

## KRYTERIUM MINERALOGICZNE JAKO ELEMENT OCENY PRZYDATNOŚCI NIEKTÓRYCH POLSKICH SUROWCÓW ILASTYCH DO BUDOWY PRZESŁON HYDROIZOLACYJNYCH

### MINERALOGICAL CRITERION AS A PART OF SUITABILITY ASSESSMENT OF SOME POLISH RAW CLAY FOR WATERPROOFING BARRIERS CONSTRUCTION

Tadeusz Ratajczak - Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków  
Elżbieta Hycnar, Piotr Bożęcki - WGGiOŚ, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

*Zagadnienia ochrony środowiska związane z koniecznością ograniczenia szkodliwego oddziaływania na środowisko zgromadzonych na składowiskach odpadów są jednym z podstawowych wyzwań cywilizacyjnych XXI wieku. Zjawiska te można ograniczyć za pomocą przesłon hydroizolacyjnych. Wieloletnie doświadczenia związane z budową i funkcjonowaniem składowisk wskazują, że najlepsze efekty uzyskuje się poprzez wykorzystanie do ich budowy skał ilastych. Spośród wielu parametrów decydujących o takich możliwościach wykorzystania skał ilastych najważniejszy jest ich skład mineralny. W artykule dokonano charakterystyki zróżnicowanych litostratygraficznie skał ilastych występujących na terenie Polski w kontekście możliwości ich wykorzystania do budowy przesłon hydroizolacyjnych.*

**Słowa kluczowe:** składowiska odpadów, skały ilaste, skład mineralny, przesłony hydroizolacyjne

*The environmental issues associated with the need to reduce negative environmental impact accumulated in waste landfills are one of the major challenges of the XXI century civilization. These effects can be reduced using waterproofing barriers. Years of experience with the construction and functioning of the barriers show that the best results are achieved by the use of clay rocks for their construction. Out of the many parameters which determine the possibilities of using such clay rocks the most important is their mineral composition. The mineral composition of clay rocks is the most important out of the many parameters which determine such possibility of using. The article presents the characteristics of different lithostratigraphic clay rocks, occurring on Polish territory in the context of their use for the construction of waterproofing barriers.*

**Keywords:** waste landfills, clay rocks, mineral composition, waterproofing barriers

Pod koniec XX-tego wieku jednym z podstawowych wyzwań cywilizacyjnych stały się zagadnienia dotyczące ochrony środowiska naturalnego. Zarówno źródła tych zagadnień jak i ich charakter są różnorodne i skomplikowane. Jednymi z nich są problemy ograniczenia szkodliwego oddziaływania na środowisko naturalnie wytwarzanych i gromadzonych w coraz większych ilościach odpadów. W rozumieniu „Ustawy o odpadach” (2013) są to „... wszystkie przedmioty oraz substancje stałe, a także nie będące ściekami substancje ciekłe powstałe w wyniku prowadzonej działalności gospodarczej lub bytowania człowieka i nieprzydatne w miejscu lub czasie, w którym powstawały ...”. Kryteria dotyczące podziału odpadów są zróżnicowane. C. Rosik-Dulewska (2006) wyróżniła trzy ich odmiany – przemysłowe, komunalne i organiczne.

Większość odpadów, z różnych przyczyn nie wzbudza zainteresowania praktycznego. Przez to nie są one wykorzystywane gospodarczo. W efekcie, w dużych ilościach są gromadzone na składowiskach. Według Rozporządzenia Ministra Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 1997 roku składowiska odpadów to „... wysypiska, wylewiska a także zwałowiska mas

ziemnych i skalnych powstające w wyniku realizacji inwestycji albo prowadzenia eksploatacji kopalni ...”. Są one postrzegane jako obiekty nienaturalne, pochodzenia antropogenicznego. Ich obecność powoduje przekształcenia estetyczne w krajobrazie, wpływa na rzeźbę i morfologię terenu. Przede wszystkim, z uwagi na charakter gromadzonych składników i zachodzące w nich reakcje, stają się źródłem zagrożeń prowadzących do zanieczyszczenia wód podziemnych i powierzchniowych, degradacji gleb, zmian składu powietrza atmosferycznego, a nawet wzrostu poziomu hałasu. Większość składowisk to swoiste reaktory chemiczne czy biologiczne, w których z różną intensywnością zachodzą rozmaitego rodzaju procesy fizykochemiczne, hydrogeochemiczne, a także fizykochemiczne. Skutkują np. uwalnianiem pierwiastków toksycznych, charakteryzujących się właściwościami szkodliwymi dla życia biologicznego w tym również dla człowieka. Zalicza się do nich zarówno niektóre metale ciężkie (np. rtęć, ołów, kadm, chrom, nikiel, miedź, cynk) jak i półmetale (np. arsen, tellur), a nawet niemetalne (selen). Mogą one przechodzić w formy mobilne, a następnie za pośrednictwem wód gruntowych i powierzchniowych

wych, a także atmosferycznych mogą być transportowane na znaczne odległości. W celu eliminacji tego typu zjawisk jawi się problem zarówno właściwego składowania odpadów jak i neutralizacji czy minimalizacji ich degradującego oddziaływania na środowisko. Jest to zadaniem składowisk, które powinny zapewnić bezpieczne gromadzenie i przechowywanie odpadów, gwarantujące minimalizację skutków negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne i krajobraz. Istotna w tym względzie jest zarówno odpowiednia lokalizacja jak i konstrukcja składowisk odpadów. Wyzwania inżynierskie stawiane tego typu obiektom spowodowały, zaliczenie ich do grupy najbardziej złożonych i skomplikowanych budowli geoinżynierskich, a przed geotechniką i geologia postawiły wiele skomplikowanych problemów do rozwiązania.

