około 70%) stanowi węgiel, obok niego występują: kwarc, minerały ilaste, muskowit, piryt, a przy płuczках magnetytowych także magnetyt.

Wody popłuczkowe kierowane są do osadników, w których zawieszina sedimentuje, a oczyszczone wody zostają z osadników odprowadzane. Sedymentacja osadu następuje w wodach popłuczkowych o charakterze alkalicznym (pH 8,2÷8,4). Twardość ogólna tych wód waha się w granicach 6÷7 mval (17÷20° n), twardość węglanowa — 3,4 mval. Ze względu na ładunek jonowy wody te należą do typu wód siarczanowo-sodowo-wapiennych.

CHARAKTERYSTYKA WYDZIELONYCH TYPÓW OSADÓW

Osady zbadane w kopalniach Lenin i Katowice są w dużej mierze reprezentatywne i dla innych kopalń. Stanowią one kompleks warstewek o zmiennej budowie, w którym ze względu na barwę i skład granulometryczny można wydzielić:

— warstewki o barwie czarnej: żwiry węglowe i węglowe piaski pylaste;

— warstewki o barwie jasnoszarej: piaski kwarcowe i ily pylaste.

Barwa czarna przywiązana jest do osadów w których skład wchodzi głównie węgiel, a jasnoszara cechuje osady, w których dominują minerały

ilaste i piasek kwarcowy. Wyniki analiz sitowych typowych osadów zestawiono w tab. 1.

Zwiry węglowe tworzą najczęściej większe soczewki lub gniazda, często wypełniają nieckowate wymycia i rynny erozyjne (fig. 1). Składają się głównie z ostrokrawędzistych okruchów węgla o średnicach do 1,5 cm, oblepionych drobnym ziarnem węgla i rozłusowanymi łupkami.

Tabela 1

Skład granulometryczny utworów osadnikowych

Miejsce pobrania	Rodzaj utworu	Ilość oznaczeń	Zawartość frakcji w %		
			żwirowej	piaskowej	pyłowo-iłowej
warstwy ciemne	zwiry węglowe	3	57	36	7
			59	29	12
			62	30	8
	piaski węglowe	4	—	78	22
			—	77	23
			—	75	25
			—	72	28
warstwy jasnoszare	iły pyłaste	5	—	28	72
			—	30	70
			—	31	69
			—	46	54
			—	60	40
	piaski kwarcowe	2	—	99	1
			—	98	2

Piaski węglowe zbudowane są również głównie z węgla. Frakcja najdrobniejsza zawiera domieszki pirytu i minerałów ilastych, a w kopalni Lenin dodatkowo domieszki magnetytu, pochodzące z obciążenia płuczki magnetytem rozdrobnionym do frakcji poniżej 0,06 mm. W osadnikach magnetyt ten sedymentuje głównie z piaskami węglowymi. Piaski węglowe wykształcone są jako nieregularne warstewki o zmiennej miąższości od 4 do 30 cm lub jako niewielkie soczewki. Wykazują one często warstwowanie przekątne (tabl. I, fig. 5). Grubsze warstwy piasków węglowych często są laminowane jasnymi ilami. Laminacja ta jest bardzo nieregularna tak pod względem przebiegu, częstości, jak i grubości lamin. Charakterystyczne dla tych utworów jest również smugowanie pyłem. W warstwach piasków węglowych występują często małe soczewki żwirów węglowych.

W skład jasnych iłów pyłastych wchodzi głównie materiał z rozmytych i rozdrobnionych skał płonnych. Cząstki węglowe występują tu tylko w rozproszaniu lub tworzą małe warstewki i pasemka. Na stropowych i spągowych powierzchniach iłów spotyka się często nagromadzenia pirytu podkreślające niejednorodną budowę osadów. Iły pyłaste wykształcone są jako cienkie, nieregularne warstewki o miąższościach zmiennych od 4 do 20 cm. Posiadają one często układ falisty.

W osadnikach kopalń pracujących z płuczką piaskową występuje czwarty typ osadów, a mianowicie piaski kwarcowe pochodzące z obciążenia płuczki. Są one przeważnie średnioziarniste, ziarna większe od 0,25 mm stanowią 63–74%, a frakcje drobniejsze od piaskowej występują w bardzo niewielkich ilościach — 1–2%. Piaski kwarcowe zawierają domieszki pirytu i pyłu węglowego. Piryt wzmacnia jasny ton piasku, co ułatwia wydzielenie warstewek piasku wśród ciemnych warstewek węglowych. Miąższość warstewek piasku zmienia się w granicach 2–10 cm.