Mając na uwadze szkodliwe oddziaływanie składowisk na charakter fizykochemiczny wód, wskazana jest stabilizacja obecnych w nich połączeń. Służyć temu mają przesłony opasujące lub podścielające składowiska. Noszą one nazwę przesłony hydroizolacyjnych. Winny one gwarantować nie tylko nieprzepuszczalność, ale również mieć możliwość przeciwdziałania negatywnym skutkom oddziaływania na otoczenie obecnych w odpadach substancji toksycznych metali ciężkich, związków nieorganicznych i organicznych. Skutecznym sposobem ograniczenia tego typu oddziaływania jest wykorzystanie procesów chemicznych opierających się na reakcjach sorpcyjnych. Wieleletnie doświadczenia związane z budową i funkcjonowaniem składowisk wskazują, że zadowalające efekty związane z funkcjonowaniem składowiska uzyskuje się poprzez zastosowanie do ich budowy w charakterze przesłony skał zaliczanych do tzw. sorbentów mineralnych. Jednymi z nich są skały ilaste. Wskazane jest, aby składowiska posiadały naturalną tego typu przesłonę w formie skał znajdujących się w ich podłożu (stąd wynika konieczność właściwej lokalizacji składowisk). W przypadku ich braku zachodzi potrzeba wykonania odpowiedniej przesłony hydroizolacyjnej w podłożu składowiska.

Według L. Wysokińskiego (1999) zadaniem przesłony hydroizolacyjnych jest:

- możliwość stworzenia nieprzepuszczalnej i stabilnej warstwy ekranującej,
- niedopuszczenie do przesiąkania odcieków w naturalne podłoże,
- unieruchomienie szkodliwych związków chemicznych np. metali ciężkich poprzez procesy sorpcyjne.

Przesłony hydroizolacyjne zbudowane ze skał ilastych należą do typu aktywnych. Charakteryzują się możliwością regulowania niektórych ich właściwości m.in. sorpcyjnych poprzez wzbogacanie ich w dodatkowe komponenty, np. skały ilaste typu bentonitu, plastyfikatory organiczne, cement, popioły lotne. Szczególna rola w przygotowaniu tego typu mieszanin przypada skałom ilastym zasobnym w minerały ilaste z grupy smektytu. Minerały te uznane zostały za składnik hybrydowy polepszający właściwości sorpcyjne tworzonych mieszanek hydroizolacyjnych.

Podstawowym składnikiem przesłony hydroizolacyjnych są skały ilaste. Zarówno trwałość jak i efektywność działania tego typu budowli geoinżynierskich jest uzależniona od rodzaju minerałów ilastych wykorzystanych do ich budowy. Stąd konieczna jest wiedza zarówno na temat składu mineralnego i chemicznego skał ilastych wykorzystywanych do budowy przesłony jak i właściwości samych minerałów ilastych: fizykochemicznych, fizykomechanicznych czy technologicznych.

Najważniejsze w tym względzie są informacje dotyczące składu mineralnego skał ilastych. Stąd też od początków wykorzystywania tego typu skał do budowy przesłony hydroizolacyjnych znajomości tej problematyki poświęcano szczególną uwagę.

W latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku pojawiły się prace, których autorzy byli zgodni, że właśnie skład mineralny przesądza o hydroizolacyjnych możliwościach wykorzystania skał ilastych. Dokonano też pierwszych prób klasyfikacji tych kopalin z uwagi na tego rodzaju predyspozycje. Jedną z pierwszych zaproponowali H. Kościółko i S. Dyjor (1993). Autorzy ci dokonali oceny różnych kopalin ilastych Dolnego Śląska w kontekście określenia ich użyteczności w ochronie środowiska. Ich zdaniem najlepszymi tego typu właściwościami, ze względu na rodzaj budujących je minerałów ilastych odznaczają się dolnośląskie ility beidellitowe zbliżone składem do bentonitów, a także ility poznańskie.

Do potrzeby znajomości składu mineralnego skał ilastych wykorzystywanych do budowy przesłony hydroizolacyjnych nawiązują też L. Łukwiński i H. Szczęśniak (1995). Ich zdaniem o takiej przydatności, poza uziarnieniem, a zwłaszcza zawartością frakcji ilastej, decyduje właśnie rodzaj obecnych w nich minerałów ilastych. Według tych autorów, poza montmorillonitem ważna jest także zawartość węglanów wapnia i substancji organicznej.

Do podobnej konkluzji doszli P. Simiczyjew i A. W. Jasiński (1997). Autorzy uważają, że o przydatności hydroizolacyjnej skał ilastych decyduje w pierwszej kolejności ilość i typ minerałów ilastych.

Problem potrzeby poznania składu mineralnego i uziarnienia w przypadku iłłów stosowanych do budowy przesłony hydroizolacyjnych w składowiskach odpadów podniosła również E. Majer (2005). Według Autorki wartości podstawowych parametrów przesądających o przydatności hydroizolacyjnej powinny być następujące:

- ponad 20% wag. ziarn mniejszych od 2  $\mu\text{m}$
- poniżej 30% wag. ziarn większych od 60  $\mu\text{m}$
- ponad 50% wag. minerałów ilastych z grupy smektytu lub odmian mieszanopakietowych we frakcji poniżej 2  $\mu\text{m}$
- nie więcej niż 15% wag. węglanów.

P. Brański (2007) oceniając możliwości wykorzystania kopalin ilastych do celów ochrony środowiska uznał, że największe znaczenie w tym względzie ma rodzaj minerałów ilastych, a zwłaszcza obecność smektytu. Przydatność ta według autora jest także pochodną uziarnienia kopaliny, jej składu mineralnego oraz sposobu ułożenia agregatów ilastych czyli tekstury. Cechy te wpływają na właściwości fizykochemiczne kopaliny m.in. na wielkość powierzchni właściwej, porowatość czy pojemność jonowymienną. W pewnym uproszczeniu można powiedzieć, że im większy w skale udział frakcji ilastej i minerałów ilastych (a wśród nich wyższa zawartość montmorillonitu lub beidellitu) tym reprezentuje on lepszy surowiec w kontekście możliwości wykorzystania do budowy przesłony. Właściwości sorpcyjne mają w tym przypadku podstawowe znaczenie i są wyznacznikami tej przydatności.

Inne aspekty znajomości składu mineralnego skał ilastych jako budulca przesłony hydroizolacyjnych podniósł L. Łukwiński (2007). Autor ten uważa, że właściwości hydroizolacyjne są warunkowane wielkością współczynnika wodoprzepuszczalności. A ten z kolei parametr zależy m.in. od ich składu granulometrycznego. Stąd też zachodzi potrzeba ustalenia ich uziarnienia. Autor podkreślił też znaczenie stabilności chemicz-

nej wykazywanej przez skały ilaste.

Konieczność budowy przesłon hydroizolacyjnych sprawiła, że zagadnienia te zaczęły wymagać uregulowań prawnych. Najważniejszym z nich jest Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 roku w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy i zamknięcia, jakimi powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów. Rozporządzenie to nakłada obligatoryjny obowiązek tworzenia mineralnych barier geologicznych przy budowie składowisk odpadów. Określa też kryteria, jakie winny spełniać przesłony hydroizolacyjne, będące niezwykle ważnym elementem konstrukcyjnym takich składowisk. Z tego powodu konieczna jest dokładna charakterystyka parametrów decydujących o takich możliwościach wykorzystania kopaliny. Parametry te dotyczyć powinny nie tylko cech geologiczno-inżynierskich ale i mineralogiczno-chemicznych. Stąd też wynika potrzeba dokładnej i pogłębionej charakterystyki tych skał w zakresie tego typu zagadnień. Według treści Rozporządzenia obejmować one powinny znajomość składu granulometrycznego, mineralnego i chemicznego. Konieczna jest również potrzeba poznania niektórych cech fizykochemicznych (całkowitej powierzchni właściwej, porowatości, pojemności sorpcyjnej). W Rozporządzeniu podano również metodykę badań umożliwiającą ustalenie tego typu właściwości.

Waga tej problematyki i potrzeba jej rozwiązania zostały zauważone przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Tak należy rozumieć fakt realizacji finansowanego przez Ministerstwo projektu badawczego dotyczącego „Zastosowania ultradrobnych spoiw na bazie glin do wykonywania przesłon hydroizolacyjnych”. Jedno z zadań tego projektu dotyczyło „Badań petrograficznych, składu mineralnego, granulometrycznego, chemicznego złóż minerałów ilastych do wykorzystania w celu sporządzania ... spoiw mineralnych” (J. Grelewicz i in. 2008). Tytuł tego projektu i potrzeba realizacji dowodzi doceniania problematyki mineralogicznej w rozwiązywaniu zagadnień dotyczących budowy przesłon hydroizolacyjnych.

Prawdziwym przełomem w badaniach nad problematyką wykorzystania skał ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych były wyniki badań L. Wysokińskiego (2007). Autor wraz z zespołem na zlecenie Ministra Środowiska opracował „Zasady oceny przydatności gruntów spoistych Polski do budowy przesłon hydroizolacyjnych”. Wykonano kompleksowe prace badawcze, na podstawie których wytypowano odmiany skał ilastych, ich złoża i nagromadzenia wykazujące taką przydatność. Dotyczyły one większości odmian litostratigraficznych tego typu kopaliny zalegających na terenie całej Polski. Wśród proponowanych analiz określających taką przydatność nie zabrakło „... badań mineralogicznych i cech wiodących, tj. charakterystyki litologicznej, w tym składu mineralnego i granulometrycznego, ..., pojemności sorpcyjnej ...”. W wyniku przeprowadzonych badań i analiz autorzy określili odmiany, jak i perspektywiczne obszary występowania krajowych skał ilastych, które mogą zostać wykorzystane do budowy przesłon hydroizolacyjnych.