BUDOWA OSADU

Utwory osadnikowe charakteryzują się dużą zmiennością i różnorodnością ułożenia geometrycznego i wzajemnego stosunku warstw (tabl. I, fig. 6). Zmienność ta spowodowana jest nierównomierną dostawą materiału i erodującym działaniem prądu wody wlotowej.

Tabela 2

Zestawienie miąższości warstewek utworów osadnikowych

Profil	Jednostka	Miąższości warstewek				Suma miąższości	Stosunki miąższości
		żwiry węglowe	piaski węglowe	iłły pylaste	piaski kwarcowe		
I	cm	5,7	41,0	26,0	—	72,0	1:8:5:—
	%	7	57	36	—	100	
II	cm	20,0	10,5	37,5	—	68,0	2:1:3:—
	%	29	16	55	—	100	
III	cm	30,0	87,0	40,0	13,0	170,0	2:6:3:1
	%	18	51	23	8	100	
IV	cm	51,0	38,0	46,0	12,0	147,0	4:3:4:1
	%	34	25	32	9	100	

W osadnikach dominuje sedymentacja prądowa, o czym świadczy częste występowanie warstwowania przekątnego. Proces sedymentacji grawitacyjnej przebiega tylko w przypadku napelnienia osadnika, po zakończeniu dostawy wód popłuczkowych, a ponadto w dostatecznie dużej odległości od wlotu wód, gdzie szybkość przepływu maleje i zjawiska erozyjne nie zachodzą już na większą skalę. Proces sedymentacji grawitacyjnej daje w efekcie zróżnicowanie w profilu pionowym osadów. Można wówczas wydzielić przy płuczce kwarcowej cztery warstwy osadu (od spągu do stropu): żwirów węglowych, piasków kwarcowych, piasków węglowych, iłów pylastych. Przy płuczce magnetytowej warstwa piasków kwarcowych nie występuje w osadzie. Ponieważ dopływ materiału jest jednak bardzo zmienny, rzadko spotyka się w profilach dobrze wykształcony cykl sedymentacyjny.

W osadnikach wyraźnie zaznacza się facjalne zróżnicowanie osadów. W pobliżu rur wlotowych dominują osady gruboziarniste, a w miarę oddalania się od rur wzrasta udział ziarn drobnych. W końcowych partiach

zbiornika ziarna grubsze spotyka się już tylko sporadycznie i przeważają tu piaski i iły pylaste.

Zmiany granulacji ziarn zachodzą zarówno w poprzek, jak i w kierunku przepływu wody w osadniku. Ilustrują to stosunki miąższości warstewek w profilach I i II (wykonanych w poprzek do prądu wód — kopalnia Lenin) i w profilach III i IV (w kierunku przepływu wód — kopalnia Katowice) zestawione w tab. 2.

WŁASNOŚCI FIZYKOMECHANICZNE

Własności fizykomechaniczne poszczególnych typów osadów określono na próbkach o strukturze nie naruszonej. Najwięcej uwagi poświęcono piaskom węglowym i iłom pylastym, gdyż stanowią one zasadniczą część utworów osadnikowych.

CIEŻAR WŁAŚCIWY, OBJĘTOŚCIOWY I POROWATOŚĆ

Zestawienie wartości ciężarów właściwych (γ), objętościowych w stanie suchym (γ_0) i porowatości (n) podano w tab. 3.

Tabela 3

Ciężar właściwy, objętościowy i porowatość utworów osadnikowych

Typ osadów	Ilość oznaczeń	γ G/cm ³	γ_{sr} G/cm ³	γ_0 G/cm ³	γ_{0sr} G/cm ³	n %	n_{sr} %
żwiru węglowe	5	1,32 ÷ 1,50	1,40	0,82 ÷ 0,90	0,86	37,87 ÷ 41,33	39,02
piaski węglowe	5	1,32 ÷ 1,51	1,44	0,82 ÷ 0,94	0,89	37,50 ÷ 42,85	40,06
iły pylaste	5	1,53 ÷ 1,71	1,67	0,88 ÷ 0,99	0,96	40,71 ÷ 44,00	42,43
piaski kwarcowe	5	2,58 ÷ 2,91	2,78	1,60 ÷ 1,69	1,64	38,00 ÷ 40,00	39,00

Ciężar właściwy badanych utworów zawarty jest w dużym przedziale wartości od 1,31 do 2,91 G/cm³, a nawet do 3,6 G/cm³, co powodują domieszki pirytu, a w przypadku stosowania płuczki magnetytowej domieszki magnetytu. W osadzie kopalni Lenin wynoszą one zwykle do 12%, lecz sporadycznie spotkać można zawartość nawet do 70%.