Zdaniem autorów „Zasad oceny przydatności ...” (2007) obowiązujący i praktykowany dotąd zakres analiz zmierzający do wykorzystania skał ilastych w charakterze przesłon był niewystarczający. Wymagał uporządkowania i uzupełnienia. Stąd też autorzy zaproponowali, aby realizowane w tym celu badania połączyć w 9 grup – kryteriów przydatności. Znalazły się wśród nich również kryteria granulometryczne, mineralo-

giczne, chemiczne, fizykochemiczne (w tym sorpcyjne).

W przypadku kryteriów granulometrycznych autorzy proponują stosować metodę praktykowaną w geologii inżynierskiej i posługiwać się w tym celu trójkątem Fereta. Wyróżniono w nim obszary – pola, w obrębie których powinny plasować się punkty projekcyjne skał ilastych o granulometrii odpowiadającej odmianom przydatnym do budowy przesłon.

Kryteria mineralogiczne zakładają konieczność oceny zarówno zawartości, jak i proporcji ilościowych poszczególnych typów minerałów ilastych. Ich sumaryczna zawartość powinna przekraczać 20% wag. Zachodzi potrzeba (mineralogiczna, ale również chemiczna) ustalenia ilości węglanów (nie więcej niż 15% wag.  $\text{CaCO}_3$ ) oraz substancji organicznej (5% wag.).

W ramach kryteriów fizykochemicznych wymagana jest konieczność określania wartości powierzchni właściwej oraz pojemności sorpcyjnej skał. Autorzy proponują ustalić ją metodą błękitu metylenowego. Uzyskane wyniki mają służyć wydzieleniu wśród kopaliny odmian charakteryzujących się „dobrą i niską” sorpcją.

„Zasady oceny przydatności ...” (2007) stanowią nie tylko próbę, ale wyraźny postęp w rozwiązywaniu problemów dotyczących kompleksowych badań oraz ustalenia cech i parametrów decydujących o wykorzystaniu skał ilastych w charakterze budulca przesłon hydroizolacyjnych. Doceniona została w nich rola i znaczenie problematyki mineralogiczno-chemicznej. Autorzy wiedzę taką uznają za niezbędną w sytuacji rozstrzygnięcia problemów tzw. „odporności chemicznej” (mającej wpływ na stabilność cech fizykochemicznych) budulca przesłon, a także interpretacji efektów i rodzajów reakcji odciek – grunt, jak również mechanizmów samej sorpcji. Są to zagadnienia niezmiernie ważne nie tylko z uwagi na zróżnicowanie mechanizmów funkcjonowania przesłon hydroizolacyjnych, ale i efektywności oraz intensywności tych procesów.

Treść „Zasad oceny przydatności ...” L. Wysokińskiego (2007) zmusza jednak do kilku refleksji i uwag. Dotyczą one zarówno materiału analitycznego poddanego ocenie, jak i metodyki badawczej.

W „Zasadach oceny przydatności ...” (2007) autorzy powołując się na propozycje H. Kościółko i S. Dyjora (1993) twierdzą, że w warunkach polskich do budowy przesłon hydroizolacyjnych mogą być wykorzystywane surowce stosowane na użytek ceramiki budowlanej, a także bentonity, ily bentonitowe, ily i gliny kalinowe, zwietrzliny smektytowe. Ich badania dotyczyły ponadto glin zwałowych, iłów warwowych, lessów i glin polessowych, iłów mioceńskich z zapadliska przedkarpaccyjskiego, pstrych iłów poznańskich, a także ilastych skał kredowych, jurajskich, kajprowych i triasowych. Przedmiot zainteresowania stanowiły też odmiany skał ilastych współwystępujące z węglem brunatnym w Bełchatowie, Koninie i Turowie. W przebadanych odmianach brakuje jednak kilka rodzajów kopaliny mogących znaleźć zastosowanie do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Być może uzasadnione jest pominięcie glin aluwialnych czy też iłów elbląskich oraz septariowych ale nie można zaakceptować zauważalnego braku łupków karpaccyjskich i utworów zwietrzelinowych Karpat. Pominięto również zwietrzelinowe skały kaolinowe i bentonitowe Dolnego Śląska. W pewnym sensie po „macoszemu” potraktowano także grupę skał przedkenozoicznych, a wśród nich skały ilaste towarzyszące złożom węgla kamiennego m.in. bentonity karbońskie. Brakuje również odpadów poprzemysłowych pochodzących z eksploatacji węgla kamiennego. Bardzo często posiadają one charakter



ilasty i mogą przez to budzić zainteresowanie do ekranowania składowisk. Ten typ kopalni reprezentują także odpady, zazwyczaj poflotacyjne, pochodzące z przeróbki rud żelaza w rejonie częstochowskim czy miedzi w zagłębie lubińskim.

Zaproponowany przez autorów sposób charakterystyki parametrów odpowiadających za ustalenie przydatności kopalni ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych posiada jeszcze jeden mankament. Jest pozbawiony oceny tego typu przydatności w sytuacji całych serii litosfratygraficznych. Dotyczy on tylko pojedynczych przypadków – kolejnych złóż z pominięciem charakterystyki całych jednostek surowcowych.

Jak wspomniano kryteria konstruowania „Zasad oceny przydatności .. (2007) widzą potrzebę ustalenia zarówno rodzaju, jak i ilości minerałów ilastych w skałach. Tymczasem w przedstawionych propozycjach jako kryterium występuje tylko sumaryczna ilość minerałów ilastych z pominięciem ich „specyfiki”. Sytuacja ta posiada duże znaczenie w rozwiązywaniu problematyki dotyczącej zróżnicowania właściwości sorpcyjnych poszczególnych minerałów ilastych, głównych składników kopalni o właściwościach hydroizolacyjnych.

Właściwości sorpcyjne skał ilastych autorzy proponują ustalić metodą sorpcji błękitu metylenowego. Mają jednak świadomość, że nie jest ona w stanie dokładnie określić tego typu

właściwości i w związku z tym nie wykluczają wykorzystanie innych metod. Również zaproponowany podział skał ilastych pod względem predyspozycji sorpcyjnych na „dobre i niskie” bez charakterystyki ilościowej wydaje się być zbyt ogólny, a przez to niedokładny.

Należy wspomnieć, że przed znormalizowaniem problematyki badawczej dotyczącej ustalenia zakresu badań skał ilastych przeznaczonych do budowy przesłon hydroizolacyjnych zaczęto realizować prace geologiczno-dokumentacyjne w przypadku niektórych ich nagromadzeń. W kolejnych wydaniach „Bilansu zasobów ...” są one odnotowywane wśród „Surowców do prac inżynierskich”. Należą do nich m.in. kopaliny gliniasto-ilaste służące do uszczelniania składowisk odpadów czy potrzeb hydroizolacyjnych. Według „Bilansu zasobów ...” (2004) czynnych było trzynaście takich zakładów, a w pięciu kopaliny te były eksploatowane okresowo. Z tych osiemnastu wystąpień – czternaście należy do rozpoznanych szczegółowo w kontekście wykorzystania ich do budowy przesłon hydroizolacyjnych.

Nowe możliwości wykorzystania skał ilastych i zapotrzebowanie na prace związane z uszczelnianiem składowisk spowodowały, że zaczęły powstawać przedsiębiorstwa specjalizujące się w tego typu technologiach. Jednym z nich było Przedsiębiorstwo Robót Geologiczno-Wiertniczych w Sosnowcu. Charakter prac przez nie

Tab. 1. Wartości parametrów granulometrycznych, chemiczno-mineralnych oraz pojemności jonowej decydujące o podziale skał ilastych na klasy przydatności przy budowie przesłon hydroizolacyjnych wg „Aprobaty technicznej...” (2002)

Tab. 1. The parameter values granulometric, chemical-mineralogical and capacity ions determine the division clay rocks class suitability of the construction of the waterproofing barriers according to the „Technical Approval ...” (2002)

Skład i właściwości glin	Klasa przydatności			
	najlepsza	dobra	średnia	nieprzydatne
	Jakościowa i ilościowa charakterystyka składu glin			
Skład granulometryczny i wskaźnik plastyczności	Gliny ciężkie, o zawartości ziarn $< 5 \mu\text{m} > 60\%$ , $> 50 \mu\text{m} < 5\%$ $I_p = 15 - 25$	Gliny ciężkie, zapiaszczone, o zawartości ziarn $< 5 \mu\text{m} > 40 - 60\%$ , $> 50 \mu\text{m} < 5 - 9\%$ $I_p = 6 - 18$	Gliny zapiaszczone, o zawartości ziarn $< 5 \mu\text{m} > 30 - 40\%$ , $> 50 \mu\text{m} < 15\%$ $I_p = 25 - 40$	a) Gliny zwykłe, o zawartości ziarn $< 1 \mu\text{m} > 55\%$ , $I_p > 70$ b) Gliny zapiaszczone, piaski zailone, o zawartości ziarn $< 5 \mu\text{m} > 20\%$
Skład mineralny	Minerały podstawowe z grupy kaolinitu z domieszkami hydromiki, w małych ilościach kwarc	Minerały podstawowe z grupy kaolinitu i hydromiki, z wzbogaconymi wkładkami kaolinitowo-illitowymi i illitowo-montmorillonitowymi, w małych ilościach kwarc, kalcyt, sparyt (skaleń)	Minerały podstawowe z grupy illitu, montmorillonitu + wermikulit, wzbogacone wkładki montmorillonitowo-illitowe, w małych ilościach kwarc, kalcyt, sparyt (skaleń)	a) minerały grupy montmorillonitu + kwarc b) minerały z grupy illitu + wzbogacone warstewki kaolinitu, w dużych ilościach kwarc, sparyt (skaleń), kalcyt, gips
Skład chemiczny	$\text{Al}_2\text{O}_3 - 20 - 28\%$ $\text{SiO}_2 - 50 - 60 \%$	$\text{Al}_2\text{O}_3 - 18 - 24\%$ $\text{SiO}_2 - 55 - 65 \%$	$\text{Al}_2\text{O}_3 > 12 - 20\%$ $\text{SiO}_2 > 60 \%$	a) $\text{Al}_2\text{O}_3 < 20\%$ $\text{SiO}_2 > 65 \%$ b) $\text{Al}_2\text{O}_3 < 12\%$ $\text{SiO}_2 > 65 \%$
Wymiennosc jonowa i udział jonów podstawowych	15 – 30 mval na 100 g suchej gliny $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	25 – 40 mval na 100 g suchej gliny $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	40 – 50 mval na 100 g suchej gliny $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$	a) $> 60$ mval na 100 g suchej gliny $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ b) $< 110$ mval na 100 g suchej gliny $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$