Ciężar objętościowy (w temp. 105°) waha się w granicach 0,82 ÷ 1,69 G/cm³. Najniższy ciężar objętościowy w stanie suchym posiadają żwiru węglowe, najwyższy — piaski kwarcowe.

Utwory osadnikowe charakteryzują się wysoką porowatością — do 44%. Jest ona tego samego rzędu dla wszystkich typów osadów, co zapewne związane jest z polifrakcyjną budową każdego typu i małym stopniem obtoczenia ziarn.

WILGOTNOŚĆ NATURALNA I GRANICE KONSYSTENCJI

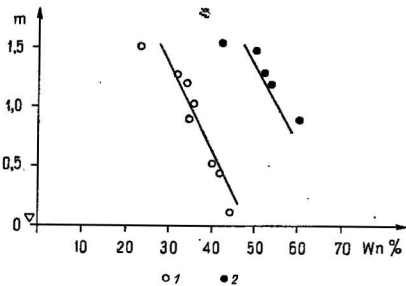
Wilgotność naturalna utworów osadnikowych zależy od kształtowania się zwierciadła wody w zbiorniku, od czasu przesychniania utworów oraz od granulacji i składu mineralnego (typu utworów).

Związek wilgotności z charakterem osadu i głębokością występowania ilustruje fig. 1, sporządzona dla zbiornika I kopalni Lenin. Zwierciadło wody leżało w nim na głębokości 1,6 m, poniżej krawędzi koryta przelewowego. Wilgotność osadów waha się w bardzo szerokich granicach 23÷÷63%. W utworach przypowierzchniowych (około 1,5 m od zwierciadła wody) ility pylaste posiadają wilgotność około 43%, piaski węglowe około 23%, a na głębokości 1 m (około 0,5 m od zwierciadła) wilgotność ility wzrasta do 60%, piasków zaś węglowych do 40%. Prostoliniijny wzrost wilgotności z głębokością przemawia zatem, że zasadniczy wpływ na zawilgocenie osadu ma podciąganie wody systemem różnowymiarowych kapilar.

Fig. 1. Zmiany wilgotności z głębokością pobrania próbek

Changes in water contents with the sampling depth

1 — węglowe piaski pylaste; 2 — ility pylaste
1 — coal silt-sands; 2 — silt-clays



Osady zbiornika II kopalni Katowice są odwodnione w zasięgu znacznie większej głębokości — zapewne do ponad 10 m. Wilgotność naturalna próbek pobranych ze środkowych warstw osadu (na głębokości około 6 m) waha się dla piasków 30,42÷÷44,82%, a średnio 37,97%, a dla ility pylastych 38,25÷÷43,35%, średnio 40,75%. Na głębokości około 2,5 m od powierzchni wilgotność wynosi w piaskach węglowych 31,0÷÷39,1%, średnio 34,68%, w ilitych pylastych 38,20÷÷40,10%, średnio 38,9%. Odpowiada to ogólnie wilgotności przypowierzchniowych osadów w kopalni Lenin.

Tabela 4

Wilgotność naturalna i granice konsystencji utworów osadnikowych

Miejsce pobrania próbek	Ilość oznaczeń	Wielkości w %							Sp
		Wn	Lp	Lp _{sr}	Ly	Ly _{sr}	Wp	Wp _{sr}	
Kopalnia Lenin	3	33,0	20,6		30,2		9,6		1,29
		33,8	19,9	20,1	24,4	27,4	4,5	6,2	3,09
		34,2	19,8		27,5		4,7		1,87
Kopalnia Katowice	3	31,2	18,9		25,4		6,5		1,89
		35,4	19,8	19,3	26,2	25,8	6,4	6,5	2,43
		38,1	19,2		25,8		6,6		2,86

Wartości liczbowe granic plastyczności (L_p), płynności (L_y), wskaźnika (W_p) i stopnia plastyczności (S_p) zestawiono w tab. 4.