$I_p$  - współczynnik plastyczności

Tab. 2. Zmodyfikowane wartości parametrów decydujących o przydatności skał ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg „Aprobata technicznej...” (2002) vide M. Nieć, T. Ratajczak (2004)

Tab. 2. The modified values of parameters determine the clay rocks suitability for the waterproofing barriers construction according to the „Technical Approval ...” (2002) vide M. Nieć, T. Ratajczak (2004)

Właściwości	Jednostka	Klasy przydatności i wymagane wartości			
		najlepsza	dobra	średnia	nieprzydatne
Rodzaj utworów wg klasyfikacji geotechnicznej)		gliny ciężkie	gliny ciężkie zapiaszczone	gliny ciężkie	a) gliny zwykłe; b) gliny zapiaszczone, piaski ilaste
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste		kaolinit	kaolinit, hydromiki	illit	a) grupy montmorillonitu b) illit, illit/kaolinit
Zawartość ziarn poniżej 5 µm	% wag.	> 60*	40 - 60	30 - 40	a) ziarn poniżej 1 µm > 55
Zawartość ziarn ponad 50 µm	% wag.	< 5	5 - 9	< 15	b) ziarn ponad 5 µm < 20
Zawartość Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% wag.	20 - 28	18 - 24	12 - 20	a) < 20 b) < 12
Zawartość SiO <sub>2</sub>	% wag.	50 - 60	55 - 65	> 60	> 65
Pojemność wymiany jonowej	mval/ 100 g	15 - 30	25 - 40	40 - 50	a) > 60 b) > 10
Skład kationów wymiennych		Ca <sup>2+</sup> > Na <sup>+</sup> > K <sup>+</sup> > Mg <sup>2+</sup>			

\* Iły montmorillonitowe zawierające ponad 55% ziarn < 1 µm są nie przydatne

wykonanych i potrzeba ich realizacji spowodowały opracowanie i zaproponowanie własnej, oryginalnej propozycji dotyczącej zakresu badań. W ten sposób powstała „Aprobata techniczna IMUZ/18-0011-00. Materiały do stosowania w budownictwie melioracyjnym roztworu hydroizolacyjnego na bazie glin polimineralnych”. W 2002 roku została ona zatwierdzona Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i zalecona do stosowania przez Instytut Użytków Zielonych w Falentach. Odnosi się wrażenie, że „Aprobata techniczna...” (2002) w sposób może najbardziej spektakularny akceptuje potrzebę i konieczność badań składu mineralnego, chemicznego, charakteru granulometrycznego oraz właściwości sorpcyjnych niezbędnych do realizacji w przypadku oceny przydatności skał ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych.

Wartości parametrów decydujących o podziale skał ilastych na klasy przy budowie przesłon hydroizolacyjnych według „Aprobata technicznej...” (2002) przedstawiono w tabeli 1. Tabela 2 stanowi zmodyfikowaną jej formę, wykorzystywaną w celu oceny przydatności skał na potrzeby wykonywania przesłon hydroizolacyjnych.

W przypadku składu granulometrycznego skał ilastych ważna jest jak największa zawartość frakcji najdrobniejszej – o uziarnieniu poniżej 5 µm (co najmniej 60% wag.). Z kolei ilość ziarn grubych, powyżej 50 µm nie powinna przekraczać 15% wag. Pożądana jest też duża ilość minerałów ilastych, przede wszystkim kaolinitu i hydromiku (illitu). Podrzedne znaczenie zdają się natomiast mieć minerały reprezentujące grupę montmorillonitu. Znamienne, że autorzy „Aprobata technicznej...” (2002) za ograniczone do budowy przesłon uważają skały wzbogacone w minerały ilaste z grupy montmorillonitu, a więc odznaczające się dobrymi właściwościami sorpcyjnymi, a przez to wydawałoby się predysponowane do budowy przesłon. Niewskazana jest w nich także podwyższona obecność kwarcu, skaleni, węglanów. Nie wspominają o roli substancji organicznej.

Kolejnym kryterium brany pod uwagę przy ocenie kopalini jest ich skład chemiczny. Skały ilaste reprezentujące najlepszą odmianę tego typu kopalini powinny charakteryzować się zawartością krzemionki w zakresie 50 – 60% wag. oraz glinki w ilości 20 – 238% wag. Ilości poniżej 12% wag. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> czy powyżej 65% wag. SiO<sub>2</sub> dyskwalifikują przydatność.

Pojemność jonowymienna tych skał powinna być zawarta w przedziale 15 – 50 mval/100 g. Wartości powyżej 60 mval/100 g należy uznać za dyskwalifikujące. Na jakość przesłon hydroizolacyjnych wpływa również odpowiednia kolejność sorbowania kationów. Zalecana odznacza się następującym następstwem: Ca<sup>2+</sup> > Na<sup>+</sup> > K<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup>.

O przydatności skał ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych zdaniem autorów „Aprobata technicznej...” (2002) decyduje również jedna z cech fizykomechanicznych. Jest nią wartość współczynnika plastyczności (IP).

Uzyskane wartości parametrów charakteryzujących skład granulometryczny, skład mineralno-chemiczny czy właściwości fizykochemiczne pozwalają zakwalifikować skały ilaste do jednej z czterech klas zdefiniowanych w „Aprobacie technicznej...” (2002) jako:

- najlepsze (gliny ciężkie),
- dobre (gliny ciężkie zapiaszczone),
- średnie (gliny zapiaszczone),
- nieprzydatne (gliny zwykłe, piaski zailone).

Kryteria stanowiące treść „Aprobata technicznej...” (2002) stanowiły podstawę do oceny przydatności niektórych polskich skał ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych (Ratajczak i in. 2015). Wnioski wynikające z tej oceny są następujące:

- polskie skały ilaste charakteryzują się zróżnicowaną przydatnością do budowy przesłon hydroizolacyjnych (tab. 3),
- możliwości wykorzystania w zasadzie wszystkich odmian czwartorzędowych skał ilastych są ograniczone. Większość z nich należy zaliczyć do nieprzydatnych na użytek takich technologii. Wyjątkiem są częściowo gliny zwalowe i ły warwowe,
- zupełnie inne wnioski można sformułować w przypadku większości odmian trzeciorzędowych skał ilastych. Część z nich wykazuje dobre a nawet bardzo dobre właściwości uzasadniające ich wykorzystanie do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Dotyczy to zwłaszcza mio-pliocenkich łów poznańskich i skał ilastych z zapadliska przedkarpackiego. Do grupy tej należy zaliczyć także niektóre odmiany litostratygraficzne karpaccich łupków fliszowych

- (W. Panna i in., 2014),
- spośród przedkenozoicznych kopalin ilastych odmianami mogącymi znaleźć zastosowanie do izolacji składowisk są ropy doggerskie. W przypadku innych odmian, jak chociażby łupków karbońskich, wykorzystanie takie staje się ograniczone z uwagi na ilość i charakter obecnych w nich minerałów ilastych oraz znaczny stopień złupkowacenia,
  - możliwości wykorzystania kopalin kaolinowych do budowy przesłon wydają się być ograniczone. Chociaż prognozy takie nie zawsze się spełniają. Wskazują na to chociażby rezultaty badań uzyskane w przypadku odmian tych kopalin zalegających w złożu „Rusko-Jaroszów”(P. Wyszomirski 1995),
  - inaczej wygląda sytuacja w przypadku kopalin bentonitowych. Z uwagi na dominację w składzie mineralnym beidellitu lub montmorillonitu są one pospolicie wykorzystywane do budowy przesłon. Mankamentem jest ich znaczna rozmakalność,
  - duże nadzieje należy wiązać z możliwością wykorzystania przy budowie przesłon hydroizolacyjnych niektórych odmian kopalin towarzyszących i mineralnych surowców odpadowych. Kryteria te spełniają kopaliny ilaste towarzyszące węglom brunatnym. Są to ropy beidellitowe ze złoża „Bełchatów” a także w dalszej kolejności ropy poznańskie z odkrywek w rejonie Konina – Adamowa zaś w stopniu ograniczonym również odmiany skał ilastych ze złoża Turów,

Tab. 3. Ocena przydatności niektórych odmian polskich surowców ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych składowisk wg kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002)

Tab. 3. The suitability assessment of some Polish raw clay for landfills waterproofing barriers construction according to the criteria „Technical Approval ...” (2002)

Odmiana surowców	Klasa przydatności			
	najlepsza	dobra	średnia	nieprzydatne
<b>Kopaliny ilaste czwartorzędu</b>				
Gliny i mułki aluwialne				+
Iły i mułki zastoiskowe			+	+
Gliny zwałowe			+	
Lessy i gliny lessopodobne				+
Karpackie gliny zwietrzelinowe				+
<b>Kopaliny ilaste trzeciorzędu</b>				
Iły mio-plioceńskie	+	+		
Iły i mułki pochodzenia morskiego		+	+	
Skały ilaste fliszu karpackiego			+	+
Iły mioceńskie pochodzenia lądowego		+		
<b>Kopaliny przedkenozoiczne</b>				
Iły doggeru		+	+	
Łupki karbońskie GZW		+	+	
Łupki karbońskie LZW		+	+	
<b>Kopaliny kaolinowe</b>				
Kopaliny haloizytowe				+
Mioceńskie osady kaolinowe		+	+	
Iły kaolinitowe z piasków szklarskich				+
<b>Kopaliny bentonitowe</b>				
Iły bentonitowe GZW		+	+	
Bentonity Karpat fliszowych		+	+	
Bentonity zapadliska przedkarpackiego		+	+	
Bentonitowe zwietrzeliny bazaltowe			+	+
<b>Kopaliny towarzyszące i mineralne surowce odpadowe</b>				
Iły doggerskie	+	+		
Muły poflotacyjne GZW			+	
Odpady poeksploatacyjne LZW			+	
<b>Kopaliny towarzyszące złożom węgla brunatnego</b>				
Złoże węgla brunatnego „Bełchatów”	+			
Złoże węgla brunatnego rejonu Konina i Adamowa	+	+		
Złoże węgla brunatnego „Turów”			+	
Odpady poflotacyjne z górnictwa miedzi				+