Jak wynika z podanej tabeli, wilgotność naturalna osadów jest z reguły wyższa od ich granicy płynności. Konsystencja osadów odpowiada zatem stanowi płynnemu (S_p 1,29÷3,54). Równocześnie niskie wartości wskaźni-

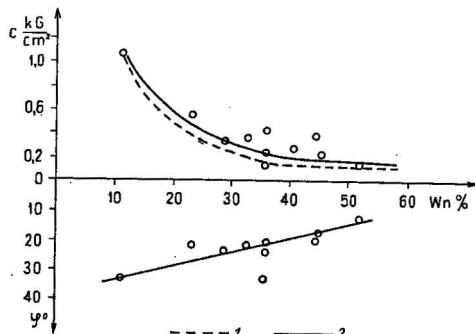


Fig. 2

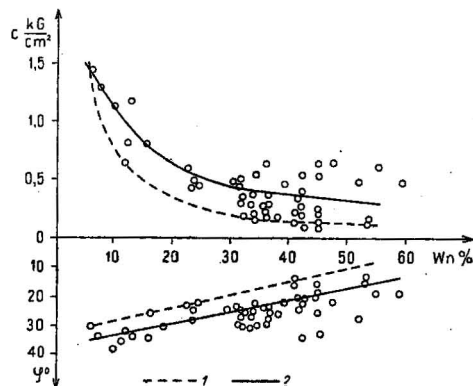


Fig. 3

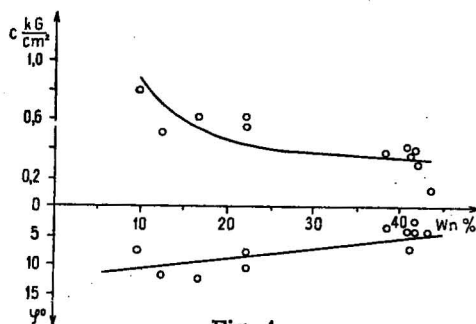


Fig. 4

Fig. 1. Zmiany wilgotności z głębokością pobrania próbek
Changes in water contents with the sampling depth

1 — węglowe piaski pylaste; 2 — ły pylaste
1 — coal silt-sands; 2 — silt-clays

Fig. 2. Zależność $c = f(W_n)$ i $\varphi = f(W_n)$ dla ścinaiń pierwotnych węglowych piasków pylastych

$c = f(W_n)$ and $\varphi = f(W_n)$ ratio for primary shears of coal silt-sands
1 — wartości minimalne; 2 — wartości średnie
1 — minimum values; 2 — mean values

Fig. 3. Zależność $c = f(W_n)$ i $\varphi = f(W_n)$ dla ścinaiń powtórných węglowych piasków pylastych

$c = f(W_n)$ and $\varphi = f(W_n)$ ratio for secondary shears of coal silt-sands
1 — 2 — jak na fig. 2
1 — 2 — as in Fig. 2

Fig. 4. Zależność $c = f(W_n)$ i $\varphi = f(W_n)$ dla ścinaiń powtórných łąw pylastych
 $c = f(W_n)$ and $\varphi = f(W_n)$ ratio for secondary shears of silt-clays

ka plastyczności świadczą o dużej wrażliwości osadów na wpływ wzrostu zawilgocenia i łatwe upłynnianie się. Ponieważ jednak osady mimo swej dużej wilgotności rozplývają się dopiero przy wstrząsach, noszą one piętno swoistej tiksotropii.

SPOJNOŚĆ I KĄT TARCIA WEWNĘTRZNEGO

Wytrzymałość utworów osadnikowych na ścinanie określono przez scharakteryzowanie ich spójności (c) i kąta tarcia wewnętrznego (φ).

Badanie ścinania wykonano w aparacie trójosiowym na próbkach o strukturze nie naruszonej metodą szybką, bez uprzedniej konsolidacji próbki.

Węglowe piaski pylaste. Po ścięciu piasków pylastych niezbyt równa, zadzierzysta płaszczyzna ścięcia (tabl. III, fig. 7) była nachylna do poziomu pod kątem $60-70^\circ$. W próbkach wyciętych prostopadłe do uwarstwienia powstały ponadto spękania pokrywające się z płaszczyznami uwarstwienia (tabl. II, fig. 8c).

Zależność spójności i kąta tarcia wewnętrznego od wilgotności dla ścinań pierwotnych piasków węglowych przedstawiono na fig. 2, dla ścinań powtórnych na fig. 3. Wynika z nich, że w przedziale wilgotności $10-60\%$ spójność zmienia się przy ścinaniu pierwotnym od 1,1 do $0,15 \text{ kG/cm}^2$, a przy powtórnym jest nieco wyższa — $1,2 \div 0,3 \text{ kG/cm}^2$. Świadczy to o zagęszczeniu próbki w procesie ścinania. Należy podnieść, że dla wilgotności poniżej 26% krzywe zależności $c = f(W_n)$ są bardzo strome, a zatem nawet niewielkie zmiany wilgotności w tym przedziale mają duży wpływ na spójność. Natomiast powyżej wilgotności 26% krzywa ma charakter łagodnej i nawet duże zmiany wilgotności w niewielkim już stopniu wpływają na spójność.

Węglowe piaski pylaste wykazują anizotropię wytrzymałościową. Przy ścinaniu w kierunku równoległym i prostopadłym do uwarstwienia, w przedziale wilgotności $30 \div 60\%$, współczynnik anizotropii dla spójności przy ścinaniu pierwotnym wynosi 0,51, a przy powtórnym 0,80. Wzrost konsolidacji próbki powoduje zmniejszenie anizotropii.

Zależność kąta tarcia wewnętrznego od wilgotności dla piasków węglowych ma charakter prostoliniowy i podobny przebieg dla ścinań pierwotnych i powtórnych. Dla przedziału wilgotności $10 \div 60\%$ kąt tarcia wewnętrznego zmienia się od 35 do 12° , a zatem nawet przy dużej wilgotności jest on stosunkowo wysoki.

Iły pylaste. Próbki iłów pylastych o dużych wilgotnościach ($35 \div 45\%$) przy ścinaniu w aparacie trójosiowym odkształcały się beczkowato i zmniejszały swą wysokość o 20 do 25% (tabl. III, fig. 8a). Przy wilgotnościach małych ($10 \div 25\%$) ścięcie następowało po wyraźnej płaszczyźnie nachylonej do poziomu pod kątem $45-55^\circ$. Powierzchnia ścięcia była złustrowana, a niewielkie rysy wskazywały kierunki przesunięć.

Fig. 4 przedstawia zależność spójności i kąta tarcia wewnętrznego od wilgotności przy ścinaniu powtórnym iłów pylastych. Podobnie jak dla węglowych piasków pylastych charakter związku jest hiperboliczny, lecz wartości spójności i kąta tarcia wewnętrznego są znacznie mniejsze. Ze wzrostem wilgotności w przedziale $10 \div 45\%$ spójność maleje od 0,8 do $0,35 \text{ kG/cm}^2$, a kąt tarcia wewnętrznego maleje od 11 do 5° .

UWAGI KOŃCOWE

Przy projektowaniu skarp z materiałów osadnikowych należy wziąć pod uwagę dużą wrażliwość tych utworów na wpływ zawilgocenia (niski wskaźnik plastyczności) oraz tendencje do utrzymywania wilgotności w zwale na wysokim poziomie. Wprawdzie kąt tarcia wewnętrzznego utworów osadnikowych nawet przy dużych wilgotnościach jest dość wysoki, lecz przy wzroście zawilgocenia spójność tych utworów szybko maleje i osiąga niskie wartości. Wykazują one ponadto czułość na wstrząsy, łatwo upływają się pod ich wpływem przy większej wilgotności.

Katedra Geologii Kopalnianej AGH
Kraków, Al. Mickiewicza 30
Nadesłano dnia 3 marca 1969 r.

Крыстына КОЛЯСА

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД
ИЗ ОТСТОЙНИКОВ КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ШАХТ

Резюме

Породы, осажденные в отстойниках каменноугольных шахт, являются отложениями временно проводимых промывных вод. Эти воды содержат до 200 г/л твердых частей в виде взвеси, в которой, с точки зрения минералогии, содержится больше всего угля (в среднем 70%). Кроме него имеются: кварц, глинистые минералы, мусковит, пирит, а при магнетитовых растворах и магнетит.

В отстойниках преобладает седиментация течений, о чем свидетельствует часто встречающаяся диагональная слоистость. Процесс гравитационной седиментации происходит главным образом в случае наполнения отстойника после окончания доставки промывных вод и в эффекте дает в вертикальном разрезе дифференциацию осадков на четыре типа: угольный гравий, кварцевые пески, угольные алевриты и алевритовые глины.

В разрезе отложений редко встречается четко выраженный цикл седиментации. Неравномерная доставка материала, а также колебания плотности и гранулометрического состава взвеси являются причиной большой изменчивости и разнородности в образовании осадков.

В отстойниках отчетливо отмечается фациальное разделение осадков. Вблизи выпускных труб преобладают грубозернистые осадки, а по мере удаления от них увеличивается содержание мелких зерен.

Неоднородность в образовании осадков, а также колебания естественной влажности приводят к большой изменчивости физико-механических параметров этих отложений. Величины параметров, полученные при лабораторных исследованиях, представлены в таб. 1—4, фиг. 1—4, а также в табл. 11.

При проектировании откосов в осадочных породах следует принять во внимание большую подверженность этих отложений влажности и, притом, тенденцию к сохранению в отвале влажности на высоком уровне. Кроме того, они чувствительны к сотрясениям, при увеличенной влажности под их воздействием легко сжимаются.

Krystyna KOLASA

ENGINEERING-GEOLOGICAL PROPERTIES OF FORMATIONS FROM SETTLING TANKS IN HARD COAL MINES

Summary

The formations laid down in the settling tanks of hard coal mines are deposits from washing waters supplied periodically. These waters contain up to 200 g/l of solid particles in the form of suspension, where, from mineralogical point of view, the highest percentage (70% on an average) falls to coals. In addition to this there appear also: quartz, clay minerals, muscovite, pyrite, and in the case of magnetite washing fluids — also magnetite.

The settling tanks are characterized mainly by current sedimentation, as proved by predominating diagonal bedding. The process of gravitative sedimentation takes place chiefly after the settling tank is filled in, that is after stopping the supply of washing waters, and it results in a differentiation in vertical profile, giving four types of deposits: coal gravels, quartz sands, coal silt sands and silt clays.

The deposits rarely demonstrate any well-developed sedimentary cycle there. Irregular supply of material, and oscillations in density and granulometrical composition of the suspension are responsible for a considerable changing and diversity in the development of the deposits. Facial differentiation of deposits may distinctly be observed in the settling tanks. In the proximity of inlet pipes coarse-grained deposits predominate, the percentage of fine grains increasing with the distance from these pipes.

Heterogeneity in the development of the deposits and ranging natural humidity considerably affect the physic-mechanical parameters of these formations. The value of the parameters obtained during laboratory examinations are presented in Tables 1—4, Figs. 1—4, and in Table III.

When projecting slopes of materials from settling tanks we have to take into account a fact that these formations are highly susceptible to humidity, and tends to keep high water contents in the heaps. Moreover, they are also susceptible to shocks, and at higher humidity may easily flux.

-TABELICA I

- Fig. 5. Przekrój podłużny przez utwory osadnika III kopalni Katowice (profil IV)
Longitudinal section through the formations in settling tank II of the mine
Katowice (section IV)
- Fig. 6. Przekrój poprzeczny przez utwory osadnika I kopalni Lenin (profil II)
Cross section through the formations in settling tank I of the mine Lenin
(section II)

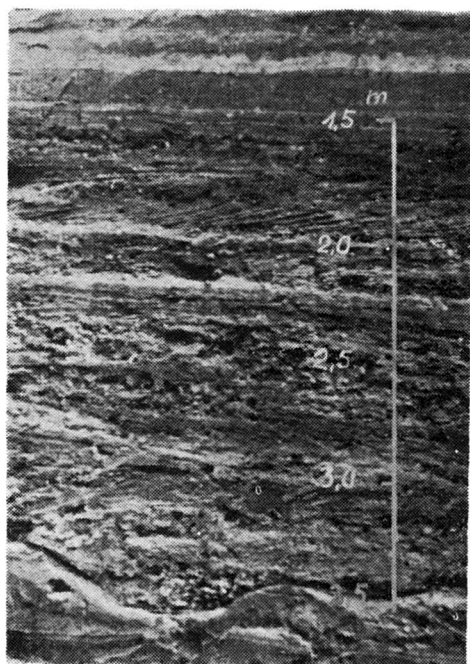


Fig. 5

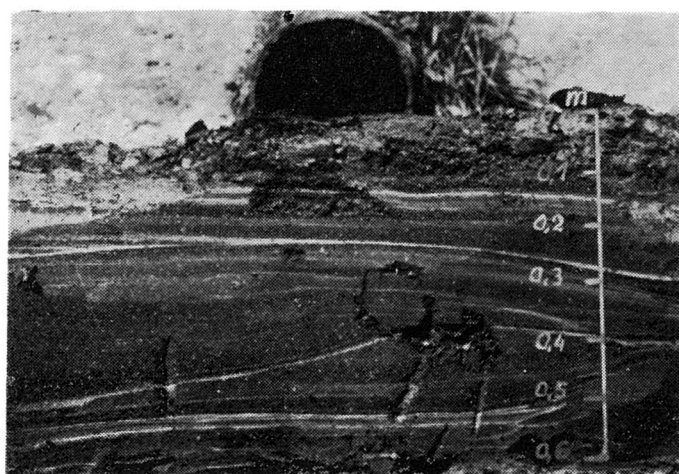


Fig. 6

TABLICA II

Fig. 7. Powierzchnia ścicia w węglowych piaskach pylastych. Próbką wyciętą prostopadle do uwarstwienia

Shearing plane in coal silt-sands. A sample cut out perpendicularly to bedding

Fig. 8. Zniszczenie próbek w aparacie trójosiowego ściskania

a — il pylasty: próbka wycięta równolegle do uwarstwienia; b — węglowy piasek pylasty: próbka wycięta równolegle do uwarstwienia; c — węglowy piasek pylasty: próbka wycięta prostopadle do uwarstwienia

Destruction of samples in triaxial compression apparatus

a — silts-clay: a sample cut out parallel to bedding, b — coal silt-sand: a sample cut out parallel to bedding, c — coal silt-sand: a sample cut out perpendicularly to bedding

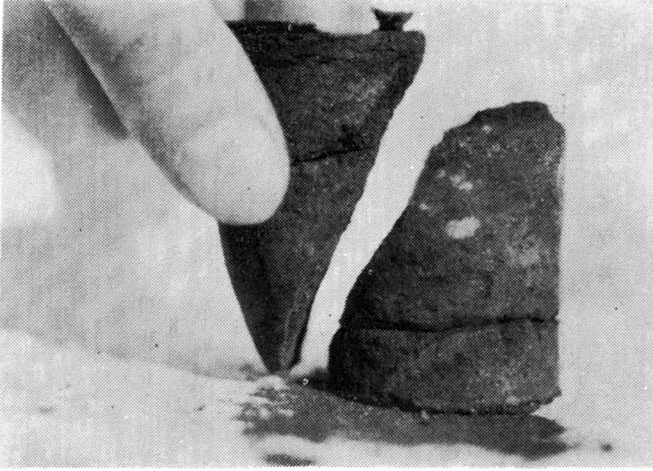


Fig. 7

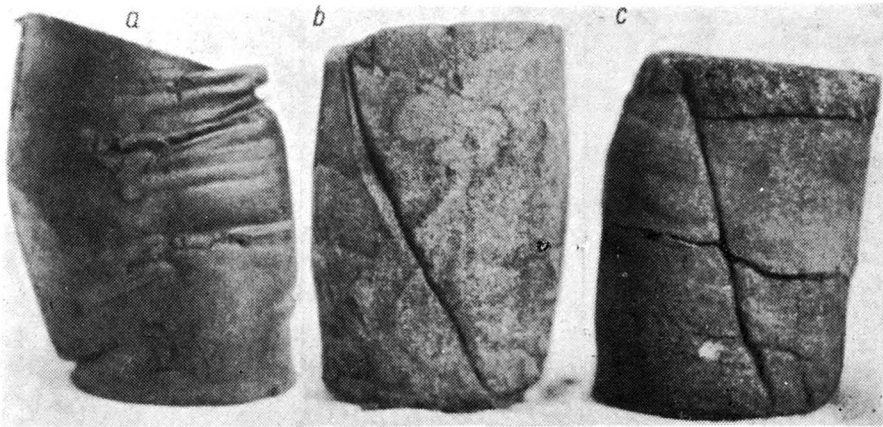


Fig. 8