- najbardziej przydatne do budowy przesłon hydroizolacyjnych wydają się być polimineralne odmiany skał ilastych. Zaliczyć do nich można odmiany kaolinitowo-illitowe. Obecność w nich minerałów montmorillonitowych czy beidellitowych lub o strukturach mieszanopakietowych zdolności te pogarszają. Ważny jest także uziarnienie i stopień zaawansowania procesów diagenetycznych prowadzący do złupkowacenia skał,
- istnieje uzasadniona potrzeba i konieczność każdorazowej oceny przydatności do budowy przesłon hydroizolacyjnych w przypadku nie tylko każdej odmiany litostratygraficznej skał ilastych, ale także kolejnych złóż i nagromadzeń.

*Praca zrealizowana została w ramach badań statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w 2016 roku oraz działalności statutowej Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w roku 2016 (nr 11.11.140.319).*

## Literatura

- [1] Aprobata techniczna 2002. IMUZ/18-001-00. Materiały do stosowania w budownictwie melioracyjnym roztworu hydroizolującego na bazie glin polimineralnych. Falenty. Instytut Melioracji i Użytków Rolnych
- [2] Bilans kopalni i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 31 grudnia 2005. Wydawnictwo PIG-PIB
- [3] Brański P., 2007: Ocena możliwości wykorzystania wybranych przedkenozoicznych kopalni ilastych z obszaru Polski do celów ochrony środowiska. Przegląd Geologiczny t. 55 nr 6
- [4] Grelewicz M., Kuś R., Wójcik Ł., 2008: Badania przydatności istniejących i rozpoznanych złóż minerałów ilastych do wykorzystania w celu sporządzenia ultradrobnych stabilnych spoiw mineralnych – badania petrograficzne, składu mineralnego, granulometryczne, chemiczne ultradrobnych stabilnych spoiw mineralnych. Projekt Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Zastosowanie ultradrobnych spoiw na bazie gliny do wykonywania przesłon hydroizolacyjnych”
- [5] Kościówko H., Dyjor S., 1993: Surowce skalne regionu dolnośląskiego w ochronie środowiska. Wyd. PIG-PIB
- [6] Łukwiński S., Szczeńiak H., 1995: Iły jako surowce do masowego uszczelniania gruntów. Materiały Ogniotrwałe nr 3, str. 93 – 96
- [7] Majer E., 2005: Zastosowanie iłów beidellitowych z nadkładu KWB Bełchatów jako materiału do budowy składowisk odpadów. Górnictwo Odkrywkowe t. 45 nr 6, str. 56 – 61
- [8] Nieć M., Ratajczak T., 2004: Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce ilaste (pod red. R. Neya). Wydawnictwo IGSMiE PAN. Kraków
- [9] Panna A., Wyszomirski P., Myszka R., 2014: Charakterystyka surowcowa odpadu eksploatacyjnego z kopalni w Wysochanach (woj. podkarpackie). Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN nr 88, str. 183 – 193
- [10] Ratajczak T., Hyncar E., Bożęcki P., 2015: Kryterium mineralogiczne jako element oceny przydatności niektórych polskich surowców ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Studia, Rozprawy, Monografie. Wyd. IGSMiE PAN
- [11] Rosik-Dulewska C., 2006: Podstawy gospodarki odpadami. Wydanie III uaktualnione. PWN
- [12] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów naturalnych i Leśnictwa z dnia 24 grudnia 1997 roku w sprawie klasyfikacji odpadów (Dz.U. 1997 nr 167 poz. 1135)
- [13] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 roku w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakimi powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz.U. 2003 nr 61 poz. 549)
- [14] Smoczyjew P., Jasiński A. W., 1997: Zakres badań skał ilastych o cechach hydroizolacyjnych. Górnictwo Odkrywkowe, t. 39, nr 1 – 2
- [15] Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2013 roku (Dz.U. 2013 poz. 21)
- [16] Wysokiński L., 1999: Zagadnienia geotechniczne w budowie składowisk. W: Szkoła Gospodarki Odpadami 1999. Ryto
- [17] Wysokiński L. (red.), 2007: Zasady oceny przydatności gruntów spoiwistych Polski w budownictwie mineralnych przesłon izolacyjnych. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej. Warszawa
- [18] Wyszomirski P., 1995: Badania nad uszlachetnianiem iłów ze złożeń glin ogniotrwałych „Rusko-Jaroszów”. Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH