

INSTYTUT GOSPODARKI SUROWCAMI MINERALNYMI I ENERGIĄ
POLSKIEJ AKADEMII NAUK — KRAKÓW

STUDIA, ROZPRAWY, MONOGRAFIE **194**

Tadeusz Ratajczak, Elżbieta Hycnar, Piotr Bożęcki

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

WYDAWNICTWO INSTYTUTU GOSPODARKI SUROWCAMI MINERALNYMI
I ENERGIĄ PAN • KRAKÓW • 2015

KOMITET REDAKCYJNY

prof. dr hab. inż. Eugeniusz Mokrzycki (redaktor naczelny serii)
dr hab. inż. Lidia Gawlik (sekretarz redakcji), prof. IGSMiE PAN
dr hab. inż. Zenon Pilecki, prof. IGSMiE PAN
prof. dr hab. inż. Wojciech Suwała
dr hab. inż. Alicja Uliasz-Bocheńczyk, prof. AGH

RECENZENCI

dr hab. inż. Tomasz Bajda
dr hab. inż. Krzysztof Galos

AUTORZY

prof. dr hab. inż. Tadeusz Ratajczak – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w Krakowie
dr inż. Elżbieta Hycnar, dr inż. Piotr Bożęcki – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Katedra Mineralogii, Petrografii i Geochemii

ADRES REDAKCJI

31-261 Kraków, ul. Józefa Wybickiego 7
tel. 12-632-33-00, fax 12-632-35-24

Redaktor Wydawnictwa: mgr Emilia Rydzewska
Redaktor techniczny: Beata Stankiewicz

© *Copyright by Autorzy*

© *Copyright by Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN – Wydawnictwo*

Printed in Poland

Kraków 2015

ISSN 1895-6823

ISBN 978-83-62922-53-6

IGSMiE PAN – Wydawnictwo, Kraków 2015

Nakład 150 egz.

Objętość ark. wyd. 13,19; ark. druk. 18,5 (×8)

Druk i oprawa: Agencja Reklamowo-Wydawnicza „Ostoja” Maciej Hubert Krzemień,
Cianowice 348, 32-043 Skała

Spis treści

I. Część wstępna – objaśnienie problemu	5
1. Wprowadzenie	5
2. Składowiska odpadów	6
3. Znaczenie kopalin ilastych dla rozwoju cywilizacji	11
4. Budowa wewnętrzna minerałów ilastych a ich właściwości sorpcyjne	13
4.1. Podział minerałów ilastych	13
4.2. Budowa wewnętrzna minerałów ilastych	14
4.3. Właściwości sorpcyjne minerałów ilastych	18
5. Przydatność kopalin ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych – zasady klasyfikacji i ich rodzaje	21
II. Cel i przedmiot opracowania oraz zakres i metodologia badań	31
III. Kopaliny ilaste i ich przydatność do budowy przesłon hydroizolacyjnych	35
1. Mineralogia, skład chemiczny, granulometryczny i właściwości fizykochemiczne kopalin ilastych	35
1.1. Surowce kenozoiczne	35
1.2. Surowce przedkenozoiczne	57
1.3. Kopaliny kaolinowe.....	65
1.4. Kopaliny bentonitowe	68
1.5. Kopaliny towarzyszące i mineralne surowce odpadowe	76
2. Przydatność kopalin ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych.....	90
2.1. Skały ilaste czwartorzędu.....	90
2.2. Skały ilaste trzeciorzędu.....	95
2.3. Surowce przedkenozoiczne	102
2.4. Surowce kaolinowe	104
2.5. Bentonity	107
2.6. Kopaliny towarzyszące i mineralne surowce odpadowe	109
IV. Podsumowanie	117
Literatura	123

I. Część wstępna – objaśnienie problemu

1. Wprowadzenie

Pod koniec XX wieku jednym z podstawowych wyzwań świata cywilizacyjnego stały się zagadnienia dotyczące ochrony środowiska naturalnego. Źródła tych zagadnień, a przez to i ich charakter, są skomplikowane i różnorodne. Dotyczą obszarów badawczych z pogranicza wielu dyscyplin naukowych. Jednymi z nich są problemy ograniczenia szkodliwego oddziaływania na środowisko naturalne wytwarzanych i gromadzonych w coraz większych ilościach odpadów.

W rozumieniu Ustawy o odpadach (2013) pojmować przez nie należy „wszystkie przedmioty oraz substancje stałe, a także niebędące ściekami substancje ciekłe powstałe w wyniku prowadzonej działalności gospodarczej lub bytowania człowieka i nieprzydatne w miejscu lub w czasie, w którym powstały”. Definicja ta nie znajduje zastosowania w przypadku „mas ziemnych lub skalnych usuwanych lub przemieszczanych w związku z prowadzeniem eksploatacji kopalni jeżeli określone są warunki i sposób ich zagospodarowania”. Powoduje to potrzebę wprowadzenia innego terminu – „mineralne surowce odpadowe”.

W celu uporządkowania gospodarki odpadami niezbędna jest ich właściwa klasyfikacja. Kryteria stanowiące podstawę ich podziału bywają zróżnicowane. Brane są pod uwagę: geneza, źródła powstania, ekologiczna uciążliwość dla życia lub zdrowia czy środowiska, masowość wytwarzania. Jako podstawę podziału przyjmuje się także cechy fizykochemiczne czy biologiczne gromadzonych odpadów. W warunkach polskich sprawy te reguluje Rozporządzenie Ministra Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 24 grudnia 1997 roku. Klasyfikuje je ono „w zależności od źródeł powstania”, wydzielając 20 grup odpadów.

Inne kryteria podziału odpadów zaproponowała C. Rosik-Dulewska (2006). Wyróżniła ona trzy ich odmiany – przemysłowe, komunalne i organiczne.

Odpady przemysłowe stanowią efekt działalności przemysłu wydobywczego, m.in. górnictwa. Są to ich odmiany poeksploatacyjne i poprzemysłowe. Wiele z nich związanych jest z funkcjonowaniem innych, poza przemysłem wydobywczym, gałęzi przemysłu, zwłaszcza energetycznego i surowcowego. Część z nich znajduje lub może znaleźć zastosowanie praktyczne. Stąd w niektórych sytuacjach w ich przypadku stosowany jest wspomniany termin „mineralne surowce odpadowe”. Przez odpady komunalne Ustawa o odpadach z 2013 roku rozumie „stałe i ciekłe odmiany powstające w gospodarstwach domowych, w obiektach

użyteczności publicznej i obsługi ludności”. Charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem składu chemicznego i właściwości fizycznych. Z kolei odpady organiczne mają zarówno charakter stały, jak i płynny. O przynależności do nich decyduje zawartość powyżej 50% składników organicznych.

J. Szczepańska (1999) stosując kryteria uciążliwości dla środowiska odpadów podzieliła je na trzy grupy:

- I. Bezpieczne, o niskim stopniu zagrożenia dla środowiska. Są to niektóre odmiany odpadów stałych, a także ścieki zachowujące się neutralnie w tzw. polu hydrogeochemicznym wokół składowisk, a obejmującym wody podziemne i gruntowe. Odpady te stanowią zazwyczaj skały płonne oraz odpady poprzemysłowe węgla.
- II. Potencjalnie zagrażające środowisku naturalnemu, zwłaszcza wodnemu. Sytuacja ta w celu eliminacji czy ograniczenia tych zagrożeń wymaga realizacji zabiegów zabezpieczających rejon składowiska. Do tego typu odpadów zalicza się odpady przemysłowe, żużle i popioły pochodzące ze spalania kopalnych paliw stałych, a także ścieki przemysłowe. Charakteryzuje je znaczny stopień zmineralizowania i obecność składników mogących degradować środowisko naturalne.
- III. Niebezpieczne. Można je gromadzić w określonych warunkach, w specjalnie zabezpieczonych składowiskach. Stąd też zaleca się lokalizować je w miejscach, w których skały otaczające charakteryzują się nieprzepuszczalnością. Technologia budowy składowiska winna zapewnić eliminację przepływu wód. Należą do nich odpady przemysłowe silnie toksyczne (np. pochodzące z działalności przemysłu chemicznego czy spożywczego), radioaktywne, a także komunalne – hodowlane (organiczne). Ich depozycja może doprowadzić do przemian fizykochemicznych, powstawania substancji toksycznych.

Większość tych odmian odpadów z różnych przyczyn nie wzbudza zainteresowania użytkowego. Nie są one wykorzystywane i wykorzystywane praktycznie. W efekcie tego w dużych ilościach gromadzi się je na składowiskach.

2. Składowiska odpadów

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 z zastrzeżeniem, że nie są to mineralne surowce odpadowe”.

Składowiska odpadów postrzegane są jako obiekty nienaturalne, antropogeniczne. Ich obecność powoduje przekształcenia estetyczne w krajobrazie, wpływa na rzeźbę i morfologię terenu. Przede wszystkim jednak z uwagi na charakter gromadzonych składników i zachodzące w nich reakcje stają się one obiektami stanowiącymi zagrożenia prowadzące do zanieczyszczenia wód podziemnych i powierzchniowych, degradacji gruntów, zmian składu powietrza atmosferycznego, a nawet wzrostu poziomu hałasu (Mączka 1977). Większość

tych składowisk to swoiste reaktory chemiczne czy biologiczne, w których z różną intensywnością zachodzą rozmaitego rodzaju procesy fizykochemiczne, hydrogeochemiczne, a także fizykomechaniczne. Rodzaj, intensywność i zasięg tych przemian zależy od typu gromadzonych odpadów – głównie ich składu mineralnego i chemicznego. Stymulowane są one również temperaturą, obecnością i ilością wody, dostępem tlenu, rodzajem mikroorganizmów, odczynem pH. Skutkują np. uwalnianiem metali ciężkich, charakteryzującym się właściwościami toksycznymi, szkodliwymi tak dla życia biologicznego, jak i człowieka. Zalicza się do nich zarówno niektóre metale (np. rtęć, ołów, kadm, chrom, nikiel, miedź, cynk), jak i półmetale (np. arsen, tellur), a nawet niemetale – selen. Powstające na składowiskach odpadów roztwory charakteryzuje duża siła jonowa. Wynika ona z obecności rozpuszczonych związków mineralnych oraz organicznych o bardzo zróżnicowanym składzie i budowie. Metale ciężkie w takim środowisku mogą przybierać różne formy, m.in. kompleksów organicznych czy bezpośrednich lub pośrednich powiązań chemicznych. Utrudnia to proces sorpcji. Metale te przechodząc w formy mobilne, przemieszczane są przez wody gruntowe i powierzchniowe, a także pochodzące z opadów atmosferycznych. W celu eliminacji tego zjawiska jawi się problem zarówno właściwego składowania odpadów, jak i minimalizacji czy neutralizacji ich degradującego oddziaływania na środowisko.

Zmiany w środowisku wodnym polegają przede wszystkim na zakłóceniu reżimu fizykochemicznego pola hydrogeochemicznego w rejonie składowiska. Przekształceniu ulega wartość niektórych parametrów wody – chemicznego (ChZT) i biologicznego zapotrzebowanie na tlen (BZT), ilości tlenu, węgla, azotu, fosforanów, pestycydów. Dotyczą one również pH, temperatury wody, jej mętności. Zmianom ulega zapach wody. Następuje też dewastacja flory i fauny. Skutkują także transformacjami mineralogicznymi dotyczącymi gromadzonych minerałów, skał czy surowców mineralnych. A te mogą spowodować właśnie uruchomienie połączeń metali i ich przejścia w formy mobilne.

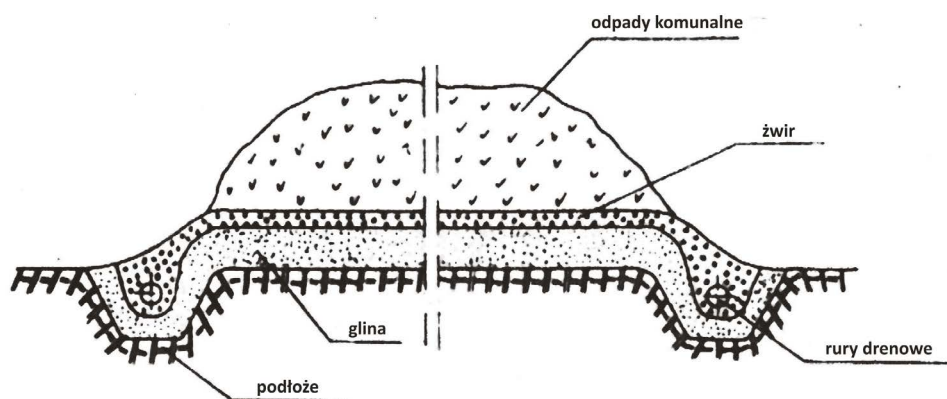
Zanieczyszczenie powietrza wiąże się z wydzielaniem przez składowiska gazów, a także powstaniem pyłów. Do najczęstszych zanieczyszczeń gazowych emitowanych przez składowiska zwłaszcza przemysłowe należą połączenia C, N, S (w tym biogaz). Długotrwałe oddziaływanie czynników atmosferycznych prowadzi z kolei do dezintegracji materiału zgromadzonego na składowiskach. W efekcie mają miejsce zapylenia okolic składowisk i zmiany składu atmosfery.

Długotrwałe oddziaływanie zdegradowanych chemicznie i fizycznie wód może doprowadzić do zmian w składzie ziarnowym osadów, a także ich parametrów geologiczno-inżynierskich. Zarówno przekształcenia w środowisku wodnym, jak i zapylenie powietrza oddziałują negatywnie na właściwości bonitacyjne gleb. Stając się nośnikami metali ciężkich oraz związków rozpuszczalnych degradują ich charakter. Prowadzi to do eliminacji i unicestwienia w nich naturalnych komponentów florystycznych i faunistycznych. Zmiany te mogą także dotyczyć zanieczyszczeń produktów rolnych czy żywności pozyskiwanej zarówno przez rolnictwo, jak i otrzymanywanych ze zbiorników wodnych.

Zadaniem składowisk jest zapewnienie bezpiecznego gromadzenia i przechowywania odpadów, gwarantujące minimalizację negatywnego ich oddziaływania na środowisko na-

turalne i krajobraz. W celu zapewnienia tego, niezbędna staje się odpowiednia budowa składowisk i ich lokalizacja. Wyzwania inżynierskie pojawiające się przed tego typu obiektami spowodowały, że zdaniem L. Wysokińskiego (2007) przed geotechniką i geologią inżynierską pojawił się nowy problem do rozwiązania. Składowiska odpadów należą bowiem do grupy najbardziej złożonych i skomplikowanych budowli inżynierskich. Powinny one przedstawiać obiekty zbudowane zgodnie z przepisami budowlanymi. Zachodzi więc potrzeba ich prawidłowego zaprojektowania i konstrukcji zgodnie z najlepszymi dostępnymi technologiami. Warunkiem *sine qua non* staje się przygotowanie dokumentacji hydrogeologicznej, geologiczno-inżynierskiej czy geotechnicznej.

Prosty schemat budowy składowiska odpadów przedstawia rysunek 1. Jej uszczegółowiony wariant jest podany na rysunku 2.

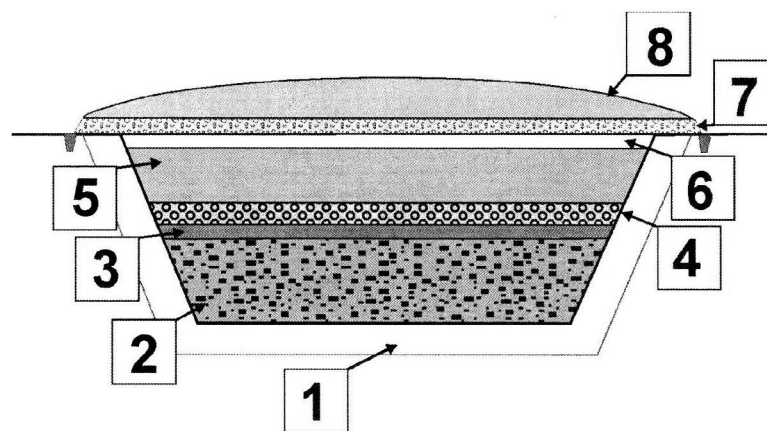


Rys. 1. Schemat budowy składowiska odpadów z uszczelnieniem ilowym wg L. Łukwińskiego i H. Szczęśniaka (1995)

Fig. 1. The construction scheme of waste site with a clay seal by L. Łukwiński and H. Szczęśniak (1995)

Ważnym problemem jest też prawidłowa lokalizacja składowiska. Według C. Rosik-Dulewskiej (2006) problem ten należy do najtrudniejszych w całokształcie gospodarki odpadami. Stąd wybór lokalizacji składowiska winien uwzględniać różnorakie aspekty – topograficzne, klimatyczne, zagospodarowania przestrzennego (brać pod uwagę obecność zabytków architektonicznych czy parków krajobrazowych), demograficzne. Ale być może najważniejszym kryterium powinna być budowa geologiczna i hydrogeologiczna terenu w rejonie planowanej lokalizacji składowiska.

Mając na uwadze szkodliwe oddziaływanie składowisk na charakter fizykochemiczny wód, wskazana jest stabilizacja obecnych w nich połączeń. Służyć temu mogą przesłony, opasujące lub podścielające składowiska. Noszą one nazwę barier hydroizolacyjnych. Winny gwarantować nie tylko ich szczelność – nieprzepuszczalność, ale również mieć możliwość neutralizacji czy minimalizacji oddziaływania połączeń metali, związków nieorganicznych czy substancji toksycznych drogą procesów chemicznych, m.in. sorpcyjnych. Wieloletnie



Rys. 2. Schemat zabezpieczenia środowiska gruntowo-wodnego w przypadku składowisk odpadów wg B. Kłojzy-Karczmarczyk i J. Mazurka (2009)

Objaśnienia: 1 – uszczelnienie dna, 2 – odpady zdeponowane, 3 – warstwa wyrównawcza, 4 – warstwa odgazowująca, 5 – mineralna przesłona izolująca, 6 – uszczelnienie syntetyczne, 7 – warstwa drenażowa dla wód opadowych, 8 – warstwa podglebia i gleba rekultywacyjna

Fig. 2. The scheme of soil and water environment protection in the case waste sit by B. Kłojzy-Kaczmarczyk and J. Mazurek (2009)

doświadczenia związane z budową i funkcjonowaniem składowisk wskazują, że jedne z lepszych efektów uzyskuje się poprzez zastosowanie do ich budowy odmian skał zaliczanych do tzw. sorbentów mineralnych. Jednymi z nich są skały ilaste. Wskazane jest, aby składowiska posiadały naturalną przesłonę tego typu skał (stąd konieczność właściwej lokalizacji). W przypadku jej braku zachodzi potrzeba sztucznego jej wykonania.

Stosowanie skał ilastych w celach hydroizolacyjnych zostało zapoczątkowane w drugiej połowie XX wieku w Stanach Zjednoczonych. Użyto w tym celu bentonitów. Uszczelniano nimi m.in. wały rzeczne. Z kolei w Niemczech skały ilaste zaczęto wykorzystywać do uszczelniania składowisk odpadów w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku (Panna i in. 2013). Najnowsze zasady projektowania i budowy składowisk odpadów oparte są na koncepcji wielokrotnych barier zabezpieczających. Rozwiązania takie prawie całkowicie zapobiegają rozprzestrzenianiu się szkodliwych substancji ze składowiska do środowiska naturalnego zarówno w czasie jego eksploatacji, jak i po jej zakończeniu.

L. Wysokiński (1999) przesłony hydroizolacyjne stosowane w składowiskach dzieli na trzy grupy:

- I. Naturalne bariery geologiczne. Są nimi nieprzepuszczalne skały ilaste, odpowiedniej miąższości, ciągłości i jednorodności, stanowiące podłoże składowiska.
- II. Mineralne przesłony izolacyjne. Stanowią je warstwy zbudowane w sposób zaplanowany ze skał ilastych. Wyściela się nimi dna i skarpy składowisk. Ich skład litologiczny czy petrograficzny, w celu polepszenia właściwości izolacyjnych, może być modyfikowany. Powstaje w ten sposób bariera geologiczna o charakterze warstwy ekranizującej.

III. Maty bentonitowe (geomaty). Są one wykonane z materiałów syntetycznych z dodatkiem materiału skalnego, najczęściej bentonitów.

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

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

Zasadnicza rola przesłon hydroizolacyjnych polega na tym, że nie powinny one dopuszczać do infiltracji skażonych wód w głąb górotworu. Sposób konstrukcji umożliwia realizację również innych zadań. Są nimi:

- odprowadzanie skażonych wód poza obręb składowiska,
- zapobieganie wydostawaniu się gazów pochodzących z procesów biogeochemicznych,
- ograniczenie pylenia i roznoszenia przez wiatr zdeintegrowanych odpadów,
- tworzenie barier biologicznych poprzez warstwy gleby o wartościach bonitacyjnych, umożliwiających rozwój roślinności,
- zapobieganie erozji powierzchni składowiska.

Przesłony hydroizolacyjne zbudowane ze skał ilastych należą do typu aktywnych. Gwarantują dużą odporność mechaniczną. Charakteryzuje je możliwość regulowania niektórych ich właściwości takich jak parametry reologiczne, wytrzymałość, współczynnik filtracji. Istnieje przez to szansa na samouszczelnienie się przesłon. Cecha ta nabiera szczególnego znaczenia w przypadku ich uszkodzenia. Przesłony mogą być wykorzystywane też jako element obiektów geoinżynierskich. Są nimi poziome i pionowe części budowli podziemnych (w tym górniczych), płyty fundamentowe, obudowy wykopów. Można je też stosować do uszczelniania zapór, zbiorników wodnych, przy głębieniu szybów, drążeniu tuneli, obwałowań rowów i kanałów melioracyjnych. Z tych samych powodów mogą one zostać zastosowane w celu uzyskania mieszanek różnych substancji. Są to specjalnie przygotowywane w procesach mieszania skały ilaste, wzbogacone w dodatki bentonitu, plasyfikatorów organicznych, cementu, popiołów poelektrownianych. O procedurach tych i proponowanych sposobach rozwiązania wspominają m.in. E. Helios-Rybicka (1975), M. Mazurkiewicz i in. (1997), R. Kuś (2010) czy W. Panna i in. (2013). Szczególna rola w preparowaniu tych mieszanek przypada skałom ilastym wzbogaconym w smektyt. Mineral ten staje się niejako składnikiem hybrydowym, polepszającym właściwości sorpcyjne tworzonych mieszanek.

Z doświadczeń R. Kusia (2010) dotyczących wykonywania i zastosowania tych mieszanek wynika, że:

- najbardziej efektywnym i wytrzymałym typem materiału stosowanego do budowy przesłon hydroizolacyjnych są niezdiagenezowane skały ilaste typu glin czy ilów z przewagą w ich składzie mineralnym kaolinitu i illitu,
- składnikiem tych mieszanek może być materiał klinkierowy (niestety autor nie precyzuje jego składu mineralnego). Uzyskuje się wówczas mieszanki hydroizolacyjne o dobrych właściwościach zarówno reologicznych, jak i mechanicznych.

Z kolei doświadczenia zwłaszcza górnictwa węgla kamiennych wskazują na możliwość praktycznego wykorzystania minerałów ilastych w innego rodzaju mieszankach. Są to od-

miany popiołowo-mineralne (Mazurkiewicz i in. 1997). Ich komponentem, poza popiołem lotnym są skały ilaste. Uzyskuje się w ten sposób tzw. masy samozestalające się, pozwalające mieszankom tym nadać charakter zdiagenezowanej i zlityfikowanej skały mułkowej. Jest to właśnie efekt obecności w nich minerałów ilastych i ich właściwości fizycznych m.in. plastycznych. Mieszanki takie z dużym powodzeniem stosowane są w celu „podsadzania” wyeksploatowanych podziemnych wyrobisk górniczych czy obwałowań składowisk odpadów, zbiorników wodnych lub rzek.

Innego rodzaju eksperymenty dotyczące uzyskiwania mieszanek realizowała E. Helios-Rybicka (1975). Do stabilizacji gruntów w celu polepszenia ich wytrzymałości i właściwości reologicznych autorka używała wodorotlenku wapnia. Najefektywniejsze próby tych parametrów uzyskiwała podczas dominacji w mieszance skał ilastych bogatych w montmorillonit. Korzystny był przy tym również udział illitu. Natomiast w przypadku obecności kaolinitu eksperymenty nie przynosiły spodziewanych efektów.

Powszechnie w przesłonach hydroizolacyjnych stosuje się też mieszanki ilasto-cementowe.

3. Znaczenie kopalin ilastych dla rozwoju cywilizacji

Skały ilaste stanowią obszerną i bardzo zróżnicowaną pod względem genetycznym grupę skał. Funkcjonują w ich przypadku dwie definicje: geologiczna i petrograficzna (m.in. Ryka, Maliszewska 1991; Górniak 2008). W ujęciu petrograficznym skałę nazywa się ilastą, jeśli w jej składzie granulometrycznym ponad połowę stanowi frakcja ilasta, czyli ziarna drobniejsze od 0,01 mm. Powinna ona poza tym być zbudowana przynajmniej w 50% z minerałów ilastych.

Skały ilaste jako odmiany kopalin występujące pospolicie w przyrodzie wykazujące interesujące właściwości surowcowe były w różny sposób wykorzystywane przez człowieka już od zarania dziejów. Przez to na trwałe i w sposób znaczący wpisały się w historię materialną świata. M. Handke (2008) twierdzi, że nasza cywilizacja zaczęła się od przyswajania możliwości zastosowania praktycznego krzemianów, a wśród nich właśnie skał ilastych. Autor w swych przeświadczeniach idzie nawet dalej, twierdząc, że współczesny poziom cywilizacji osiągnęła również dzięki krzemianom. Kopaliny ilaste były bodajże drugą odmianą surowców (po krzemieniach), jaką człowiek nauczył się praktycznie wykorzystywać. Nasi przodkowie z racji pospolitości i sposobu występowania tych kopalin byli wręcz skazani na codzienne obcowanie z nimi (dzisiaj powiedzielibyśmy, że miało to miejsce z uwagi na geologiczno-górnice warunki ich zalegania). Homo sapiens zewsząd otoczony był różnymi formami minerałów krzemianowych i rzeczą naturalną stało się, że musiał zrobić z nich użytek. Od zarania cywilizacji były więc czynione próby zmierzające do ich praktycznego wykorzystania. Badania archeologiczne wskazują, że w tym swoistym rankingu pierwsze miejsce, jak wspomniano, należy się właśnie narzędziom wykonywanym z krzemieni. Miało to miejsce w paleolicie około 500 tys. lat p.n.e. Ale już w okresie

między paleolitem a neolitem zwanym mezolitem – około 8 tys. lat p.n.e. na Bliskim Wschodzie i w Europie Południowej pojawiły się pierwsze wyroby i naczynia wykonane z gliny, niekiedy słabo wypalone. Koło garncarskie – czyniące rewolucję w tych zastosowaniach – wynaleziono w Mezopotamii około 3250 roku p.n.e. W ten sposób w historii cywilizacji pojawiła się kolejna po epoce kamiennej technologia, którą można nazwać ceramiczną (Handke 2008). Stało się to możliwe dzięki temu, że nasi przodkowie odkryli unikalną cechę skał ilastych. Wpierw zainteresowanie, a potem wykorzystanie praktyczne wzbudził mianowicie fakt, że niektóre z nich w stanie naturalnym, a inne pod wpływem wody stawały się plastyczne. Umożliwiło to, uzyskanej w ten sposób masie, nadawanie różnych, a z czasem pożądanym kształtów. Formy te z kolei po wypaleniu stawały się trwałe. Mogły być przez to wykorzystywane praktycznie. W ten sposób zaczęto z kopaliny ilastej wytwarzać wyroby o znaczeniu użytkowym. Wpierw były to przedmioty gospodarstwa domowego. Z czasem zakres tych możliwości uległ rozszerzeniu. Kopaliny te zaczęły bowiem znajdować zastosowanie w budownictwie.

Wyroby ceramiczne powstałe w mezolicie czy neolicie należą niewątpliwie do najstarszych wytworów pracy ludzkiej. Dzięki swym właściwościom przetrwały tysiąclecia. Technologia wytwarzania ceramiki rozwijała się przez całe wieki aż do czasów współczesnych. Praktycznie każda kultura – nie tylko starożytny Egipt, Grecja czy Rzym (kultura śródziemnomorska), ale i Daleki Wschód (Chiny), a nawet Majowie, poprzez wykorzystanie kopaliny ilastej stworzyli własny, specyficzny pod względem formy „przemysł ceramiczny”.

Dalsze, najpierw praktyczne, a później naukowo-badawcze zainteresowanie tymi kopalinami sprawiło, że wykazano inne ich właściwości m. in. chłonne, katalityczne, ogniotrwałe. Pozwoliło to na wykorzystanie ich zarówno do rozwiązywania problemów badawczych różnych dyscyplin naukowych, takich jak geologia złóż (także węglowodorów), geologia inżynierska, gleboznawstwo, litostratygrafia, a także zastosowania w nowych technologiach – ceramice ogniotrwałej, odlewnictwie, chemii, farmacji, inżynierii budowlanej, ochronie środowiska. Sprawiło to, że eksploatacja tych kopaliny i ich wykorzystanie nabrały charakteru przemysłowego. Ułatwione to było sprzyjającymi geologiczno-górnictwymi warunkami ich zalegania.

Skały ilaste długo skrywały przed człowiekiem swój charakter i cechy, które obecnie nazywamy strukturą wewnętrzną. Wynikało to stąd, że tworzące je minerały odznaczały się znaczną drobnodispersyjnością. Powodowało to trudności badawcze. Pierwsze mineralogiczne metody analityczne, np. mikroskopia optyczna, nie były w stanie rozwiązać tych problemów. A trzeba pamiętać, że przez długi czas pozostawały one podstawową metodą służącą identyfikacji minerałów i skał. Dopiero czasy stosunkowo nieodległe, bo lata trzydzieste ubiegłego wieku i wykorzystanie metod rentgenograficznych zaproponowanych przez Braggów sprawiły swoistą rewolucję badawczą dotyczącą tych skał. Skojarzenie tej metody z możliwościami badawczymi derywatografii, a także pojawienie się z upływem czasu innych, nowoczesnych metod instrumentalnych m.in. najpierw mikroskopii elektronowej, później skanningowej spowodowało stopniowe zwiększanie możliwości wnikania w szcze-

góły budowy wewnętrznej minerałów ilastych, a także poznanie oraz interpretację ich właściwości fizykochemicznych. Pojawiła się również możliwość:

- wykorzystania tych kopalin w innych niż dotychczas technologiach,
- modyfikacji ich budowy wewnętrznej, powodującej dalsze zwiększenie wachlarza zastosowań.

Okazało się, że zarówno znaczna drobnodispersyjność minerałów ilastych, jak i model ich struktury wewnętrznej stymulowały kolejną, nieznaną dotąd ich cechą fizykochemiczną – powierzchnię właściwą. A ta z kolei zadecydowała o ich właściwościach sorpcyjnych. Przez to kopaliny te zaczęły spełniać kryteria umożliwiające traktowanie ich jako sorbentów mineralnych. Ten kierunek wykorzystania okazał się wielce przyszłościowy, a zarazem dynamiczny. Te same cechy sprawiły, że zaczęto je również zaliczać do jednej z odmian nanomateriałów. W ten sposób otworzyły się przed kopalinami ilastymi zupełnie nowe kierunki i technologie wykorzystania.

4. Budowa wewnętrzna minerałów ilastych a ich właściwości sorpcyjne¹

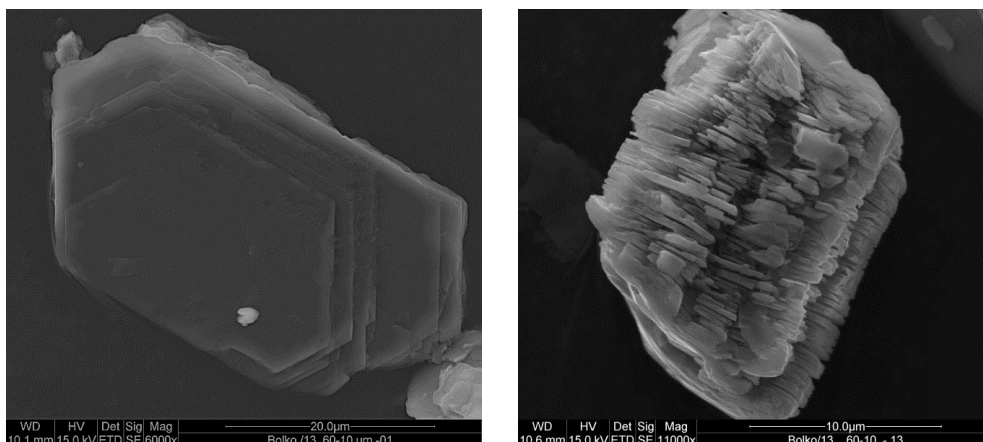
4.1. Podział minerałów ilastych

Minerały ilaste obejmują kilka grup krzemianów, głównie warstwowych, ale i warstwowo-wstęgowych. Pod względem chemicznym zalicza się je do uwodnionych krzemianów Al i Mg, rzadziej żelaza i innych metali. Obejmują one minerały podgrupy kaolinitu, grupy smektytów (najczęściej montmorillonit, rzadziej beidellit), illitu (wchodzącego w skład grupy mik) oraz minerały mieszanopakietowe typu smektyt-illit. Mniej pospolite są skały ilaste zawierające sepiolit, pałygorskit, wermikulit. Jako domieszki często obecne są chloryty, a także glaukonit.

Minerały ilaste zazwyczaj nie przybierają postaci pięknych kryształów i skupień o wyraźnej morfologii, jak to ma miejsce w przypadku innych krzemianów np. kwarcu, mik, skaleni. Pospolite minerały z podgrupy kaolinitu czy smektytu tworzą zazwyczaj mikrokryształiczne skupienia. Pojedyncze ich kryształy w postaci blaszek lub zdeformowanych łusek nie są widoczne okiem nieuzbrojonym czy nawet przy pomocy badań mikroskopowych w świetle spolaryzowanym. Ich mikroświat ujawnia się dopiero drogą obserwacji z zastosowaniem mikroskopów elektronowych (scanningowego czy transmisyjnego) (fot. 1, 2).

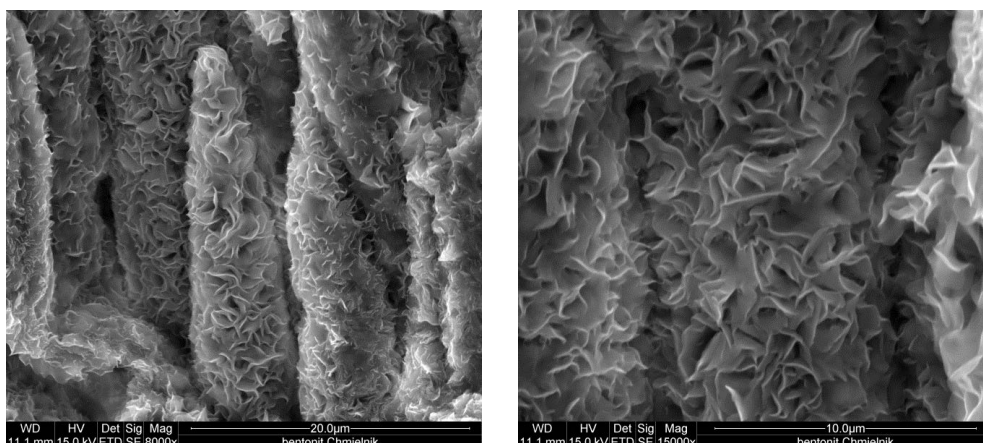
Zestawienie podstawowych minerałów ilastych z podaniem ich wzorów strukturalnych oraz niektórych cech fizykochemicznych podaje tabela 1.

¹ Skorzystano z następujących prac: Z. Kozydra, R. Wyrwicki (1970); L. Stoch (1974); A. Bolewski, A. Mannecki (1993); K. Górniak (2008).



Fot. 1. Kaolinit – kryształy o pokroju płytkowym (A), agregat kolumnowy (B) (złoże Bolko II; fot. K. Górniak)

Phot. 1. The kaolinite crystals – (A) habit plate, (B) columnar (Bolko II deposit, K. Górniak photo)



Fot. 2. Agregaty kryształów montmorillonitu w bentonicie z Chmielnika (fot. K. Górniak)

Phot. 2. Aggregate of crystals montmorillonite in bentonite from Chmielnik (K. Górniak photo)

4.2. Budowa wewnętrzna minerałów ilastych

Model struktury wewnętrznej minerałów ilastych ilustruje rysunek 3. Tworzą ją nakładające się na siebie warstwy składające się z płaskiej sieci czworościanów $[\text{SiO}_4]^{4-}$ i połączonych z nimi ośmiościennej grup (oktaedrow), jakie tworzy kation Al i otaczające go aniony tlenu, przybierający formę $[\text{AlO}_4]^{5-}$.

Wyróżnia się minerały ilaste (krzemiany warstwowe) złożone z pakietów dwuwarstwowych typu 1:1. Warstwa metalohydroksylowa (glinohydroksylowa) jest jednostronnie przyłączona do warstwy krzemotlenowej. Z kolei w minerałach składających się z pakietów trój-

Tabela 1

Podstawowe minerały ilaste – wzory strukturalne i niektóre cechy fizyko-chemiczne
wg Z. Kozydry i R. Wyrwickiego (1970), *vide* M. Nieć i T. Ratajczak (2004)

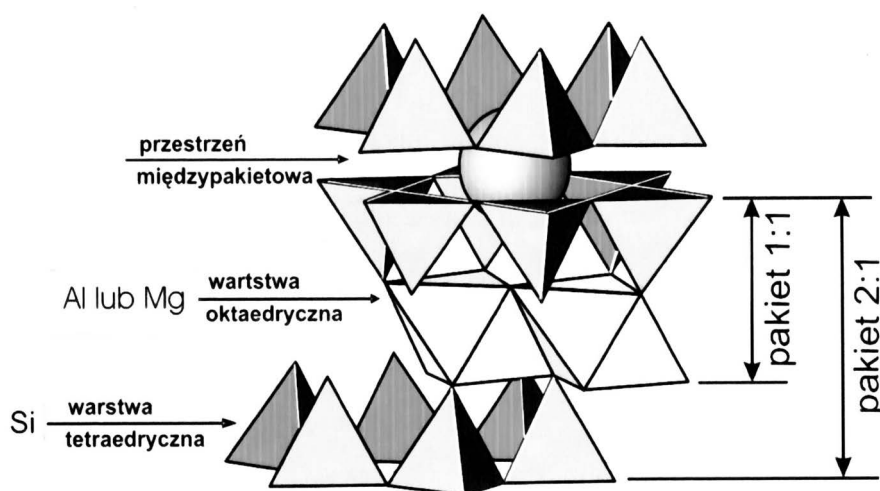
Table 1

The clay minerals, their structures and some physicochemical properties by Z. Kozydra and R. Wyrwicki (1970),
vide M. Nieć and T. Ratajczak (2004)

Grupa minerałów	Minerały	Wzór strukturalny i cechy chemiczne
Kaolinitu	kaolinit o strukturze uporządkowanej (Tc)	$Al_4[OH]_8[Si_4O_{10}]$
	kaolinit o strukturze nieuporządkowanej – zaburzonej (D)	$Al_4[OH]_8[Si_4O_{10}]$ częste podstawienie izomorficzne Al przez Mg, Fe, Ca, Ti oraz Si przez Al
	dickit, nakryt	odmiany polimorficzne kaolinitu
Haloizytu	haloizyt (endelit)	$Al_4[OH]_8[Si_4O_{10}] * 4H_2O$
	metahaloizyt	$Al_4[OH]_8[Si_4O_{10}]$
Smektytów	montmorillonit	$Al_{1,67}Mg_{0,63}[OH]_2[Si_4O_{10}] - Na_{0,33}(H_2O)_4$
	beidellit (montmorillonit glinowy)	$Al_{2,17}[OH]_2[Al_{0,83}Si_{3,17}O_{10}] - Na_{0,32}(H_2O)_4$
	nontronit (montmorillonit żelazowy)	$Fe_2[OH]_2[Al_{0,33}Si_{3,67}O_{10}] - Na_{0,33}(H_2O)_4$
	saponit (montmorillonit magnezowy)	$Mg_3[OH]_2[Al_{0,33}Si_{3,67}O_{10}] - Na_{0,33}(H_2O)_4$
Uwodnionych łuszczyków (mik)	illit hydromuskowit	$(K, H_3O)Al_2[OH]_2[AlSi_3O_{10}]$ podstawienia Al przez Fe i Mg oraz Si przez Al, a także K przez Na, Ca
Wermikulitu	wermikulit	$(Mg,Fe)_3[OH]_2[AlSi_3O_{10}] - Mg_xH_2O_4$
Chlorytu		$(Al,Mg,Fe)_3[OH]_2 - [(AlSi)_4O_{10}Mg_3](OH)_6$
Minerałów mieszano-pakietowych	kaolinit-illit	zmienny skład w zależności od budowy pakietów
	illit-smektyt	
	smektyt-chloryt	

warstwowych typu 2:1 pomiędzy warstwami krzemotlenowymi znajduje się warstwa metalohydroksylowa. Zależnie od sposobu wypełnienia warstwy oktaedrycznej przez atomy glinu lub magnezu krzemiany o budowie pakietowej dzieli się na dioktaedryczne i trioktaedryczne.

W kompensacyjnych anionach warstwowych $[Si_4O_{10}]^{4-}$ tetraedry $[SiO_4]^{4-}$ mogą być częściowo zastępowane przez $[AlO_4]^{5-}$. Tworzą się wówczas glinokrzemiany, a różnica



Rys. 3. Model struktury wewnętrznej minerałów ilastych wg K. Bahranowskiego (2000)

Fig. 3. The model of the internal structure of clay minerals by K. Bahranowski (2000)

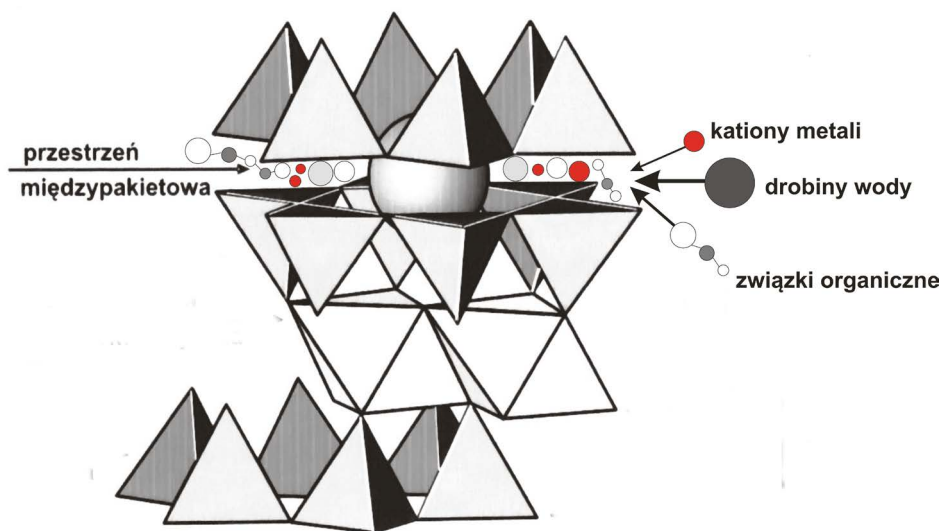
ładunków elektrycznych pomiędzy kationami Si^{4+} i Al^{3+} wymusza potrzebę pojawienia się w strukturze minerałów ilastych dodatkowych kationów, którymi przeważnie są odmiany metali alkalicznych (np. Na^+ , K^+) lub ziem alkalicznych (np. Ca^{2+}). Równoważą one niedostatek ładunków dodatnich anionów warstwowych.

Struktura minerałów ilastych dopuszcza możliwość występowania nawet w szerokim zakresie podstawień izomorficznych. W warstwach oktaedrycznych (metalohydroksylowych) mogą wzajemnie podstawiać się jony Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} . Zmiany te doprowadzają w wielu przypadkach do zaburzenia w ilości ładunków elektrycznych dodatnich i ujemnych w obrębie pakietu. Różnice te zostają skompensowane przez ładunki kationów wchodzących w przestrzeń międzypakietową np. dodatnie jony Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , H_3O^+ . Jony te nazywane są jonami wymiennymi i z wyjątkiem K^+ na ogół nie dają się łatwo usuwać czy zastąpić innymi. Wymiana jonów nie pociąga za sobą naruszenia struktury pakietów. W niektórych minerałach ilastych w przestrzeni międzypakietowej wchodzić mogą też drobiny wody lub związków organicznych. Sytuacja ta stymuluje właściwości sorpcyjne minerałów ilastych, a towarzyszące temu zjawiska powodują, że odmiany te nazywane bywają pęczniejącymi lub chłonnymi. Podobieństwo strukturalne różnych odmian minerałów ilastych sprawia, że podstawowe elementy strukturalne – pakiety – mogą łączyć się w rozmaitych kombinacjach. W ten sposób tworzą się minerały ilaste zbudowane z dwu lub więcej rodzajów pakietów. Mogą się one przekładać w sposób uporządkowany pod względem krystalograficznym bądź nieuporządkowany. Tworzą się w ten sposób odmiany minerałów ilastych o pakietach mieszanych. Poza minerałami o budowie pakietowej znane są również, aczkolwiek rzadziej występujące bezpostaciowe minerały ilaste – alofany.

Przedstawiony model budowy wewnętrznej minerałów ilastych sprawia, że morfologicznie przybierają one kształty wspomnianych cienkich blaszek. Budowa ta umożliwia i uła-

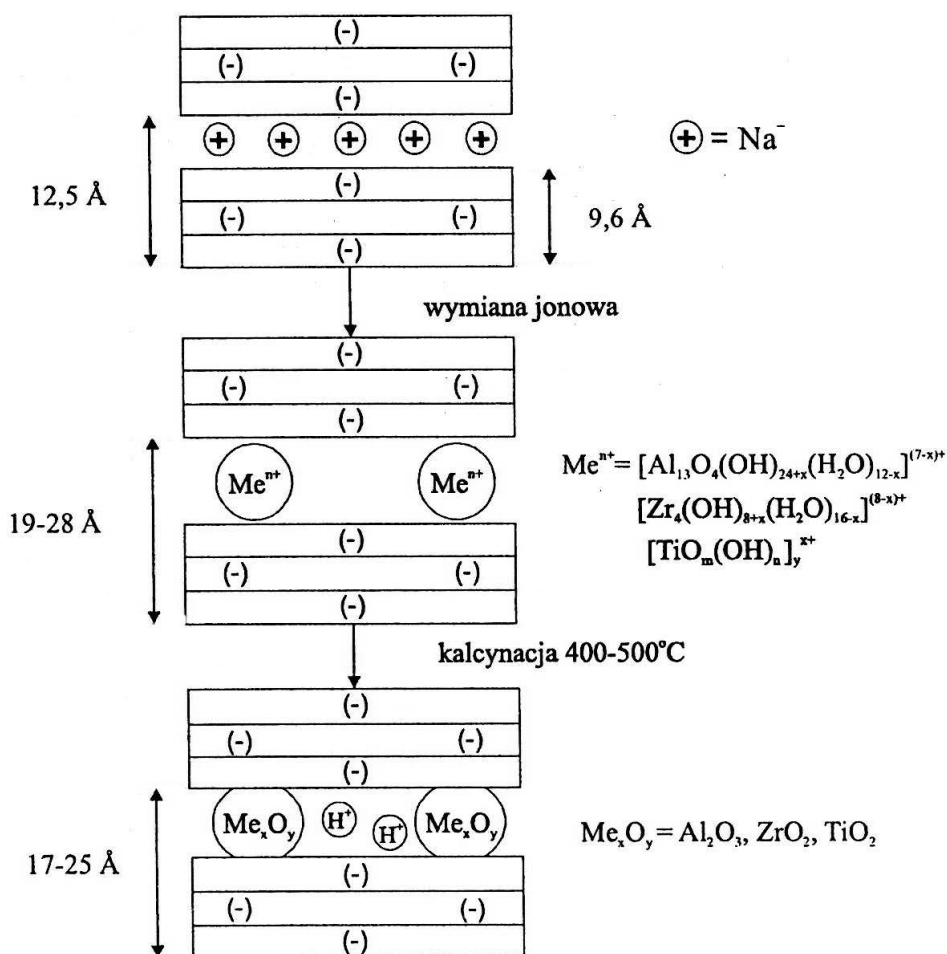
twia również wchodzenie w ich strukturę cząsteczek wody. Staje się ona odpowiedzialna za istnienie specyficznej właściwości niektórych odmian skał ilastych określanej mianem plastyczności. Pozwala to nadawać uzyskiwanym z wód wyrobom wspomniany dowolny kształt. Przedstawiony mechanizm tłumaczy możliwość uzyskiwania zwłaszcza z niezdiagenizowanych odmian skał ilastych wyrobów ceramicznych i innych przedmiotów o różnym przeznaczeniu, w tym także budowlanych.

Budowa wewnętrzna minerałów ilastych, jej niejednokrotnie skomplikowany model, stwarza możliwości istnienia sytuacji wariantowych, dotyczących sposobu rozmieszczenia elementów strukturalnych. Ma to miejsce w przypadku smektytów. W minerałach z tej grupy pomiędzy warstwami zbudowanymi z czworoscianów $[\text{SiO}_4]^{4-}$ rozdzielającymi ośmiościany $[\text{AlO}_4]^{5-}$ pojawiają się wolne przestrzenie. Mogą one zostać wypełnione przez jony różnych pierwiastków, a także związki organiczne czy drobiny wody. W ten sposób ta odmiana minerałów jest w stanie „magazynować” inne jony, związki czy substancje. Okazało się, że zjawisko to ma kolosalne znaczenie w zagadnieniach gleboznawczych, a także ochrony środowiska. Postęp w metodach badawczych, dotyczących minerałów ilastych pozwolił wyjaśnić te mechanizmy. Okazało się, że istnieją również możliwości sterowania nimi poprzez procesy aktywacji termicznej, kwasowej, zasadowej, wymiany jonowej, adsorpcji związków organicznych. W struktury minerałów smektytowych, w wolne przestrzenie pomiędzy pakietami można dzięki nim wprowadzać kationy metali ciężkich, związki organiczne czy drobiny wody (rys. 4). W pierwszym przypadku, z punktu widzenia krystalochemicznego, są one w stanie zarówno sorbować te kationy, jak i usztywnić swą strukturę, tworząc wariantowe odmiany zwane smektytami podpieranymi (rys. 5). Zasadniczo jednak omawiane zjawisko



Rys. 4. Schemat modyfikacji struktury wewnętrznej minerałów ilastych umożliwiającej sorpcję kationów metali ciężkich oraz związków organicznych wg K. Bahranowskiego (2000), zmodyfikowany

Fig. 4. Modification scheme of the clay minerals internal structure, allowing the sorption of heavy metal cations and organic compounds by K. Bahranowski (2000), modified



Rys. 5. Schematyczny, strukturalny model otrzymywania smektytów podpieranych wg K. Bahrnowskiego (2000)

Fig. 5. Schematic structural model of mechanisms of doped smectites creation by K. Bahrnowski (2000)

posiada dużo większe znaczenie o charakterze poznawczym. Minerale te są w stanie zatrzymać w swej strukturze toksyczne metale ciężkie. Mogą w nie wnikać również związki organiczne czy woda. W ten sposób minerały ilaste stają się sorbentami mineralnymi.

4.3. Właściwości sorpcyjne minerałów ilastych

Właściwości sorpcyjne minerałów ilastych sprawiły, że skały ilaste zaczęto traktować jako odmiany osadów mogących znaleźć zastosowanie do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Z charakterem ich budowy wewnętrznej łączą się dwie cechy fizykochemiczne decydujące o ich niejednokrotnie wybitnych właściwościach sorpcyjnych – powierzchnia właściwa i porowatość. Obie te cechy mają wpływ m.in. na wielkość wymiany jonowej

i sorpcji metali ciężkich. Bywają one wzmacniane poprzez znaczną drobnodispersyjność tych skał, obecność powłok tlenowo-wodorotlenkowych żelaza, występowanie substancji organicznej i węglanów. Wpływ na właściwości sorpcyjne posiadają też takie cechy minerałów ilastych, jak wielkość kryształów i ich kształt. Wymienione właściwości umożliwiają lepszy kontakt z mediami sorbowanymi.

Pod pojęciem sorpcji, z punktu widzenia fizykochemicznego, rozumie się szereg procesów, które prowadzą do zatrzymywania jonów przez substancję – powierzchniowo lub drogą wbudowywania w jej strukturę. Pełne wyjaśnienie i zarazem zrozumienie mechanizmów sorpcji metali ciężkich wymaga uwzględnienia również innych procesów, które przyczyniają się bezpośrednio lub pośrednio do ich unieruchomienia w strukturach minerałów. Należą do nich np. wytrącanie i współwytrącanie, a także zmiana stopnia utleniania kationów metali. Znajomość tego typu procesów, a także kinetyki sorpcji i desorpcji przez różne minerały i skały ilaste jest bardzo ważna. Pozwala ona bowiem ocenić efektywność działania przesłon – barier hydroizolacyjnych.

Podstawowymi parametrami decydującymi o właściwościach sorpcyjnych skał ilastych są:

- skład mineralny i chemiczny,
- struktura faz mineralnych,
- cechy teksturalne osadów,
- uziarnienie i morfologia ziarn.

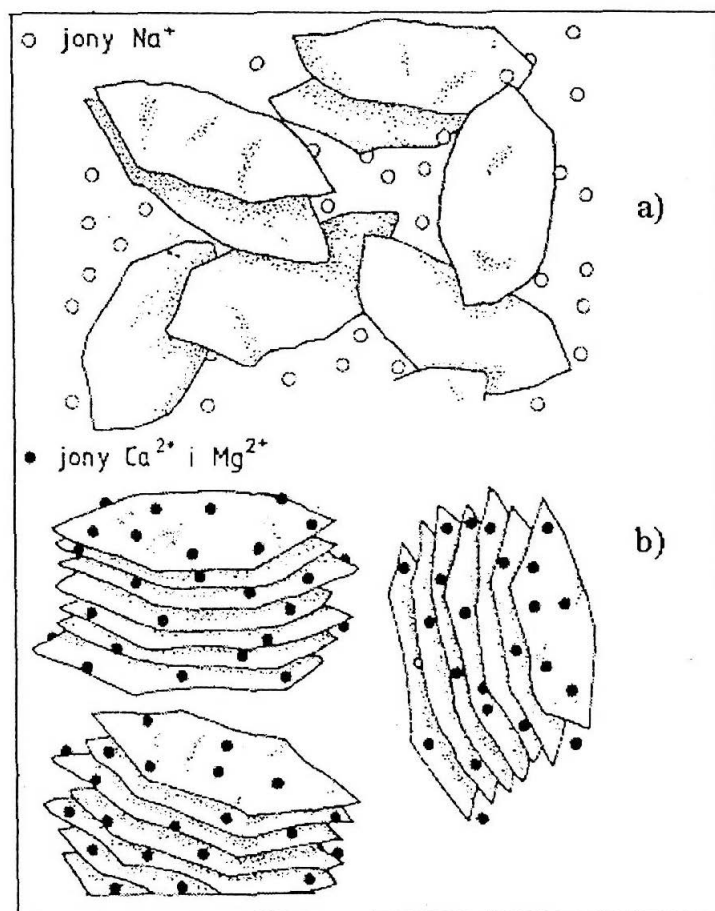
W ocenie właściwości sorpcyjnych minerałów i skał ilastych pomocne są także inne cechy:

- powierzchnia właściwa,
- porowatość,
- jonowymienność,
- obecność centrów katalitycznie aktywnych.

Najważniejszą spośród wymienionych cech wydaje się być powierzchnia właściwa. Definiowana jest ona jako wielkość powierzchni (m^2) przypadająca na jednostkę masy (najczęściej 1 g).

Najlepszymi właściwościami hydroizolacyjnymi odznaczają się słabo zdiagenezowane skały ilaste typu glin i ilów. Biorąc pod uwagę kryterium mineralogiczne, najbardziej wartościowe efekty uzyskuje się w przypadku stosowania skał ilastych, w których głównym minerałem ilastym jest smektyt. Mineral ten odznacza się najkorzystniejszymi parametrami fizykochemicznymi determinującymi właściwości sorpcyjne. Jego powierzchnia właściwa mieści się w interwale 50–150 m^2/g . W przypadku kaolinitu i illitu wartości te są zdecydowanie mniejsze i wynoszą odpowiednio 10–50 m^2/g oraz 30–80 m^2/g (m.in. Z. Wichrowski 1981).

Skały o zawartości 50–75% smektytu nazywane są łąkami bentonitowymi. Smektyty to minerały reprezentujące krzemiany warstwowe o pakietach typu 2:1. Zbudowane są one z dwóch warstw tetraedrycznych – krzemotlenowych, rozdzielonych warstwą oktaedryczną -metalo-tleno-wodorotlenową. Między pakietami występują kationy wymienne, najczęściej Ca^{2+} , a także Na^+ i Mg^{2+} (rys. 6). W zależności od rodzaju dominujących kationów między-



Rys. 6. Schematyczny obraz ułożenia pakietów w Na-smektycie oraz Ca, Mg-smektycie wg E. Lewickiej i P. Wyszomirskiego (2004)

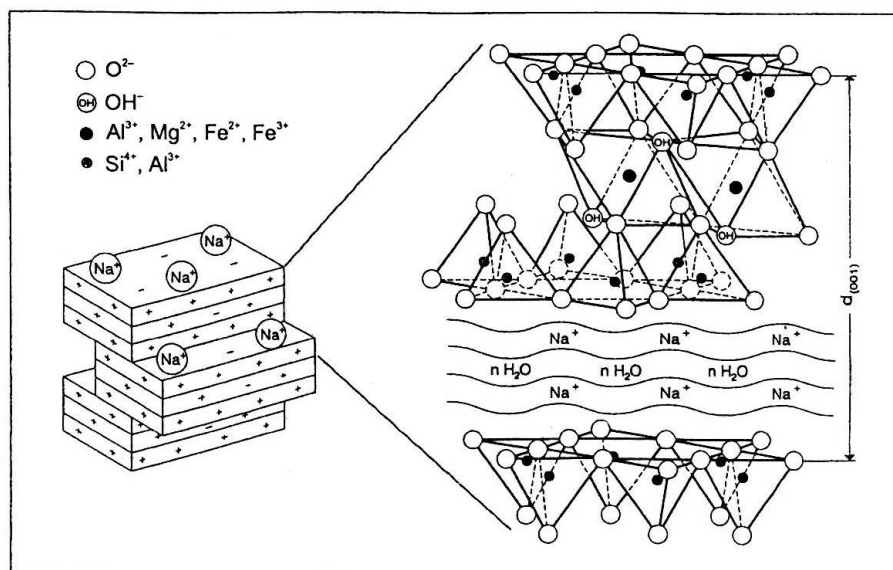
Fig. 6. The schematic depiction of the arrangement of packages in Na-smectite and Ca, Mg-smectite by E. Lewicka and P. Wyszomirski (2004)

pakietowych mówi się wówczas o montmorillonitach sodowych (Na – montmorillonit), wapniowych (Ca – montmorillonit), rzadziej magnezowych (Mg – montmorillonit). Smektyty posiadają rozbudowaną powierzchnię oraz specyficzną budowę pakietową. Istnieją możliwości modyfikowania ich właściwości poprzez podstawienia kationów w przestrzeniach międzypakietowych innymi, zarówno nieorganicznymi, jak i organicznymi związkami. Kationy mogą też ulec hydratacji prowadzącej do pęcznienia struktury i wzrostu odległości międzypakietowych. Staje się to przyczyną zwiększenia powierzchni właściwej i porowatości.

Właściwości sorpcyjne kopaliny smektytowych związane są przede wszystkim z ich dużą powierzchnią właściwą i porowatością oraz obecnością aktywnych centrów sorpcyjnych.

Omówienie mechanizmów sorpcji smektytów, wynikające z ich budowy wewnętrznej można znaleźć u E. Lewickiej i P. Wyszomirskiego (2004). Bentonity w stanie natural-

nym wykorzystywane są jako adsorbenty metali ciężkich. Z obecnością w smektycie kationów jednowartościowych (głównie Na^+) na pozycjach wymiennych wiąże się mała ilość pakietów w ich agregatach czy wręcz pojedyncze ich występowanie (rys. 7). Natomiast dwuwartościowe kationy wymienne (Ca^{2+} lub Mg^{2+}) sprzyjają agregacyjnemu pakietom smektytu. Jest to korzystne z punktu widzenia właściwości sorpcyjnych i jonowymiennych bentonitów.



Rys. 7. Budowa pakietowa smektytu sodowego z warstwami wody w przestrzeni międzypakietowej wg E. Lewickiej i P. Wyszomirskiego (2004)

Fig. 7. The construction of packet Na-smectite with layers water in the interpacket space by E. Lewicka and P. Wyszomirski (2004)

H. Kościółko i S. Dyjor (1993) uważają, że istnieje teoretyczna możliwość wykorzystania do budowy przesłon hydroizolacyjnych większości odmian litologicznych skał ilastych Polski. Tak więc do uszczelniania składowisk według tych autorów nadają się nie tylko bentonity i ły bentonitowe, neogeńskie ły trzeciorzędowe, zwietrzelinowe odmiany niektórych skał magmowych, lessy, ale także ły kaolinowe.

5. Przydatność kopalni ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych – zasady klasyfikacji i ich rodzaje

Przesłony hydroizolacyjne są budowlami geoinżynierskimi. Ich podstawowy budulec stanowią skały ilaste. Charakter i rodzaj tych kopalni decydują o możliwościach i sposobach takiego ich wykorzystania, a także trwałości tych budowli. Stąd ważna i niezbędna, jak również konieczna staje się wiedza na temat właściwości tych skał. Powinna ona mieć

w miarę kompletny charakter. Niezbędne jest, aby obejmowała zarówno znajomość ich składu mineralnego oraz chemicznego, jak i właściwości fizykochemicznych czy fizykomechanicznych, a nawet technologicznych. Jednak nie do przecenienia wydają się być w tym względzie informacje dotyczące składu mineralnego. Stąd też od początków wykorzystywania skał ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych znajomości tej problematyki poświęcono szczególną uwagę.

P. Brański (2007) oceniając możliwość wykorzystania kopalin ilastych do celów ochrony środowiska, uważał, że największe znaczenie w tym względzie ma rodzaj minerałów ilastych, a zwłaszcza zawartość smektytu. Podatność ta wg autora jest pochodną uziarnienia kopaliny, jej składu mineralnego oraz struktury i sposobu ułożenia agregatów ilastych. Cechy te wpływają na właściwości fizykochemiczne kopaliny m.in. na wielkość powierzchni właściwej czy pojemność jonowymienną. W pewnym uproszczeniu można powiedzieć, że im większy w kopalinie udział frakcji ilastej i minerałów ilastych (a wśród nich wyższa zawartość montmorillonitu lub beidellitu), tym stanowi ona lepszy surowiec w kontekście zastosowania w ochronie środowiska. Właściwości sorpcyjne mają w tym przypadku podstawowe znaczenie i są wyznacznikami tej przydatności. Decydują o możliwościach ich wykorzystania przy konstruowaniu barier izolujących składowiska odpadów.

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 przeprowadzili ocenę różnorodnych surowców skalnych Dolnego Śląska w kontekście oceny użyteczności w ochronie środowiska. Ich zdaniem najlepsze takie możliwości istnieją w przypadku kopalin ilastych. Decydują o tym właśnie typ tworzących je minerałów ilastych. Z kolei najkorzystniejszymi zdolnościami decydującymi o możliwościach wykorzystania kopalin ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych odznaczają się dolnośląskie ility beidellitowe zbliżone do bentonitów, a także ility poznańskie.

Do potrzeby znajomości składu mineralnego skał ilastych wykorzystywanych przy budowie przesłon hydroizolacyjnych nawiązują też L. Łukwiński i H. Szczyński (1995). Ich zdaniem o takiej przydatności, poza uziarnieniem, a zwłaszcza zawartością frakcji ilastej, decyduje właśnie typ obecnych w nich minerałów ilastych. Poza montmorillonitem, wg tych autorów ważna jest także ilość węglanów wapnia i substancji organicznej.

Do podobnej konkluzji doszli P. Simiczjew i A.W. Jasiński (1997). Również ci autorzy uważają, że o przydatności hydroizolacyjnej w przypadku skał ilastych w pierwszej kolejności decyduje ilość, a także typ tworzących je minerałów ilastych.

Autorzy większości tych prac sygnalizują potrzebę rozwiązania jeszcze jednego problemu. Dotyczy on identyfikacji charakteru procesów fizykochemicznych zachodzących w warstwie izolującej. Znajomość tych mechanizmów może służyć nie tylko wyjaśnieniu zagadnień sorpcji, ale stwarza szansę na możliwość modyfikacji a tym samym sterowania tego typu właściwościami.

Problem potrzeby poznania składu mineralnego i uziarnienia w przypadku iłów stosowanych do budowy składowisk podniosła również E. Majer (2005). Według tej autorki wartości niektórych parametrów winny być następujące:

- ponad 20% wag. ziarn mniejszych od 2 μm ,
- poniżej 30% wag. ziarn większych od 60 μm ,
- ponad 50% minerałów ilastych z grupy smektytu lub odmian mieszanopacketowych we frakcji poniżej 2 μm ,
- nie więcej niż 15% wag. węglanów.

Inne aspekty znajomości składu mineralnego skał ilastych jako budulca przesłon hydroizolacyjnych podniósł L. Łukwiński (2007). Autor uważa, że ich właściwości hydroizolacyjne są warunkowane wielkością współczynnika wodoprzepuszczalności. A ten z kolei parametr zależy m.in. od składu granulometrycznego iłów. Stąd też potrzeba ustalenia ich uziarnienia. Autor zwrócił też uwagę na stabilność chemiczną oraz wodoprzepuszczalną wykazywaną przez skały ilaste.

Problem ten nie umknął również uwagi praktyków, tzn. osób zajmujących się budową przesłon hydroizolacyjnych. Przykładem jest treść opublikowanych prac autorstwa R. Kusia (1996).

Zagadnienia te znalazły również swoje miejsce w badaniach autorów zagranicznych zajmujących się zagadnieniami uszczelniania składowisk odpadów. Np. R.K. Rowe i in. (1995) uważają, że zawartość minerałów ilastych stosowanych w tego typu technologiach winna obejmować przedział 15–20% wag. a pojemność jonowymienna skały powinna przekraczać 10 mval/100 g.

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 (Dziennik Ustaw nr 61 poz. 549). Rozporządzenie nakłada obligatoryjny obowiązek tworzenia mineralnych barier geologicznych przy budowie składowisk odpadów. Określa również 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 tych kopalni. Parametry te dotyczyć powinny nie tylko kryteriów geologiczno-inżynierskich, ale i mineralogiczno-chemicznych. Stąd też wynika potrzeba dokładnej i pogłębionej charakterystyki tych skał w zakresie tego typu zagadnień. Według rozporządzenia obejmować one powinny skład granulometryczny, mineralny i chemiczny. Konieczna jest również potrzeba poznania niektórych ich cech fizykochemicznych (całkowitej powierzchni właściwej, porowatości, pojemności sorpcyjnej). W rozporządzeniu podano również metodykę badań. Potrzeby takie wynikały z konieczności znajomości cech niezbędnych do interpretacji, a przede wszystkim prognozowania intensywności i charakteru procesów fizykochemicznych zachodzących w skałach, odpowiadających za ich przydatność do budowy przesłon, tzn. ograniczenia migracji zanieczyszczeń.

Ważność tej problematyki i potrzeba jej rozwiązania zostały też zauważone przez władze resortowe Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Tak należy rozumieć i tłumaczyć fakt realizacji finansowanego przez to 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” (Grelewicz i in. 2008). Jego brzmienie dowodzi docenienia problematyki mineralogicznej w rozwiązywaniu zagadnień surowcowych dotyczących budowy przesłon hydroizolacyjnych.

Prawdziwym przełomem w badaniach nad problematyką wykorzystania skał ilastych do budowy barier hydroizolacyjnych były wyniki prac L. Wysokińskiego (2007). Autor wraz z zespołem na zlecenie Ministra Środowiska opracował „Zasady oceny przydatności gruntów spoistych Polski do budowy przesłon izolacyjnych”. Wykonano kompleksowe prace badawcze, na podstawie których wytypowano odmiany skał ilastych, ich złoża i nagromadzenia wykazujące taką przydatność. Dotyczyły one większości odmian litostratygraficznych tych kopalin pochodzących z terenu całej Polski. Wśród proponowanych analiz nie zabrakło „badań makroskopowych i ich cech wiodących tj. charakterystyki litologicznej w tym składu mineralnego, granulometrycznego, (...) pojemności sorpcyjnej”. W wyniku przeprowadzonych badań i analiz autorzy określili odmiany, jak i perspektywiczne obszary występowania skał ilastych, które mogą być wykorzystane do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Dokonano tego opierając się na kryteriach oceny determinujących taką przydatność, nie tylko z myślą o bieżącym wykorzystaniu, ale również mając na uwadze dalsze geologiczne prace poszukiwawcze czy dokumentacyjne prowadzone z takim zamiarem.

Zdaniem autorów „Zasad oceny przydatności ...” (2007) obowiązujący i praktykowany dotąd zakres analiz zmierzających do jej wykazania 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, mineralogiczne, chemiczne, fizykochemiczne (w tym sorpcyjne).

Metodyka badawcza służąca ustaleniu cech stanowiących elementy składowe tych kryteriów wynikała z treści obowiązujących i praktykowanych norm państwowych i branżowych.

W przypadku kryteriów granulometrycznych autorzy proponują stosować metodykę praktykowaną w geologii inżynierskiej i posługiwać się trójkątem Fereta. Wyróżniono na nim obszary – pola, w obrębie których powinny plasować się punkty projekcyjne skał ilastych o charakterze granulometrycznym odpowiadającym odmianom przydatnym do budowy przesłon.

Kryteria mineralogiczne zakładają konieczność oceny zarówno zawartości, jak i proporcji ilościowych poszczególnych typów minerałów ilastych. Ich ilość powinna przekraczać 20% wag. Według tych założeń zachodzi potrzeba (mineralogiczna, ale również chemiczna) ustalenia ilości węglanów (nie więcej niż 15% wag. CaCO_3) oraz substancji organicznej (5% wag.).

W ramach kryteriów wymagana jest konieczność określenia wartości powierzchni właściwej oraz pojemności sorpcyjnej skał. Autorzy proponują ustalić je metodą sorpcji błękitu metylowego. Uzyskane wyniki mają służyć wydzieleniu wśród tych kopalin odmian charakteryzujących się wg autorów „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 rozstrzygania problemów „odporności chemicznej” 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...” (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 ceramiki budowlanej, bentonity i ily bentonitowe, ily i gliny kaolinowe, zwietrzeliny smektytowe. Ich badania jednak, jak to wynika z tabeli 6 zamieszczonej w „Zasadach oceny przydatności...” (2007), dotyczą glin zwałowych, iłów warwowych, lessów i glin polessowych, iłów poznańskich z zapadliska przedkarpackiego, pstrych iłów plioceńskich, a także ich odmian kredowych, jurajskich, kajprowych i triasowych. Przedmiot badań stanowiły też ily współwystępujące z węglem brunatnym w Bełchatowie, Koninie, Turosszowie. W wymienionych i przebadanych odmianach brakuje więc kilku odmian mogących znaleźć zastosowanie do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Nie dotyczy to glin aluwialnych czy też iłów elbląskich oraz septariowych. Ale zauważalny jest brak łupków karpackich i utworów zwietrzelinowych Karpat. Pominięto również zwietrzelinowe skały kaolinowe i bentonitowe z Dolnego Śląska. Po macoszemu potraktowano także grupę kopalin przedkenozoicznych, a wśród nich skały ilaste towarzyszące węglom kamiennym, m.in. bentonity karbońskie. Brakuje również odpadów poprzarobczych z eksploatacji węgla kamiennych. Bardzo często mają one charakter ilasty i jako takie mogą budzić zainteresowanie do ekranowania składowisk. Ten typ kopalin reprezentują też odpady, zazwyczaj poflotacyjne, pochodzące z przeróbki rud żelaza (rejon częstochowski) czy miedzi (zagłębie lubińskie). Być może wnikliwszego potraktowania wymagały też skały towarzyszące węglom brunatnym z uwagi na ich różnorodność litologiczną i dużą bazę zasobową.

Zaproponowany przez autorów sposób charakterystyki parametrów odpowiadających za przydatność kopalin ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych posiada jeszcze jeden mankament. Jest pozbawiony oceny tego typu przydatności w sytuacji całych serii litostratygraficznych, a dotyczy 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. Tymczasem w zamieszczonych propozycjach podana jest tylko sumaryczna ilość minerałów ilastych z pominięciem ich „specyfikacji”. Sytuacja ta posiada kolosalne znaczenie w rozwiązywanej problematyce, wynikającej chociażby ze zróżnicowania właściwości sorpcyjnych minerałów ilastych, głównych składników kopalin hydroizolacyjnych.

Właściwości sorpcyjne skał ilastych autorzy proponują ustalić metodą sorpcji błękitu metylenowego. Mają jednak świadomość, że nie jest ona w stanie dokładnie określić te właściwości i w związku z tym nie wykluczają wykorzystania innych sposobów. Również zaproponowany podział skał ilastych pod względem ich predyspozycji sorpcyjnych na „dobre i niskie” wydaje się być zbyt ogólny, a przez to niedokładny. Inna metodyka badań mogłaby umożliwić doprecyzowanie tego podziału.

„Zasady oceny przydatności...” (2007) nie są pozbawione elementów praktycznych dotyczących zasad konstruowania przesłon i uszczelniania składowisk odpadów. Zdaniem autorów przesłony monomineralne są w stanie ukierunkować możliwości sorbowania określonych jonów, stanowiących największe zagrożenie dla środowiska. W sytuacji przesłon polimineralnych w ich części stropowej wskazana jest obecność skał najintensywniej sorbujących zanieczyszczenia, a w spągu charakteryzujących się niższą sorpcją.

W efekcie przeprowadzonych badań L. Wysokiński (2007) przyporządkował wartości kolejnych oznaczonych parametrów odpowiedniej klasie przydatności oznaczonej symbolem „P”. Jest ona rozumiana jako stopień zrealizowania kolejnych kryteriów. Autorzy zaproponowali taką trójstopniową skalę, mogącą zostać wykorzystaną przy budowie przesłon hydroizolacyjnych:

- bardzo przydatne (P powyżej 80 punktów),
- przydatne (P w przedziale od 40 do 80 punktów),
- nieprzydatne bez uprzedniego uzdatnienia (P poniżej 40 punktów).

Należy jednak wspomnieć, że przed znormalizowaniem problematyki badawczej dotyczącej ustalenia zakresu badań skał ilastych przeznaczonych do budowy przesłon hydroizolacyjnych zaczęto realizować prace geologiczno-dokumentacyjne w przypadku wytypowanych 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...” (2014) aktualnie czynnych jest trzynaście takich zakładów, a w pięciu kopaliny te są eksploatowane okresowo. Z tych osiemnastu wystąpień – czternaście, należy do rozpoznanych szczegółowo.

Inne technologie, nowe możliwości wykorzystania skał ilastych i zapotrzebowanie na takie prace spowodowały, że zaczęły powstawać przedsiębiorstwa specjalizacyjne. Jednym z nich było Przedsiębiorstwo Robót Geologiczno-Wiertniczych w Sosnowcu. Charakter prac przez nie wykonywanych i potrzeba ich realizacji spowodowały zaproponowanie własnej, oryginalnej propozycji dotyczącej zakresu prac budownictwa melioracyjnego. W ten sposób powstała „Aprobata techniczna 2002 IMUZ/18-0011-00 Materiały do stosowania w budownictwie me-

lioracyjnym roztworu hydroizolującego na bazie glin polimineralnych”. W 2002 roku została ona zatwierdzona Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i zalecona do stosowania przez Instytut Użytków Zielonych w Falentach. Aprobata ta 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 przedstawiono w tabeli 2. Tabela 3. 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 ziaren grubych, powyżej 50 μm nie powinna przekraczać 15% wag. Pożądana jest duża ilość minerałów ilastych w skałach, przede wszystkim kaolinitu i hydromiku. Podrzedne znaczenie zdają się natomiast mieć minerały reprezentujące grupę illitu czy montmorillonitu. Znamienne, że autorzy „Aprobaty technicznej...” (2002) za ograniczone do budowy przesłon uważają skały wzbogacone czy z dominacją minerałów z grupy montmorillonitu, a więc odznaczające się dobrymi właściwościami sorpcyjnymi a przez to predysponowane do budowy przesłon. Niewskazana jest w nich także podwyższona obecność kwarcu, skaleni, węglanów czy gipsu.

Kolejnym kryterium branym pod uwagę przy ocenie kopalin jest odpowiedni ich skład chemiczny. Skały ilaste reprezentujące najlepszą odmianę tego typu kopalin powinny charakteryzować się zawartością krzemionki w zakresie 50–60% wag. oraz glinki w ilości 20–28% wag. Zawartość poniżej 12% wag. (Al_2O_3) czy powyżej 65% wag. (SiO_2) dyskwalifikuje taką ich przydatność.

Pojemność jonowymienna tych skał winna być zawarta w przedziale 15–50 mval/100 g. Wartości powyżej 60 mval/100 g, należy uważać za dyskwalifikujące. Na jakość przesłon hydroizolacyjnych wpływa również odpowiednia kolejność zajmowania pozycji jonowymiennych przez kationy – Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ .

O przydatności skał ilastych do budowy przesłon zdaniem autorów „Aprobaty technicznej...” (2002) decyduje również wartość współczynnika plastyczności IP.

Uzyskane wartości parametrów dotyczących składu granulometrycznego, charakteru mineralno-chemicznego czy właściwości fizykochemicznych 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).

W klasyfikacji tej dają się zauważyć niedoskonałości w zakresie stosowanej terminologii, dotyczące skał ilastych stosowanych do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Można odnieść wrażenie, że zainteresowanie autorów stanowiła tylko jedna odmiana skał ilastych – gliny.

Tabela 2
Wartości parametrów granulometrycznych, chemiczno-mineralnych oraz dotyczących pojemności jonowej decydujące o podziale skał ilastych na klasy przydatności przy budowie przesłon hydroizolacyjnych wg „Aprobata technicznej...” (2002)

Table 2
The granulometric, chemical, mineralogical and ion exchange capacity values of parameters which determine the division of clay rocks on of suitability classes for the construction of diaphragms waterproofing by the „Technical Approval...” (2002)

Skład i właściwości glin	Klasa przydatności		
	najlepsza	dobra	średnia
	jakościowa i ilościowa charakterystyka składu glin		
Skład granulometryczny i wskaźnik plastyczności	gliny ciężkie, o zawartości ziarn < 5 µm > 60%, > 50 µm < 5%, $I_p = 15-25$	gliny ciężkie, zapiaszczone, zawartości ziarn < 5 µm > 40-60%, > 50 µm < 5-9%, $I_p = 6-18$	gliny zapiaszczone, o zawartości ziarn < 5 µm > 30-40%, > 50 µm < 15%, $I_p = 25-40$
Skład mineralny	minerały podstawowe z grupy kaolinitu z domieszkami hydromiki, w małych ilościach kwarc	minerały podstawowe z grupy kaolinitu i hydromiki, z wzbogaconymi wkładkami kaolinito-wo-illitowymi i illitowo-montmorillonitowymi, w małych ilościach kwarc, kalcyt, sparyt (skałeni)	minerały podstawowe z grupy illitu, montmorillonitu + wermikulit, wzbogacone wkładki montmorillonitowo-illitowe, w małych ilościach kwarc, kalcyt, sparyt (skałeni)
Skład chemiczny	$Al_2O_3 - 20-28\%$ $SiO_2 - 50-60\%$	$Al_2O_3 - 18-24\%$ $SiO_2 - 55-65\%$	$Al_2O_3 > 12-20\%$ $SiO_2 > 60\%$
Wymierność jonowa i udział jonów podstawowych	15-30 mval na 100 g suchej gliny $Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > Mg^{2+}$	25-40 mval na 100 g suchej gliny $Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > Mg^{2+}$	40-50 mval na 100 g suchej gliny $Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > Mg^{2+}$
			a) gliny zwykłe, o zawartości ziarn < 1 µm > 55%, $I_p > 70$ b) gliny zapiaszczone, piaski załone, o zawartości ziarn < 5 µm > 20%
			a) minerały grupy montmorillonitu + kwarc b) minerały z grupy illitu + wzbogacone warstewki kaolinitu, w dużych ilościach kwarc, sparyt (skałeni), kalcyt, gips
			a) $Al_2O_3 < 20\%$ $SiO_2 > 65\%$ b) $Al_2O_3 < 12\%$ $SiO_2 > 65\%$
			a) > 60 mval na 100 g suchej gliny $Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > Mg^{2+}$ b) < 110 mval na 100 g suchej gliny $Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > Mg^{2+}$

Tabela 3

Zmodyfikowana wartości parametrów decydujących o przydatności skał ilastych do budowy przeston hydroizolacyjnych wg „Aprobata technicznej...” (2002) *vide* M. Nieć, T. Ratajczak (2004)

Table 3

The modified table representing properties of clay mineral resources criteria for the performance of waterproofing diaphragms according to the „Technical Approval...” (2002) – see M. Nieć and 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 ₂ O ₃	% wag.	20–28	18–24	12–20	a) < 20 b) < 12
Zawartość SiO ₂	% 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 ²⁺ > Na ⁺ > K ⁺ > Mg ²⁺			

* Ily montmorillonitowe zawierające ponad 55% ziarn < 1 µm są nieprzydatne.

II. Cel i przedmiot opracowania oraz zakres i metodologia badań

Tytuł opracowania eksponuje potrzebę charakterystyki mineralogicznej kopalin ilastych Polski jako kryterium służące ustaleniu ich przydatności do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Decyduje przez to zarówno o jego celu, jak i metodologii badań. W opracowaniu skorzystano z ustaleń i propozycji stanowiących treść „Aprobaty technicznej...” (2002). Spośród istniejących klasyfikacji ta w sposób najbardziej jednoznaczny i wyraźny stawia potrzebę „wiedzy” mineralogicznej, czyniąc ją niejako warunkiem *sine qua non* w sytuacji rozstrzygnięcia o tej przydatności.

Kopaliny ilaste w Polsce są eksploatowane ze złóż różnego wieku geologicznego – od karbonu po holocen. W największej jednak ilości są wykorzystywane gliny i iły okresu trzeciorzędowego i czwartorzędowego. Ich niewątpliwą zaletą jest możliwość wykorzystania tych kopalin w sposób bezpośredni lub po bardzo prostych i nieskomplikowanych procesach przerobczych. Złóża kopalin ilastych badane i dokumentowane były dla potrzeb różnych gałęzi przemysłu, głównie jednak na użytek ceramiki budowlanej. Kierunkowało to zakres przeprowadzanych badań. Stąd zazwyczaj brakuje w nich takich rezultatów, które mogłyby określić ich przydatność dla celów ochrony środowiska. Spowodowało też, że przy realizacji opracowania wielokrotnie spotykano się z brakiem tego typu badań.

Polskie kopaliny ilaste ze względu na wiek oraz charakter litologiczny można podzielić na:

- I. Surowce należące do starszych „przedkenozoicznych” utworów geologicznych:
 - a. iłolupki karbońskie występujące na obszarze Górnego Śląska, Dolnego Śląska, Lubelszczyzny,
 - b. iły permskie zalegające na południu Polski (okolice Olkusza),
 - c. iły triasowe znane z obszaru Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej i południowo-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich,
 - d. iły jurajskie (dogger, lias) spotykane również na obszarze Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej i południowego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich,
 - e. iły kredowe znane z terenu Karpat, okolic Tomaszowa Mazowieckiego i Niecki Bolesławieckiej.
- II. Surowce trzeciorzędowe:
 - a. iły eoceńskie i oligoceńskie – obszar Karpat i Polski północno-zachodniej,
 - b. iły miocenijskie pochodzenia morskiego występujące na obszarze Polski południowo-wschodniej w tzw. zapadlisku przedkarpackim,

- c. łył mioceńskie pochodzenia lądowego występujące miejscami na obszarze Polski środkowej i zachodniej,
- d. łył mio-plioceńskie znane z obszarów Mazowsza, Wielkopolski i Polski południowo-zachodniej.

III. Surowce czwartorzędowe:

- a. gliny zwałowe występujące pospolicie na obszarze niemal całego kraju z wyjątkiem Karpat i częściowo Sudetów,
- b. łył i mułki zastoiskowe zalegające miejscami na obszarze Polski środkowej i północnej,
- c. łył yoldiowe (morskie) występujące nad Zalewem Wiślanym,
- d. lessy, gliny lessowe i mułki lessopodobne spotykane głównie na obszarze Wyżyny Śląsko-Małopolskiej i Wyżyny Lubelskiej oraz przedgórze Karpat i Sudetów,
- e. łył i gliny aluwialne pojawiające się w dolinach rzecznych,
- f. gliny zwietrzelinowe występujące na obszarze Karpat i Sudetów.

W opracowaniu przydatność kopaliny ilastych do budowy przesłony ustalono w przypadku:

- 1) większości odmian czwarto- i trzeciorzędowych osadów ilastych (z wyjątkiem stigmariowych łył oligoceńskich oraz łył yoldiowych),
- 2) odmian przedkenozoicznych kopaliny ilastych (przedmiot zainteresowania stanowiły łył karbońskie i łył łołupki doggeru częstochowskiego),
- 3) pozostałych odmian kopaliny zaproponowano klasyfikację surowcową stosując podział na kaoliny i bentonity,
- 4) osobną grupę kopaliny stanowią ich odmiany towarzyszące węglom kamiennym i brunatnym oraz złożom siarki. Mieszczą się w niej również odmiany noszące nazwę mineralnych surowców odpadowych, a tworzące się w wyniku procesów eksploatacji i wzbogacania m.in. rud Cu.

Opracowanie składa się z dwóch części:

- pierwszą stanowi pogłębiona charakterystyka mineralogiczna kopaliny ilastych (zwłaszcza w przypadku mineralów ilastych), ale zawiera ona także wyniki badań chemicznych, granulometrycznych i obejmujące parametry fizykochemiczne, których znajomość wynika z kryteriów sformułowanych w „Aprobacie technicznej...” (2002),
- zadaniem drugiej było wykazanie przydatności tych kopaliny do budowy przesłony na podstawie wartości parametrów będących treścią „Aprobaty technicznej...” (2002).

Przy wykonywaniu opracowania skorzystano z wyników prac własnych. Duża ich część stanowiła treść projektu „Problematyka kopaliny towarzyszących, mineralnych surowców odpadowych i złóż antropogenicznych w racjonalnej gospodarce surowcami mineralnymi” (Ratajczak red. 2012). Należy także wspomnieć o swoistym „prototypie” tego opracowania wykonanym na zlecenie Przedsiębiorstwa Robót Geologiczno-Wiertniczych, które w swej treści nawiązywało do tych samych zagadnień co projekt (Ratajczak, Stachura 2004). Również w tym przypadku skorzystano z zawartych w nim wyników badań.

Opracowanie ma charakter studialny. Starano się skompletować w miarę pełne informacje na temat kopaliny ilastych wymagane przez „Aprobate techniczną...” (2002). Prace,

z treścią których się zapoznano, a wyniki wykorzystano, miały zarówno charakter prac opublikowanych, jak i archiwalnych. Część z nich to monografie. Spośród ważniejszych z nich, należy wymienić prace Z. Tokarskiego et al. (1964); Z. Kozydry i R. Wyrwickiego (1970); Z. Kozłowskiego (red., 1977); T. Ratajczaka (red., 1984, 2012); A. Bolewskiego i in. (1991); G. Kociszewskiej-Musiał (1998); M. Niecia i T. Ratajczaka (2004); Z. Kłapyty i W. Żabińskiego (2008).

III. Kopaliny ilaste i ich przydatność do budowy przesłon hydroizolacyjnych

1. Mineralogia, skład chemiczny, granulometryczny i właściwości fizykochemiczne kopalń ilastych

1.1. Surowce kenozoiczne

1.1.1. Skały ilaste czwartorzędu

Utwory czwartorzędowe występują w Polsce na dużych obszarach obejmujących $\frac{3}{4}$ powierzchni kraju. Są one zróżnicowane litologicznie. Obejmują licznie spotykane wśród nich utwory ilaste. Są one wyraźnie zróżnicowane pod względem genetycznym i petrograficznym a mniej stratygraficznym. Stanowią je polodowcowe gliny zwałowe, mułki i ropy zastoiskowe, mułki i ropy aluwialne, morskie ropy elbląskie, utwory lessowe. Zalicza się do nich także różnego rodzaju, chociaż nie tak licznie jak wymienione poprzednio, ilaste utwory zwietrzelinowe.

Najstarsze utwory polodowcowe, najsłabiej zachowane, powstały w czasie zlodowacenia południowo-polskiego. Łądołów sięgał wówczas podnóża Karpat i Sudetów. Najwięcej osadów nagromadziło się podczas interglacjału mazowieckiego i neoplejstocenijskiego. Sedymenty te, głównie lodowcowe, pokryły środkową i północną Polskę. Na południu gromadziły się wówczas lessy. Mniej liczną grupę stanowią osady przeważnie aluwialne, których akumulacja odbywała się w holocenie.

Powszechność występowania na powierzchni oraz obfitość zasobów sprawiają, że ilaste osady czwartorzędowe od dawna są przedmiotem zainteresowania gospodarczego. Możliwości takie są w dużej mierze związane z rodzajem tworzących je minerałów ilastych. Tymczasem stan zaawansowania badań czwartorzędowych utworów ilastych wydaje się być niewystarczający. Dotyczy to również problematyki mineralogicznej. Istniejące prace dotyczą głównie ropy zastoiskowych i lessów. Gliny aluwialne i zwałowe są słabiej poznane.

W tabeli 4. podano uśredniony skład chemiczny czwartorzędowych skał ilastych. Podstawę do jego sporządzenia stanowiły dane stanowiące treść pracy Z. Kozydry i R. Wyrwickiego (1970). Z kolei tabela 5. przedstawia skład mineralny tych samych kopalń wyróżniając wśród nich składniki podstawowe, towarzyszące i akcesoryczne.

Tabela 4

Uśredniony skład chemiczny czwartorzędowych kopaliny ilastych wg Z. Kozydry i R. Wyrwickiego (1970) – *vide* M. Nieć, T. Ratajczak (2004)

Table 4

The averaged chemical composition of Quaternary clay mineral resources by Z. Kozydra and R. Wyrwicki (1970) – see M. Nieć and T. Ratajczak (2004)

Składnik chemiczny	Rodzaj kopaliny, zawartość [% wag.]				
	osady zastoiskowe		gliny zwałowe	iły i mułki aluwialne	lessy
	iły	mułki			
SiO ₂	41,05–67,0 (53,85)	51,00–74,71 (61,20)	51,50–83,01	54,51–77,45 (68,44)	66,27–83,26 (73,0–76,24)
Al ₂ O ₃	9,20–21,48 (15,45)		4,68–13,86	8,90–16,03 (12,70)	5,8–13,06 (8,78–9,41)
TiO ₂	0,61–0,84		0,17–0,54	0,49–0,85 (0,60)	0,18–1,50 (0,27–0,52)
Fe ₂ O ₃	1,82–13,43 (6,32)	2,34–5,74 (4,08)	0,27–4,80	3,52–12,35 (5,28)	1,04–4,78 (2,22–2,72)
CaO	1,44–11,56 (7,81)	0,38–20,07 (8,36)	1,0 (odwapnione) 11,6–14,0	0,15–9,40 (2,13)	0,27–12,09 (3,81–4,68)
MgO	0,26–4,39 (2,21)	0,73–3,41 (2,20)	0,3–3,23	0,6–2,70 (1,27)	0,12–2,89 (1,16–1,48)
K ₂ O	1,90–3,45 (2,76)	2,13–3,54 (2,43)	0,78–3,73	1,90–2,65 (2,34)	1,38–2,70 (1,95–2,34)
Na ₂ O	0,58–1,18 (0,67)	0,60–0,94 (0,77)	0,0–1,3	1,0–1,50 (1,23)	0,58–1,52 (0,94–1,20)
SO ₃	0,01–0,98 (0,16)	0,02–1,13 (0,26)	do 0,51	0,02–0,32 (0,08)	0,00–0,41 (0,01–0,06)
CO ₂	1,21–11,56 (7,43)	0,0–15,48 (6,65)			0,2–9,49 (2,48–4,18)
straty prażenia	4,24–19,07 (11,07)	3,49–18,56 (9,81)	1,66–14,85	2,96–13,15 (5,96)	1,47–16,10 (4,40–5,76)

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie.

Gliny i mułki aluwialne

Gliny aluwialne powstały w efekcie osadzania się drobnych, pylastych zawiesin transportowanych przez wodę. W zdecydowanej większości stanowią one produkt rozmywania glin zwietrzelinowych zalegających na stokach dolin oraz osadów starszych taras. Ich zmienność litologiczna jest uwarunkowana odległością od osi koryta rzeki. W jej pobliżu są one bardziej gruboziarniste. U brzegów dolin z dala od głównego nurtu, stają się wyraźnie drobnoziarniste.

Występowanie ilastych utworów aluwialnych zwanych również madami rzecznyymi lub rędzinowymi związane jest z dolinami większości polskich rzek. Spotyka się je w dolnych częściach dorzecza Odry, wielu rzek karpaccich – Białej, Dunajca, Raby, Soły, Wisłoka i Wi-

Tabela 5

Skład mineralny czwartorzędowych kopalin ilastych wg M. Niecia i T. Ratajczaka (2004)

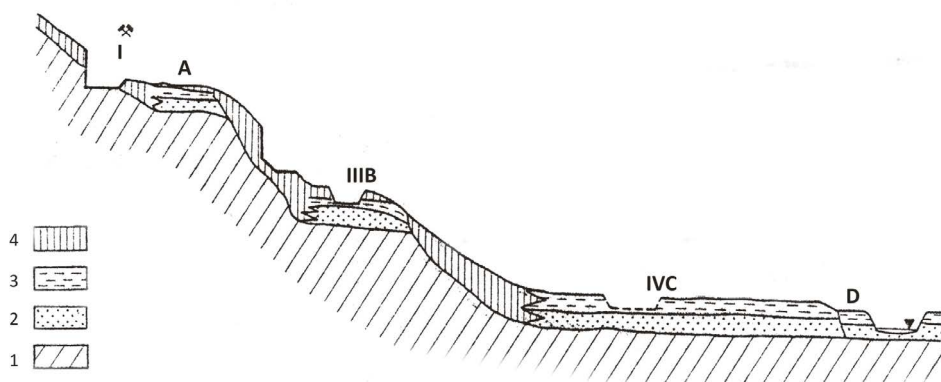
Table 5

The mineral composition of Quaternary clay mineral resources by M. Nieć and T. Ratajczak (2004)

Składniki	Rodzaje kopalin			
	iłły zastoiskowe	gliny zwałowe	iłły i mułki aluwialne	lessy
Podstawowe	illit, beidellit, kwarc (od kilku do 50%), kalcyt (od 1 do 25%)	kwarc, illit, hydromiki	illit, kwarc	kwarc, illit, beidellit, minerały mieszanopaketowe illit-smektyt, kalcyt
Towarzyszące	skalenie, chloryt, dolomit	kalcyt	beidellit, skalenie, goetyt, substancja organiczna	skalenie
Akcesoryczne	montmorillonit, kaolinit	montmorillonit, kaolinit	wiwianit	chloryty, kaolinit, dolomit

słoki. Obfitują w nie doliny środkowego i dolnego Sanu. Znane są wzdłuż całej w zasadzie doliny Wisły łącznie z Żuławami.

Schemat geologicznych warunków zalegania osadów aluwialnych w dolinie Sanu wg T. Ratajczaka red. (1984) przedstawia rysunek 8.



Rys. 8. Schemat geologicznych warunków zalegania utworów czwarto- i trzeciorzędowych w dolinie Sanu wg T. Ratajczaka red. (1984)

Objaśnienia: 1 – kreda i trzeciorzęd (łupki i piaskowce fliszu), 2–4 czwartorzęd, 2 – żwiry, pospółki, piaski, 3 – gliny aluwialne, 4 – gliny zwietrzelinowe i lessowate, A – terasa wysoka, B – terasa średnia, C – terasa rędzinna, D – terasa łęgowa; I – eksploatacja łupków fliszowych, glin zwietrzelinowych oraz lessowatych, II – złoża bazujące na glinach zwietrzelinowych i III – częściowo madach, IV – lokalizacja odsłonięć (odkrywek) na niskich terasach rzecznych

Fig. 8. The scheme of geological deposition conditions quaternary and tertiary sediments in the San valley by T. Ratajczak eds. (1984)

Ilasto-mułkowe osady aluwialne charakteryzują się dużą zmiennością litologiczną, zarówno w profilu poziomym, jak i pionowym. Stąd ciągłe przejścia od ilów do mułków, piasków, a nawet żwirów. Znajduje to odbicie w granicznych zawartościach poszczególnych frakcji ziarnowych. Udział frakcji ilastej często nie przekracza w nich 40% wag., wskazując przez to na mułkowy charakter. Zaliczyć je można do glin, glin piaszczystych czy nawet piasków gliniastych.

Skład chemiczny ilów i glin aluwialnych pochodzących z różnych miejsc występowania jest bardzo zbliżony (tab. 4). Są to z reguły utwory bezwapienne (CaCO_3 zazwyczaj poniżej 2% wag.), wyraźnie zażelazione (nawet do 12% wag. Fe_2O_3). Zawartość Al_2O_3 jest mała (średnio 12,70% wag.), z kolei SiO_2 bywa wysoka, nawet do 80% wag.

Badania K. Bahranowskiego i T. Ratajczaka (1977) oraz T. Ratajczaka (red. 1984) wykazały, że mady przedgórza Karpat zalegające w dolinach głównie Dunajca i Wisły mają charakter mułkowo-ilasty. Skład chemiczny odmian pochodzących z Radłowa, Żabna czy Strzegocic jest zbliżony. Np. gliny aluwialne z Radłowa zawierają 72,72% wag. SiO_2 , 14,12% wag. Al_2O_3 , 4,42% wag. Fe_2O_3 , 1,96% wag. CaO , 0,78% wag. MgO . Posiadają niskie straty prażenia, zaledwie 4,15% wag. Głównym składnikiem mineralnym jest kwarc występujący w formie pelitu. Zauważono także skalenie potasowe i sodowo-wapniowe silnie rozłożone. Minerale ilaste to głównie illit z kaolinitem, a także przerosty illitowo-montmorillonitowe. Średnia zawartość frakcji ilastej w madach z Radłowa jest niewielka. Zawierają one około 20% ziarn mniejszych od 5 μm .

W dolinie Sanu aluwia zalegają zarówno na tarasie rędzinnej, jak i łęgowej (K. Bahranowski i in. 1984). Ilustruje to rysunek 8. Są one niekiedy dość lite, pozbawione materiału grubookruchowego. Posiadają zabarwienie jasno-popielate. Pojawiają się w nich rzadkie laminacje materiałem pylastym. Zauważono też nacieki tlenków żelaza, a nawet sporadycznie kongregacje limonitowe. Odznaczają się wyraźnie od zalegających w spągu, a rzadziej w stropie piasków i żwirów. Ich grubość wynosi około 3 metrów.

Przebadano osady madowe zalegające w kilku miejscach środkowej części doliny Sanu (rys. 9). Udział w nich frakcji ilastej jest nieduży, waha się od 4,6 do 19,8% wag. Znacznie większa i obejmująca szeroki zakres jest ilość ziaren pylastych – od 22,5 do 46,1% wag. Ale najlicniejszym komponentem wydaje się być frakcja piaszczysta, obecna w przedziale 40,3 do 76,4% wag. Nieduża jej część, około 1,5% wag., reprezentuje frakcję żwirową.

W naturalnych próbkach tych skał dominuje kwarc. Obecne są także skalenie potasowe i sodowo-wapniowe. Znikomy jest udział mik typu muskowitu. Spotyka się też chloryty. Podrzędnie występują węglany reprezentowane przez kalcyt i dolomit. Stwierdzono też akcesoryczne ilości gipsu. We frakcjach drobniejszych, poniżej 60 μm , zaczynają dominować minerały ilaste. Potwierdzony został w nich udział miki dioktaedrycznej $2M_1$ typu muskowitu, towarzyszy jej chloryt. Dominującymi komponentami ilastymi w tym przedziale ziarnowym pozostają jednak illit i kaolinit oraz towarzyszące im nieduże ilości montmorillonitu.

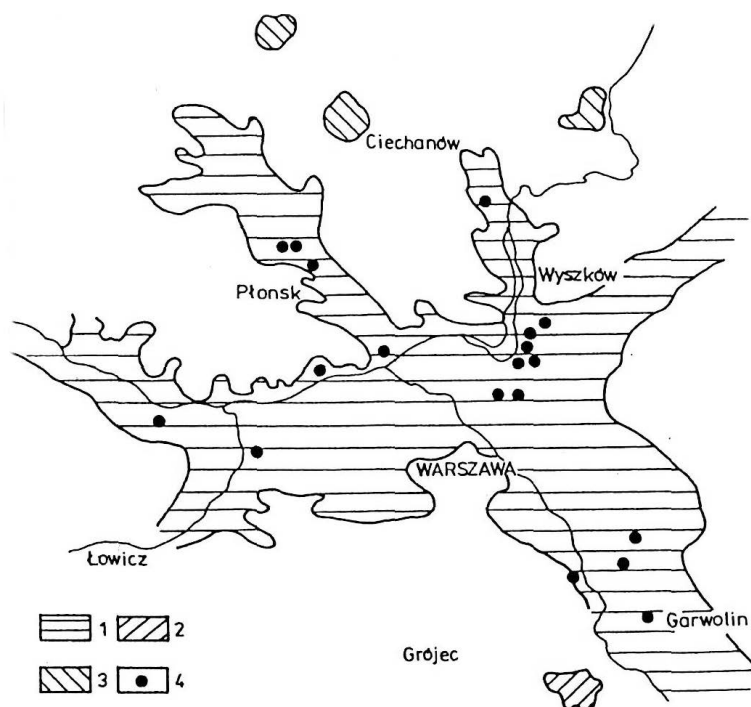


Rys. 9. Zasięg zalegania osadów aluwialnych w dolinie Sanu poniżej Dynowa wg T. Ratajczaka red. (1984).
Objaśnienia: 1 – lokalizacja próbek do badań, 2 – zasięg występowania osadów rzecznych

Fig. 9. The range of residual alluvial deposits flat in the San valley below Dynów by T. Ratajczak eds. (1984)

İly i mułki zastoiskowe

İly zastoiskowe, warwowe lub wstęgowo zbudowane są z licznych naprzemianległych jasnych i ciemnych warstewek o miąższości kilku centymetrów. Stanowią osad jezior zastoiskowych tworzących się u czoła łądolodu w okresach zlodowaceń środkowo- i północnopolskiego. Niektóre z nich jak np. tzw. warszawskie zajmowało znaczne obszary (rys. 10). Ich kompleksy skalne dochodzące do kilkudziesięciu metrów miąższości składa-



Rys. 10. Zasięg zalegania warszawskiego zastoiska iłów warwowych wg S.Z. Różyckiego (1961). Zaznaczono ważniejsze złoża tych kopalin
 Objasnienia: 1 – obszar zastoiska, 2 – zastoisko starsze, 3 – zastoisko młodsze, 4 – ważniejsze złoża

Fig. 10. The range of Warsaw hollows varved clays flat by S.Z. Różycki (1961). Marked the important deposits of these minerals

ją się na przemian z jasnych i ciemniejszych warstw. Warstwy jasne, aleurytowe, powstały w warunkach silniejszego utlenienia i wyższej temperaturze. Składają się głównie z kwarcu, a poza tym skaleni, węglanów i niedużej ilości minerałów ilastych. Warstwy ciemniejsze – pelitowe utworzyły się w środowisku redukcyjnym, w niższej temperaturze. Budują je głównie minerały ilaste z domieszką kwarcu, minerałów żelaza i zmacerowanej substancji organicznej.

Osady zastoiskowe mają złożony skład mineralny i uziarnienie. Analizy granulometryczne wskazują na dużą rozpiętość zawartości w iłach frakcji mułkowej i iłowej, a w mułkach różnicowanie udziału ziaren ze wszystkich trzech przedziałów uziarnienia.

W składzie mineralnym iłów zastoiskowych biorą udział trzy zasadnicze składniki – kwarc, minerały ilaste i węglany (tab. 5). Stosunek ilościowy pelitu kwarcowego do minerałów ilastych jest zmienny. Minerały ilaste stanowią 50–80% wag. a udział kwarcu dochodzi do 50% wag. Wśród minerałów ilastych zdecydowanie dominują odmiany z grupy illitu, którym towarzyszą niewielkie ilości montmorillonitu. W wielu przypadkach są to illity zmontmorillonityzowane. Pojawiają się również niekiedy śladowe ilości kaolinitu o zaburzonej strukturze oraz chloryt. Węglany reprezentowane są głównie przez kalcyt oraz występujący

tylko miejscami dolomit. Kalcyt grupuje się głównie we frakcjach poniżej 0,05 mm oraz we wtórnych koncentracjach wapiennych. Dostrzegalne są różnice w zawartości poszczególnych składników. Dotyczą one zwłaszcza SiO_2 i Al_2O_3 (tab. 4). Mułki, jak można było się spodziewać, są zapiaszczone. Zawierają z kolei mniej Fe_2O_3 niż ility. Natomiast obecność CaO jest w nich wyższa. Żelazo częściowo związane jest w minerałach ilastych, niekiedy występuje w uwodnionych tlenkach i wodorotlenkach, a także w siarczku żelaza. W bardzo małych ilościach stwierdzono skalenie – ortoklaz i plagioklasy (w odmianach z zastoiska warszawskiego jest ich około 5%), muskowitz oraz substancję organiczną.

ility warwowe znane są także z nadkładu złoża węgla brunatnego w Bełchatowie (Wyrwicki 1993). Autor ten wyróżnił wśród nich cztery odmiany:

- ility mułkowe, najbogatsze w minerały ilaste, w tym w beidellit,
- mułki ilaste zawierające powyżej 45% wag. minerałów ilastych,
- mułki piaszczysto-ilaste zbudowane z około 40% wag. minerałów ilastych,
- mułki wapniste, które zawierają 25% wag. minerałów ilastych i 10% wag. kalcytu.

Wykazują więc one zróżnicowanie petrograficzne. W ich składzie granulometrycznym nie stwierdzono obecności ziarn większych od 1 mm. Udział ziarn piasku i to bardzo drobnoziarnistego nie przekracza 5% wag. osadu.

Zespół stwierdzonych minerałów ilastych wskazuje, że reprezentują one typ polimineralny (Wyrwicka, Wyrwicki 1994). Innym ważnym składnikiem skałotwórczym jest kwarc, którego uziarnienie w przewodzie odpowiada frakcji ilastej. Stwierdzono też obecność minerałów skaleniowych, głównie plagioklazów. Osady te wyróżniają się poza tym niską zawartością kalcytu i akcesorycznego dolomitu (3,5–7,5% wag.).

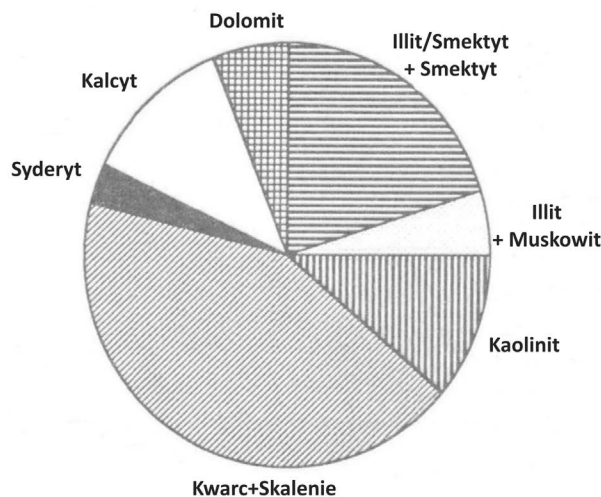
W składzie mineralnym tych skał wg K. Górniak i in. (1999) występują minerały ilaste i kwarc (rys. 11). Minerały ilaste są reprezentowane przez illit (smektyt/illit) i kaolinit o morfologii minerałów detrytycznych. Występują ponadto skalenie (K i Na-Ca) oraz minerały węglanowe (kalcyt, dolomit, syderyt).

Charakterystyka mineralno-chemiczno-granulometryczna iłów warwowych z Bełchatowa wygląda następująco:

- SiO_2 – 56,68% wag.,
- Al_2O_3 – 10,89–21,87% wag.,
- minerały ilaste – 24–62% obj.,
- kwarc i skalenie – 33,7–64,6% obj.,
- kalcyt – 3,3–10,9% obj.,
- substancja organiczna – 0,5–1,2% wag.,
- ziarna poniżej 2 μm – 17,4–60,5% wag.,
- ziarna powyżej 60 μm – 2,5–22,5% wag.

Gliny zwałowe

Gliny zwałowe stanowią odmianę glin morenowych. Odznaczają się znaczną zawartością niewysortowanego materiału detrytycznego. Występują na obszarze kraju objętym przez kolejne zlodowacenia. W efekcie ich nagromadzenia można spotkać w zasadzie na terytorium



Rys. 11. Ilościowy skład mineralny ilów warwowych ze złoża węgla brunatnego Belchatów wg K. Górniak i in. (1999)

Fig. 11. The quantitative mineral composition of varved clays from the "Belchatów" lignite by K. Górniak et al. (1999)

całej Polski z wyjątkiem Karpat, części Sudetów, Wyżyny Lubelskiej, Gór Świętokrzyskich. Ich lokalizacje osiągnęły przez to duży zasięg terytorialny. Posiadają zmienną, niekiedy znaczną miąższość. Stanowi je przemieszany materiał skalny pochodzący z topniejącego lodowca. Ich charakter litologiczny i skład petrograficzny są na ogół zróżnicowane. Składają się z materiału ilastego ze znacznymi domieszkami piasku, żwiru, a nawet głazów narzutowych.

Skład ziarnowy glin charakteryzuje się dominacją frakcji piaskowej nad pozostałymi. Stanowi ona około 60% wag. osadu przy czym w partiach przypowierzchniowych bywa jej więcej. Frakcji ilastej jest niewiele. Jej ilość sukcesywnie wzrasta wraz z głębokością zalegania. We frakcji żwirowej znaczny udział mają ziarna skał wapiennych.

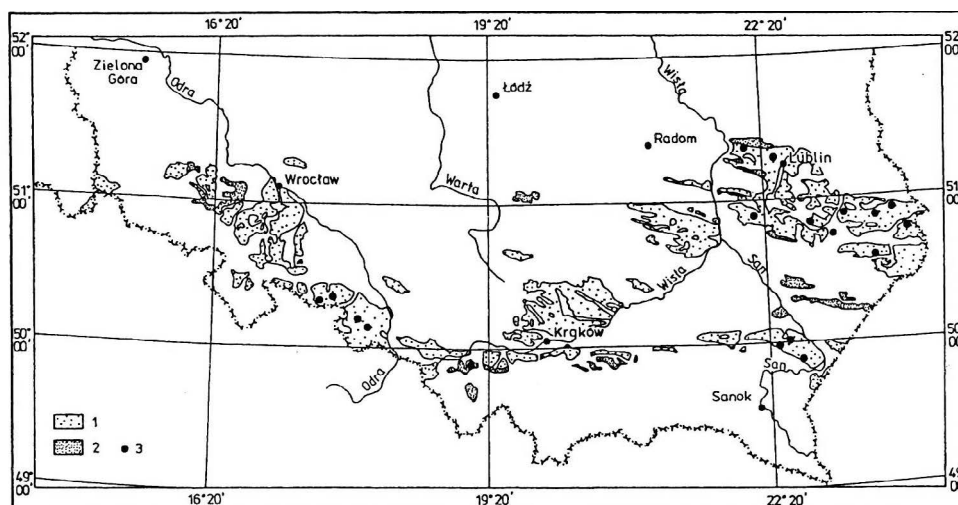
Skład chemiczny glin zwałowych cechuje bardzo wysoka zawartość krzemionki (nawet około 80% wag.). Glinki – Al_2O_3 jest niedużo (5–14% wag.), chyba najmniej wśród czwartorzędowych skał ilastych. Ilościowo przeważają nad nią topniki (m.in. CaO i MgO) (tab. 4).

W składzie mineralnym glin zwałowych dominuje klastyczny kwarc, występujący we wszystkich frakcjach, głównie jednak w pyłowej i piaskowej (tab. 5). Drugim składnikiem są minerały ilaste z grupy illitu, częściowo zmontmorillonityzowane, którym towarzyszą montmorillonit i niewielkie ilości kaolinitu i haloizytu. Węglany reprezentuje głównie kalcyt, występujący we frakcji zarówno najdrobniejszej, jak i piaskowej oraz żwirowej. Jego ilość waha się od wartości śladowych w glinach całkowicie odwapnionych do prawie 14% wag. w odmianach zawapnionych. W glinach brązowych dominuje żelazo trójwartościowe występujące w postaci goethytu. Ponadto obecne są skalenie (plagioklasy i mikroklin), łuszczyki oraz substancja organiczna.

Lessy i gliny lessopodobne

Surowce lessowe występują w Polsce południowej. Ich nagromadzenia spotyka się w pięciu obszarach (rys. 12):

- Wyżyna Lubelska i Roztocze,
- Góry Świętokrzyskie i ich obrzeżenie,
- Karpaty i przedgórze,
- Sudety i Pogórze Sudeckie,
- Wyżyna Miechowska.



Rys. 12. Obszary lessowe w Polsce wg Atlasu geologicznego Polski w skali 1 : 2 000 000 (Rühle i Mojski 1968)
Objaśnienia: 1 – obszary występowania lessów, 2 – obszary występowania lessów zaglinionych, 3 – ważniejsze złoża

Fig. 12. The loess areas in Poland by the Polish Geological Atlas on a scale of 1 : 2 000 000
(Rühle and Mojski 1968)

W nagromadzeniach tych kopalin wyróżnić można kilka typów genetycznych, a mianowicie:

- lessy pierwotne pochodzenia eolicznego,
- lessy wtórne powstałe z przemieszczenia lessów pierwotnych i nagromadzenia ich wskutek procesów soliflukcji,
- lessy subakwalne osadzone w środowisku wodnym.

Odrębnym genetycznym typem lessów są ich odmiany zalegające w Karpatach.

Geologiczne warunki ich zalegania w dolinie Sanu ilustruje rysunek 8.

Z racji swego uziarnienia lessy i gliny lessowe nie stanowią w zasadzie kopaliny ilastej. Ich struktura ma charakter aleurytowy. Zdecydowanie dominuje w nich frakcja mułkowa, stanowiąca ponad 80%. Zawartość frakcji ilastej na ogół nie przekracza 20% (średnio wynosi 10%) a ziarn reprezentujących frakcję piaszczystą jest co najwyżej 10%. Raczej nie zawierają one ziarn większych od 2 mm.

Skład chemiczny odmian lessów jest podobny (tab. 6). Cechuje je duża zawartość krzemionki – nawet powyżej 80% wag., a także topników (przeciętnie 10–11% wag.) przy małej, nieprzekraczającej niekiedy 10% wag. zawartości Al_2O_3 . Odnaczają się dużymi wahaniami ilości CaO . Stąd obecność CaCO_3 dochodzi w nich nawet do kilkunastu procent wagowych w odmianach zawapnionych. Jednak zasadniczo uważane są za utwory niskowapienne. Ich odmiany karpackie są natomiast prawie zupełnie pozbawione CaCO_3 .

Dominującym składnikiem mineralnym lessów jest kwarc stanowiący 60% (tab. 5). We frakcji pyłowej spotyka się skalenie. Ich ilość może dochodzić do 10–20%. Podstawowymi komponentami frakcji ilastej są illit i beidellit. Illit reprezentuje odmianę potasowo-magnezową. Podrzędnie występuje kaolinit i chloryt, a także łyszczyki, substancja organiczna. Żelazo związane jest w minerałach ilastych oraz w goethycie.

Lessy odślaniają się w górnym poziomie nadkładowym kopalni porfiru i diabazu w Zalasie. Odmiany zalegające pod warstwą gleby odznaczają się rdzawym zabarwieniem. Niżej spotyka się osady mające charakter bardziej mułkowy z widocznym odcieniem szaro-niebieskawym.

Niekompletny skład chemiczny tych dwóch odmian różnorodnych kolorystycznie lessów z Zalasu jest podany w tabeli 6. Jak można było przypuszczać, zmienne zabarwienie wynika z różnicy w zawartości połączeń żelaza. Lessy te czynią wrażenie bardzo piaszczystych. W odmianie niebieskawej ilość SiO_2 sięga niemal 90% wag., zaś obecność Al_2O_3 ledwo przekracza 5% wag.

Tabela 6

Niekompletny skład chemiczny odmian lessów z nadkładu kopalni w Zalasie wg T. Ratajczaka red. (2012)

Table 6

The incomplete chemical composition of the loesses varieties from the overburden of mine in Zalas by T. Ratajczak eds. (2012)

Składnik chemiczny	Odmiana lessów i zawartość [% wag.]	
	rdzawa	szaro-niebieska
SiO_2	80,41	89,02
TiO_2	0,47	0,12
Al_2O_3	10,19	5,85
Fe_2O_3	4,03	1,23
CaO	0,42	0,42
MgO	0,28	0,58
K_2O	3,19	1,49
Na_2O	1,97	0,55

Przebieg krzywych dyfraktometrycznych, na podstawie których można określić skład mineralny lessów, wskazuje, że nawet w przypadku frakcji ziarnowej mniejszej od $60\ \mu\text{m}$ piki sygnalizujące obecność minerałów ilastych są słabo zaznaczone. Należą one do illitu, kaolinitu i montmorillonitu.

Inna jest geneza glin lessopodobnych Karpat. Według M. Klimaszewskiego (1952) utworzyły się w efekcie wietrzenia zarówno mechanicznego, jak i chemicznego glin zwietrzelino-

wych. Wietrzenie mechaniczne zachodziło głównie w okresie glacialnym. Doprowadziło do znacznej dezintegracji materiału skalnego. Natężenie wietrzenia chemicznego przypadało na okresy interglacialne.

Gliny te odznaczają się zazwyczaj obecnością struktur aleurytowo-pelitowych. Częste są w nich nacieki lub przewarstwienia substancji limonitowej. Miąższość pokrywy bywa zróżnicowana. Waha się w granicach od jednego do kilkunastu metrów. Stropowe ich partie są zazwyczaj przemyle. Pozbawione są przez to części ilastych.

Skład mineralny glin bywa zróżnicowany. Uzależniony jest przede wszystkim od charakteru litologicznego osadów zalegających w ich podłożu. Utwory łupkowe w wyniku procesów wietrzeniowych tworzą zazwyczaj osady o charakterze gliniastym. Skały piaskowcowe stały się podstawą do utworzenia bardziej pylastych odmian glin.

Badania J. Cegły i M. Harasimiuka (1969) wykazały, że uziarnienie glin lessopodobnych Karpat wykazuje znacznie gorszą selekcję składników, niż ma to miejsce w typowych lessach. Bywa, że zawierają duże ilości cząstek koloidalnych, stąd trudno uznać je za typowe lessy. Wyniki badań granulometrycznych pozwalają je zaliczyć do glin pylastych ciężkich i pyłów.

O składzie chemicznym i mineralnym karpaccich glin lessopodobnych można się zorientować na podstawie odmian spotykanych w Niepli (tab. 7). Odznaczają się one dużą i dość stabilną zawartością SiO_2 . Średnie ich wartości wynoszą niemal 70% wag. Z kolei obecność Al_2O_3 można uznać za niedużą. Ilości Fe_2O_3 są zmienne. Od odmiany ubogiej w ten tlenek (ok. 3% wag.) do bogatych (ponad 7% wag.). Zawartość CaO jest zasadniczo nieduża, podobnie jak MgO. Ilości alkaliów (Na_2O i K_2O) można uznać za niewysokie.

Tabela 7

Skład chemiczny karpaccich glin lessopodobnych ze złoza w Niepli wg T. Ratajczaka red. (1984)

Table 7

The chemical composition of the Carpathian clays similar to the loesses from deposits in Niepla by T. Ratajczak eds. (2012)

Składnik chemiczny	Zawartość [% wag.]
SiO_2	68,37–69,85 (69,74)
Al_2O_3	10,85–12,10 (11,50)
Fe_2O_3	3,23–7,64 (3,41)
CaO	3,72–4,96 (4,25)
MgO	0,83–1,88 (1,49)
K_2O	1,72–2,86 (2,13)
Na_2O	0,91–1,04 (0,97)
Straty prażenia	5,36–6,34 (5,96)

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie.

Tło skalne lessów zbudowane jest z illitu. Tkwią w nim ziarna kwarcu. Występują w formie detrytycznej – od aleurytowych do pylastych. Są zwykle ostrokrawędziste. Stwierdzono

podrzedne ilości skaleni – około 3% obj. Zauważono także nieliczne okruchy skał krzemionkowo-ilastych. Spotyka się również sporadycznie domieszki kalcytowe, przybierające niekiedy formy konkrecyjne. Zauważyć można partie z nagromadzeniami rdzawo-brunatnych tlenków żelaza.

Chloryt okazał się minerałem umożliwiającym podział mineralogiczny tych osadów. Część z nich zawiera ten minerał, inne są go pozbawione. Odmiany bezchlorytowe reprezentują poza tym typ smektytowo-kaolinitowo-illitowy (Ratajczak 1989). Są też pozbawione węglanów.

Gliny zwietrzelinowe Karpat

Podatne na wietrzenie skały fliszowe Karpat dostarczały dużo materiału, który formował zazwyczaj u podnóża zboczy rozległe i niejednokrotnie miększe pokrywy gliniaste – od kilkunastu do nawet kilkudziesięciu metrów (rys. 8). Różnorodność litologiczna skał fliszowych jest powodem widocznej zmienności petrograficznej tych utworów. Bardzo często ulegają one odwapnieniu. W większości przypadków posiadają zachowaną teksturę charakterystyczną dla skały macierzystej. W spągu ilość niezwiędniętych okruchów fliszu wyraźnie wzrasta. Zauważa się w ich obrębie zmiany facjalne. Wyrażają się one w zróżnicowaniu zabarwienia, a także stopnia zapiaszczenia.

Uziarnienie tych osadów odznacza się dużym zróżnicowaniem. Z tego powodu można je zaliczyć do glin, glin pylastych, glin pylastych ciężkich, pyłów.

Zawartość SiO_2 jest w nich bardzo zmienna. W złożu Biezdziadka dochodzi do 68% wag. (tab. 8). Ilości Al_2O_3 są bardziej stabilne. Fe_2O_3 jest obecny z kolei w bardziej zmiennych ilościach. Uzyskane koncentracje mogą wskazywać na żelazisty charakter tych osadów. Również CaO jest obecne w niskim i wąskim przedziale wartości. Może to przesądzać o ich niskiej wapnistości. MgO jest niedużo.

Tabela 8

Niekompletny skład chemiczny karpaccich glin zwietrzelinowych z Bezdziadki wg W. Pilcha (1973)

Table 8

The incomplete chemical composition of the waste Carpathian clays from Biezdziadki by W. Pilch (1973)

Składnik chemiczny	Zawartość [% wag.]
SiO_2	61,68–67,08
Al_2O_3	16,57–18,14
Fe_2O_3	5,61–8,09
CaO	0,66–1,36
MgO	0,80–1,82
K_2O	2,40–2,67
Na_2O	1,00–1,03
Straty prażenia	6,87–7,123

Skład mineralny tych glin można ogólnie zdefiniować jako illitowo-smektytowo-chlorytowy. Mineralem pęczniejącym, obok smektytu, jest także odmiana mieszanopaketowa illit – smektyt. Ilość pakietów pęczniejących jest zmienna od 35 do 80%. Niektóre z glin wyróżniają się obecnością mik – muskowitu, we frakcjach drobniejszych pojawiał się kalcyt, a w grubszych ślady dolomitu. Niekiedy stwierdzano także hematyt.

1.1.2. Skały ilaste trzeciorzędu

W trzeciorzędzie na terenie naszego kraju zaistniały warunki sprzyjające powstawaniu różnorodnych odmian skał ilastych. Utwory trzeciorzędowe w Polsce rozwinięte są w dwóch facjach – lądowej i morskiej. Jest to efekt ożywionych ruchów tektonicznych wywołanych działalnością orogenezy alpejskiej. W ich wyniku doszło do kilkakrotnej zmiany rozmieszczenia lądów i mórz. Spowodowały one, że utwory ilaste powstałe w tym okresie są bardzo różnicowane pod względem litologicznym.

W geosynklinie Karpat w czasie paleogenu oraz w zapadlisku przedkarpackim, w neogenie, nagromadziły się w dużych ilościach osady ilaste pochodzenia morskiego. Ingresja morska oligocenu w północno-zachodniej Polsce pozostawiła również kompleks ilów zwanych septariowymi. Na terenie obejmującym Niż Polski, Sudety, wyżyny środkowo-polskie utworzyły się serie osadów ilastych pochodzenia jeziornego, jeziorno-bagiennego, rzeczno-jeziornego. Na Niżu są to przede wszystkim poznańskie iły mio-plioceńskie. W Sudetach i na ich przedpolu osady ilaste tworzyły się zarówno w paleogenie, jak i w neogenie. Ciepły i wilgotny klimat sprzyjał powstawaniu na tych terenach grubej pokrywy utworów zwietrzelinowych, zbudowanej głównie ze skał kaolinowych. Z czynnych w tym czasie wulkanów dostarczany był do zbiorników sedymentacyjnych materiał piroklastyczny, który w wyniku mineralotwórczych procesów diagenetycznych bywał przeobrażany w bentonity lub iły bentonitowe. Są one znane z fliszu karpackiego, jak i utworów zapadliska przedkarpackiego.

W tabeli 9. podano uśredniony skład chemiczny trzeciorzędowych skał ilastych stanowiących przedmiot zainteresowania w opracowaniu. Podstawę stanowiły rezultaty podane w pracy Z. Kozydry i R. Wyrwickiego (1970). W tabeli 10. zestawiono informacje na temat składu mineralnego tych samych odmian skał.

Iły mio-plioceńskie

Iły mio-plioceńskie serii poznańskiej należą do odmian osadów budzących od lat zainteresowania naukowe i praktyczne. Stanowią przedmiot badań stratygrafów, paleontologów, sedimentologów, mineralogów, a także technologów z różnych branż. Prace te dotyczą także problematyki genetycznej. Charakter mineralny, chemiczny, granulometryczny, a także właściwości fizykochemiczne i fizyko mechaniczne tych ilów sprawiają też różnorodność możliwości praktycznego ich wykorzystania. Jednym z nich są zagadnienia związane z ochroną środowiska.

Iły mioceńskie uznawane niekiedy za mio-plioceńskie nazywane są iłami poznańskimi. Ich obecność stanowi efekt istnienia w owym okresie rozległego lądowego basenu sedymentacyjnego obejmującego obszar niemal połowy Polski w jej obecnych granicach (rys. 13).

Tabela 9

Skład chemiczny niektórych odmian trzeciorzędowych kopalín ilastych
wg Z. Kozydry i R. Wyrwickiego (1970) – *vide* M. Nieć, T. Ratajczak (2004)

Table 9

The chemical composition of certain varieties of Tertiary clay minerals by Z. Kozydra and R. Wyrwicki (1970) –
see M. Nieć and T. Ratajczak (2004)

Składnik chemiczny	Rodzaje kopalín, zawartość (% wag.)	
	iły poznańskie	iły mioceńskie zapadliska przedkarpackiego
SiO ₂	29,09–80,41 (62,51)	47,28–79,79 (55,49)
Al ₂ O ₃	6,40–24,69 (17,63)	8,31–20,46 (15,10)
TiO ₂	0,38–1,60 (0,87)	b.d.
Fe ₂ O ₃	0,25–14,77 (5,65)	0,60–13,53 (5,23)
FeO	0,00–14,77 (0,57)	b. d.
CaO	0,26–16,49 (1,63)	1,10–16,18 (7,68)
MgO	0,08–3,04 (1,15)	śl.–7,65 (2,04)
K ₂ O	1,28–3,33 (2,15)	0,62–2,62
Na ₂ O	0,10–1,13 (0,36)	0,45–3,37
SO ₃	0,00–2,53 (0,24)	śl.–1,92
CO ₂	0,00–5,30 (0,99)	b. d.
Straty prażenia	2,79–18,02 (8,32)	3,45–19,20 (10,76)

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie; b.d. – brak danych.

Tabela 10

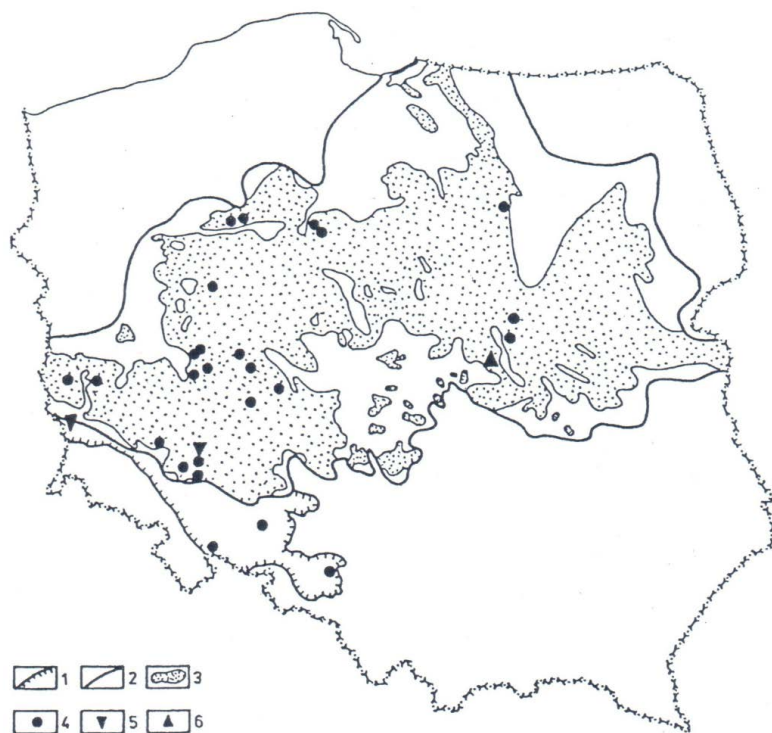
Skład mineralny trzeciorzędowych kopalín ilastych wg M. Niecia i T. Ratajczaka (2004)

Table 10

The mineral composition of Tertiary clay mineral resources by M. Nieć and T. Ratajczak (2004)

Składniki	Rodzaje kopalín	
	iły poznańskie	iły mioceńskie zapadliska przedkarpackiego
Podstawowe	beidellit, minerały mieszanopakietowe illit-smektyt, illit, kwarc	illit, minerały mieszanopakietowe illit-smektyt, smektyty-illit, beidellit- nontronit, kwarc, kalcyt
Towarzyszące	kaolinit, hematyt, uwodnione tlenki Fe, piryt, markasyt	chloryt, kaolinit, montmorillonit, substancje organiczne, piryty, dolomit
Akcesoryczne	kalcyt, syderyt, haloizyt	łyszczki, gips

Seria poznańska zalega przekraczając na utworach mioceńskich formacji burowęglowej. Zalicza się do niej utwory spotykane pomiędzy właśnie tą formacją a osadami czwartorzędu. Ze względu na zdecydowane ubóstwo skamieniałości oraz brak jakichkolwiek form



Rys. 13. Występowanie ilów poznańskich w Polsce wg M. Niecia i T. Ratajczaka (2004)
 Objasnienia: 1 – południowa granica zasięgu serii poznańskiej, 2 – zasięg facji ilastej, 3 – obszar występowania serii poznańskiej i ważniejsze złoża, 4 – ceramiki budowlanej, 5 – kruszywa ceramicznego, 6 – wyrobów kamionkowych

Fig. 13. The occurrence of poznańskie clays in Poland by M. Nieć and T. Ratajczak (2004)

przewodnich granica serii oraz ich wewnętrzny podział ma wyłącznie charakter litostratygraficzny (tab. 11).

Z. Wichrowski (1981) cały obszar zalegania ilów poznańskich podzielił na cztery rejony: północno-wschodni, centralny, południowy i południowo-zachodnim (rys. 14). Podział ten wynikał nie tylko z kryteriów geograficznych, ale przede wszystkim ze zróżnicowania litologicznego ilów zalegających w różnych częściach tego rozległego basenu sedimentacyjnego. Osady te różnią się między sobą uziarnieniem, składem chemicznym i mineralnym, a także właściwościami fizykochemicznymi. Jest to efekt m.in. tego, że baseny zaopatrywane były w materiał pochodzący z różnych obszarów alimentacyjnych. Do południowej i środkowej części basenu dostarczany był on z masywu Sudetów i pasma wyżyn tworzących pas meta-karpacki. Północna część gromadziła głównie sedymenty skandynawskie. W przybrzeżnych partiach zbiornika osadzały się w przewodzie osady piaszczyste, a nawet żwirowe. Przykładem tego jest charakter litologiczny utworów tzw. serii Gozdnicy (tab. 11). Natomiast w partiach centralnych położonych w obrębie Niziny Wielkopolskiej sedimentowały najczęściej iły i mułki.

Tabela 11

Wykształcenie litostratigraficzne serii poznańskiej wg S. Dyjora (1970, 1992) i R. Wyrwickiego (1974)

Table 11

The lithostratigraphic development of poznańskie series by S. Dyjor (1970, 1992) and R. Wyrwicki (1974)

Wiek	Poziom	Miąższość [m]	Charakterystyka litologiczna
Pliocen	seria Gozdnicy	kilka	żwiry i piaski kwarcowe z kaolinitem (tylko na przedpolu Sudetów)
	iłły płomieniste	kilka do 20	iłły i mułki oliwkowe lub szare z czerwonymi plamami (pstre) w południowej i południowo-zachodniej części obszaru, na pozostałym zielone, szare, brunatne z cienkimi przewarstwieniami pstrych
Miocen	iłły zielone	kilka do 120	iłły i mułki zielone i szaroniebieskie, jasno i ciemnobrunatne z cienkimi przewarstwieniami piaszczystymi o różnej grubości; częste kongregacje węglanowe o średnicy do ponad 1 m, warstwy wapieni rozproszone i kongregacyjne skupienia FeS ₂ , kryształki i kongregacje gipsu
	iłły szare	0,5–kilkunastacie	iłły szare i brunatne, często węgliste ze zwęglonymi szczątkami roślin i niekiedy siarczkami żelaza
	seria brunatnowęglowa		węgiel brunatny (środkowopolska grupa pokładów, pokład Henryk)

Miąższość całego kompleksu iłów mio-plioceńskich wynosi przeciętnie 40–60 metrów a maksymalnie może dochodzić do 160 metrów. W profilu tych osadów daje się zauważyć cykliczność sedymentacyjną. Wyraża się ona zmiennością lityfikacji i granulometrii osadów – przejściami od iłów zwięzłych poprzez odmiany pylaste, mułki do piasków, a nawet żwirów. Powoduje też pojawienie się zazwyczaj horyzontalnego warstwowania. Bywa ono podkreślone zmiennością kolorystyki iłów. Obejmuje ona odcienie szaro-zielonkawe, niebieskawe, czerwono-rdzawe. Stało się to podstawą podziału litostratigraficznego tych iłów na trzy poziomy oparte na efektach kolorystycznych. Ich partie spągowe reprezentują odmiany szare (z substancją organiczną), środkowe – niebieskawe (z illitem i galukonitem) oraz stropowe – płomieniste (z kaolinitem i goethytem).

Z badań P. Brańskiego (1994) wynika, że statystyczna, standardowa próbka iłów poznańskich reprezentuje typ nieco zapiaszczonego iłu mułkowego. Tym niemniej wyniki analiz granulometrycznych potwierdzają dużą rozpiętość udziału trzech podstawowych frakcji ziarnowych w poszczególnych odmianach litologicznych osadów oraz istnienie wspomnianego szeregu skał ił – mułek – piasek – żwir. Średnia zawartość frakcji ilastej jest w nich jednak niska, nieznacznie przekracza 50%. Iłły stanowią 60% całości profilu serii poznańskiej, mułki i piaski występują zaś w ilości 20%. Iłły zawierają średnio 67% minerałów ilastych, 30% kwarcu i 3% innych składników.

Zawartość SiO₂ w iłach poznańskich zmienia się i to w szerokim przedziale od 30 do 80% wag. (tab. 9). Może stanowić 2/3 ich składników chemicznych. Ilości Al₂O₃ nawet



Rys. 14. Zróżnicowanie składu mineralnego ilów serii poznańskiej w czterech obszarach zalegania wg L. Stocha (1974) i Z. Wichrowskiego (1981)
 Objasnienia: Bd – beidellit, Ch – chloryt, I – illit, K – kaolinit, M – mika, Q – kwarc, S – smektyt, I/S minerały mieszanopakietowe illit-smektyt

Fig. 14. The diversity of the mineral composition of poznańskie clays series in four the fate areas by L. Stoch (1973) and Z. Wichrowski (1981)

w najbogatszych w substancję ilastą odmianach ilów rzadko przekracza 20% wag. Zauważono ponadto zróżnicowanie zawartości tych dwóch składników chemicznych uwarunkowane ich lokalizacją w zbiorniku sedimentacyjnym. Obecność krzemionki okazała się najwyższa w rejonie północno-wschodnim. Średnio wynosi 62,3% wag. Z kolei największymi ilościami glinki odznaczają się iły zalegające w południowo-zachodniej części zbiornika. Połączenia żelaza (od ilości śladowych do 15% wag. Fe_2O_3) przybierają zazwyczaj samodzielne formy mineralne. Mogą one również częściowo wchodzić w strukturę minerałów ilastych lub zostać zasorbowane przez nie powierzchniowo (Wichrowski 1981). Średnia zawartość CaO w ilach jest niska – 1,63% wag., chociaż maksymalnie ponad 15% wag. Substancja organiczna należy do rzadziej wykazywanych składników tych osadów. Jej ilość jest uzależniona od odmian kolorystycznych. Wśród alkaliów dominuje K_2O . Ilość połączeń siarki w przeliczeniu na SO_3 nie przekracza 3% wag.

Podstawowymi składnikami mineralnymi utworów serii poznańskiej są kwarc i minerały ilaste. Ich sumaryczna zawartość może nawet przekraczać 90%. Wśród minerałów ilastych dominują smektyty szeregu beidellit – nontronit i odmiany mieszanopakietowe smektyt – il-

lit. W obrębie pakietów mieszanych smektyty przeważają nad illitem. Są one reprezentowane przez żelazisty beidellit z kationami Ca^{2+} i Mg^{2+} na pozycjach wymiennych. Illit i kaolinit obecne są w podrzędnych ilościach. Kaolinit reprezentuje odmiany o zaburzonej strukturze. Nie należy wykluczyć obecności halozytu.

Pogłębioną charakterystykę mineralogiczną, a nawet krystalograficzną minerałów ilastych budujących ily poznańskie przytaczają Z. Kłapyta i W. Żabiński (2008). Według nich na podkreślenie zasługuje niemal stabilny stały charakter krystalograficzny smektytu. Ma on cechy beidellitu żelazistego wchodzącego zazwyczaj w skład minerałów mieszanopakietowych smektyt-illit (zwykle 3–7%). Należy sądzić, że posiada podstawowy wpływ na właściwości sorpcyjne tych iłó.

Podobnie jak w przypadku składu chemicznego w sytuacji tych iłó zauważalne są zmiany ich charakteru mineralnego uwarunkowane lokalizacją w zbiorniku sedymentacyjnym. Rejon północno-wschodni wyróżnia się wysoką zawartością minerałów mieszanopakietowych, znaczną obecnością illitu i zmienną, ale raczej niską obecnością kaolinitu (rys. 14). Spotyka się partie z absolutną dominacją beidellitu. Zdarza się, że podrzędnie występuje chloryt. W rejonie centralnym od północy ku południu stopniowo wzrasta ilość kaolinitu. Odbywa się to kosztem beidellitu, a ściślej mówiąc, ilości pakietów beidellitowych obecnych w minerałach mieszanopakietowych. Największe zróżnicowanie w składzie i proporcjach minerałów ilastych obserwuje się w iłach poznańskich rejonu południowego. Minerale mieszanopakietowe stanowią w nich nadal składnik najważniejszy. Zmienne są natomiast ilości kaolinitu i illitu. W rejonie południowo-zachodnim zmniejsza się zawartość minerałów ilastych, a wzrasta obecność kwarcu. Składnikiem przeważającym staje się niekiedy kaolinit. Ma to miejsce w przypadku tzw. serii Gozdnicy. Spotyka się w nich słabo zmienione łuszczyki. Obecne są też minerale mieszanopakietowe (Dyjur 1970).

Próba charakterystyki składu mineralnego iłó w obrębie całego zbiornika wygląda więc następująco. W centrum występowania serii poznańskiej dominującym składnikiem ilastym zdaje się być beidellit. Ku peryferiom wzrasta natomiast udział kaolinitu i minerałów mieszanopakietowych typu smektyt – illit. Na przedpolu Sudetów przeważającym minerałem staje się kaolinit. Stosunek zawartości beidellitu do kaolinitu i illitu zwiększa się ogólnie w zbiorniku sedymentacyjnym z północy na południe, a poza tym od odmian wysokosmektytowych do niskosmektytowych.

Cechą charakterystyczną iłó poznańskich jest występowanie w nich różnorodnych minerałów żelaza – tlenkowych i wodorotlenkowych (hematyt, goethyt, hydrogoethyt), siarczkowych (piryt i markasyt), węglanowych – syderyt. Minerale siarczkowe wietrzejąc przeobrażają się w wodorotlenki żelaza. Siarczki i syderyt mogą przybierać formy konkrecyjne. Obecność hematytu i goethytu powoduje pojawienie się czerwonego, rdzawego lub żółtego zabarwienia charakterystycznego dla iłó płomienistych. Drobnoproszone siarczki Fe nadają barwę szaroniebieską lub zielonkawą iłom zielonym. W dolnym poziomie iłó szarych spotykane są cienkie przewarstwienia węgla brunatnego i iłó węglistych ciemnych ze zmacerowanym detrytusem roślinnym.

Iły i mułki poznańskie są na ogół niewapniste. Stosunkowo pospolite natomiast, zwłaszcza w dolnej części serii, są konkrecje wapienne i wapienno-dolomitowe. Bywają one bądź rozproszone bądź koncentrują się w określonych poziomach. Występują także przewarstwienia margliste. Stopień zapiaszczenia iłów, ich żelazistość, zawartość konkrecji marglistych, syderytowych oraz siarczków żelaza są bardzo zmienne. W strefach wietrzennych do głębokości kilku metrów pojawiają się także gips w postaci pojedynczych kryształów lub ich skupień oraz żyłek, a także jarosyt i inne minerały siarczanowe z grupy alunitu. Ich zawartość dochodzi do kilku procent.

Skład mineralny obok charakteru granulometrycznego powoduje, że iły poznańskie odznaczają się dobrymi właściwościami sorpcyjnymi i jonowymiennymi. Ich pojemność sorpcyjna obejmuje zakres wartości od 13 do 60 mval/100 g. Najlepszymi wartościami odznaczają się odmiany z północnej i centralnej części zbiornika, średnimi z obszaru środkowego i częściowo południowego, a najniższymi w przypadku rejonu zachodnio-południowego. Wynoszą one odpowiednio 21–36 mval/100 g i 7–23 mval/100 g. Daje się też zauważyć zróżnicowanie właściwości jonowymiennych i sorpcyjnych pomiędzy odmianami litologicznymi iłów. Najlepszymi odznaczają się odmiany szare, a najniższymi – płomieniste (Wichrowski 1981; Kłapyta, Żabiński 2008).

Iły i mułki miocenne pochodzenia morskiego

Miocenne osady ilaste pochodzenia morskiego występują przede wszystkim na obszarze zapadliska przedkarpackiego. Znane są także z peryferyjnych, południowych obszarów Roztocza. Zalegają również w Zagłębiu Górnos Śląskim. Stanowią je iły mniej lub bardziej mułkowate, niekiedy złupkowacone. Są one szare, ciemnoszare, z odcieniem zielonkawym. Przewarstwiają je piaski pylaste z detrytusem roślinnym i fragmentami skorupki wapiennych.

Utworzenie się morza miocennego, w którym sedymentowały te iły, związane było z ruchami fałdowymi Karpat. Spowodowały one powstanie głębokiego rowu przedgórskiego – zapadliska przedkarpackiego. Był on zasilany materiałem osadowym pochodzącym z różnych kierunków. Główne obszary alimentacyjne to wypiętrzające się Karpaty oraz pas wyżyn tworzących tzw. wał metakarpaci. Zmiany linii brzegowej zbiornika i jego głębokości sprawiły, że w morzu tym osadzały się zróżnicowane pod względem litologicznym utwory. Zmienność ta ma charakter zarówno lateralny, jak i wertykalny. Również miąższość tych utworów jest różna. Waha się w szerokich granicach od około 20 na Śląsku do 2500 metrów w centralnej części zapadliska. Wśród osadów ilastych spotyka się też soczewki lub grubsze przewarstwienia bentonitów. Grubość tych warstewek jest zmienna, a osiągać może kilkadziesiąt centymetrów.

Dokładny wiek osadów zapadliska przedkarpackiego budził od dawna liczne kontrowersje. Przyjmuje się, że dolna ich część, czyli warstwy grabowieckie reprezentują najwyższy baden (grabow), a ich główne partie tzw. seria krakowiecka – sarmat. Oznacza to, że wszystkie te utwory powstały przypuszczalnie w górnej części środkowego miocenu.

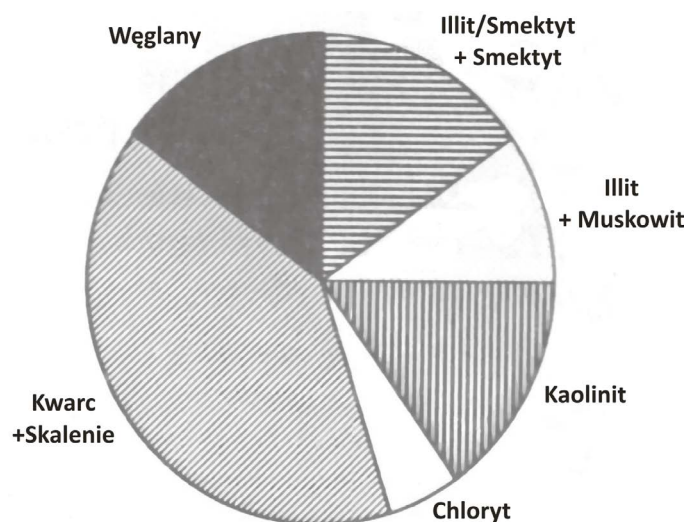
Skład ziarnowy iłów z centralnej i brzeżnej części zapadliska jest zbliżony. Zawartość frakcji ilastej jest tylko nieco wyższa w iłach grabowieckich niż w serii krakowieckiej.

W skałach tych występuje stosunkowo niedużo Al_2O_3 (od około 8 do 20% wag.). Znaczne są ilości tlenków żelaza i wapnia – odpowiednio 5,23% wag. i 7,68% wag. Krzemionka jest obecna w ilości od 47 do 80% wag. Zmienne są zawartości alkaliów, sumarycznie od 1,0 do 6% wag. Odznaczają się one przewagą K_2O nad Na_2O (tab. 9).

Według P. Brańskiego (1995) typowa, reprezentatywna próbka utworów ilastych zapadliska przedkarpackiego przedstawia wapnisty mułek ilasty. Zawiera on 57% minerałów ilastych, 24% kwarcu i 19% innych składników.

Iły mioceńskie zapadliska przedkarpackiego były także przedmiotem badań K. Górniak i in. (1999) oraz K. Bahranowskiego i T. Ratajczaka (1979). Ich ilościowy skład mineralny ilustruje rysunek 15. Dominują w nim minerały ilaste i kwarc. Wśród odmian ilastych zdecydowanie przeważa faza illitowo-smektytowa, tworząca często pakiety mieszane. W jej obrębie smektyty przeważają nad illitem. Są one zazwyczaj reprezentowane przez beidellit lub odmiany z szeregu beidellit – nontronit. Dominuje jednak illit. Typowy montmorillonit występuje rzadko. Spotykane są także kaolinit i chloryt. Ten ostatni występuje zazwyczaj w odmianach zalegających na pograniczu z nasunięciem karpackim. Stwierdzono także skalenie, węglany (kalcyt i niewielkie ilości dolomitu oraz syderytu), a także gips, piryty i markasyt, zwęgloną substancję organiczną, nieco łuszczyków, goethyt.

Pojemność sorpcyjna ilów grabowieckich i krakowieckich wynosi średnio 30 mval/100 g. Odmiany o dobrych właściwościach ekranujących i sorpcyjnych występują w serii krakowieckiej okolic Tarnowa oraz w ilach grabowieckich między Bochnią a Krakowem. Na pozostałych obszarach ily te mają pojemność sorpcyjną nie przekraczającą 20 mval/100 g.



Rys. 15. Ilościowy skład mineralny mioceńskich ilów krakowieckich z zapadliska przedkarpackiego wg K. Górniak i in. (1999)

Fig. 15. The quantitative mineral composition of Miocene clays from Carpathian Depression by Górniak K. et al. (1999)

Hołupki fliszu karpackiego

Na obszarze Karpat skały ilaste występują zarówno w paleogenie, jak i w kredzie. Większe ich kompleksy znane są z pstrych łupków wieku kredowego, paleoceńskiego i eoceńskiego oraz górnych warstw hieroglifowych, łupków menilitowych i warstw krośnieńskich wieku eoceńskiego i oligoceńskiego. Bywa, że są sfałdowane i zdeformowane tektonicznie.

We fliszu karpackim występują bądź jednolicie wykształcone ich odmiany o zabarwieniu wiśniowym i zielonawym (pstre łupki) bądź szare, rzadziej zielonkawe, rytmicznie prze-warstwiane piaskowcami, a także brunatne lub ciemne. Mają one zmienne wykształcenie litologiczne. Ich udział w profilach fliszowych jest zróżnicowany, może jednak przekraczać 50%. Hołupki występują w formie różnej miąższości warstw, zwykle kilkunasto- lub kilkudziesięciu centymetrowych. Stanowią przelawienia mułowców i piaskowców. Niekiedy przybierają formę łupków bitumicznych mniej lub bardziej wapnistych z rogowcami (łupki menilitowe). W łupkach istebniańskich pojawiają się sferosyderyty. Łupki pstre zawierają конкреcje pirytowe. Występują w nich również przewarstwienia bentonitów czy skał montmorillonitowo-klinoptylolitowych. Na płaszczynach spękań pojawiają się w nich cienkie żyłki kalcytowe i naloty żelaziste lub manganowe.

Średni skład chemiczny łupków karpackich przedstawiono w tabeli 12. Tabela 13. podaje natomiast udziały składników chemicznych w odmianach pstrych (górnokredowych i eoceńskich) oraz krośnieńskich. Uśrednione wartości wskazują na duże ilości tlenku Al (aż do niemal 25% wag.). Zmienna jest obecność CaO. Niekiedy mają one charakter żelazisty (ilość Fe_2O_3 dochodzi niemal do 15% wag.). Wśród alkaliów potas przeważa nad sodem.

Tabela 12

Średni skład chemiczny skał ilastych fliszu karpackiego wg T. Ratajczaka red. (1984)

Table 12

The average chemical composition of clay rocks of the Carpathian flysch by T. Ratajczak eds. (1984)

Składnik chemiczny	Zawartość [% wag.]
SiO ₂	39,32–61,67 (52,35)
TiO ₂	0,23–0,97 (0,59)
Al ₂ O ₃	7,04–24,16 (16,50)
Fe ₂ O ₃	2,89–14,24 (7,42)
CaO	0,25–24,00 (3,72)
MgO	0,37–3,01 (1,92)
K ₂ O	0,07–4,00 (2,37)
Na ₂ O	ślady–1,40 (0,58)
straty prażenia	5,27–21,80 (9,97)

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie.

Skład chemiczny i przybliżony skład mineralny podano w przypadku łupków pstrych (godulskich i eoceńskich) oraz krośnieńskich (tab. 13). Charakteryzowane odmiany różnią się zawartością kolejnych składników chemicznych. Najwięcej Al₂O₃ – do niemal 20%

Tabela 13

Skład chemiczny i mineralny łupków fliszowych wg S. Traczyka (1979)

Table 13

The chemical and mineral composition of shale flysch by S. Traczyk (1979)

Składnik	Zawartość [% wag.]		
	górnokredowe (godulskie)	eoceńskie	łupki krośnieńskie
SiO ₂	54,83–58,57	57,14–66,82	42,42–50,32
Al ₂ O ₃	16,59–19,35	13,77–17,26	12,07–13,8
TiO ₂	0,68–0,92	0,56–0,73	0,46–0,57
Fe ₂ O ₃	3,67–9,54	5,10–8,77	4,37–5,19
FeO	0,45–1,09	0,18–1,44	1,14–2,21
CaO	1,34–3,54*	0,68–1,81	9,98–12,80
MgO	1,16–2,04	1,96–3,18	3,72–4,60
Na ₂ O	0,00–2,55	0,0–0,48	0,40–0,43
K ₂ O	2,88–4,71	2,16–2,90	2,32–2,74
SO ₃	0,14–0,51	0,19–0,77	1,30–2,59
S _{siarczkowa}		0,21–0,48	0,58–1,57
Straty prażenia	5,88–11,80	6,13–10,68	13,57–17,45
Minerały ilaste	50–70% beidellit, illit, mieszanopaketowe (beidellit-illit), kaolinit		20–30% illit, beidellit, chloryt
Kwarc	20–30%		30–40%
Węglany	do kilku %		ok. 20%
Minerały podrzędne	muskowit, siarczki i uwodnione tlenki Fe, skalenie, glaukonit, kalcyt, biotyt, fosforany		muskowit, skalenie, siarczki Fe, glaukonit, substancja organiczna

* W łupkach wapienistych z Monasterca zawartość CaO do 25%.

wag. – zawierają odmiany górnokredowe. Jest też w nich dużo mniej CaO aniżeli w łupkach krośnieńskich (maksymalnie 3,5% wag. w godulskich łupkach z Monasterca i ponad 12% wag. w krośnieńskich). W jednych i drugich wyraźne, niekiedy nawet znaczne, a poza tym zbliżone są ilości Fe₂O₃ i FeO oraz alkaliów.

Badane łupki różni wyraźnie skład mineralny (tab. 13). W odmianach pstrych dominują minerały ilaste (50–70%), podczas gdy w krośnieńskich stwierdza się je w przedziale 20–30%. W łupkach krośnieńskich pojawia się chloryt. Odmiany pstre są znacznie słabiej zapiaszczone (20–30% kwarcu) oraz zawapnione (do kilku procent CaO).

Łupkom karpackim towarzyszą wkładki ilów bentonitowych oraz zeolitowo-montmorillonitowych. Pierwsze znane są m.in. z Polan koło Grybowa i Międzybrodzia koło Sanoka. Obecność drugich stwierdzono w okolicach Dynowa. Ich charakter mineralny oraz możliwości praktycznego wykorzystania sprawiają, że zostały omówione w rozdziale 1.4.2.

Iły mioceńskie pochodzenia śródlądowego

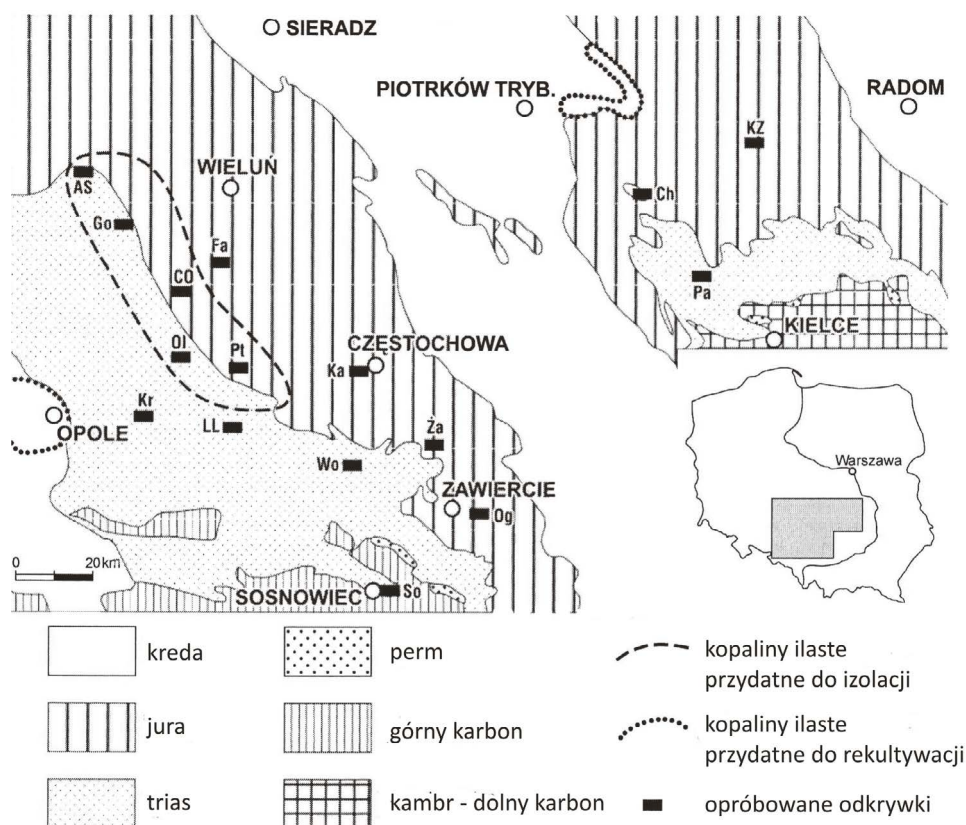
Rozprzestrzenienie i lokalizacja nagromadzeń ilów mioceńskich pochodzenia śródlądowego ilów jest ograniczone. Występują one w obrębie:

- osadów mioceńskich rejonu Strzegomia,
- mioceńskich i plioceńskich utworów na Ziemi Lubuskiej,
- jako kopaliny towarzyszące węglom brunatnym w Bełchatowie i Turoszowie.

Z uwagi na swój charakter surowcowy są uznawane za ropy ogniotrwałe i kamionkowe oraz przyjętą koncepcję pracy zostały one omówione w rozdziale 1.3.2.

1.2. Surowce przedkenozoiczne

Przedkenozoiczne kopaliny ilaste związane z wychodniami lub obszarami płytkiego zalegania formacji starszych od kenozoiku występują niemal wyłącznie w Polsce południowej. Dotyczy to następujących regionów: krakowsko-wieluńskiego, obrzeżenia Gór Świętokrzyskich, Górnoląskiego Zagłębia Węglowego (rys. 16). Spotyka się je też w serii węglonośnej karbonu lubelskiego. Mają one raczej podrzędne znaczenie w ogólnopolskim bilansie



Rys. 16. Obszary zalegania ilastych utworów przedkenozoicznych na mapie geologicznej Polski wg P. Brańskiego (2007)

Fig. 16. The areas of occurrence pre-Cenozoic clays on the Polish geological map by P. Brański (2007)

kopalin ilastych („Bilans zasobów...” 2014). Dominującą rolę wśród nich odgrywają iłowce i mułowce triasu górnego, triasu środkowego a mniejszą łożupki i iłowce triasu dolnego.

1.2.1. Iły doggeru

Iły doggerskie zalegające w okolicach Częstochowy stanowią dobry surowiec przydatny do wytwarzania różnych wyrobów przemysłu ceramicznego. Mogą być również wykorzystywane jako dodatek korygujący wapienie stosowane do produkcji cementu. Służą one także do otrzymywania keramzytów. Mając na uwadze dobre właściwości surowcowe tych iłów oraz problemy eksploatacyjne jakich przysparzały w kopalni syderytów „Wręczyca”, zaczęto realizować prace dokumentacyjne zmierzające do ich wykorzystania. W 1966 roku powstała dokumentacja geologiczna iłów nadrudnych poziomu spągowego syderytów eksploatowanych w kopalni „Wręczyca” (Bonarski 1966). Według obowiązujących zasad i terminologii spełniały one kryteria kopalin towarzyszących. Celem dokumentacji było wykazanie przydatności tych iłów na użytek przemysłu cementowego.

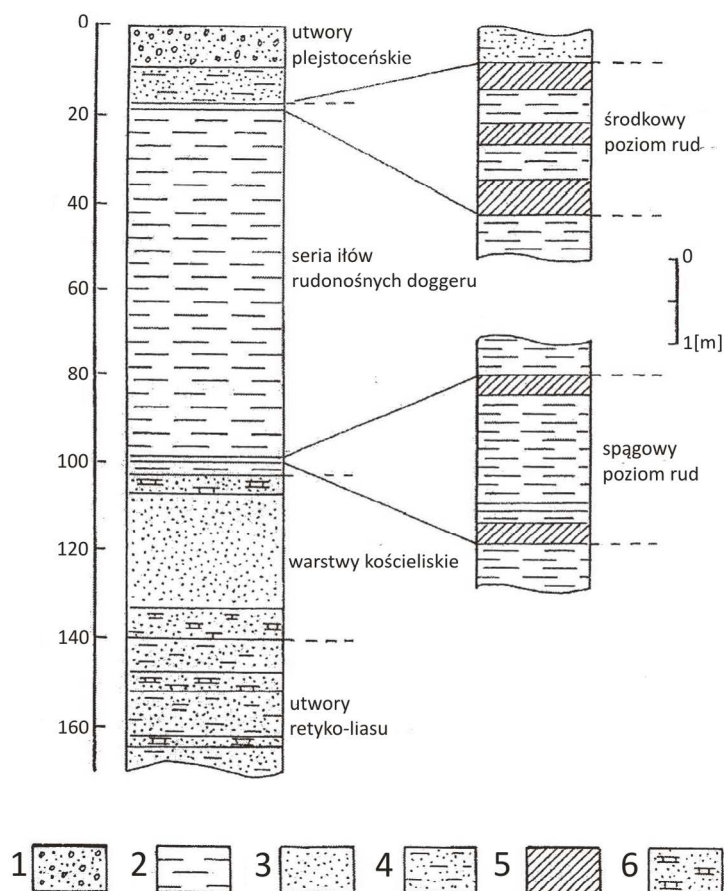
Wykonanie tej dokumentacji było związane z przeprowadzeniem badań mineralogiczno-chemicznych iłów. Otrzymane wyniki wykorzystano dla oceny ich przydatności do budowy przesłon hydroizolacyjnych.

Iły doggerskie to ciemnoszare lub szare odmiany mające niekiedy charakter mułkowy. Są pochodzenia morskiego. Nazywane bywają iłami rudonośnymi ze względu na występujące w nich trzy pokłady syderytów. Miąższość ich serii jest zmienna dochodzi do kilkunastu metrów. W kierunku północno-zachodnim zwiększa się nawet do 180–200 metrów. Zapadają łagodnie pod kątem 2–3° ku północnemu wschodowi.

W ich profilu litologicznym wyraźnie dominują ily i mułki. Stanowią 80–85%. Piaski i rozsypliwie piaskowce spotykane są w ilości 13–19%. Resztę stanowią syderyty (rys. 17). Tak więc poziomy rudonośne występują w swoistej „otulinie” skał ilastych.

Wśród iłów rudonośnych doggeru można wyróżnić dwie podstawowe odmiany – ily mułkowe występujące między pokładami syderytów w serii rudonośnej oraz łożupki słabo zdiagenezowane, niewielkiej zazwyczaj miąższości, towarzyszące bezpośrednio w stropie i w spągu tym pokładom.

Część środkową profilu iłów rudonośnych z trzema pokładami syderytów reprezentują łożupki ilaste lub ily. Wykazują one strukturę pelityczną. Teksturę posiadają smugowaną, niekiedy łupkową. Tło skalne stanowi w nich mieszanina minerałów ilastych – głównie kaolinitu z niedużą domieszką illitu i montmorillonitu, a także ciemnobrunatne wodorotlenki żelaza oraz substancja organiczna. Minerale okruczowe to głównie kwarc i skalenie. Kwarc (10–15%) zdecydowanie przeważa nad skaleniami (2–5%). Skalenie reprezentowane są przez ortoklaz, rzadziej mikroklin. W skałach tych stwierdzono też obecność muskowitu, biotyту i chlorytu. Kalcyt występuje śladowo i stanowi treść niedużych (0,05–0,2 mm) nagromadzeń gniazdowych. Buduje również skorupy małży, gąbek, jeżowców. Sporadycznie obserwowano piryt. Przyjmuje on formy skupień o średnicy 0,05–0,2 mm zbudowanych z osobników krystalicznych. Niekiedy objęty jest procesem liomonityzacji. Zauważono też konkretyjne nagromadzenia krzemionki typu chalcedonu.



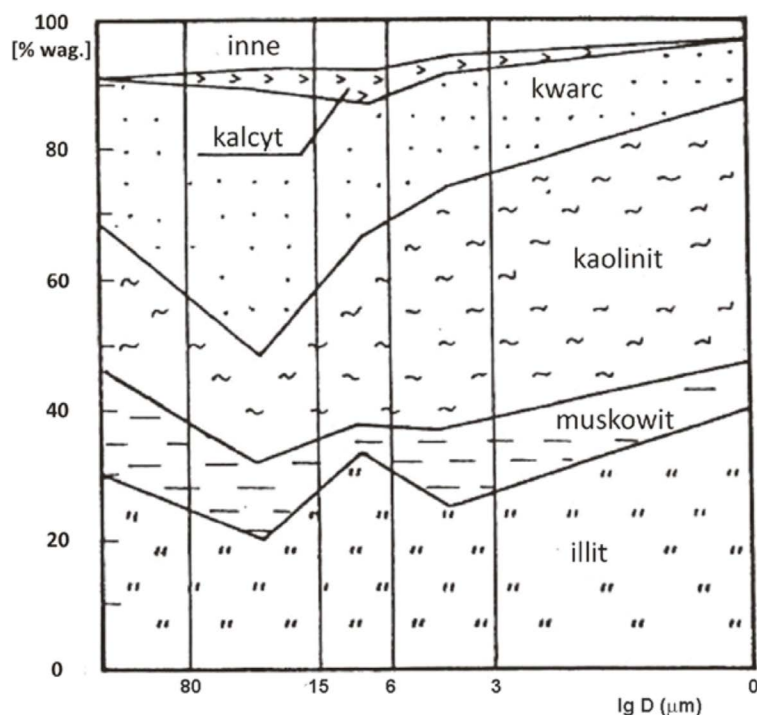
Rys. 17. Profil litologiczny jury środkowej w rejonie Częstochowy z zaznaczonymi poziomami rudonośnymi wg R. Osiki (1954)

Objaśnienia: 1 – żwiry, 2 – iły, 3 – piaski, 4 – piaski ilaste, 5 – poziomu rudonośne, 6 – poziomy wapniste

Fig. 17. The Middle Jurassic lithological profile in Częstochowa region with marked ore-bearing levels by R. Osika (1954)

M. Zakrzewski (1973) ustalił ilościowy skład mineralny ilów międzyrudnych (seria środkowa). Ilustruje go rysunek 18.

Próbkę naturalną tych ilów tworzą cztery minerały – kwarc, kaolinit, muskowit i illit. W największej ilości występuje illit – około 30%. Obecność kwarcu i kaolinitu jest mniejsza i zbliżona – w każdym przypadku wynosi około 20%. Muskowit stanowi kilkanaście procent skały. W drobniejszych przedziałach uziarnienia następuje wzrost zawartości minerałów ilastych. Sumarycznie mogą one stanowić nawet 80% ilów. Maleje natomiast wyraźnie obecność kwarcu i muskowitu, spadając do 10%. Pod terminem „inne” składniki, należy chyba rozumieć występowanie głównie syderytu. Wynika to z rezultatów analiz chemicznych i znacznych niekiedy ilości FeO.



Rys. 18. Graficzna ilustracja ilościowego składu mineralnego ilów nadrudnych z rejonu Częstochowy ustalona metodą rentgenograficzną wg M. Zakrzewskiego (1972)

Fig. 18. The graphic illustration of quantitative mineral composition of clays of the above ore-bearing level from the Częstochowa region, determined by X-ray diffraction according to M. Zakrzewski (1972)

Niekompletny skład chemiczny ilów pochodzących z tej części profilu jest podany w tabeli 14. Zwraca uwagę szeroki interwał ilości krzemionki (od około 38 do ponad 73% wag.). Niekiedy więc jej ilości należy uznać za znaczne. Jak wspomniano ily te są zapewne silnie żelazzone. FeO jest w nich obecne nawet w ilości ponad 20% wag., natomiast są słabo zawapnione, co stanowi potwierdzenie niewielkich ilości kalcytu.

Część górna serii ilów rudonośnych jest reprezentowana przez szare, partiami ciemnoszare silnie piaszczyste ily. Częste są w nich wkładki bądź piasków, bądź drobnoziarnistych i pylastych piaszczowców. Ily te są częściowo margliste. Występuje w nich kaolinit, igiełkowo-blaszkowaty illit bądź serycyt, a także ziarna kwarcu, drobnych blaszek muskowitu, pirytu impregnującego rośliny i tworzącego nagromadzenia framboidalne, węglanów, pojedynczych ziarn skaleni, biotytu, minerałów ciężkich (cyrkonu, rutyłu). W ilych tych stwierdzono niekiedy podwyższone ilości połączeń P. Odpowiedzialne za to są konkracje zawierające nawet 10–20% wag. P_2O_5 .

1.2.2. Skąły ilaste paleozoiku (lupki karbońskie)

Skąły ilaste karbonu są najstarszymi utworami stanowiącymi w Polsce surowiec ceramiki budowlanej. Eksploatacja ich i wykorzystanie ma miejsce na terenie Górnego Śląska i Lu-

Tabela 14

Średni skład chemiczny ilów z serii międzyrudnej częstochowskiego rejonu eksploatacji rud syderytowych wg M. Zakrzewskiego (1972)

Table 14

The average chemical composition of clays series between the ore from the Częstochowa region siderite ore mining by M. Zakrzewski (1972)

Składnik chemiczny	Zawartość (% wag.)
SiO ₂	38,04–73,72
Al ₂ O ₃	15,10–23,40
Fe ₂ O ₃	0,10–0,38
FeO	5,20–21,20
CaO	1,34–2,10
MgO	0,71–1,54
SO ₃	0,98–1,32
Straty prażenia	12,34–16,40

belszczyzny. Cechą charakterystyczną tych utworów jest zmienny stopień zdiagenezowania i zwiertzenia. Stąd w ich przypadku zgodnie z terminologią zaproponowaną przez W. Rykę i A. Maliszewską (1982) stosuje się następujące określenia:

- łupki, odznaczające się wyraźną łupliwością,
- iłołupki ze śladami tekstur równoległych i strukturze pelitowej,
- iły, niekiedy słabo zwięzłe, często plastyczne o teksturze bezładnej, rzadziej kierunkowej i strukturze pelitowej.

Górnośląskie Zagłębie Węglowe

W Zagłębiu Górnośląskim skały ilaste spotyka się we wszystkich ogniwach karbonu górnego. W wielu miejscach odsłaniają się one także na powierzchni terenu.

J. Kuhl (1957, 1958) dokonał bodajże jako pierwszy klasyfikacji petrograficznej skał ilastych GZW. Wyróżnił dwie odmiany:

1) iły kaolinitowe (łupki ilaste, iłowce) a wśród nich:

- iły kaolinitowo-illitowe,
- iły kaolinitowo-albitowe,
- iły kaolinitowo-serycytowo-kwarcowe,
- iły kaolinitowo-chlorytowo-syderytowe,

2) iły krystaliczne, nieplastyczne.

Z. Tokarski i in. (1964) mając na uwadze właściwości surowcowe tych kopalin i możliwości praktycznego ich wykorzystanie podzielili je na:

- 1) iłołupki przypowierzchniowe występujące na wychodniach, częściowo zwiertzałe,
- 2) iłołupki karbońskie tzw. dołowe wydobywane jako skała płona podczas eksploatacji węgla kamiennego.

Udział skał ilastych w profilu serii węglonośnej Górnego Śląska jest zmienny. Stanowią one jednak dominującą odmianę osadów profilu karbonu produktywnego. Ich udział dochodzi do 80%. Spotyka się je przede wszystkim w górnośląskiej z serii mułowcowej (w warstwach orzeskich i górnorudzkich) oraz w serii paralicznej. W innych ogniwach stratygraficznych są rzadsze. Mają one mniej lub bardziej charakter mułowcowy, a nawet piaszczysty. Często i niekiedy w znacznej ilości obecna jest w nich substancja węglista. Jej obecność może dochodzić do kilkunastu procent. Występuje ona w formie rozproszonej lub w postaci centymetrowych warstewek węgla. Zauważalne są przejścia facjalne od łożysk do mułowców i piaskowców.

Łożyska mają zazwyczaj barwę szarą, ciemnoszarą, popielatą a miejscami brunatną z rdzawymi naciekami. Występują w nich wtrącenia, a nawet ławice sferysyderytów. Obecny jest rozproszony piryt, spotykany też w formie większych koncentracji. W warstwach przypowierzchniowych przechodzą one w plastyczne ropy.

W produktywnej części namuru górnego i w westfalu skały ilaste posiadają charakter utworów łożyskowych powstałych w warunkach sedymentacji rzecznej i jeziornej. Występują w formie warstw o miąższości nieprzekraczającej kilku metrów. Skład mineralny pozwala scharakteryzować je jako skały kaolinitowo-illitowe.

Wyniki badań łupków karbońskich pochodzących z GZW, obejmujących analizy ziarnowe, mineralogiczne i oznaczenie wybranych właściwości fizykochemicznych przedstawia rysunek 19.

Zasadniczą masę mineralną tych skał stanowi drobnoluseczkowa substancja zbudowana głównie z illitu i kaolinitu. Montmorillonit występuje w śladowych ilościach. Kaolinit reprezentowany jest przez odmiany o zaburzonej strukturze wewnętrznej. W budowie tych skał znaczny jest udział kwarcu oraz mik – zarówno muskowitu, jak i biotyту, a także chlorytu.

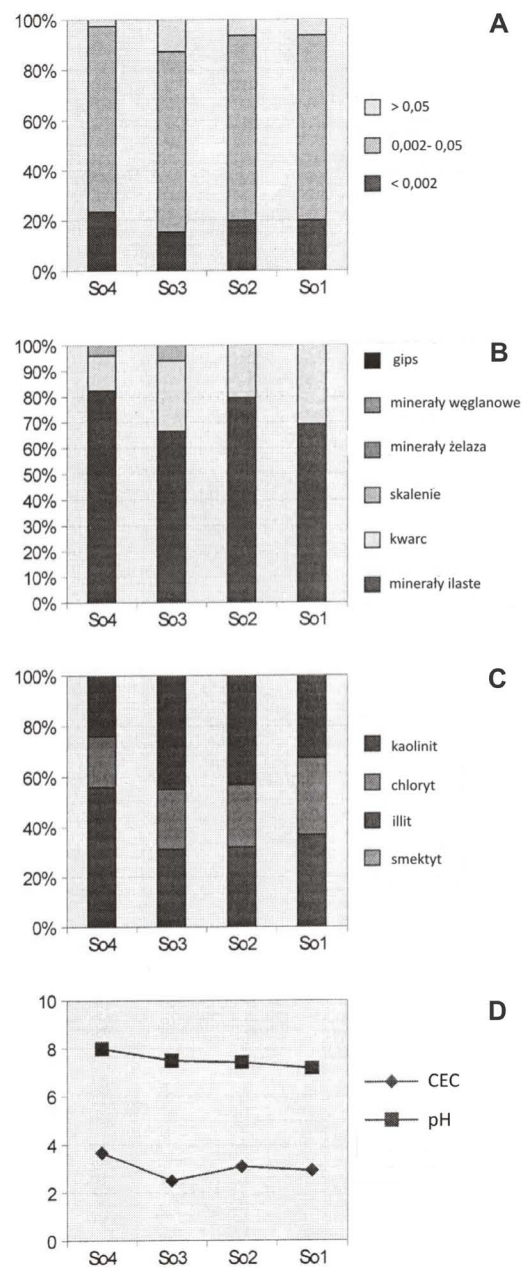
Niekompletny skład chemiczny łupków ilastych pochodzących z warstw łaziskich Mikołowa jest podany w tabeli 15.

Ilość SiO_2 nie przekracza w nich 50% wag. Obecność Al_2O_3 jest dość wyraźna – ponad 25% wag. Ich stopień żałazienia i żałaznienia można uznać za niewysoki.

Lubelskie Zagłębie Węglowe

Skały ilaste są notowane w całym profilu karbonu lubelskiego. Spotykane w namurze górnym i w westfalu powstały w warunkach sedymentacji rzecznej i jeziornej. Występują one w formie warstw nieprzekraczających kilku metrów miąższości. Przelawicają je piaskowce. Są niekiedy silnie żałaznione, a w spągu pokładów węgla obfitują w ziemię strigmariową.

Największe ilości skał ilastych, dochodzące do 90%, są znane z westfalu górnego. T. Ratajczak (1974) zaliczył je do illitowo-kaolinitowych. Są to utwory odznaczające się teksturą bezładną, rzadziej kierunkową i uporządkowaną. Zasadniczą ich drobnoluseczkową masę stanowią illit i kaolinit. Dość znaczny jest udział kwarcu oraz mik – zarówno muskowitu, jak i biotyту. Ten ostatni zazwyczaj uległ procesom bauerytyzacji. Ważnym składnikiem tych skał są również hydromiki. Substancja węglista tworzy zazwyczaj smugi. Towarzyszy jej bardzo często syderyt przybierający formy żróźnicowanych pod względem wielkości sferolitów.



Rys. 19. Wyniki badań łupków karbońskich pochodzących z GZW wg P. Brańskiego (2007)
 Objasnienia: A – skład ziarnowy, B – skład mineralny, C – skład mineralów ilastych, D – wybrane właściwości fizykochemiczne (pojemność jonowymienna, pH)

Fig. 19. The research results of Carboniferous slate from the Upper Silesian Coal Basin, according to P. Brański (2007)

Tabela 15

Niekompletny skład chemiczny łupków ilastych pochodzących z warstw łaziskich (okolice Mikołowa)
wg K. Szamałka (1981)

Table 15

The incomplete chemical composition of the clay shale from Łaziska layers (near Mikołów) by K. Szamałek
(1981)

Składnik chemiczny	Zawartość [% wag.]
SiO ₂	49,34–56,92
Al ₂ O ₃	22,6–26,92
Fe ₂ O ₃	2,99–3,26
CaO	0,18–0,26
MgO	1,32–1,45
K ₂ O	2,68–3,21
Na ₂ O	0,24–0,44
Straty prażenia	13,63–13,83

Fracja powyżej 60 μm stanowi w nich zwykle 35% wag. W granicach 60–2 μm mieści się około 30% ziarn. Reszta, czyli około 30% to ziarna pelitowe. Iłolupki te mają więc charakter mułowcowy.

Skład chemiczny iłolupków podaje tabela 16. Zwraca uwagę stosunkowo niewielka w nich obecność krzemionki – niekiedy nawet poniżej 50% wag. Z kolei zawartość Al₂O₃

Tabela 16

Niekompletny skład chemiczny skał ilastych pochodzących z Lubelskiego Zagłębia Węglowego

Table 16

The incomplete chemical composition of clay rocks from the Lublin Coal Basin

Składnik chemiczny	Zawartość [% wag.]	
	wg B. Oleszczyńskiego i L. Gazdy (2003)	wg J. Droby (1994)
SiO ₂	41,89	49,02–52,50
TiO ₂	0,88	b.d.
Al ₂ O ₃	24,89	20,64–23,77
Fe ₂ O ₃	3,49	4,78–5,98
CaO	0,42	0,4–0,74
MgO	1,02	0,95–0,98
K ₂ O	1,84	2,17–2,31
Na ₂ O	0,23	0,26–0,41
Straty prażenia	25,15	16,93–17,33

b.d. – brak danych.

może osiągać nawet 25% wag. Łupki te są raczej zażelazone, zawartość Fe_2O_3 przekracza 6% wag. Może stanowi to efekt obecności w nich syderytu.

Dokładniejszej identyfikacji składu mineralnego skał ilastych karbonu LZW dokonali L. Gazda i W. Franus (2003). Autorzy ci uważają, że podstawowym minerałem ilastym tych skał jest kaolinit. Reprezentuje on odmianę średnio lub słabo uporządkowaną typu D, występując w formie agregatów kolumnowych. We frakcjach drobniejszych przybiera postać sześciobocznych kryształów o pokroju płytkowym. W podrzędnych ilościach występuje odmiana polimorficzna tego minerału – dickit. W skład wykazanej asocjacji minerałów ilastych wchodzi także illit i chloryt, występując niekiedy w formach mieszanopakietowych. Illit jest wyraźnie zdegradowany. Stąd też obecność faz mieszanopakietowych typu illit – smektyt. Ilość w nich pakietów pęczniejących oceniono na 10%. Morfologicznie minerał ten przybiera formę mikroagregatów o regularnym pokroju. Koncentruje się we frakcjach najdrobniejszych. Stwierdzono też obecność muskowitu. Być może występują też zrosty muskowitu z kaolinitem. Zauważalny chloryt reprezentuje odmianę bogatą w żelazo. Zdają się też istnieć struktury mieszane typu chloryt – smektyt.

Ilościowy skład mineralny łupków ilastych z karbonu produktywnego LZW wg L. Gazdy (2003) wygląda następująco (% obj.):

- kaolinit – 31%,
- illit – 26%,
- kwarc – 21%,
- chloryt – 4%,
- syderyt – 5%,
- skalenie – 2%,
- substancja węglista – 11%.

Według klasyfikacji K. Wyrwickiej i R. Wyrwickiego (1994) z uwagi na ilościowy skład minerałów ilastych łupki karbonu lubelskiego, należy zaliczyć do kaolinowych. Mają one skład $K > I > \text{Ch}$. Sytuacja ta pozwala również określić ich rodzaj jako illitowo-kaolinitowy, bezwapienny.

1.3. Kopaliny kaolinowe

Kopaliny kaolinowe wykorzystywane są przez przemysł materiałów ogniotrwałych. Według M. Niecia i T. Ratajczaka (2004) wspólną ich cechą, jak i ilów biało wypalających się, jest zbliżony skład mineralny. Ich dominującym składnikiem są minerały z grupy kaolinitu – przede wszystkim kaolinit, któremu towarzyszyć może dickit.

Kopaliny kaolinowe i ily biało wypalające się występują jedynie na Dolnym Śląsku w złożach typu rezydualnego i osadowego. Te ostatnie gromadzą się w utworach trzeciorzędowych, piaskowcach kaolinitowych górnej kredy oraz kaolinitonośnych piaskach szklarskich. Do tej grupy skał zaliczane są też kopaliny haloizytowe.

Kaolinit pozostaje też ważnym, niekiedy głównym składnikiem ogniotrwałych i kamionkowych kopaliny ilastych. Wśród nich wyróżnia się z kolei odmiany zalegające w utworach

trzeciorzędowych m.in. spotykanych w złożu „Rusko-Jaroszów”. Inne ich odmiany występują jako kopaliny towarzyszące w złożach węgla brunatnego „Turów” i „Bełchatów”.

Przedmiot badań mających na celu wykorzystanie do budowy przesłon hydroizolacyjnych stanowiły następujące odmiany kopaliny kaolinowej:

- haloizytowe,
- mioceńskie osady kaolinowe.

1.3.1. Kopaliny haloizytowe

Wulkanizm bazaltowy zachodniej części Sudetów i bloku przedsudeckiego związany był z końcowymi fazami ruchów tektonicznych orogenezy późnoalpejskiej. Liczne wulkany i pokrywy lawowe zlokalizowane wzdłuż stref uskokowych datowane są na okres od górnego oligocenu po pliocen. Wylewom law bazaltowych towarzyszyły wyrzuty dużych ilości utworów piroklastycznych, zachowanych głównie w strefach zapadlisk tektonicznych. W ciepłym i wilgotnym klimacie neogenu, zarówno lawy, jak i utwory piroklastyczne uległy wietrzeniu dając skały ilaste określane mianem „zwietrzelin bazaltowych”.

Jednymi z nich, wyróżniającymi się specyficznym składem mineralnym, są haloizyty. Spotyka się je w najwyższej położonych, stropowych partiach pokryw bazaltowych. Udokumentowane zostały tylko w jednym małym złożu „Dunino” koło Legnicy.

Historia badań mineralogicznych i surowcowych zwietrzliny bazaltowej z Dunina posiada długą historię. Wynika to głównie z unikalnego składu mineralnego i związanych z nim właściwości surowcowych.

Jest to złożo rezydualne. Zwietrzelina bazaltowa z „Dunina” posiada zabarwienie ciemno-stalowe, szaro-fioletowe, ale też kremowe. Pojawiają się w niej smugi żółtawe lub ceglasto-żółtawe. Zauważalne szczeliny spękań wypełnione są drobnoziarnistą substancją z naciekami limonitowymi. W spągowych partiach wyraźnie zachowuje ona cechy teksturalne bazaltów, przechodząc stopniowo w niezmienną skałę.

Wyniki badań nad składem mineralnym tej zwietrzliny są zbliżone. Dominują w niej minerały ilaste – kaolinit, haloizyt, hydrohaloizyt. Zróżnicowane są natomiast spekulacje na temat ilości poszczególnych minerałów. J. Cabała (2001) podaje, że zawartość kaolinitu w zwietrzelinie jest stosunkowo nieduża, wynosi od 1 do 10% wag. Zdaniem L. Stocha i in. (1977a) i W. Sikory (1986) jest to kaolinit D o nieuporządkowanej budowie wewnętrznej, wykazujący tendencje do przechodzenia w haloizyt. Badania własne autorów opracowania (Ratajczak 2015) wykazały, że podstawową formą mineralną kopaliny z „Dunina” jest haloizyt lub jego uwodniona odmiana. Występuje on w ilości 50–60% wag. Obecność kaolinitu oszacowano na 35–40% wag. Podobnego zdania była wcześniej K. Choma-Moryl (2002). Wykazała ona, że w zwietrzelinie haloizyt dominuje nad kaolinitem.

Wyniki badań dotyczące ilościowego składu zwietrzliny bazaltowej a konkretnie obecności w niej odmian minerałów ilastych mogą być jednak ryzykowne i obciążone znacznym błędem. Wynika to ze strukturalnego podobieństwa kaolinitu i haloizytu. Tym niemniej zdają się przesądzać o kaolinitowo-haloizytowym charakterze zwietrzliny.

Charakteryzując kopalinę haloizytową, nie można pominąć obecności w niej innych składników. Są to głównie tlenkowe i wodorotlenkowe minerały żelaza – hematyt, goethyt, hydrogoethyt. Magnetyt bywa składnikiem frakcji ciężkiej. Ilość tych minerałów jest niekiedy znaczna. Spotyka się partie zwietrzliny, w których ich zawartość dochodzi do 20% obj. Wykazano też obecność ilmenitu i anatazu. Stwierdzono poza tym śladowe ilości minerałów fosforanowych (crandalit), siarczanów (natrojarosyt) oraz polimorficzną odmianę kwarcu – stiszowit.

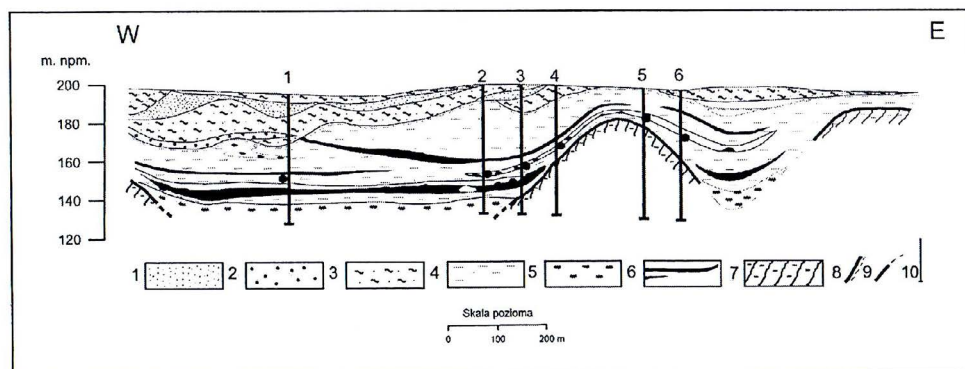
Główne składniki chemiczne tych kopalin to (% wag.):

- SiO_2 – 23,53–30,94,
- TiO_2 – 3,52–4,57,
- Al_2O_3 – 22,90–26,41,
- Fe_2O_3 – 21,48–26,94.

W składzie chemicznym dominują więc połączenia tlenkowe Si, Al i Fe występujące w zbliżonych ilościach. Około 4% wag. TiO_2 tłumaczy obecność anatazu i tytanitu.

1.3.2. Kaolinowe osady miocenyckie

Jednym ze złóż miocenyckich ilów kaolinowych wypełniających baseny sedimentacyjne w obniżeniach staropaleozoicznych jest złóż „Rusko-Jarosów”. Jego budowę geologiczną przedstawia rysunek 20. Z przekroju geologicznego wynika, że ilom towarzyszą utwory czwartorzędowe (piaski, żwiry, gliny zwałowe), a także miocenycki węgiel brunatny. W odkrywcę „Stanisław” na niektórych poziomach eksploatacyjnych zalegają skały ilaste, które nie spełniają kryteriów technologicznych surowców ogniotrwałych. Spotyka się je na różnych głębokościach. Przybierają formę warstw o miąższości od 0,4 do 2,6 metra. Stanowią też treść przerostów w kopalinie głównej. Ich łączna miąższość przekracza niekiedy 50%



Rys. 20. Przekrój geologiczny przez złóż ilów ogniotrwałych „Rusko-Jarosów” wg „Kompleksowej dokumentacji geologicznej...” (1971)

Objaśnienia: czwartorzęd; 1 – piasek, 2 – żwir, 3 – glina zwałowa, trzeciorzęd 4 – il, 5 – mulki, 6 – węgiel brunatny, 7 – łupki krystaliczne, 8 – spąg osadów czwartorzędowych, 9 – powierzchnia stropu podłoża krystalicznego, 10 – numer otworu

Fig. 20. The geological cross-section through the „Rusko-Jarosów” refractory clays deposit by „Geological documentation...” (1971)

profilu serii złożowej. Są zawęglone, odznaczają się podwyższoną zawartością Fe_2O_3 oraz znacznymi stratami prażenia.

Petrograficznie ropy kaolinowe ze złoża „Rusko-Jaroszów” reprezentują gliny i ropy (Wyszomirski 1995). Charakteryzują się beżowym zabarwieniem. Niekiedy bywają impregnowane rdzawo-żółtymi związkami żelaza. Ilość materiału okruskowego jest w nich zmienna. Stanowi on od 10 do 30% obj. skały. Materiał okruskowy jest rozmieszczony nierównomiernie w ilastym tle skały. Rozmiary okruszków dochodzą do 2 mm. Są to głównie ziarna kwarcu – różnokształtne, ostrokrawędziste. Wśród składników okruskowych obecne są ponadto nieliczne blaszki muskowitu. Podrzędnie występują minerały ciężkie reprezentowane przez granaty i odmiany z grupy epidotu, a pobocznie także cyrkon, turmalin, tytanit oraz nieprze-zroczyste minerały rudne. Stwierdzono w nich także obecność kalcytu.

Głównym składnikiem ilastego spoiwa tych ropy jest kaolinit. Zdaje się on przeważać wyraźnie nad illitem i smektytem. Charakteryzuje się słabym uporządkowaniem struktury. Stanowi to korzystną sytuację w aspekcie wykorzystania tych kopalni w charakterze ropy uszczelniających. Taka odmiana kaolinitu odznacza się bowiem lepszymi cechami fizykochemicznymi, m.in. właściwościami sorpcyjnymi w porównaniu z kaolinitem o wysokim stopniu uporządkowania struktury.

Inna odmianą kopalni ogniotrwałych i kamionkowych są ich rodzaje współwystępujące z węglami brunatnymi. Znane są z złoża „Turów”. Stanowią w nich kopalinę towarzyszącą. Zostały omówione w rozdziale 1.5.4. i 2.6.4. Ta sama sytuacja dotyczy uzyskiwanej ubocznie frakcji ilastej z płukania piasków szklarskich w złożach „Osiecznica” i „Grudzień Las” (rozdz. 2.4.3.).

1.4. Kopaliny bentonitowe

Według M. Niecia i T. Ratajczaka (2004) bentonitami są „skały ilaste powstałe najczęściej w wyniku przeobrażenia skał piroklastycznych (tufów, tufitów, popiołów wulkanicznych) a zawierające co najmniej 75% smektytów”. Ich składnikami pozostają też inne minerały ilaste – kaolinit, illit, odmiany mieszanopakietowe typu illit-smektyt, kwarc. Spotyka się w nich również relikty minerałów skały macierzystej. Mogą one też powstawać w efekcie procesów wietrzennych, którym poddawane są inne niż wulkaniczne odmiany skał. Bywają nimi m.in. arkozy i szarogłazy.

Występowanie bentonitów i ropy bentonitowych na terenie Polski stwierdzono w utworach ordowiku, syluru, dewonu, karbonu, kredy i trzeciorzędu. Skały zbliżone do bentonitów znaleziono także w osadach permu. Odnosi się wrażenie, że najliczniej występują w trzeciorzędzie. Największe znaczenie mają jednak odmiany karbońskie. Badania mineralogiczne bentonitów i ropy montmorillonitowych Polski wykazują zróżnicowanie tych utworów pod względem składu mineralnego, chemicznego oraz charakteru krystalochemicznego minerałów grupy montmorillonitu w zależności od wieku. Iły montmorillonitowe Polski zbudowane są na ogół z odmiany wapniowej tego minerału.

Cechą charakterystyczną tych kopalni są m.in. bardzo dobre właściwości sorpcyjne. W ich przypadku mogą one nadto ulec polepszeniu. Wynika to stąd, że budowa wewnętrzna

minerałów ilastych – głównych składników skałotwórczych kopalni bentonitowych umożliwia ich modyfikację. Zdolnościami tymi szczególnie wyróżniają się smektyty zawierające na pozycjach wymiennych kation Na^+ .

Obecność tego typu skał stwierdzono w:

- utworach karbonu produktywnego Górnego Śląska,
- seriach ilasto-łupkowych fliszu karpackiego,
- osadach mioceńskich zapadliska przedkarpackiego,
- zwietrzelinach bazaltowych Dolnego Śląska.

Beidellitowe odmiany skał ilastych występują także wśród:

- iłów trzeciorzędowych mio-plioceńskiej serii poznańskiej,
- iłów krakowieckich zapadliska przedkarpackiego.

1.4.1. Iły bentonitowe (montmorillonitowe) karbonu górnego GZW

Stwierdzone w profilu karbonu produktywnego Górnego Śląska iły bentonitowe stratygraficznie związane są z utworami górnego namuru A. Zalegają w warstwach porębskich pomiędzy pokładami węgla 610 a 615. Obszar występowania tzw. poziomu bentonitowego obejmuje całą Nieckę Bytomsko-Dąbrowską. W kopalni Milowice zostały one udokumentowane geologicznie i eksploatowano je w latach 1980–86.

Lokalizacja występowania skał montmorillonitowych GZW jest następująca:

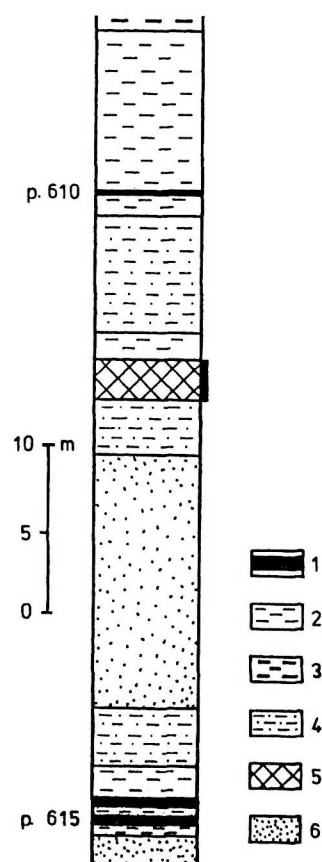
- północne skrzydło Niecki Bytomskiej (dawne kopalnie: Bytom, Radzionków, Julian),
- wypiętrzenie grodzieckie (kopalnie: Grodziec, Czeladź, Milowice),
- północne skrzydło główne (kopalnie: Sosnowiec, Chorzów).

Skały te są wykształcone w postaci warstwy o miąższości 0,3 do 12 metrów znajdującej się w zmiennej odległości od pokładów węgla kamiennego (rys. 21). Dolną granicę nagromadzenia zaznacza zmiana zwięzłości skał. W stropie obserwuje się natomiast stopniowe facjalne przejście w mułowce i skały ilaste.

Skład mineralny skał tworzących poziom bentonitowy w GZW był przedmiotem badań wielu autorów m.in. Z. Michałka (1965), J. Kubisza i J. Środonia (1973), J. Środonia (1976), Z. Kłapyty (1975, 2008).

Bentonity mają najczęściej strukturę pelitową i aleuropelitową, a rzadziej psamitową. Charakteryzuje je zmienne zabarwienie – od ciemnoszarego do jasnoszarego z odcieniem zielonkawym. Posiadają połysk matowy lub woskowy. Po wysuszeniu są kruche i rozsyplawe. W wodzie silnie pęcznią i rozmakają.

Niekiedy widoczna jest w nich tekstura pozioma, cienko warstwowana. Przejawia się ona naprzemianległym występowaniem warstewek ciemniejszych i jaśniejszych. Laminy i warstewki jaśniejsze zbudowane są z materiału pelitowego, natomiast ciemniejsze wykazują strukturę aleurytową. Ciemne zabarwienie wywołane jest też obecnością substancji organicznej i detrytusu roślinnego. Zauważa się również warstwowanie zaburzone – faliste lub krzyżowe. Wykazano też obecność różnie zorientowanych żyłek węglanowych (kalcytowych). Sporadycznie spotyka się też konkretje tego węglanu.



Rys. 21. Pozycja ilów bentonitowych w profilu warstw porębskich wg A. Bolewskiego i in. (1963)
 Objasnienia: 1 – węgiel, 2 – łupki ilaste (iłowce), 3 – ilowce z fauną morską, 4 – łupki piaszczyste, 5 – ility bentonitowe (montmorillonitowe), 6 – piaskowce

Fig. 21. The position of bentonite clays in the profile of “porębskie” layers by A. Bolewski et al. (1963)

Zasadnicze tło tych skał tworzą drobnoziarniste minerały ilaste. Wyróżnia się wśród nich odmiany blaszkowe o formach beczułkowych lub wachlarzowatych. Występują pojedyncze blaszki biotytu (nawet nieodbarwionego) i muskowitu, a niekiedy chlorytu. Obecne są też ziarna kwarcu, skaleni (ortoklaz, kwaśne plagioklasy), węglanów (głównie kalcytu, rzadziej dolomitu i syderytu), sporadycznie barytu oraz liczne zawęglone szczątki roślinne, czy drobne skupienia pirytu. Są też minerały ciężkie.

W niskokątowym zakresie dyfraktogramów obserwuje się intensywny refleks podstawowy montmorillonitu o wartościach 12,5 do 15 Å. Są także pasma sygnalizujące obecność illitu i kaolinitu, a niekiedy chlorytu. Notowano też refleksy pochodzące od przerostów illitowo-montmorillonitowych.

Obserwuje się zmienność składu mineralnego bentonitów w profilach pionowych. Zawartość minerałów mieszanopakietowych smektyt-illit lub smektytu waha się w nich od kilku do

90%. W profilach poziomu bentonitowego GZW obserwuje się przejścia od czystego smektytu do minerałów mieszanopakietowych smektyt-illit o zmiennej liczbie pakietów pęczniejących.

Szczegółowe badania fazy smektytowej wykazały, że minerał ten ma charakter żelazistego montmorillonitu. Kationy Fe^{3+} zastępują w różnym stopniu Al^{3+} warstw oktaedrycznych.

Skład chemiczny skał montmorillonitowych GZW jest zróżnicowany. Zawartość SiO_2 waha się w granicach 49–68% wag. a Al_2O_3 w przedziale 16–22% wag, Fe_2O_3 występuje w ilościach 0,8–3,2% wag. Obecność MgO zmienia się od 2,4 do 3,6% wag. Zwraca uwagę też duże zróżnicowanie zawartości K_2O (0,6–5% wag.). Związane jest ono przede wszystkim ze znacznymi wahaniami udziału pakietów w minerałach mieszanopakietowych. Ilości Na_2O i CaO odpowiednio obejmują przedziały 0,1–2,5 i 0,6–3,6% wag.

Wyniki badań składu chemicznego skał montmorillonitowych GZW pozwalają na sformułowanie następujących prawidłowości:

- stosunkowo duża zawartość alkaliów, przy stałej przewadze K_2O nad Na_2O , wiąże się z obecnością illitu, a także pakietów illitowych tworzących przerosty. Tylko nieznaczna część alkaliów wynika z obecności skaleni. Ilości K_2O charakteryzuje duże zróżnicowanie,
- znaczne obecności MgO są związane z montmorillonitem i biotytem, a częściowo także przerostami montmorillonitowo-illitowymi,
- wysokie ilości FeO wynikają również z obecności biotyту,
- za znaczne zawartości CaO "odpowiedzialne są" kalcyt i dolomit,
- Fe_2O_3 występuje w strukturach glinokrzemianowych, a także bywa zasorbowany powierzchniowo.

Pojemność wymiany kationów skał montmorillonitowych GZW dla frakcji poniżej 0,5 μm zmienia się w przedziale 38–74 mval/100 g. Udział kationów Ca^{2+} i Mg^{2+} oraz Na^+ i K^+ na pozycjach wymiennych jest zbliżony. Wśród kationów dwuwartościowych ilość Ca^{2+} przewyższa Mg^{2+} (odpowiednio 9–17,8 mval/100 g i 7,4–11,7 mval/100 g). Dla kationów jednowartościowych obserwuje się znaczną przewagę Na^+ (0,4–19,6 mval/100 g) nad K^+ (1,1–7,7 mval/100 g).

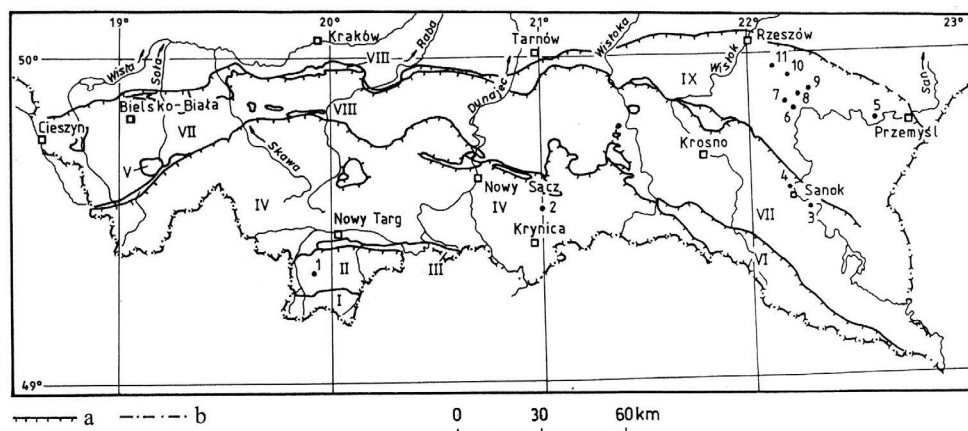
Powierzchnia właściwa surowego bentonitu wyznaczona z sorpcji azotu wynosi od 20 do 30 m^2/g .

Właściwości sorpcyjne skał montmorillonitowych GZW określono również na podstawie ilości zasorbowanego roztworu błękitu metylenowego. W stanie suchym odbarwiają one od 170 do 330 ml roztworu tego barwnika.

1.4.2. Bentonity Karpat fliszowych

Według T. Wiesera (2008) Karpaty fliszowe stanowią obiecujący region dla poszukiwań kopalin bentonitowych. Wynika to z bliskości centrów erupcyjnych alimentujących popioły i pyły wulkaniczne do basenów sedymentacyjnych. Z kolei młody wiek skał osadowych z tych zbiorników sprzyjał zachowaniu minerałów z grupy montmorillonitów i zeolitów w stanie niezmiennym.

Bentonity spotykane są w Karpatach w wielu miejscach. Najbardziej znane to Polany koło Grzybowa (rys. 22).



Rys. 22. Mapa rozmieszczenia bentonitów i skał pokrewnych Karpat fliszowych Polski wg T. Wiesera (2008)
 Objasnienia: a – granice nasunięć, b – granice państwa; I – Karpaty centralne (Tatry), II – flisz podhalański, III – pieniński pas skałkowy, IV – jednostka magurska, V – jednostka przedmagurska, VI – jednostka dukielska, VII – jednostka śląska, VIII – jednostka podśląska, 1–11 – miejsca zalegania kopalni

Fig. 22. Map of the deployment of bentonite and related rocks Polish Carpathians by T. Wieser (2008)

W Karpatach fliszowych spotyka się też skały ilaste typu pelagicznego o składzie mineralnym cechującym się udziałem zarówno minerałów z grupy montmorillonitu (smektytu), jak i zeolitów. Należą do nich m.in. cenomańsko-turońskie łupki ilaste z Międzybrodzia czy też łupki menilitowe jednostki skolskiej i śląskiej z okolic Dynowa.

Kopalina bentonitowa z Polan jest skałą montmorillonitową. Mineral ten reprezentuje odmianę wapniową. Towarzyszy mu illit oraz nierozłożone szkliwo wulkaniczne. Z minerałów nieilastych obecny jest kwarc, przeobrażony biotyt, plagioklasy. Ponadto występują minerały żelaza – goethyt, piryt, syderyt, a także kalcyt i substancja organiczna.

Tego typu kopalinę stwierdzono także w innych miejscach Karpat. Zalega m.in. w Międzybrodziu koło Sanoka.

Łupki godulskie z Międzybrodzia są silnie zwiertzałe. Występują w formie iłolupków i silnie zdiagenezowanych iłów o zróżnicowanym zabarwieniu – najczęściej czerwonym, rzadziej zielonym. Napotyka się również odmiany szare, niebieskawe. Przeławiają się one wzajemnie lub występują w formie soczew i smug. Nie zauważa się wśród nich zupełnie ławic piaskowcowych. Przez to cały kompleks osadów robi wrażenie litologicznie jednorodnego, aczkolwiek kolorystycznie zróżnicowanego.

L. Stoch i K. Bahranowski (1976) wykazali, że głównym minerałem tych łupków jest drobnoziarnista mika o cechach optycznych serycytu. Stwierdzono poza tym chloryt oraz minerał o strukturze mieszanopakietowej typu illit-smektyt. Obecny jest też hematyt. Łupki te zawierają też dużo ziaren drobnoziarnistego kwarcu. Podrędnie występują węglany – kalcyt i syderyt oraz kwaśny plagioklaz. Rentgenograficznie wykazano, że kwarc i miki występują w tej samej ilości – 30% wag., minerały o strukturach mieszanopakietowych illit-smektyt około 20% wag., chloryt jest obecny w 12% wag., a kaolinit zaledwie w 3% wag.

Skład chemiczny skał bentonitowych z Międzybrodzia podaje tabela 17.

Tabela 17

Niekompletny skład chemiczny łupków z Międzybrodzia wg L. Stocha i K. Bahranowskiego (1976)

Table 17

The incomplete chemical composition of slate from Międzybrodzie by L. Stoch and K. Bahranowski (1979)

Składnik chemiczny	Zawartość [% wag.]
SiO ₂	50,77–53,41 (51,81)
TiO ₂	0,14–0,46 (0,31)
Al ₂ O ₃	13,52–18,79 (16,71)
CaO	2,60–5,12 (3,45)
MgO	2,32–4,06 (3,18)
K ₂ O	0,06–1,22 (0,63)
Na ₂ O	0,22–0,43 (0,32)

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie.

Szczególny rodzaj kopaliny ilastych obecnych w Karpatach stanowią iłowce klinoptilolitowo-montmorillonitowe. Stwierdzono je m.in. w okolicach Dynowa w kompleksie paleoceancko-dolnoeocześskich łupków pstrych jednostki skolskiej. Zalegają one wśród pstrych łupków z cienkimi przewarstwieniami piaskowców. Ta odmiana skał stanowiła m.in. obiekt zainteresowania T. Wiesera (1994, 2008) i W. Franusa (2002).

Osady te mają charakter pelitowy. Stwierdzono w nich obecność cząstek koloidalnych. Są one wzbogacone w klinoptilolit, odmianę zeolitu. Zawartość tego minerału oceniono na 18–21% a maksymalnie może dochodzić do 26%. Głównym minerałem ilastym tych skał pozostaje smektyt. Przestrzenie międzypakietowe tego minerału są zdominowane przez kationy Ca²⁺ i Mg²⁺. Jego zawartość w skale oszacowano na 50–75%. Rzadziej występuje illit i odmiana mieszanopakietowa illit – smektyt. Ponadto stwierdzono kwarc, plagioklasy (albit), glaukonit, opal, chloryt.

1.4.3. Bentonity zapadliska przedkarpackiego

W zapadlisku przedkarpackim, przede wszystkim w jego brzeźnych partiach stwierdzono obecność wkładek zbentonitowanych tufitów i iłów bentonitowych. Występują one w utworach mioceńskich badenu i sarmatu. Tworzą cienkie wkładki o grubości do 30 cm m.in. w iłach chodenickich i krakowieckich. Znane są z okolic Chmielnika.

Iły montmorillonitowe stwierdzono również w nadkładzie złoża siarki w Tarnobrzegu (Stoch i in. 1977b). Różnią się one genezą od zalegających w Chmielniku.

Bentonity i ły montmorillonitowe rejonu Chmielnika

Wśród osadów ilastych zapadliska przedkarpackiego, głównie starszych tortońskich, spotyka się cienkie soczewki i przewarstwienia tufitów, a nawet bentonitów. Iły te mają charakter mułkowy. Zawartość montmorillonitu i minerałów mieszanopakietowych illit – smektyt

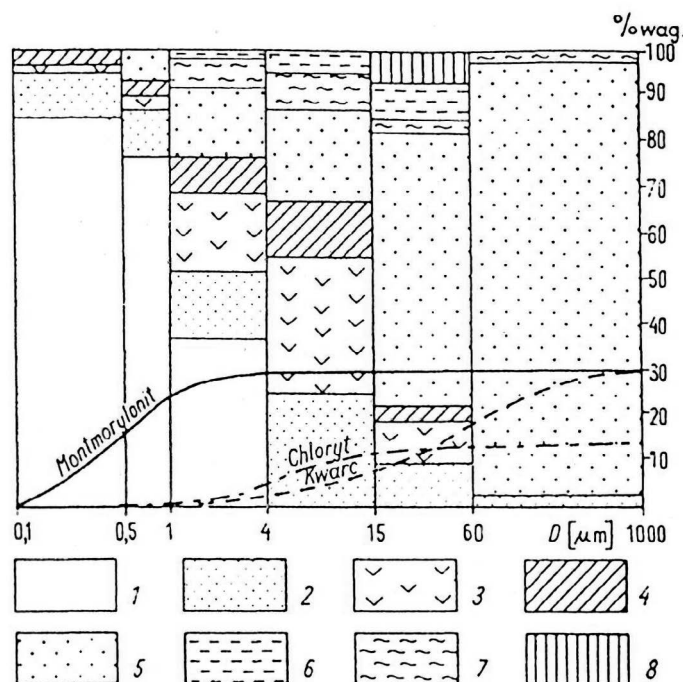
wynosi około 40%. Ilość kwarcu oceniono na 25%, a kalcytu 10%. Podrzędnie występują w nich także kaolinit, chloryt, skalenie, gips.

Iły te były eksploatowane w Chmielniku. Wykorzystywano je do produkcji mas formierskich i płuczek wiertniczych.

Iły montmorillonitowe rejonu Machowa

Iły te są określane mianem montmorillonitowych (Kłapyta, Żabiński 2008; Stoch i in. 1977b). Stanowią kopalinę towarzyszącą złożom siarki i będącą obiektem zainteresowań praktycznych. Reprezentują odmiany zaliczane do warstw pektenowych oraz iłów krakowieckich.

L. Stoch i in. (1977b) rentgenograficznie ustalili ilościowy skład mineralny poszczególnych frakcji ziarnowych iłów z Machowa (rys. 23). Wśród ziarn najgrubszych, powyżej 60 μm dominuje kwarc. W śladowych ilościach występują illit i dolomit. Wśród ziarn najdrobniejszych – poniżej 2 μm kwarc jest nieobecny. We frakcji 15–60 μm zauważalny staje się illit. Pozostaje on również składnikiem frakcji drobniejszych, ale jego ilość w nich nie ulega zmianie (kilkanaście procent). Chloryt w ilościach znaczących pojawia się w przedziale ziarnowym 4–15 μm . Natomiast wśród ziarn mniejszych od 1 μm jego ilość staje się



Rys. 23. Ilościowy skład mineralny frakcji ziarnowych iłów krakowieckich z Machowa wg L. Stocha i in. (1977b)
Objaśnienia: 1 – montmorillonit, 2 – illit, 3 – chloryt, 4 – kaolinit, 5 – kwarc, 6 – dolomit, 7 – kalcyt, 8 – skalenie

Fig. 23. The quantitative mineral composition of clays grain fractions of Krakowiec clay from Machów
by L. Stoch et al. (1977)

śladowa. Podobnie zachowuje się kaolinit. Również zauważono go wśród ziarn mniejszych od 15 μm , a w miarę spadku uziarnienia jego ilość wykazuje tendencję malejącą. Montmorillonit zaznaczył swą obecność we frakcji ziarnowej poniżej 4 μm . Jego obecność wśród ziarn mniejszych wykazuje tendencję wzrostową. We frakcji poniżej 0,5 μm jego ilość przekracza 90%. Przy śladowych ilościach illitu, chlorytu i kaolinitu można ten przedział uziarnienia uważać za niemal montmorillonitowy. Węglany – kalcyt i dolomit są obecne w całym przedziale uziarnienia. Ich sumaryczna ilość tylko sporadycznie przekracza 10%. Ci sami autorzy uważają, że ilościowy skład mineralny uśrednionej próbki ilów jest następujący (% obj.): montmorillonit – 30%, illit – 14%, chloryt – 13%, kaolinit – 6%, kwarc – 29%.

W składzie chemicznym tych ilów dominują SiO_2 (ok. 55% wag.) i Al_2O_3 (ok. 18% wag.).

1.4.4. Bentonitowe zwietrzliny bazaltowe

Tego typu kopaliny występują w obrębie stref wietrzennych bazaltów i tufów bazaltowych na Dolnym Śląsku. Prawdopodobnie są one także produktem przeobrażeń hydrotermalnych. Zalegają w sąsiedztwie złóż bazaltów i są udokumentowane jako kopaliny im towarzyszące.

Skład chemiczny tych zwietrzelin jest podany w tabeli 18. Dominuje w nich krzemionka. Ilości Al_2O_3 i Fe_2O_3 są zbliżone, po około 14% wag. Zauważalne są zawartości CaO i MgO – około 2,5% wag.

Tabela 18

Skład chemiczny zwietrzliny smektytowej z Krzeniowa koło Złotoryi wg H. Kościówko i S. Dyjora (1993)

Table 18

The chemical composition of smectite weathering from Krzeniów near Złotoryja by H. Kościówko and S. Dyjor (1993)

Składnik chemiczny	Zawartość [% wag.]
SiO_2	40,68
Al_2O_3	14,44
Fe_2O_3	14,26
FeO	1,04
MnO	0,27
CaO	2,50
MgO	2,45
P_2O_5	0,84
Na_2O	0,10

Obecne w nich smektyty reprezentują odmianę dioktaedryczną. Są to smektyty żelaziste. W przestrzeniach międzypakietowych zawierają kationy Ca i Mg.

Bentonitowe zwietrzliny bazaltowe posiadają dobre właściwości sorpcyjne i mogą stanowić surowiec do produkcji sorbentów. Pojemność jonowymienna (CEC) bentonitowych tufów bazaltowych wynosi 53,6–59,2 mval/100 g.

1.5. Kopaliny towarzyszące i mineralne surowce odpadowe

1.5.1. Iły doggeru

Prowadzona od stuleci eksploatacja syderytowych rud żelaza w rejonie częstochowskim była nierozdzielnie związana z wydobywaniem znacznej ilości skał ilastych. Stanowiąc około 90% tzw. furty eksploatacyjnej były one w większości gromadzone na składowiskach. Jest ich w rejonie częstochowskim kilkadziesiąt i stały się charakterystycznym elementem krajobrazu oraz śladami po dawnej eksploatacji górniczej (fot. 3a, b).



Fot. 3a,b. Hałdy po eksploatacji rud syderytowych w rejonie częstochowskim, wygląd i kształt. Ślady rekultywacji rolnej (fot. T. Ratajczak)

Phot. 3a,b. The heaps after siderite ore mining in the Czestochowa region, appearance and shape. The traces of agricultural reclamation (T. Ratajczak photo)

Stan zachowania osadów zgromadzonych na hałdach w dawnym częstochowskim rejonie eksploatacji rud syderytowych, a także możliwości ich praktycznego wykorzystania były przedmiotem badań T. Ratajczaka (1998), a uprzednio T. Piecucha red. (1979).

Skład chemiczny zgromadzonych na zwalówiskach odpadów jest podany w tabeli 19. Zawartość podstawowych składników chemicznych – SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 w porównaniu z naturalnymi łupkami nie uległa w zasadzie zmianie. Sytuacja ta nie dotyczy jednak CaO i MgO . Ilość tych tlenków w osadach ze składowiska w porównaniu z naturalnymi ich odmianami jest wyraźnie wyższa (tab. 14).

W iłach zgromadzonych na hałdach kwarc występuje w ilości około 70% obj. Wielkość jego okruchów dochodzi do 1 mm średnicy. Są one różnie obtoczone. Bardzo często oblekają je czerwone tlenki żelaza. Błyszki mik wykazują cechy optyczne muskowitu. Nieliczne skałeniny są zwietrzałe. Piryt jest obecny w postaci bezładnie rozmieszczonych ziarnistych, niekiedy framboidalnych skupień. Może też impregnować skamieniałości. Tło skalne ma miejscami charakter marglisty. Spotyka się w nim brunatno-czarne oraz niekiedy wręcz czarne słabo obtoczone agregaty. Tworzą je zapewne tlenki żelaza. Dość często daje się zauważyć minerały ciężkie. Dominują wśród nich turmalin, rutył, cyrkon.

T. Piecuch red. (1979) ilościowo ustalił obecność podstawowych minerałów ilastych zgromadzonych na hałdach. Według tego autora kwarc występuje w ilości 27,5% wag., kaolinit – 36,5% wag., illit – 26,4% wag.

Tabela 19

Niekompletny skład chemiczny odpadów poeksploatacyjnych ze składowiska po byłej kopalni syderytów „Wręczyca” wg K. Bonarskiego (1966)

Table 19

The incomplete chemical composition of the mine waste from the dumping site after the former “Wręczyca” siderite mine by K. Bonarski (1966)

Składnik chemiczny	Zawartość [% wag.]
SiO ₂	27,90–51,33 (41,19)
Al ₂ O ₃	14,45–24,90 (21,32)
Fe ₂ O ₃	6,00–28,72 (12,81)
CaO	23,42–5,61 (3,32)
MgO	2,02–4,03 (2,95)
K ₂ O	1,98
Na ₂ O	0,12
Straty prażenia	18,25

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie.

W większości składowisk stwierdzono wyraźny ubytek zawartości frakcji najdrobniejszej – poniżej 5 μm w stosunku do próbek naturalnych. Dotyczy to partii przypowierzchniowych składowisk. Ich substancję ilastą budują nadal kaolinit i illit (odpowiednio 36 i 16%). Zdaniem J. Greszty (1963) jest w nich obecny również smektyt (do 10%). We frakcjach najdrobniejszych wykazano również minerały o strukturach mieszanopakietowych typu illit-smektyt. Badania T. Mrzygłoda (1996) skał ilastych ze zwałowiska w Malicach wykazały obecność dwóch ich odmian: kaolinitowo-illitowej i kaolinitowo-illitowej z wyraźną domieszką minerału mieszanopakietowego. Druga z tych odmian jest częściej spotykana w partiach przypowierzchniowych składowisk.

1.5.2. Odpady poprzerołbcze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

W przypadku GZW przeprowadzono badania mające na celu wykazanie przydatności mułłów poflotacyjnych do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Skorzystano w tym celu z wyników stanowiących treść pracy I. Twardowskiej i in. (1988). Badania te wykazały, że skład mineralny tych odpadów jest dość zróżnicowany. Stwierdzono w nich obecność minerałów ilastych, mik, kwarcu, węglanów, substancji organicznej. Podstawowy składnik stanowią minerały ilaste. Przeważa wśród nich kaolinit. Jako drugi komponent występuje illit. Spotyka się także odmiany mieszanopakietowe illit-smektyt oraz montmorillonit. Chloryt jest składnikiem podrzędnym. Udział składników nieilastych jest zmienny. Dochodzi nawet do 50%.

Przedmiotem badań I. Twardowskiej i in. (1988) była również pojemność jonowymienna tych mułłów oraz ilość kationów wymiennych przez nie sorbowanych. Autorzy wykazali, że pojemność jonowymienna mułłów jest bardzo zmienna. Natomiast wśród kationów wymienionych dominuje Na⁺. Udział tego kationu w kompleksie sorpcyjnym wynosi 42–84%. Potas odgrywa rolę marginalną (około 9%). Pozostałą część pozycji wymiennych zajmują kationy Ca²⁺ i Mg²⁺, przy wyraźnej przewadze tych pierwszych.

Efektom działalności Zakładów Wzbogacania i Odsiarczania KWK „Janina” jest powstanie odmian odpadów przerobczych reprezentowanych przez łupki ilaste (często zawęglone), mułowce i piaskowce. Ich składnikiem są też okruchy węgla. Zgromadzone na zwałowisku odpady są zmienne pod względem kolorystycznym i wykształcenia litologicznego (fot. 4). Dominującym ich komponentem jest czarny, rozsyplawy il. Stanowi go zwietrzały łupek karboński. W górnych, stropowych partiach zwałowiska występują żółtawe, gliniaste piaski. W rozmyciach erozyjnych na skarpach odsłania się piasek o odcieniu czerwonym. U podnóża z kolei, szarobiaławe jego odmiany tworzą stożki napływowe.

W składzie ziarnowym dominuje frakcja piaszczysta – do 50% wag. przy jednoczesnym wysokim udziale frakcji mułkowej. Istotnym składnikiem obu frakcji są okruchy węgla (Święch 2005).



Fot. 4. Hałda KWK „Janina” (fot. T. Ratajczak)

Phot. 4. The heap of “Janina” mine coal (T. Ratajczak photo)

W składzie petrograficznym odpadów poflotacyjnych z KWK „Anna” stwierdzono obecność minerałów ilastych, kwarcu, skaleni, mik, węglanów i okruchów węgla. Minerale ilaste są reprezentowane przez kaolinit i minerały mieszanopakietowe illit-smektyt a w mniejszej ilości także illit i chloryt. Strukturę skały tworzą polimineralne agregaty wymienionych minerałów ilastych. Kwarc, skalenie, miki i okruchy węgla spotykane są zazwyczaj we frakcji pylastej (Górniak i in. 1999).

Skład chemiczny odpadów poflotacyjnych jest bardzo zróżnicowany. Zawartość SiO_2 waha się od 38 do prawie 60% wag., Al_2O_3 od 7 do 16% wag., Fe_2O_3 – od 2,3 do 6,6% wag., MgO od 0,5 do 2,5% wag., K_2O od 0,4 do 2% wag. Jest on zbliżony do składu chemicznego skał ilastych.

1.5.3. Odpady poeksploatacyjne Lubelskiego Zagłębia Węglowego

Głównym składnikiem odpadów poeksploatacyjnych w LZW są łupki i ilowce. Stanowią one około 88% ich masy. Mułowce występują podrzędnie (ok. 5%), podobnie jak piaskowce (około 6%). Znaczący może też być udział syderytów – do około 3,5% wag.

Odpady poprzeróbcze pochodzące z eksploatacji węgla kamiennego w LZW, a reprezentujące frakcję 20–200 mm były przedmiotem badań L. Gazdy (2003). Wykazały one obecność w zasadzie tych samych minerałów, jakie stwierdzono w łupkach naturalnych. Budują je kaolinit, illit, smektyt, chloryt, muskowitz, kwarc, skalenie, syderyt, piryt. Uzupełnieniem są maceraty węglowe. Autor stwierdził w tych odpadach obecność dwóch odmian syderytu – jasnej i ciemniejszej. Ciemniejsza ma charakter bardziej ilasty, zawiera więcej kwarcu, a przede wszystkim piryt. Siarczek ten przybiera niekiedy postać w pełni krystaliczną. Skalenie występują w ilościach akcesorycznych.

Skład chemiczny odpadów pochodzących z eksploatacji węgla kamiennego w LZW według L. Gazdy (2003) jest następujący (% wag.):

- SiO₂ – 52,50,
- TiO₂ – 1,00,
- Al₂O₃ – 19,64,
- Fe₂O₃ – 4,78,
- CaO – 0,40,
- MgO – 0,95,
- Na₂O – 0,26,
- K₂O – 2,17,
- Straty prażenia – 3,58.

Ustalono również ilościowy skład mineralnych tych odpadów zarówno w przypadku próbki naturalnej i wydzielonej z niej frakcji ilastej – poniżej 2 μm (tab. 20). Porównanie wyników oznaczeń chemicznych i mineralogicznych wskazuje, że ilości SiO₂ i Al₂O₃ korespondują z rodzajem i ilością minerałów ilastych oraz kwarcu. Zawartość Fe₂O₃ pozostaje natomiast w związku funkcyjnym z obecnością w surowcu pirytu i syderytu. Z tabeli tej wynika wyraźny wzrost sumarycznej ilości minerałów ilastych we frakcji mniejszej od 2 μm. Stanowi to efekt głównie zwiększonej koncentracji kaolinitu. Natomiast frakcja ta jest zupełnie pozbawiona kwarcu (co oznacza aleurytowo-psamitowy charakter ziarn tego minerału) i pirytu.

1.5.4. Kopaliny towarzyszące w złożach węgla brunatnego

Złoże węgla brunatnego „Bełchatów”

Złoże węgla brunatnego „Bełchatów” należy do grupy nagromadzeń o dość skomplikowanej budowie geologicznej (rys. 24). Efektem tego jest wyraźne zróżnicowanie litologiczne i stratygraficzne trzeciorzędowej serii węglonośnej. Wiekowo obejmuje ona osady od oligocenu poczynając, a na miocenie górnym kończąc. Litologicznie wyróżnia się w niej cztery kompleksy: podwęglowy, węglowy, węglowo-ilasty i ilasto-piaszczysty (rys. 25). Ich strop stanowią osady czwartorzędowe, a w podłożu zalegają sedymeny jury i kredy.

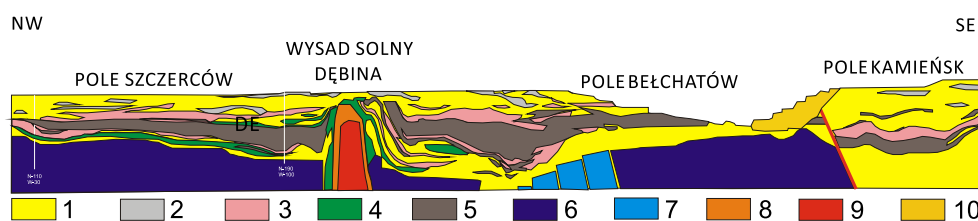
Tabela 20

Ilościowy skład mineralny odpadów poprzemysłowych pochodzących z eksploatacji węgla kamiennego w KWK „Bogdanka” wg L. Gazdy (2003)

Table 20

The quantitative mineral composition of the processing waste from coal mining in “Bogdanka” coal mine by L. Gazda (2003)

Składnik mineralny	Typ odpadów i zawartość [% wag.]	
	próbka naturalna	frakcja ilasta
Sumaryczna zawartość minerałów ilastych	60	85
Kaolinit	35	60
Illit	20	23
Chloryt	5	2
Muskowit	9	12
Kwarc	17	ślady
Syderyt	3,5	ślady
Piryt	1,5	ślady
Węgiel	8	1,5



Rys. 24. Przekrój geologiczny przez złożę węgla brunatnego „Bełchatów” wg J. Kuszneruka (1995)

Objaśnienia: 1 – piasek, 2 – glina zwałowa, 3 – ił, 4 – mułek, 5 – węgiel brunatny, 6 – wapień, 7 – margiel, 8 – czapa wysadu solnego, 9 – sól kamienna, 10 – zwałowisko wewnętrzne

Fig. 24. The longitudinal geological cross-section through the “Belchatów” lignite deposit by J. Kuszneruk (1995)

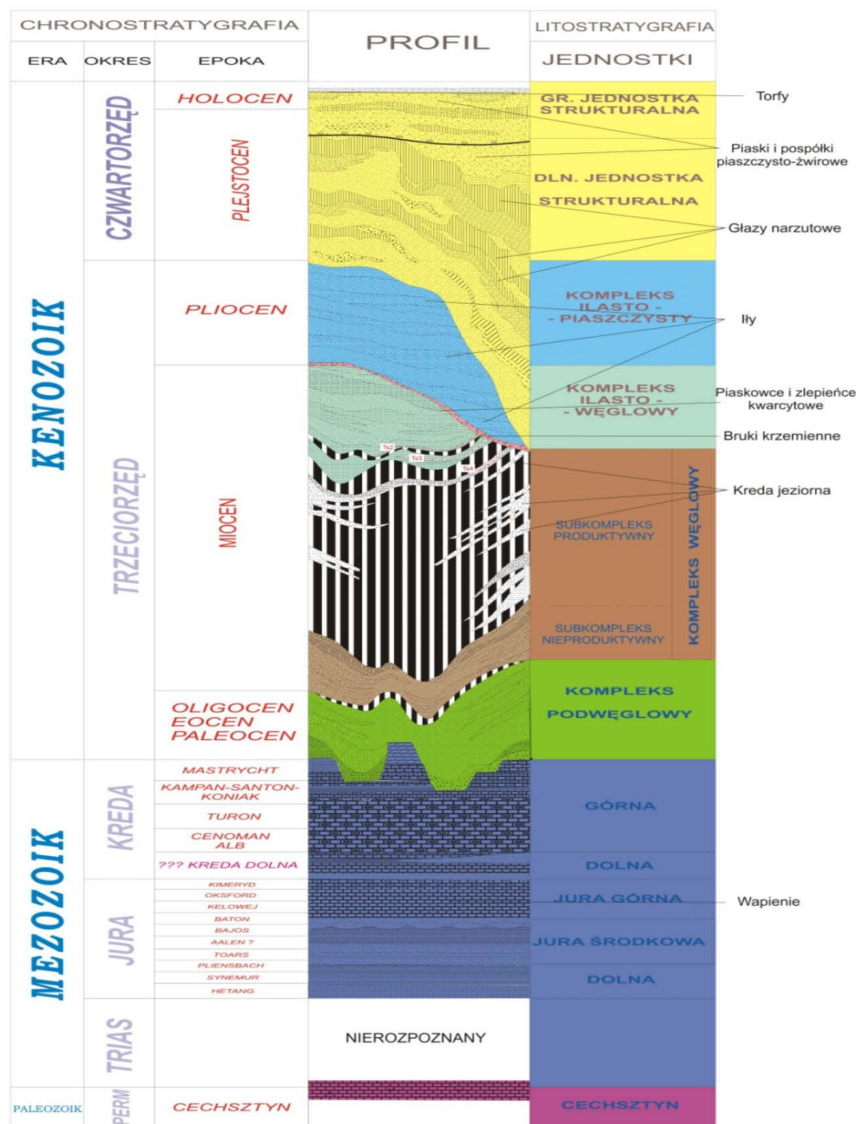
Jedną z ważniejszych odmian skał stwierdzonych w tych kompleksach są skały ilaste. W czwartorzędzie reprezentują je gliny zwałowe oraz iły warwowe. Trzeciorzęd stanowią następujące odmiany ilów:

- illitowe,
- poznańskie,
- beidellitowe.

W podłożu serii węglowej spotyka się także kaoliny. Pokład węgla i serię węglową prze-warstwiają również paratonsteiny.

Jedyną odmianą surowców ilastych dotychczas zagospodarowywanych w znaczących ilościach są iły beidellitowe i kaolinitowo-beidellitowe kompleksu ilasto-piaszczystego.

SYNTETYCZNY PROFIL LITOSTRATYGRAFICZNY REJONU ZŁOŻA „BELCHATÓW”
POLE „SZCZERCÓW”



Rys. 25. Profil litostratigraficzny przez złożę węgla brunatnego „Belchatów” – pole „Szczerców” z zaznaczonymi odmianami kopaliny towarzyszących wg L. Czarnieckiego i in. (1992)

Fig. 25. The profile of lithostratigraphic by the “Belchatów” lignite deposit – the “Szczerców” opencast with selected varieties of accompanying minerals by L. Czarniecki et al. (1992)

Osiągają one miąższość od kilku do kilkudziesięciu metrów (fot. 5 i 6). Charakteryzuje je zmienna kolorystyka. Spotyka się odmiany szare, szaroniebieskawe, zielone, żółtozielone. Występują w stanie półzwałtym i twaroplastycznym.



Fot. 5. Złoże węgla brunatnego „Belchatów”. Iły beidellitowe z kompleksu ilasto-piaszczystego (fot. P. Bożęcki)

Phot. 5. The “Belchatów” lignite deposit. The beidellite clays from silty-sandy complex (P. Bożęcki photo)



Fot. 6. Złoże węgla brunatnego „Belchatów”. Iły beidellitowe z kompleksu ilasto-piaszczystego z kongrecjami żelazistymi (fot. P. Bożęcki)

Phot. 6. The “Belchatów” lignite deposit. The beidellite clays from silty-sandy complex with the iron concretions (P. Bożęcki photo)

Wykonane badania wykazały, że kolejne próbki ilów beidellitowych charakteryzują się bardzo zbliżonym charakterem granulometrycznym (Ratajczak i in. 2015 praca w druku). W celu dokładniejszego jego zdefiniowania posłużono się kryteriami obowiązującymi w przypadku diagramu R. Stevensa (1983). Pomocna w tym celu była znajomość zawartości frakcji ilastej (poniżej $2\ \mu\text{m}$), mułkowej ($60\text{--}2\ \mu\text{m}$) i piaszczystej (powyżej $60\ \mu\text{m}$). Okazało się, że ich udział w ilach beidellitowych obejmuje dość wąskie przedziały:

- frakcja ilasta 18,5–23,3% wag.,
- frakcja mulkowa 73,6–79,7% wag.,
- frakcja piaszczysta 0,4–3,3% wag.

Z projekcji uzyskanych wyników badań na trójkącie R. Stevensa (1983) wynika, że reprezentują one odmiany skał ilastych definiowane jako iłowce lub iłowce słabo plastyczne. Charakteryzują się też dużą piaszczystością.

Skład chemiczny badanych próbek iłow podany jest w tabeli 21. Odznaczają się one stosunkowo dużą jak na skały ilaste, zawartością Al_2O_3 (22,28–30,57% wag.). Dość wyraźnie zaznacza się w nich obecność Fe_2O_3 (2,18–4,21% wag.). Z kolei za niskie można uznać ilości:

- alkaliów, Na_2O i K_2O w sumie nie przekraczają niekiedy 1% wag.,
- CaO mieszczącą się w przedziale 0,90–1,75% wag.,
- substancji organicznej 0,32 – 0,89% wag. Oznacza to, że iłły te są słabo zawęglone.

Śladowe są też w nich ilości siarki (zawartość SO_3 mieści się w przedziale od 0,05 do 0,17% wag.).

Ilość CaCO_3 w badanych iłach jest nieznaczna. Mieści się ona w przedziale 1,60–4,69% wag. Zgodnie z przyjętymi przez K. Wyrwicką i R. Wyrwickiego (1994) kryteriami oznacza to, że badane iłły można zaliczyć do bezwapnistych (poniżej 2% wag. CaCO_3) lub słabo wapnistych (2–10% wag. CaCO_3).

Tabela 21

Skład chemiczny iłow beidellitowych z Bełchatowa wg T. Ratajczaka i in. (2015) praca w druku

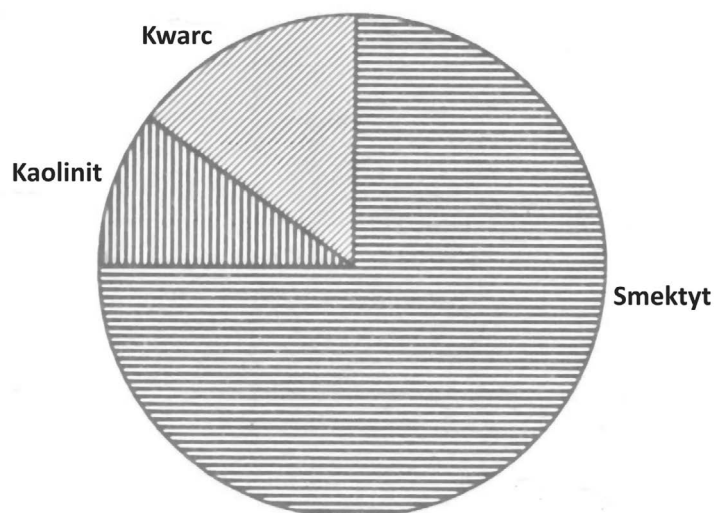
Table 21

The chemical composition of beidellite clays from Bełchatów by T. Ratajczak (2015)

Składnik	Zawartość [% wag.]
SiO_2	57,68–66,32 (61,57)
TiO_2	0,31–0,61 (0,47)
Al_2O_3	22,28–30,57 (25,48)
Fe_2O_3	2,18–4,21 (3,57)
CaO	0,90–1,75 (1,42)
MgO	0,62–1,35 (1,04)
MnO	0,01–0,13 (0,02)
K_2O	0,33–0,89 (0,65)
Na_2O	0,03–0,08 (0,06)
SrO	0,01 (0,01)
SO_3	0,05–0,17 (0,10)
P_2O_5	p.g.w.–0,14 (0,16)
Straty prażenia	2,90–5,20 (3,86)
Części organiczne	0,32–0,89 (0,50)
CaCO_3	1,60–4,69 (2,54)

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie; p.g.w. – poniżej granicy wykrywalności.

Badania K. Górniak i in. (1999) oraz K. Bahranowskiego i in. (1999) wykazały, że w składzie mineralnym tych ilów dominują smektyt i kaolinit (rys. 26). Smektyt jest drobnoziarnistym dioktaedrycznym minerałem zawierającym w przestrzeniach międzypakietowych kationy Ca i Mg. Tworzy on dwa typy agregatów. Pierwszy z nich budują blaszki o kontaktach ściana – ściana, drugi zaś – typy ściana – krawędź. Blaszkki te mają gładkie, podwinięte brzegi i wielkość nieprzekraczającą 1 μm . Agregaty zbudowane z blaszek o kontaktach typu ściana – krawędź, typowe dla minerału autigenicznego, występują miejscami w tle, a tłem są charakterystyczne dla minerału detrytycznego agregaty blaszek typu ściana – ściana. Płytki kaolinitu są rozproszone wśród agregatów minerałów ilastych. Kaolinit jest minerałem o niskim stopniu uporządkowania struktury. W skład materiału okrucowego, równomiernie rozproszonego w ilastym tle, wchodzi oprócz dominujących, ostrokrawędzistych i słabo obtoczonych ziaren kwarcu – muskowit oraz minerały ciężkie (cyrkon, turmalin, leukoksen). Występują ponadto mikrokonkrecje żelaziste. Są zbudowane z (Mn, Ca) – syderytu i pobocznie goethytu.



Rys. 26. Ilościowy skład mineralny ilów beidellitowych z kompleksu ilasto-piaszczystego w złożu węgla brunatnego „Bełchatów” wg K. Górniak i in. (1999)

Fig. 26. The quantitative mineral composition of beidellite clays from clay-sandy complex in the “Bełchatów” lignite deposit by K. Górniak et al. (1999)

Wykazane w przypadku ilów z Bełchatowa wartości powierzchni właściwej obejmują przedział wartości od 48,23 do 63,94 m^2/g .

Wartości pojemności jonowymiennej mieszczą się w przedziale od 31,6 do 57,4 $\text{mval}/100\text{ g}$. Ca^{2+} dominuje wśród kationów zajmujących pozycje jonowymienne (około 90% populacji). Energia sorbowania kationów była następująca: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ (Ratajczak i in. 1992).

Badania E. Majer (2005) wykazały, że ility beidellitowe z Bełchatowa należą do kopalin bardzo spoistych. Wśród minerałów ilastych dominuje beidellit (20–48%). Kaolinit obecny jest w ilości 13–25%. Autorka uważa, że ility z Bełchatowa są pozbawione illitu.

Złóża węgla brunatnego rejonu Konina i Adamowa

W Wielkopolsce odkrywkowa eksploatacja węgla brunatnego odbywa się w dwóch kopalniach – Konin i Adamów. Obie one są wieloodkrywkowe. KWB „Konin” prowadzi wydobycie węgla w czterech odkrywkach: Drzewce, Józwin, Kazimierz Północ, Pątnów, natomiast KWB „Adamów” w trzech: Adamów, Koźmin, Władysławów. Eksploatacja węgla nierozzerwalnie związana jest z przemieszczaniem ogromnych ilości nadkładu (ok. 100 mln m³ rocznie). Ponadto w jej wyniku odsłonięte zostają osady podścielające pokłady węgla.

Litologia osadów nadkładu i utworów podwęglowych w złożach węgla brunatnych tego regionu nie jest zróżnicowana. Wyróżnia się wśród nich sedymenty kredowe, trzeciorzędowe i czwartorzędowe. Występują wśród nich również skały ilaste – ility poznańskie i gliny zwałowe.

Problem kopalin współzalegających z węglami brunatnymi w rejonie Konina – Adamowa kojarzy się przede wszystkim z trzeciorzędowymi osadami serii poznańskiej.

Formacja poznańska w odkrywkach KWB Konin reprezentowana jest przez trzy ogniwa iłów: szare, zielone i płomieniste. Natomiast w odkrywkach KWB Adamów brak jest ogniwa płomienistych (fot. 7).



Fot. 7. KWB „Adamów”. Glaucoitektonicznie zafalowane ility poznańskie. Widoczne zróżnicowanie kolorystyczne wynikające ze zmienności litostratygraficznej (fot. P. Bożęcki)

Phot. 7. “Adamów” Lignite Mine. The glaucoconformably folded poznańskie clays – visible differences in colour due to the volatility of lithostratigraphic (P. Bożęcki photo)

W składzie mineralnym iłów serii poznańskiej z odkrywki Adamów dominuje beidellit (50–60%) a ponadto występuje kaolinit (20–30%), illit (5–10%), kwarc (10–20%). W skła-

dzie ziarnowym tych ilów w przewodzie występują frakcje 0,05–0,02 mm i poniżej 0,02 mm. W pierwszym przypadku ich ilość wynosi 30,45% wag., a w drugim – 57,51% wag.

W uśrednionym składzie mineralnym ilów formacji poznańskiej z odkrywek rejonu Konina ilość beidellitu jest oceniana na około 60%. Współwystępują z nim illit (ok. 10%), kaolinit (ok. 6%) i kwarc (ok. 24%). Ich skład granulometryczny jest dość urozmaicony a zawartość poszczególnych frakcji bywa zmienna. Zawartość frakcji ilastej mieści się w przedziale wartości od 37 do 64% wag., pylastej 5–40% wag., a piaszczystej 10–20% wag. (Gradecki 1997).

Skład chemiczny ilów z konińskich złóż przedstawiono w tabeli 22.

Tabela 22

Niekompletny skład chemiczny ilów poznańskich ze złóż węgla brunatnych rejonu Konina wg D. Gradeckiego (1997)

Table 22

The incomplete chemical composition of poznańskie clays from the lignite deposits of Konin region by D. Gradecki (1997)

Składnik	Zawartość [% wag.]
SiO ₂	59,09–80,66
Al ₂ O ₃ + TiO ₂	6,90–24,58
Fe ₂ O ₃	1,60–11,58
CaO	1,03–5,63
MgO	p.g.w.–2,01

p.g.w. – poniżej granicy wykrywalności.

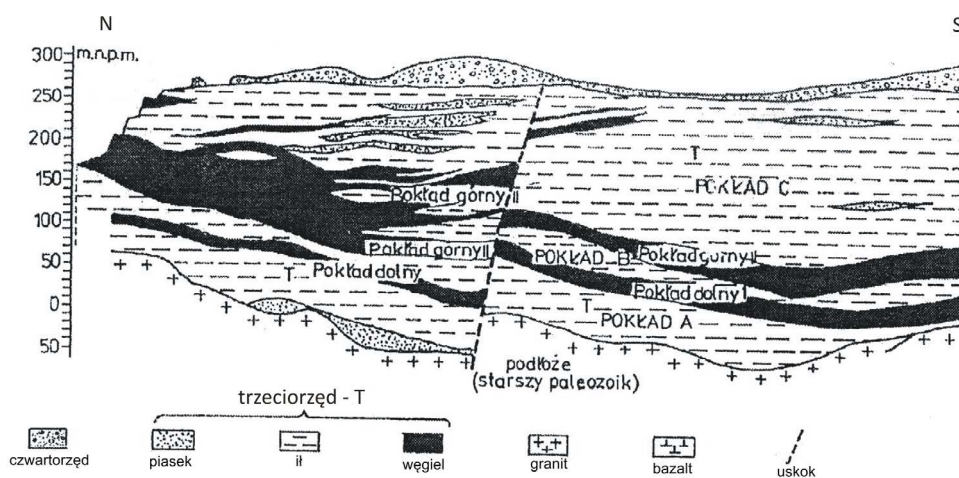
Złoże węgla brunatnego „Turów”

Skały ilaste towarzyszące węglom brunatnym w złożu „Turów” występują zarówno w ich nadkładzie, pomiędzy pokładami węgla, jak i w spągu serii złożowej (rys. 27). Wyróżniono następujące kompleksy litologiczne:

- czwartorzędowy,
- osadów nadwęglowych, tzw. pokład C,
- osadów międzywęglowych, tzw. pokład B,
- osadów podwęglowych, tzw. pokład A,
- zwietrzelin podłoża krystalicznego.

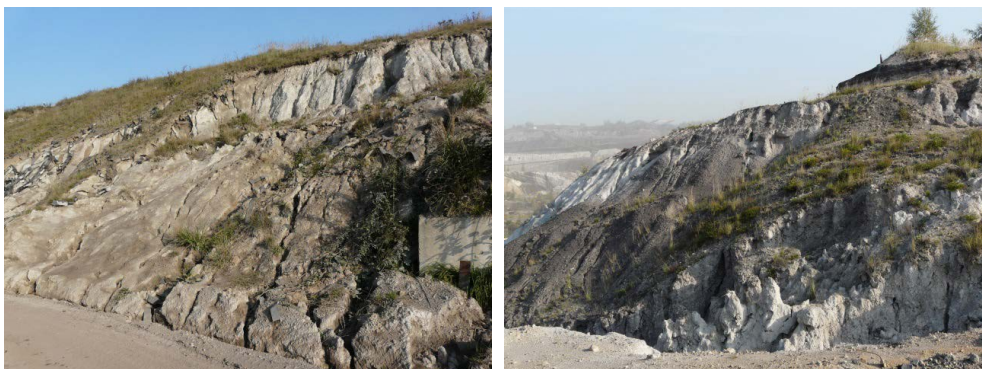
Zalegające w podłożu węgla brunatnych skały granitowe (granity rumburskie), a w mniejszym stopniu gnejsy i granitognejsy oraz różne odmiany bazaltów uległy mniej lub bardziej intensywnym procesom wietrznym (fot. 8a, b). Doprowadziły one do powstania następujących odmian osadów i skał:

- zwietrzelin granitoidowych,
- zwietrzelin bazaltoidowych,
- ilów kaolinowych.



Rys. 27. Przekrój geologiczny przez złożę węgla brunatnego w Turoszowie wg J. Rippela i J. Pacelta (1979)

Fig. 27. Geological section through Turoszów lignite deposit by J. Rippel and J. Pacelt (1979)



Fot. 8a, b. Złoże węgla brunatnego „Turów”. Kaoliny zwietrzelinowe zalegające w filarze ochronnym kopalni (fot. P. Bożęcki)

Phot. 8a, b. The “Turów” lignite deposit. The weathered kaolines flat in the safety pillar Mine (P. Bożęcki photo)

Zwietrzelina granitoidowa to iły o cechach kaolinów zarówno pierwotnych, jak i redeponowanych. W zwietrzelinach bazaltowych stwierdzono z kolei obecność zmiennych litologicznie, a nawet kolorystycznie utworów. Są nimi:

- zielone, ilaste regolity o charakterze kaolinitowo-chlorytowo-illitowym,
- iły seledynowe ze skupieniami kaolinów, o zawartości minerałów ilastych w przedziale 72–85% wag.,
- tufy bazaltowe ze zmienną obecnością minerałów ilastych od 39 do 78% wag.

Skład mineralny tych osadów jest bardzo zróżnicowany. O ich charakterze litologicznym decyduje wykazana asocjacja minerałów ilastych. Są to kaolinit, illit, montmorillonit, chlo-

ryty. Ich sumaryczna zawartość jest zmienna, ale w niektórych odmianach może dochodzić do 90% wag. Dominuje wśród nich kaolinit (30–70%). Bywa jednakże i tak, że udział montmorillonitu osiąga około 30% wag. Pojawiają się w nich także partie bogate w syderyt i konkracje pirytowe. Wysokoglinowe odmiany kopalin występują zwłaszcza w zwietrzelinach bazaltowych. Minerale mieszanopakietowe z udziałem struktur smektytowych gromadzą się z kolei we frakcji najdrobniejszej. Ilość illitu jest zróżnicowana, 8–39%. Kwarc występuje w ilości 4–35% (m.in. Nieć i in. 2004).

W kompleksie A (podwęglowym) stwierdzone zostały ily w różnym stopniu zapiaszczone. Wzrasta ono ku spągowi serii. W wyniku tego wśród skał tego kompleksu spotyka się odmiany ilasto-piaszczyste. Ily *sensu stricto* stanowią 77% profilu. Ze względu na skład mineralny osady te można określić jako ily kaolinitowo-illitowe. Obecność minerałów ilastych dochodzi w nich do 40% wag. Bywają one zawęglone. Również w nich obecne są syderyty i konkracje pirytowe.

Kompleks B uznawany jest za zbudowany niemal w całości z ilów. Spotyka się w nich jednakże soczewki piasków, mułów, a także gniazdowe nagromadzenia lignitu lub okruchów węgla (fot. 9a, b, 10). Dominującym typem wśród tych ilów są odmiany kaolinitowe. Ich udział w profilu wynosi 64%, podczas gdy skały okruchowe stanowią 13%. Miąższość tego kompleksu jest zmienna i zamyka się w przedziale 50–140 metrów. Ze względu na barwę i cechy litologiczne w jego obrębie można wyróżnić następujące typy ilów:

- jasnoszare, tzw. czyste, stanowiące 12%,
- szare, zapiaszczone, których udział oceniono na około 69%,
- brunatne obecne w ilości około 18%.



Fot. 9a, b. Złoże węgla brunatnego „Turów”. Ily z pokładu B, międzywęglowe (fot. P. Bożęcki)

Phot. 9a, b. The “Turów” lignite deposit. The clays from the bed B, interlignite (P. Bożęcki photo)

„Czyste” ily z Turowa pochodzące z kompleksu B wykazują zmienny skład ziarnowy, mineralny i chemiczny (Nieć i in. 2004). Ich dominującym składnikiem chemicznym jest SiO_2 , którego ilość zależy od stopnia zapiaszczenia ilów (tab. 23). W próbkach uśrednionych jego zawartość wynosi ponad 60% wag. Al_2O_3 odznacza się zmienną obecnością a maksy-



Fot. 10. Złoże węgla brunatnego „Turów”. Odslonięcie ilów międzywęglowych (fot. P. Bożęcki)

Phot. 10. The “Turów” lignite deposit. The outcrop interlignite clays (P. Bożęcki photo)

małne ilości glinki mogą dochodzić do 35% wag. Iły te charakteryzuje też nieduża obecność CaO, na ogół nie przekraczająca 1% wag. oraz podwyższona zawartość K_2O (2–3% wag.). Również stopień ich żelazienia wydaje się wyraźny.

Tabela 23

Niepełny, uśredniony skład chemiczny ilów pochodzących z pokładu B złoże węgla brunatnego „Turów” wg M. Niecia i in. (2004)

Table 23

The incomplete, averaged chemical composition of clays coming from the bed B “Turów” lignite deposit by M. Niec et al. (2004)

Składnik	Zawartość [% wag.]
SiO_2	42,60–60,42 (51,25)
TiO_2	0,74–4,40 (1,16)
Al_2O_3	23,69–34,16 (29,84)
Fe_2O_3	1,44–11,04 (2,72)
CaO	0,22–2,17 (0,84)
MgO	p.g.w.–0,64 (0,3)
K_2O	1,6–4,0
Na_2O	0,1–0,3
Straty prażenia	9,21–16,19 (11,52)

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie; p.g.w. – poniżej granicy wykrywalności.

Wyniki badań granulometrycznych wykazały pELITOWY charakter tych ilów. Ziarna mniejsze od 2 μm stanowią 55% wag., zaś reprezentujące przedział ziarnowy 60–2 μm występują w ilości 37% wag.

W kompleksie C warstwy skał ilastych zalegają naprzemianległe z ławicami węgla i piasków. Kompleks ten jest najbardziej zmienny litologicznie i niejednolicie wykształcony. Zalegające w nim ility odznaczają się charakterystycznym czerwonym zabarwieniem. Wyróżnia się wśród nich następujące odmiany: kaolinitowe, syderytowe, węgliste. Wykazują one znaczny, bo dochodzący do 30% wag., udział frakcji piaszczystej. Zawartość Al_2O_3 zamyka się w przedziale od 22 do 26% wag. Dość wysoka jest ilość Fe_2O_3 dochodząca do 8% wag.

1.5.5. Odpady poflotacyjne z górnictwa rud Cu

Przedmiot badań stanowiły mułki poflotacyjne pochodzące z kopalni rud Cu „Konrad”. Okazało się, że mają one charakter aleurytowy, a nawet piaszczysty. Są wyraźnie zawapniane – zawartość CaO wynosiła w nich około 10% wag. Również stopień ich zażelazienia był znaczny – Fe_2O_3 obecne w ilości 3,15% wag. Wśród minerałów ilastych montmorillonit stanowił składnik frakcji najdrobniejszej – poniżej 2 μm (Ratajczak 2002, 2011).

2. Przydatność kopalni ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych

2.1. Skały ilaste czwartorzędu

Skały ilaste czwartorzędu surowcowo nie reprezentują najlepszych odmian. Stąd ich wykorzystanie ogranicza się w zasadzie do wytwarzania wyrobów ceramiki budowlanej. Wynika zaś m.in. ze składu mineralnego – obecności i charakteru minerałów ilastych. Nie są to odmiany w nie obfitujące. Ta sama sytuacja sprawia również, że ich wykorzystanie do budowy przesłon hydroizolacyjnych jest ograniczone (tab. 24). Przy formułowaniu tej oceny okazało się ponadto, że w wielu przypadkach wiedza na ten temat jest ograniczona. Bardzo często brakowało informacji na temat ich właściwości sorpcyjnych – pojemności jonowymiennej czy intensywności i kolejności sorbowania kationów. Stąd też decyzja na temat przydatności tych kopalni do budowy przesłon w niektórych przypadkach miała charakter orientacyjny.

Z tabeli 24 wynika, że ilaste kopaliny czwartorzędowe w zasadzie nie spełniają kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002). Dotyczy to glin i mułków aluwialnych, lessów, glin zwietrzelinowych. W przypadku iłów zastoiskowych i glin zwałowych tę przydatność można określić jako średnią.

Rozszerzając i uzupełniając to stwierdzenie w przypadku niektórych odmian ilastych kopalni czwartorzędowych wykonano badania testujące dla:

- lessów zalegających w nadkładzie złoża porfiru i diabazu w Zalasie (fot. 11),
- mad rzecznych ze żwirowni „Bielany przy Sole” i „Wola Batorska” (fot. 12),
- glin zwałowych obecnych w złożach iłów krakowieckich „Harasiuki” i „Wola Rzędzińska” (fot. 13a, b, 14).

Charakterystyka przydatności ilastych skał czwartorzędowych, stanowiąca częściowo treść pracy P. Bożęckiego i G. Rzepy (2012) wygląda następująco.

Tabela 24

Przydatność czwartorzędowych kopalin ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002)

Table 24

The usefulness of the Quaternary clay mineral resources to construction of diaphragms waterproofing by the „Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Odmiana kopalin i charakterystyka przydatności							
	gliny i mułki aluwialne	ity zastoisikowe	mulki zastoisikowe	gliny zwalowe	lessy	gliny zwiertzelinowe		
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	illit, kaolinit, montmorillonit (podrzędnie)	illit, montmorillonit, kaolinit, chloryt	illit, kaolinit, montmorillonit	montmorillonit, illit, kaolinit	kaolinit, montmorillonit (składnik podrzędny)	kolinit, illit, podrzędnie montmorillonit		
Zawartość ziarn poniżej 5 µm	8–12% wag.	30–78% wag. (55 % wag.)	1,7–13,4% wag. (7,6% wag.)	38% wag.	13,8–18% wag. (16% wag.)	7 - 21% wag. (15% wag.)		
Zawartość ziarn powyżej 50 µm	20–24% wag.	0,1–1,7% wag. (0,7% wag.)	3–35% wag. (19% wag.)	7% wag.	1,2–6,4% wag. (2,5% wag.)	1,3–2,4% wag. (8,4% wag.)		
Zawartość SiO ₂	75–76% wag.	41–67% wag. (53% wag.)	51–74% wag. (61,2% wag.)	51–83% wag.	66–83% wag.	72–85% wag.)		
Zawartość Al ₂ O ₃	6–12% wag.	9–21% wag. (15% wag.)	8–14% wag. (11% wag.)	4–13% wag.	5–13% wag.	7–12,5% wag. (9% wag.)		
Pojemność jonowymienna	7,8–8,2 mval/100 g	13–14 mval/100g	b.d.	13–40 mval/100 g	7–13 mval/100 g	8–12 mval/100 g		
Skład kationów wymiennych	Ca > Mg > K > Na	Ca > Mg > K > Na	Ca > Mg > K > Na	Ca > Mg > K > Na > Na	Ca > Mg > K > Na	Ca > Mg > K > Na > Na		
Klasa przydatności	nieprzydatne	średnia	nieprzydatne	średnia	nieprzydatne	nieprzydatne		

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie; b.d. – brak danych.



Fot. 11. Złoże porfiru i diabazu w Zalasie. Rdzawo zabarwione lessy zalegające pod warstwą gleby (fot. P. Bożęcki)

Phot. 11. The porphyry and diabase deposit in Zalas. The rust-colored loess, flat under a soil layer (P. Bożęcki photo)



Fot. 12. Złoże kruszywa „Bielany przy Sole”. Nadkład mad rzecznych zdejmowanych w celu udostępnienia pokładu żwiru (fot. P. Bożęcki)

Phot. 12. The “Bielany at Sola” aggregates deposit. The river alluvial overburden removal to provide bed gravel (P. Bożęcki photo)

Lessy

Wszystkie z oznaczanych parametrów tzn. skład mineralny i chemiczny, uziarnienie, pojemność jonowymienna, kolejność sorbowania kationów w przypadku lessów z Zalasu wskazują na brak ich przydatności do budowy przesłon hydroizolacyjnych (tab. 25).



Fot. 13a, b. Złoże ilów krakowieckich „Harasiuki”. Nadkładowe gliny zwałowe (fot. P. Bożęcki)

Phot. 13a, b. The “Harasiuki” deposit of Krakowiec clays. The boulder clay in overburden (P. Bożęcki photo)



Fot. 14. Złoże ilów krakowieckich „Wola Rzędzińska”. Gliny zwałowe z nadkładu (fot. P. Bożęcki)

Phot. 14. The “Wola Rzędzińska” deposit of Krakowiec clays. The boulder clay in overburden (P. Bożęcki photo)

Mady rzeczne

Uzyskane rezultaty wskazują, że odmiany mad zalegające w nadkładzie obydwu żwirowni („Bielany przy Sole”, „Wola Batorska”) należy uznać za nieprzydatne do budowy przesłon hydroizolacyjnych (tab. 26).

Gliny zwałowe

Wykonane w przypadku złoza ilów krakowieckich w Woli Rzędzińskiej badania nadległych glin zwałowych poddają w wątpliwość ich wykorzystanie w charakterze przesłon (tab. 27). Jedynie wartości pojemności jonowymiennej spełniają obowiązujące kryteria. Pozostałe – skład chemiczny i mineralny oraz uziarnienie – od nich odbiegają.

Tabela 25

Przydatność lessów z Zalasu jako kopaliny ilastej stosowanej do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobaty technicznej...” (2002)

Table 25

The usefulness of loess from Zalas as clay minerals used by the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	kaolinit, montmorillonit (składniki podrzędne)
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	9,23–15% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	28–44% wag.
Zawartość SiO_2	60–83% wag.
Zawartość Al_2O_3	5–11% wag.
Pojemność jonowymienna	0,8–1,3 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$
Klasa przydatności	nieprzydatne

Według T. Ratajczaka red. (2012).

Tabela 26

Właściwości mad rzecznych ze żwirowni „Bielany przy Sole” i „Wola Batorska” jako kopaliny przydatnych do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobaty technicznej...” (2002)

Table 26

The properties of fluvial alluvial from the gravel-pits of “Bielany near Soła” and “Wola Batorska” as resources for construction of diaphragms waterproofing by the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Złoże mad rzecznych oraz charakterystyka przydatności	
	Bielany przy Sole	Wola Batorska
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	kaolinit, illit, montmorillonit (podrzędnie)	
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	8% wag.	12% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	20% wag.	24% wag.
Zawartość SiO_2	76% wag.	75% wag.
Zawartość Al_2O_3	6% wag.	12% wag.
Pojemność jonowymienna	8,2 mval/100 g	7,8 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$	
Klasa przydatności	nieprzydatne	

Według T. Ratajczaka red. (2012).

Wyniki analiz zmierzające do wykazania przydatności hydroizolacyjnej wykonane w przypadku odmian glin zwałowych ze złoży ilów krakowieckich w Harasiukach kształtują się różnie. Ich skład chemiczny i uziarnienie można określić jako średnie. Wielkość pojemności jonowymiennej jest natomiast niska. Stwierdzono też nieprawidłową kolejność sorbowania kationów. Również skład mineralny tych glin – charakter minerałów ilastych i ich

ilość nie gwarantują takiej przydatności. Wynika to stąd, że badane gliny zwałowe można uznać za kopalinę nienadającą się do budowy przesłon hydroizolacyjnych lub co najwyżej w bardzo ograniczonym zakresie i to po modyfikacji właściwości fizykochemicznych.

Tabela 27

Właściwości glin zwałowych ze złóż „Harasiuki” i „Wola Rzędzińska” jako kopalin przydatnych do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002)

Table 27

The properties of boulder clay from the “Harasiuki” i “Wola Rzędzińska” deposits as resources for construction of diaphragms waterproofing by the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Złoże glin zwałowych oraz charakterystyka przydatności	
	Harasiuki	Wola Rzędzińska
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	illit, kaolinit, montmorillonit	
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	26% wag.	5% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	8% wag.	31% wag.
Zawartość SiO_2	63% wag.	70% wag.
Zawartość Al_2O_3	15% wag.	12% wag.
Pojemność jonowymienna	4 mval/100 g	1,3 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	Ca > Mg > K > Na	Ca > Mg > K > Na
Klasa przydatności	nieprzydatne	średnia

Według T. Ratajczaka red. (2012).

Iły zastoiskowe

Iły zastoiskowe zalegające w nadkładzie złoża węgla brunatnego „Bełchatów” stanowiące przedmiot badań R. Wyrwickiego (1995), od dawna z uwagi głównie na swój skład mineralny budziły zainteresowanie w kontekście wykorzystania do izolowania składowisk odpadów. Przypuszczenia te potwierdziły wartości ich powierzchni właściwej czy pojemności jonowymiennej (niewiele mniejszej od bentonitów) cytowane przez autora. Stąd też pozytywnie można było prognozować szanse wykorzystania tych kopalin do budowy przesłon hydroizolacyjnych.

Jak wynika z tabeli 28., przydatność tej odmiany kopaliny do budowy przesłon hydroizolacyjnych można ocenić jako średnią.

2.2. Skały ilaste trzeciorzędu

2.2.1. Mio-plioceńskie iły poznańskie

W tabeli 29. podano uśrednione wartości parametrów wynikające z „Aprobata technicznej...” (2002), a decydujące o przydatności tych kopalin do budowy przesłon. Na ich podstawie można sądzić, że iły poznańskie przedstawiają odmiany kopalin ilastych, których przydatność można określić jako dobrą lub najlepszą.

Tabela 28

Właściwości ilów i mułków warwowych z nadkładu węgla brunatnego w Bełchatowie jako kopalin przydatnych do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002)

Table 28

The properties of varved clay and silt from the overburden of lignite in the Bełchatów deposit as resources for construction of diaphragms waterproofing by the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Typ kopaliny i charakterystyka przydatności	
	iły	mułki
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	illit, montmorillonit, kaolinit, chloryt	
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	20% wag.	5% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	6,1% wag.	25,8% wag.
Zawartość SiO_2	53,85% wag.	61,20% wag.
Zawartość Al_2O_3	15,45% wag.	12% wag.
Pojemność jonowymienna	4 mval/100 g	11,2 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	Ca > Mg > K > Na	Ca > Mg > K > Na
Klasa przydatności	średnia	

Według R. Wyrwickiego (1995) oraz T. Ratajczaka i in. (1992).

Tabela 29

Przydatność ilów poznańskich do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002)

Table 29

The properties of poznańskie clays as resources for construction of diaphragms waterproofing by the “Technical Approval...” (2002) – average values

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	minerały mieszanopakietowe (31–84%), illit (56–90%), beidellit (51–92%)
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	33–88% (58% wag.)
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	0,3–43% (5% wag.)
Zawartość SiO_2	29–80% (62% wag.)
Zawartość Al_2O_3	8–26% (17% wag.)
Pojemność jonowymienna	4–61 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	Ca > Mg > K > Na
Klasa przydatności	dobra lub najlepsza

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie.

Według Z. Wichrowskiego (1981) oraz Z. Kłapyty i W. Żabińskiego (2008).

Charakterystykę tę starano się potwierdzić poprzez ocenę tej przydatności dokonaną w przypadku odmian kopalin zalegających w czterech obszarach sedimentacyjnych zbiornika. Wyniki te podaje tabela 30. Okazało się, że odmianę ilów najbardziej przydatną do

Tabela 30

Charakterystyka przydatności ilów poznańskich z czterech ich rejonów zalegania do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobaty technicznej...” (2002)

Table 30

The characteristics of the usefulness of poznańskie clays from the four regions their fate for construction of waterproofing diaphragms according to the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Rejon zalegania i charakterystyka przydatności			
	północno-wschodni	centralny	południowy	południowo-zachodni
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	minerały ilaste (mieszanopakietowe, illit, beidellit) odpowiednio: 31–84%, 56–90%, 51–91%			
Zawartość ziarn poniżej 5 µm	72% wag.	75% wag.	68% wag.	65% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 µm	5–13% wag.	2–11% wag.	4–16% wag.	1–24% wag.
Zawartość SiO ₂	52–79% wag.	48–71% wag.	52–77% wag.	45–66% wag.
Zawartość Al ₂ O ₃	9–19% wag.	12–12% wag.	11–27% wag.	13–27% wag.
Pojemność jonowymienna	13–50 mval/100 g	8–50 mval/100 g	4–44 mval/100 g	17–61 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	Ca > Mg > Na > K			
Klasa przydatności	najlepsza	najlepsza	dobra	dobra

Według Z. Wichrowskiego (1981).

ekranowania składowisk reprezentują spotykane w północno-wschodniej i częściowo południowo-zachodniej części zbiornika. Nieco gorsze parametry, ale dobre według stosowanych kryteriów mają ropy centralnej, a wyraźnie słabsze pochodzące z południowej części zbiornika.

Badania tego typu przeprowadzono także w przypadku złoża „Kraniec” (fot. 15a, b). Według „Bilansu zasobów...” (2014) ropy w nim zalegające zaliczane są do glin ceramicznych



Fot. 15a, b. Złoże ilów poznańskich „Kraniec”. Zmienna kolorystyka ilów poznańskich, widoczne rdzawe nacieki (fot. P. Bożęcki)

Phot. 15a, b. The “Kraniec” deposit of poznańskie clays. The variable colouring of clays, visible the rust dripstones (P. Bożęcki photo)

kamionkowych. Reprezentują one płomienistą część mio-plioceńskich iłów serii poznańskiej (Tronowska 1997). Ich specyficzny skład mineralny wskazywał (przynajmniej teoretycznie) na dość różnorakie możliwości ich wykorzystania do wytwarzania:

- wyrobów ceramiki budowlanej i klinkieru,
- keramzytu,
- form dla odlewnictwa.

Odbiorcą tych iłów były przez pewien czas zakłady ceramiczne w Paradyżu, Opocznie, Przysusze, Zębicach. Przed kilku laty zakład został zamknięty. W ostatnim okresie funkcjonowania z uwagi na wykazywane właściwości fizyko-chemiczne ily te były stosowane do produkcji płuczek wiertniczych przez Przedsiębiorstwo Robót Wiertniczych we Wrocławiu i w Łodzi. Ten fakt, jak i aktualne ich wykorzystanie przy rekultywacji terenów po dawnej kopalni, zasugerowały możliwości innego ich wykorzystania do budowy przesłon hydroizolacyjnych w składowiskach odpadów. Badania takie przeprowadzili K. Kościówko i S. Dyjor (1993).

Skład chemiczny iłów poznańskich z Krańca przedstawiono w tabeli 31.

Tabela 31

Skład chemiczny iłów poznańskich z Krańca wg H. Kościówko i S. Dyjora (1993)

Table 31

The chemical composition of poznańskie clays from the Kraniec by H. Kościówko and S. Dyjor (1993)

Składnik chemiczny	Zawartość (% wag.)
SiO ₂	56,02–58,39 (57,05)
TiO ₂	0,74–1,33 (0,95)
Al ₂ O ₃	18,60–19,21 (18,45)
Fe ₂ O ₃	6,57–10,00 (8,57)
FeO	p.g.w.–0,52 (0,29)
MnO	0,01–0,02 (0,01)
CaO	0,52–0,86 (0,75)
MgO	0,14–1,35 (0,57)
K ₂ O	1,14–2,31 (1,58)
Na ₂ O	p.g.w.–0,38 (0,15)
Straty prażenia	13,36

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie; p.g.w. – poniżej granicy wykrywalności.

Oznaczone zostały też następujące parametry fizyko-chemiczne tej odmiany iłów:

- pojemność jonowymienna: 15,56–21,00 (średnio 18,34 mval/100 g),
- zawartość kationów w kompleksie jonowymiennym (mval/100 g),
 - Na⁺: 0,79–0,94 (średnio 0,86),
 - K⁺: 0,22–0,53 (średnio 0,41),
 - Ca²⁺: 9,30–25,52 (średnio 16,14),
 - Mg²⁺: 1,04–4,50 (średnio 2,58),
- powierzchnia właściwa: 15,7–16,2 (średnio 16,2 m²/g).

Przydatność tej odmiany kopalin do budowy przesłon hydroizolacyjnych przedstawiono w tabeli 32. Można ją uznać za dobrą.

Tabela 32

Właściwości ilów poznańskich z Krańca jako kopalin ilastych stosowanych do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002)

Table 32

The properties of clays from Kraniec as clay mineral resources used in construction of waterproofing diaphragms according to the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	beidellit, kaolinit, illit
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	64% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	10% wag.
Zawartość SiO_2	57% wag.
Zawartość Al_2O_3	18% wag.
Pojemność jonowymienna	13,5–25 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	Ca > Mg > Na > K
Klasa przydatności	dobra

Według H. Kościówko i S. Dyjora (1993).

Na możliwość wykorzystania ilów poznańskich do ekranowania hałd, wysypisk, składowisk, zbiorników ścieków, zwrócił uwagę P. Brański (1994). Biorąc pod uwagę zróżnicowanie ich zdolności sorpcyjnych i jonowymiennych podzielił je na cztery grupy (tab. 33).

Z tabeli tej wynika, że zdecydowana większość osadów ilastych serii poznańskiej może być zaliczona do II i III grupy surowców stosowanych w ochronie środowiska. Odmiany odznaczające się najlepszymi parametrami w tym względzie zalegają w rejonie północno-wschodnim i centralnym. Właśnie one w pierwszej kolejności mogą być wykorzystywane do ekranowania składowisk odpadów. Poza dobrymi zdolnościami sorpcyjnymi i jonowymiennymi decyduje o tym także ich wysoka plastyczność i niska przepuszczalność. Cechy te wynikają z charakteru obecnych w nich minerałów ilastych.

Zdaniem P. Brańskiego (1994) partie ilów poznańskich wzbogacone w smektyty są pod względem właściwości sorpcyjnych zbliżone do karbońskich ilów montmorillonitowych Górnego Śląska.

Iły serii poznańskiej można więc stosować do budowy warstw izolujących zwałowiska, wysypiska śmieci, a także kanałów i zbiorników ściekowych, osadników.

2.2.2. Iły mioceńskie pochodzenia morskiego

Charakterystyka przydatności ilów zapadliska przedkarpacciego do budowy przesłon hydroizolacyjnych jest podana w tabeli 34. Wynika z nich, że odznaczają się one dobrymi lub średnimi predyspozycjami.

Tabela 33

Uproszczona klasyfikacja iłów poznańskich jako surowców stosowanych w ochronie środowiska wg P. Brańskiego (1994)

Table 33

The simplified classification of poznańskie clays as raw materials used in environmental protection by P. Brański (1994)

Grupa	Jakość kopaliny	Litologia	Skład mineralny	Zdolności jonowy-mienne CEC mval/100 g	Zastosowanie
I	wysoka	iły, podrzędnie mułki	dominują minerały ilaste: S>I, K, Ch	> 50	sorbenty wyższej klasy
II	średnio wysoka	iły w przewadze nad mułkami	przeważają minerały ilaste S>I, K, Ch	35–50	sorbenty niższej klasy, materiały ekranujące, rekultywacyjne wyższej klasy
III	średnio niska	iły i mułki	zbliżona zawartość minerałów ilastych i nie ilastych (kwarcu) S = I, K, Ch	25–35	sorbenty niskiej klasy, materiały ekranujące, rekultywacyjne średniej klasy
IV	niska	mułki w przewadze nad iłami	zbliżona zawartość minerałów ilastych i nieilastych (kwarcu) S = I, K, Ch	< 25	materiały ekranujące, rekultywacyjne niskiej klasy

Objaśnienia: S – smektyty, I – illit, K – kaolinit, Ch – chloryty.

Tabela 34

Ocena przydatności iłów zapadliska przedkarpackiego do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002)

Table 34

The usefulness evaluate of Carpathian Depression clays for construction of waterproofing diaphragms according to the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	odmiany mieszanopaketowe illit-smektyt, illit, montmorillonit
Zawartość ziarn poniżej 5 µm	55–70% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 µm	0,5–9% wag.
Zawartość SiO ₂	47–79 (średnio 55,49% wag.)
Zawartość Al ₂ O ₃	8–20% wag.
Pojemność jonowymienna	23–50 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	Ca > Mg > Na > K
Klasa przydatności	średnia lub dobra

Według K. Bahranowskiego i T. Ratajczaka (1979).

Według zaproponowanego przez P. Brańskiego (1994) podziału surowcowego większość skał ilastych zapadliska przedkarpackiego – zarówno odmiany krakowieckie, jak i grabowieckie zalicza się do trzeciej grupy surowców. Oznacza to, że dyskusyjne staje się wykorzystanie przynajmniej ich części np. do ekranowania składowisk. Niektóre ich odmiany np. warstwy grabowieckie zalegające na południe od Krakowa wykazują lepsze właściwości, pozwalające zaliczyć je do drugiej grupy surowców.

Według opinii P. Brańskiego (1994), a również jak to wynika z praktyki, kopaliny zapadliska przedkarpackiego są dobrym surowcem do masowego wykorzystania przy ekranowaniu składowisk. Można je stosować jako warstwy izolujące (lub komponent takich warstw). Są w stanie ograniczyć przesiąkanie do wód gruntowych i powierzchniowych zanieczyszczeń z odpadów przemysłowych, komunalnych i hodowlanych.

2.2.3. Iłolupki karpackie

Charakterystyka mineralogiczna, chemiczna, a zwłaszcza ocena zdolności sorpcyjnych łupków fliszu karpackiego są dalece niewystarczające, aby zakwalifikować ich przydatność do budowy przesłon hydroizolacyjnych.

Tabela 35

Ocena przydatności iłolupków fliszu karpackiego do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002)

The usefulness evaluate of flisch Carpathian silt-shale for construction of waterproofing diaphragms according to the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	illit, kaolinit, montmorillonit
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	13–45% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	około 12% wag.
Zawartość SiO_2	39–61 (średnio 51,35% wag.)
Zawartość Al_2O_3	7–24 (średnio 16,50% wag.)
Pojemność jonowymienna	10–20 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$
Klasa przydatności	nieprzydatne lub średnia

Według T. Ratajczaka (1989).

Skład mineralny, częściowo chemiczny a głównie stan zachowania – wyraźne niekiedy złupkowacenie skał ilastych fliszu decydują o ich średniej przydatności (tab. 35). Niektóre ich odmiany spełniają jednak te kryteria. Wskazują na to badania W. Panny i in. (2014). Przedmiotem zainteresowania tych autorów był łupek fliszowy towarzyszący piaskowcom w kamieniołomie Wysoczany, w gminie Komańcza. Odnacza się on podwyższoną zawartością minerałów ilastych. Jednym z jej składników jest smektyt. Łupek ten stanowi odpad poprzemysłowy powstający w procesie kruszenia piaskowców. Zdaniem autorów istnieją szanse

na wykorzystanie go jako surowca do otrzymywania materiałów przeznaczonych do uszczelniania lokalnych składowisk odpadów. Tę przydatność można polepszyć poprzez sporządzenie mieszanek z kopalinami bentonitowymi występującymi w nieodległym Zagórze lub iłowcami klinoptilolitowo-montmorillonitowymi z Dynowa.

2.2.4. Iły miocenijskie pochodzenia śródlądowego

Ta odmiana iłó w nie budziła jak dotąd zainteresowania jako kopalina mogąca być wykorzystana do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Poza tym okazało się, że w jej przypadku nie dysponowano wynikami badań umożliwiającymi taką ocenę. Stąd przytoczone w tabeli 36 wyniki należy traktować w sposób orientacyjny. Tym nie mniej skład mineralny tych iłó w (dominacja kaolinitu), uziarnienie, pojemność jonowymienna wskazują na dobrą ich przydatność do budowy przesłon hydroizolacyjnych.

Tabela 36

Ocena przydatności iłó w pochodzenia śródlądowego do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002)

Table 36

The usefulness evaluate of origin inland clays for construction of waterproofing diaphragms according to the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	kaolinit, illit, montmorillonit
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	42–95% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	2–20% wag.
Zawartość SiO_2	48–57% wag.
Zawartość Al_2O_3	24–39% wag.
Pojemność jonowymienna	10–14 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$
Klasa przydatności	dobra

Według Z. Kozydry i R. Wyrwickiego (1970).

2.3. Surowce przedkenozoiczne

Według P. Brańskiego (2007) tylko nieliczne odmiany kopalin przedkenozoicznych mogą być uważane za surowce przydatne do wykorzystania w niektórych technologiach ochrony środowiska. Przyczyną takiego stanu rzeczy są m.in. niskie zdolności jonowymienne. Poza karbońskimi utworami bentonitowymi nie są w zasadzie znane odmiany, które można byłoby wykorzystywać do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Stąd też przydatność taką ustalono jedynie w przypadku łupków karbońskich zarówno z GZW, jak i LZW oraz częstochowskich iłó w rudonośnych.

2.3.1. Iły doggeru

Przydatność iłów doggerskich rejonu Częstochowy do budowy przesłon hydroizolacyjnych oceniono na podstawie wyników badań przeprowadzonych w trakcie dokumentowania ich odmian pochodzących z kopalń syderytów „Wręczyca” i „XX-lecia PRL” (Bonarski 1966). Można je ocenić jako średnią (tab. 37). Mając jednak na uwadze znaną dobrą jakość surowcową tej odmiany skał ilastych – jednej z najważniejszych w kraju, badania te należy rozszerzyć i uzupełnić. Wydaje się bowiem, że istnieją szanse na to, by ten właśnie typ kopalin ilastych znalazł zastosowanie przy ekranowaniu składowisk odpadów. Można w ten sposób rozszerzyć też ofertę surowcową zakładów eksploatujących i przetwarzających te iły.

Tabela 37

Ocena przydatności iłów doggeru rejonu Częstochowy do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobaty technicznej...” (2002)

Table 37

The usefulness evaluate of Dogger clays from Czesstochowa region for construction of waterproofing diaphragms according to the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	kaolinit 8–27%, illit 4–16%, smektyt do 10%
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	około 20% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	około 60% wag.
Zawartość SiO_2	38–73% wag.
Zawartość Al_2O_3	15–23% wag.
Pojemność jonowymienna	około 10 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$
Klasa przydatności	średnia lub dobra

Według K. Banarskiego (1966) i T. Mrzygłoda (1996).

Zawartość SiO_2 w tej odmianie iłów obejmuje bardzo szeroki przedział od 38 do 73% wag. (tab. 37). Cechuje je bardzo niska zdolność do wymiany jonowej, niekiedy poniżej 10 mval/100 g. Z kolei ich skład mineralny, a także znaczne niekiedy złupkowacenie stają się zapewne powodem niskiej wodoprzepuszczalności. Spotyka się wśród nich utwory praktycznie nieprzepuszczalne o współczynniku filtracji od 10^{-10} do 10^{-11} m/s.

2.3.2. Łupki karbońskie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

Przydatność łupków karbońskich GZW do budowy przesłon hydroizolacyjnych jest trudna do ustalenia. Nie zostały w ich przypadku przeprowadzone analizy mogące ją określić. W praktyce do dyspozycji pozostaje jedynie ich skład chemiczny dotyczący kolejnych warstw karbonu produktywnego (Tokarski i in. 1964). Jest on w ich przypadku bardzo zróżnicowany (od 35 do 85% wag. SiO_2 i 10 do 30% wag. Al_2O_3). Skład mineralny (kaolinit, illit, montmorillonit) i obficie występująca niekiedy substancja organiczna oraz wyraźne

złupkowacenie – sytuację tę dodatkowo komplikują. Tym niemniej praktyka wskazuje na możliwości wykorzystania łupkowych odpadów poeksploatacyjnych do ekranowania. Przykładem tego jest uszczelnienie obwałowań rzeki Brynicy. Użyto do tego materiału pochodzącego z rozbiórki hałdy KWK „Andaluzja” (Kuś 1996).

2.3.3. Łupki karbońskie Lubelskiego Zagłębia Węglowego

Przydatność łupków ilastych pochodzących z LZW do budowy przesłon hydroizolacyjnych podaje tabela 38.

Tabela 38

Ocena przydatności łupków LZW do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002)

Table 38

The usefulness evaluate of the Lublin Coal Basin slates for construction of waterproofing diaphragms according to the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	kaolinit 30%, illit 26%, chloryt 4%
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	około 30% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	około 26% wag.
Zawartość SiO ₂	41–52% wag.
Zawartość Al ₂ O ₃	20–25% wag.
Pojemność jonowymienna	15–20 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	Ca > Mg > Na > K
Klasa przydatności	średnia lub dobra

Według J. Droby (1994).

Odpady poprzemysłowe pochodzące z KWK „Bogdanka” doczekały się prac praktycznych mających na celu ich aplikację do budowy przesłon hydroizolacyjnych (Borys i in. 2002). Zakończyły się one pozytywnie. Wykazano możliwość ich zastosowania do budowy obwałowań przeciwpowodziowych, wałów rzecznych, zapór ziemnych, zbiorników dołowych, grobli stawów na terenie Lubelszczyzny. Z dużym powodzeniem wykorzystano je przy rewitalizacji obwałowań kanału Wieprz – Krzna.

2.4. Surowce kaolinowe

2.4.1. Haloizyty

Zwierzelina haloizytowa z Dunina oznacza się niskimi pojemnościami jonowymiennymi (tab. 39). Jednak nie powinno to dyskredytować jej zdolności sorpcyjnych a tym samym podatności do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Obecność haloizytu o słabo uporządkowanej budowie wewnętrznej winna umożliwić sorbowanie metali ciężkich w stężeniach wy-

Tabela 39

Właściwości haloizytowej zwietrzliny bazaltowej z Dunina jako kopaliny stosowanej do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002)

Tabela 39

The properties of halloysite weathering from Dunino deposit as mineral resources used for construction of waterproofing diaphragms according to the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	haloizyt 50–60%, kaolinit 35–40%
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	b.d.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	b.d.
Zawartość SiO_2	24–31% wag.
Zawartość Al_2O_3	23–26% wag.
Pojemność jonowymienna	6,1–12,8 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	Ca > Mg > Na > K
Klasa przydatności	wątpliwa

Objaśnienia: b.d. – brak danych.

Według H. Kościółko i S. Dyjora (1993) oraz K. Chomy-Moryl (2002).

stępujących w odciekach ze składowisk. Tę podatność, co może wydawać się zaskakujące, zwiększa obecność drobnodispersyjnego goethytu w tej kopalinie.

Kopaliny te wydają się być utworami bardzo drobnoziarnistymi. Stanowi to również ich atut w kontekście wykorzystania do budowy przesłon. Tym nie mniej ostateczna decyzja w tej sprawie wymaga dalszych badań.

2.4.2. Mioceńskie surowce kaolinowe

W złożu „Rusko-Jaroszów” kaolinowym ilom ogniotrwałym na niektórych poziomach eksploatacyjnych towarzyszą skały ilaste, które nie spełniają kryteriów technologicznych surowców ogniotrwałych. Głównym składnikiem spoiwa ilastego tych ilów jest kaolinit. Przeważa on nad illitem i smektytem. Charakteryzuje się słabym uporządkowaniem struktury wewnętrznej. Traktować go też można jako surowiec przydatny do otrzymywania wyrobów biało wypalających się. Jak się okazało, tego typu kopaliny ze względu na swój skład mineralny (dominację kaolinitu o „sztywnej” strukturze ograniczającej sorbowanie metali), a także z uwagi na uziarnienie były uznawane za odmiany nienadające się do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Tym nie mniej dokonano próby ustalenia tej przydatności (Wyszomirski 1995). W tym celu, w przypadku tych ilów ustalono:

- właściwości sorpcyjne,
- wskaźnik zagęszczenia,
- wilgotność.

Wykazano, że osady te charakteryzują się wysokimi możliwościami sorpcji metali ciężkich – Cr, Cu, Pb, Zn. Obserwuje się to już w sytuacji rozcieńczonych roztworów o niedu-

zym ich stężeniu rzędu 50–250 mg/dm³. Wartości te są ważne, ponieważ wydają się być najbardziej zbliżone do rzeczywistych warunków panujących w składowiskach odpadów, uzasadniając wykorzystanie tych osadów do budowy przesłon hydroizolacyjnych.

Efektywność sorbowania analizowanych kationów można uszeregować w następującej kolejności: Pb > Cu > Cd > Cr > Zn.

Oznaczony wskaźnik zagęszczenia – I_s okazał się w przypadku tych ilów znacznie wyższy od wartości wymaganych przez L. Wysokińskiego (2007) w przypadku kopalni przeznaczonych do uszczelniania zwałowisk, tj. od wartości 95.

Rezultaty tych badań, tzn. ich skład mineralny (a zwłaszcza charakter asocjacji minerałów ilastych), korzystne wartości pojemności jonowymiennej, intensywne sorbowanie metali ciężkich oraz parametry geotechniczne (m.in. wskaźnik zagęszczenia, wilgotność) wskazują, że ily nieogniotrwałe z kopalni „Rusko-Jaroszów” spełniają wymagania ilów stosowanych do budowy składowisk odpadów (Wyszomirski 1995).

Badania tego typu zostały uzupełnione poprzez oznaczenie parametrów wynikających z „Aprobaty technicznej...” (2002). Nie do końca potwierdziły one przytoczone wcześniej rezultaty (Ratajczak red. 2012). Iły te odznaczają się dobrymi właściwościami sorpcyjnymi, jednak inne ich parametry – skład chemiczny, uziarnienie, kolejność sorbowania kationów metali ciężkich wydają się przydatność taką podważać. Wynika to być może z dominującej roli kaolinitu wśród minerałów ilastych. Mineral ten nie odznacza się najlepszymi właściwościami sorpcyjnymi i sytuacji tej nie zmienia fakt, że kaolinit obecny w iłach z „Rusko-Jaroszowa” reprezentuje odmianę o nieuporządkowanej budowie wewnętrznej, bardziej predysponowaną do pochłaniania chociażby metali ciężkich.

Właściwości parametrów charakteryzujących przydatność tych ilów do budowy przesłon hydroizolacyjnych wykonane zgodnie z wymogami „Aprobaty technicznej...” (2002) przedstawia tabela 40. Wynika z nich, że istnieje możliwość wykorzystania ich w charakterze przesłon hydroizolacyjnych. Mogą one poza tym być zastosowane do formowania kompleksowych warstw ekranujących, jako jeden z ich komponentów.

Charakteryzując przydatność mioceńskich osadów kaolinowych do budowy przesłon nie można pominąć złoża „Kraniec”. W zaproponowanym w Opracowaniu podziale kopalni „hydroizolacyjnych” z uwagi na wiek zalegających w nim utworów zostały one omówione w rozdziale 2.2.1. Tymczasem M. Nieć i T. Ratajczak (2004) plasują je w grupie ilów ogniotrwałych i kamionkowych. W tej sytuacji wyniki badań dotyczące ich przydatności do budowy przesłon hydroizolacyjnych można traktować jako uzupełnienie wiedzy na ten temat w przypadku mioceńskich osadów kaolinowych.

2.4.3. Surowce kaolinowe z płukania piasków szklarskich

Dokonano próby oceny przydatności do budowy przesłon hydroizolacyjnych surowców kaolinowych otrzymywanych w wyniku płukania piasków szklarskich pozyskiwanych w kopalniach piasków kwarcowych „Osiecznica” i „Grudzień Las”. Skorzystano z wyników badań K. Galosa i in. (2012). Są one niekompletne w kontekście wymagań „Aprobaty technicznej...” (2002). Obejmują skład mineralny i chemiczny oraz uziarnienie. Jednakże chociażby

Tabela 40

Charakterystyka ilów kamionkowych ze złoża ilów ogniotrwiałych „Rusko-Jaroszów” jako kopalni ilastych stosowanych do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobaty technicznej...” (2002)

Table 40

The characteristics of stoneware clays from the “Rusko-Jaroszów” deposits as clay mineral resources used for construction of waterproofing diaphragms according to the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	kaolinit 21–76%, illit 8–42%, montmorillonit 3–15%
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	35–95% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	1–10% wag.
Zawartość SiO_2	44–81% wag.
Zawartość Al_2O_3	10–35% wag.
Pojemność jonowymienna	19–21 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$
Klasa przydatności	średnia, dobra

Według „Kompleksowej dokumentacji geologicznej...” (1991).

fakt dominacji w nich kaolinitu (do 90%) zdaje się przesądzać o braku ich przydatności do ekranowania składowisk odpadów.

2.5. Bentonity

2.5.1. Iły montmorillonitowe Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

Badania fizykochemiczne górnośląskich ilów bentonitowych w celu wykazania możliwości ich praktycznego wykorzystania były prowadzone od lat przez wiele ośrodków naukowo-badawczych. Pozwoliły zaliczyć je do jednej z najlepszych odmian krajowych sorbentów mineralnych. Badania nie dotyczyły jednak zastosowania ich w charakterze surowców do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Tym nie mniej, część z nich obejmuje parametry stanowiące kryteria takich zastosowań zgodnie z „Aprobata techniczną...” (2002). Okazało się, że pojemność kationów dwuwartościowych wynosi w nich 17,2 mval/100 g, a jednowartościowych 1,5–27,2 mval/100 g. Zaś sumarycznie dochodzi niemal do 100 mval/100 g. Są to utwory z wyraźną przewagą frakcji ilastej. Zawartość w nich SiO_2 waha się w przedziale 49–68% wag., a Al_2O_3 mieści się w granicach 16–22% wag. Przeprowadzone badania i ich wyniki wykazały, że skały te mogą być wykorzystywane w ochronie środowiska do usuwania kationów metali ciężkich, związków organicznych oraz fenoli ze ścieków. Po aktywacji kwasowej można z nich otrzymać sorbenty pochłaniające zasadowe związki organiczne i amoniak ze ścieków przemysłowych oraz hodowlanych. Tak więc wydaje się, że iły bentonitowe z karbonu górnośląskiego spełniają kryteria „Aprobaty technicznej...” (2002), a ich

praktyczne wykorzystanie ma szansę zostać rozszerzone o zastosowanie w charakterze przesłon hydroizolacyjnych w składowiskach odpadów.

2.5.2. Iły bentonitowe Karpat i zapadliska przedkarpackiego

Charakterystyka iłów montmorillonitowych z Machowa i Chmielnika, a także bentonitów i iłowców klinoptilolitowo-montmorillonitowych z Dynowa stanowiła treść rozdziałów w monografii „Sorbenty mineralne Polski” (Kłapyta, Żabiński red. 2008). Ich autorami byli nie tylko specjaliści od lat zajmujący się tą problematyką, ale odkrywcy niektórych tych wystąpień. Każda z odmian tych sorbentów posiada nie tylko charakterystykę mineralogiczno-chemiczną, ale i informacje na temat ich właściwości fizykochemicznych, a także możliwości praktycznego wykorzystania. Rezultaty te obejmują również parametry będące kryteriami „Aprobaty technicznej...” (2002).

Iły bentonitowe rejonu Machowa według zaproponowanego przez P. Brańskiego (2004) podziału skał ilastych ze względu na ich przydatność do ochrony litosfery można zaliczyć do drugiej grupy. Oznacza to, że „bardzo dobrze” nadają się przy ekranowaniu składowisk odpadów. W tym celu mogą one być stosowane samoistnie jako warstwy izolujące, a także w charakterze komponentu z innymi surowcami.

Iły bentonitowe z Chmielnika mimo dużej powierzchni właściwej 90–100 m²/g nie były wykorzystywane w charakterze sorbentów mineralnych. Tymczasem zarówno one, jak i odmiany zalegające w niedalekim Jaworzu, Górkach czy Łaziskach wydają się stanowić kopalinę spełniającą według „Aprobaty technicznej...” (2002) kryteria co najmniej klasy średniej tego typu surowców. Zresztą już wcześniejsze badania wykazały ich podatność do sorbowania niektórych substancji toksycznych ze ścieków przemysłowych.

W przypadku łupków klinoptilolitowo-montmorillonitowych z Międzybrodzia nie wykonano jak dotąd żadnych badań ich właściwości sorpcyjnych. Odmiany spotykane w okolicach Dynowa posiadają pojemność jonowymienną w zakresie 54–86 mval/100 g. Są dobrymi sorbentami metali przejściowych m.in. Cr, Cu, Pb, Zn. Wykazano, że kationy te są usuwane przez uzyskane na ich bazie koncentraty zeolitowe, w krótkim czasie (kilkanaście minut) w ilości około 80% z roztworów. Świadczy to o ich bardzo dobrych właściwościach sorpcyjnych. Wydaje się, że kopaliny te z uwagi na specyficzne właściwości fizykochemiczne mogą stanowić potencjalną bazę surowcową wykorzystywaną w inżynierii i w ochronie środowiska, w tym także do budowy przesłon hydroizolacyjnych w składowiskach odpadów.

2.5.3. Smektytowe zwietrzliny bazaltowe

Kopaliny te wydają się być bardzo dobrymi sorbentami mineralnymi. Ich powierzchnia właściwa ma wartość 121–148 m²/g. Zarówno powierzchnia, jak i pojemność jonowymienna zdają się gwarantować zatrzymywanie związków organicznych i innych niebezpiecznych substancji, a tym samym wykorzystanie do ekranowania składowisk odpadów. Tymczasem decydujące o tym kryteria wynikające z „Aprobaty technicznej...” (2002), a częściowo również praktyka przesądzają zupełnie inaczej. Wynika z nich, że są one nieprzydatne do takich technologii (tab. 41). Przyczyną jest ich znaczna rozmakalność. Sytuacja ta nie wyklucza

Tabela 41

Właściwości smektytowej zwietrzliny bazaltowej z Dolnego Śląska jako kopaliny stosowanej do wykonywania przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002)

Table 41

The properties of smectite weathering of basalt from Lower Silesia as mineral resources used for construction of waterproofing diaphragms according to the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	smektyt do 90%, kaolinit 5–10%
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	10% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	26–78% wag.
Zawartość SiO_2	23–31% wag.
Zawartość Al_2O_3	23–26% wag.
Pojemność jonowymienna	68–82 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$
Klasa przydatności	nieprzydatne lub średnie

Według H. Kościółko i S. Dyjora (1993).

jednak innej możliwości. Mianowicie realne wydaje się wykorzystanie ich w charakterze komponentu z innymi surowcami stosowanymi przy budowie przesłon.

Do innych wniosków doszli K. Choma-Moryl (2002) oraz K. Choma-Moryl i M. Rimke (2005) badając możliwości wykorzystania ilastych zwietrzelin bazaltowych w charakterze materiałów ekranujących. Ich skład granulometryczny odpowiada gruntom spoistym o zawartości frakcji ilastej powyżej 10% wag. Można je określić jako gliny, gliny piaszczyste i gliny zwięzłe. Wykonane z tych zwietrzelin uszczelnienia składowisk winny sorbować wszelkie szkodliwe substancje znajdujące się w odciekach. Są one w stanie zatrzymywać metale ciężkie, związki organiczne i inne niebezpieczne substancje występujące w dużych stężeniach.

Także E. Lewicka i P. Wyszomirski (2004) są zdania, że zwietrzelina smektytowa z Krzeniowa może być wykorzystana do budowy przesłon hydroizolacyjnych w przypadku składowisk odpadów.

2.6. Kopaliny towarzyszące i mineralne surowce odpadowe

W przypadku mineralnych surowców odpadowych ich przydatność do budowy przesłon hydroizolacyjnych ustalono w przypadku:

- ilów doggerskich zalegających na zwałowiskach w okolicach Częstochowy,
- mułów poflotacyjnych ze wzbogacania węgla w GZW,
- mułów poflotacyjnych ze wzbogacania rud miedzi.

2.6.1. Iły doggeru

W przypadku ilów doggerskich, składowanych na zwałowiskach w rejonie częstochowskim, badano sorpcje i desorpcje kationów Cd, Pb i Zn (Mrzygłód 1996). Najlepiej sorbowany był kation ołowiu. Przy stężeniu wyjściowym równym 100 ppm jego sorpcja wyniosła prawie 100%. Desorpcja metali związanych w procesie wykazała, że trwałość ich związania jest różna. Największa w przypadku Pb – do 36% (przy stężeniu wyjściowym 500 mg/dm³). Dowodzi to dość silnego związania tego metalu.

Wykazane wartości właściwości sorpcyjnych kwalifikują iły ze składowiska po eksploatacji syderytów jako dobrej klasy sorbenty mineralne. Odznaczają się one dobrymi, a nawet najlepszymi parametrami w kontekście wykorzystania ich do budowy przesłon hydroizolacyjnych (tab. 42). Dotyczy to zwłaszcza ich składu chemicznego. Natomiast wątpliwości w tym kontekście może budzić ich granulometria, jak i w pewnym sensie skład mineralny. Wydaje się jednak, że reprezentują kopalinę przydatną do budowy przesłon hydroizolacyjnych w składowiskach odpadów.

Tabela 42

Charakterystyka rudonośnych ilów doggeru ze zwałowisk w rejonie częstochowskim jako kopalin do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg kryteriów „Aprobaty technicznej...” (2002)

Table 42

Characteristics of ore-bearing Dogger clays from waste tip from the Częstochowa region as mineral resources used for construction of waterproofing diaphragms according to the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	kaolinit, illit, montmorillonit
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	42–61% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	1–20% wag.
Zawartość SiO ₂	średnio 63% wag.
Zawartość Al ₂ O ₃	średnio 23% wag.
Pojemność jonowymienna	około 18 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	Ca > Mg > K > Na
Klasa przydatności	dobra, najlepsza

Według T. Ratajczaka (1998).

Potwierdzeniem możliwości takiego kierunku utylizacji są czynione z pozytywnym efektem próby ich wykorzystania do izolowania ścian miejskiego wysypiska śmieci w Młynku-Sobuczynie. Wykorzystano w tym charakterze iły zgromadzone na jednym ze zwałowisk.

2.6.2. Muły poflotacyjne z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

Mając na uwadze ocenę przydatności odpadów poprzemysłowych pochodzących ze wzbogacania węgla w GZW do budowy przesłon hydroizolacyjnych posłużono się wynikami badań przeprowadzonymi w przypadku ich odmian z KWK „Janina” (Ratajczak, Strzelska

-Smakowska 2007). Są one podane w tabeli 43. Ich skład chemiczny i mineralny zdają się świadczyć o „najlepszej” przydatności do budowy przesłon. Natomiast zły rozkład uziarnienia, jak i pojemność jonowymienna, możliwość taką wykluczają. Stąd też wykorzystanie mułów do ekranowania określić można jako co najwyżej średnie.

Tabela 43

Przydatności hydroizolacyjna odpadów poflotacyjnych pochodzących z procesów wzbogacania węgla w GZW wg kryteriów „Aprobata technicznej...” (2002)

Table 43

The waterproofing suitability of waste from the flotation process of coal in the Upper Silesian Coal Basin according to the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	illit 15%, kaolinit 20%, odmiany mieszanopakietowe 34%
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	38–58% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	8–16% wag.
Zawartość SiO_2	38–60% wag.
Zawartość Al_2O_3	7–16% wag.
Pojemność jonowymienna	29–53 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	$\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$
Klasa przydatności	co najwyżej średnia

Według T. Ratajczaka i B. Strzelskiej-Smakowskiej (2007).

Pojemność jonowymienna i ilość kationów wymiennych w mułach z GZW była przedmiotem badań I. Twardowskiej i in. (1988). Autorzy wykazali, że jest ona zmienna, zawarta w dość szerokim interwale. Natomiast wśród kationów wymiennych dominuje Na^+ . Jego udział w kompleksie sorpcyjnym wynosi 41–48%. Potas odgrywa rolę marginalną (około 9%). Pozostałą część pozycji wymiennych zajmują Ca^{2+} i Mg^{2+} , z wyraźną przewagą tych pierwszych.

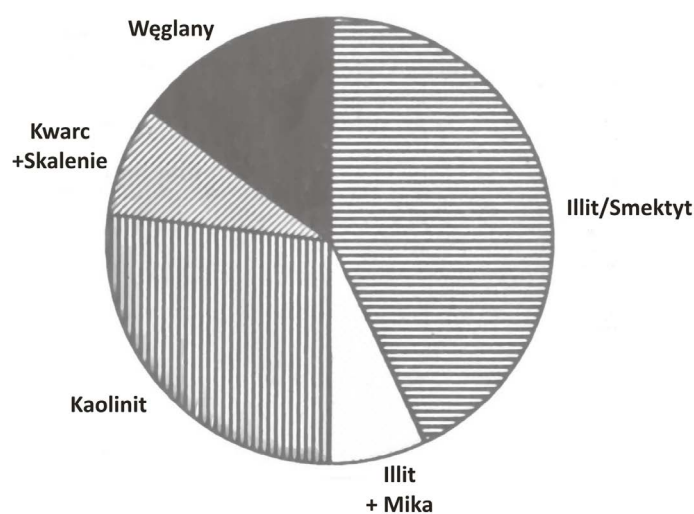
Tymczasem w zupełnie innym kontekście należy rozpatrywać możliwości hydroizolacyjne mułów poflotacyjnych pochodzących ze wzbogacania węgla kamiennego w przypadku badań przeprowadzonych przez F. Święcha (2005). Dotyczyły one ich odmian zalegających na zwałowisku KWK „Janina”. Autor ustalił warunki pH panujące na tym zwałowisku. Mieściły się one w przedziale 1,96–7,32. Średnio wynosiły 4,34. Świadczą o wyraźnym kwaśnym charakterze środowiska fizykochemicznego hałdy. Jednocześnie ustalona została także zawartość niektórych metali ciężkich. W zasadzie w każdym przypadku wyraźnie przekraczała ona tzw. średnie klarkowe. Np. w przypadku Cd od 0,5 do 50 ppm, Cr 9,5–95,5 ppm, Pb 43,3–193,3 ppm, Zn 14–559 ppm.

Konfrontacja uzyskanych rezultatów badań przez F. Święcha (2005) pozwala nie tylko na ocenę możliwości wpływu zgromadzonych odpadów na środowisko naturalne (jest ona ne-

gatywna), ale również na sformułowanie opinii dotyczącej możliwości ich wykorzystania do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Wydają się one być wątpliwe, a uzyskane parametry zdają się przesądzać o ich nieprzydatności. Warunki pH panujące na składowisku, czyli jego kwasowość to jeden z istotnych parametrów wpływających na ruchliwość metali, ich mobilizację i łatwość wymywania. Wydaje się on być znaczny. Stwarza zagrożenie ich migracji do wód podziemnych i powierzchniowych. Tak więc skojarzenie tych faktów w przypadku zwałowiska KWK „Janina” – niskiego pH i znacznej w nim koncentracji metali ciężkich zdaje się eliminować ich wykorzystanie do budowy przesłon hydroizolacyjnych.

2.6.3. Odpady poprzaróbcze z Lubelskiego Zagłębia Węglowego

Ilościowy skład mineralny odpadów poprzaróbczych pochodzących z KWK „Bogdanka” stanowił przedmiot zainteresowań K. Górniak i in. (1999). Wykazano, że występują w nich minerały ilaste, kwarc, skalenie, miki. Udział składników nieilastych jest zmienny (rys. 28). Minerale ilaste są reprezentowane przez kaolinit i odmiany mieszanopaketowe illit/smektyt a w mniejszych ilościach illit, chloryt. Odpady te zbudowane są z polimineralnych agregatów wymienionych minerałów ilastych. Kwarc, skalenie, miki, węglany i okruchy węgla koncentrują się we frakcji pylastej.



Rys. 28. Ilościowy skład mineralny odpadów poflotacyjnych ze wzbogacania węgla kamiennego w KWB „Bogdanka” wg K. Górniak (1999)

Fig. 28. The quantitative mineral composition of flotation waste from “Bogdanka” coal enrichment by K. Górniak (1999)

O przydatności tych mułów do budowy przesłon hydroizolacyjnych trudno jednoznacznie wyrokować. Na przeszkodzie staje głównie wąski zasób wiedzy na temat ich właściwości a przede wszystkim brak wyników badań w przypadku większości parametrów określających taką przydatność wg „Aprobaty technicznej...” (2002).

2.6.4. Kopaliny towarzyszące z złożach węgla brunatnego

KWB „Bełchatów”

Wyniki badań mineralogicznych i wykazane właściwości sorpcyjne spowodowały, że zainteresowano się iłami beidellitowymi jako potencjalnymi sorbentami mineralnymi (Ratajczak i in.; praca w druku). Z racji obecności w nich ponad 60% beidellitu i montmorillonitu zdają się one spełniać te kryteria. Wykazano ich przydatność do sorbowania metali ciężkich, chociażby Cr (Bajda, Ratajczak 2005). Z kolei R. Sałaciński i A. Gąsiński (2012) przeprowadzili z pozytywnym efektem próby sorpcji przez te ily kationów innych metali – Co, Cu, Ni, Pb, Zn z roztworów wodnych.

Celem wykazania zdolności iłów beidellitowych z Bełchatowa do budowy przesłon hydroizolacyjnych skonfrontowano rezultaty badań granulometrycznych, chemicznych, mineralogicznych i fizyko-chemicznych z wymogami proponowanymi przez „Aprobata techniczną...” (2002). Wynika z tego, że:

- zawierają one 45–62% wag. ziarn mniejszych od 5 μm . Oznacza to, że można je zaliczyć do najlepszej i dobrej klasy przydatności,
- skład chemiczny: SiO_2 – ponad 55% wag. (dobra przydatność), a z kolei Al_2O_3 zawarte w przedziale około 22–30% wag. oznacza przydatność najlepszą i dobrą,
- wskaźnik plastyczności wynoszący od 61 do 76 nie odpowiada kryteriom przydatności proponowanym przez „Aprobata techniczną...”,
- dominacja wśród minerałów ilastych beidellitu oznacza, że ily te definiować należy jako średnie lub nieprzydatne. Ich wykorzystanie do budowy przesłon będzie wymagało modyfikacji charakteru mineralnego,
- wartości pojemności jonowymiennej są wysokie. Obejmują szeroki przedział wartości od 32 do 57 mval/100 g. E. Majer (2005) oceniła ją jako mniejszą 27–30 mval/100 g. Oznacza to, że klasę przydatności tych iłów można określić jako dobrą lub średnią. Kolejność sorbowania kationów jest następująca: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$.

Uzyskane rezultaty badań wskazują, że ily beidellitowe z kompleksu ilasto-piaszczystego w Bełchatowie odznaczają się dobrymi lub umiarkowanymi wartościami parametrów sorpcyjnych. Będą w stanie zapobiegać przemieszczaniu kationów niebezpiecznych dla wód i gruntów. Według E. Majer (2005) mogą one być wykorzystywane jako warstwy hydroizolujące składowiska, warstwy rekultywacyjne, pionowe przesłony iłowe, uszczelniania górotworu w kopalniach węgla kamiennego. Przydatność ta została zresztą wskazana wcześniej, a nawet wdrożona. Ily te są bowiem stosowane do izolacji składowisk:

- odpadów komunalnych Elektrowni „Bełchatów”,
- popiołów Elektrowni „Bełchatów”,
- odpadów niebezpiecznych w Zakładach Chemicznych „Tarnowskie Góry”,
- odpadów przemysłowych w Hucie Cynku „Miasteczko Śląskie”.

W przypadku Elektrowni „Bełchatów” służą one też do wykonywania mieszanek samozestalających z popiołami lotnymi stosowanymi do uszczelniania odpadów.

Rejon Konina i Adamowa

Kopalinami towarzyszącymi w odkrywkach eksploatujących węgiel brunatny w rejonie Konina i Adamowa są głównie ility poznańskie. Zarówno ich litologia, skład mineralno-chemiczny, a także niektóre właściwości fizykochemiczne omówione zostały w rozdziale 1.1.2. Ponadto charakterystyki tych iłów uzasadniającej ich możliwości wykorzystania do budowy przesłon dokonano także omawiając ten sam typ skał jako jedną z odmian ilastych kopalin trzeciorzędowych (rozdz. 2.2.1).

Obydwie te sytuacje stanowią podstawę do oceny przydatności tych iłów do budowy przesłon hydroizolacyjnych.

Ily poznańskie będące kopalinami towarzyszącymi w przypadku kopalń węgla brunatnego w rejonie Konina i Adamowa spełniają kryteria przydatności do budowy przesłon hydroizolacyjnych.

Złoże węgla brunatnego „Turów”

Właściwości sorpcyjne iłów turoszowskich, a dotyczy to wszystkich ich odmian litologicznych, z uwagi na swój w przewodzie illitowo-kaolinitowy skład mineralny oraz przeciętny, zbyt mały udział minerałów ilastych świadczą o nieprzydatności do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Tym nie mniej przeprowadzono badania nad możliwością takiego wykorzystania iłów (Kasza i in. 1994). Okazało się, że niektóre ich odmiany spełniają te wymagania.

Ich niepełna charakterystyka parametrów decydujących o takich właściwościach wygląda następująco:

- zawartość frakcji poniżej 5 μm : 45–75% wag.,
- zawartość frakcji powyżej 50 μm : 1,7–7% wag.,
- skład mineralny: kaolinit (38–70% obj.), illit i hydromuskowit (8–39% obj.).

Należy również wspomnieć o ich bardzo zróżnicowanym składzie chemicznym. Wszystko to zdaje się wskazywać na brak możliwości wykorzystania tych iłów do budowy przesłon. Sytuacja taka może okazać się możliwa w indywidualnych przypadkach dotyczących określonych partii czy nawet odmian litologicznych iłów. Również modyfikacja ich właściwości mineralogicznych czy fizykochemicznych może podatność taką umożliwić.

2.6.5. Mulki poflotacyjne ze wzbogacania rud miedzi

Przydatność do budowy przesłon hydroizolacyjnych określono w przypadku odpadów poflotacyjnych pochodzących z kopalni miedzi „Konrad” (Ratajczak 2002). Zawierają one około 10% wag. ziarn mniejszych od 5 μm i 90% powyżej 50 μm . Nie wykazano w nich obecności kaolinitu. W znacznych ilościach występują natomiast węglany. Sumaryczna zawartość kalcytu i dolomitu wynosi około 50%. Zatem zarówno ich charakterystyka mineralogiczna, jak również wartości pozostałych parametrów przesądzają o nieprzydatności tego typu odpadów do budowy przesłon hydroizolacyjnych (tab. 44).

Przedmiotem zainteresowań mineralogiczno-chemicznych A. Duczmal-Czernikiewicz (2013) były odpady poflotacyjne po przeróbce rud miedzi w LGOM, gromadzone m.in. na

Tabela 44

Właściwości hydroizolacyjne szlamów poflotacyjnych z kopalni miedzi „Konrad” wg kryteriów „Aprobaty technicznej...” (2002)

Table 44

The usefulness evaluate of flotation sludge from the „Konrad” copper mine according to the “Technical Approval...” (2002)

Właściwości	Charakterystyka przydatności
Skład mineralny, podstawowe minerały ilaste	illit 10%, montmorillonit 22%
Zawartość ziarn poniżej 5 μm	9% wag.
Zawartość ziarn powyżej 50 μm	27% wag.
Zawartość SiO_2	40% wag.
Zawartość Al_2O_3	11% wag.
Pojemność jonowymienna	9 mval/100 g
Skład kationów wymiennych	$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$
Klasa przydatności	nieprzydatne

Według T. Ratajczaka (2002).

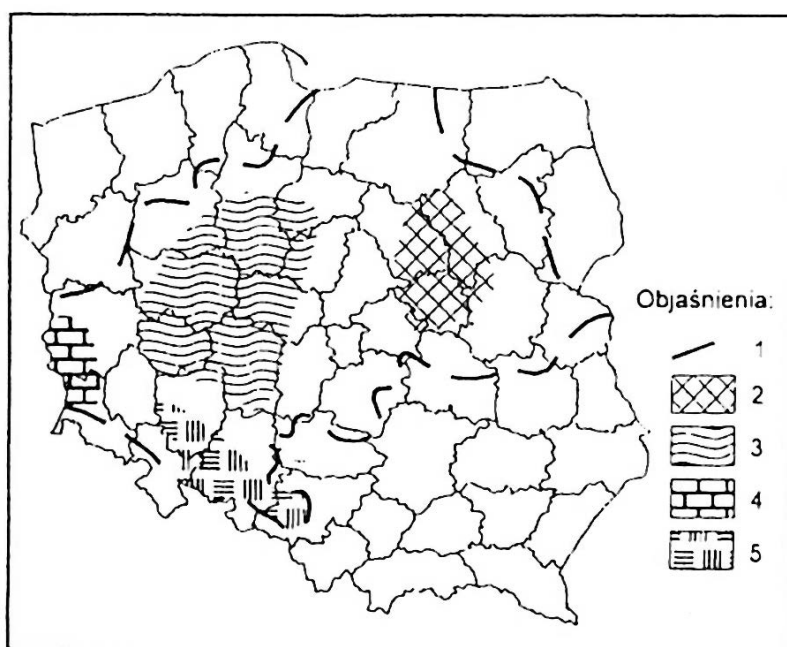
zwałowisku „Żelazny Most”. Autorka analizowała również możliwości ich wykorzystania w ochronie środowiska. Dowiodła, że nie nadają się one budowy przesłon hydroizolacyjnych. Wynika to z ich składu chemicznego i mineralnego – znacznej zawartości węglanów, a przede wszystkim z powodu obecności w nich metali ciężkich i toksycznych.

Obie sytuacje zdają się przesądzać o braku możliwości wykorzystania odpadów poflotacyjnych z przetwórstwa rud Cu do budowy przesłon hydroizolacyjnych.

IV. Podsumowanie

- I. Podstawę oceny skał ilastych zalegających na terenie Polski do budowy przesłon hydroizolacyjnych stanowiły kryteria stanowiące treść „Aprobaty technicznej...” (2002). Jest to jedna z istniejących propozycji dotyczących zasad klasyfikacji oceniających taką przydatność tych skał. Nie posiada ona jednak charakteru uniwersalnego, uwzględniającego wszystkie uwarunkowania decydujące o takim wykorzystaniu. Akcentuje natomiast potrzebę i konieczność znajomości składu mineralnego jako kryterium podstawowego tej oceny. Być może odbywa się to kosztem braku wyeksponowania czy nawet znajomości innych cech tych kopalin, zwłaszcza geologiczno-inżynierskich. Uzasadnienie tak przyjętej koncepcji opracowania wynika stąd, że znajomość problematyki mineralogicznej jest warunkiem *sine qua non*, stymulującym pozostałe właściwości. Pozwala też na właściwą ich interpretację. Akcentowana przez „Aprobata techniczną...” (2002) ważność znajomości składu mineralnego stwarza też szansę jej porównania z innymi klasyfikacjami, które tego aspektu nie są pozbawione, a dotyczy to chociażby „Zasad oceny przydatności gruntów...” (Wysokiński red. 2007).
- II. Prace studialne, które objęły zapoznanie się z treścią wydawnictw opublikowanych i archiwalnych, umożliwiły charakterystykę mineralogiczną większości skał ilastych Polski. Wraz z danymi granulometrycznymi, składem chemicznym i niektórymi właściwościami fizykochemicznymi stały się podstawą do sformułowania wniosków na temat możliwości wykorzystania tych kopalin do izolowania składowisk odpadów. Wyniki tych prac wskazują, że polskie skały ilaste charakteryzują się zróżnicowaną przydatnością do budowy przesłon hydroizolacyjnych. W tabeli 45. dokonano próby tej oceny w kontekście kryteriów będących treścią „Aprobaty technicznej...” (2002). W przypadku odmian kopalin ilastych będących obiektem zainteresowania w opracowaniu wygląda ona następująco:
 - a. Możliwości wykorzystania w zasadzie wszystkich odmian czwartorzędowych skał ilastych są ograniczone. Większość z nich należy zaliczyć do nieprzydatnych. Wyjątkiem są częściowo gliny zwałowe i ily warwowe. Ocena taka dotyczy nie tylko udokumentowanych geologicznie nagromadzeń tego typu kopalin. Jest aktualna również w przypadku mad rzecznych, lessów, glin zwałowych współwystępujących z innymi eksploatowanymi kopalinami.
 - b. Zupełnie inne wnioski można sformułować w przypadku większości odmian trzeciorzędowych skał ilastych. Część z nich wykazuje dobre, a nawet bardzo dobre wła-

ściwości uzasadniająca możliwość wykorzystania ich do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Dotyczy to zwłaszcza mio-plioceńskich ilów poznańskich i skał ilastych z zapadliska przedkarpackiego. Jedne i drugie można stosować do uszczelniania składowisk odpadów. Stanowią one też właściwy „budulec” budowli hydrotechnicznych: kanałów, zbiorników ściekowych, osadników, rowów melioracyjnych. Przydatność ilów poznańskich wydaje się być lepsza z racji wyższych zdolności sorpcyjnych. Największą taką przydatność wykazują ich odmiany wzbogacone w smektyty. Niestety występują one lokalnie i mają nieduże rozprzestrzenienie. Właściwości te są poza tym uwarunkowane lokalizacją ilów na obszarze zbiornika sedimentacyjnego ujmującego granice ich zalegania (rys. 29), a także typem litostratygraficznym. Wykonane ostatnio badania wskazują, że do tej grupy trzeciorzędowych kopalin ilastych mogą dołączyć niektóre łupki karpackie (Panna i in. 2014).



Rys. 29. Zróżnicowanie właściwości sorpcyjnych ilów poznańskich wg B. Łuczak-Wilamowskiej (1995)

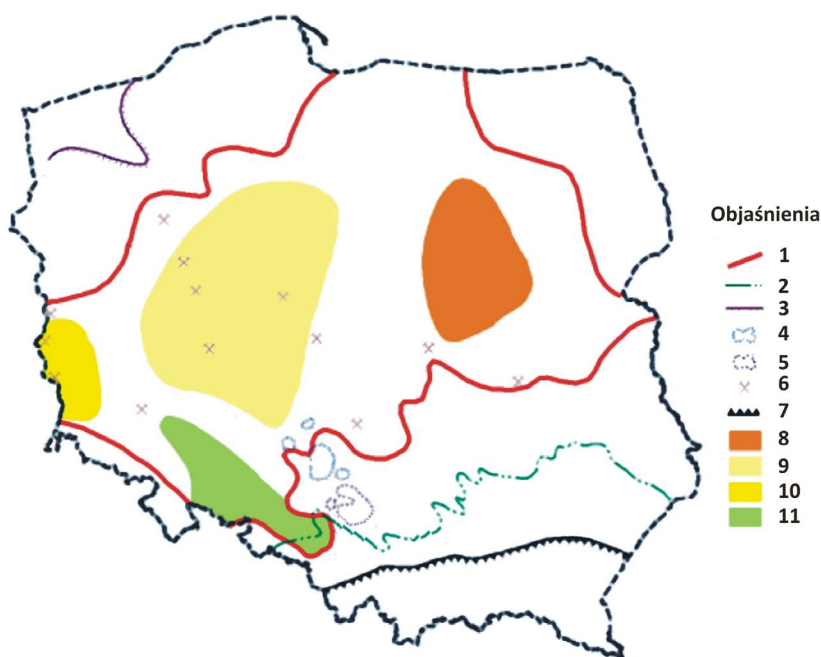
Objaśnienia: 1 – granica zasięgu serii poznańskiej; 2 – CEC 13,5 – 43 mval/100 g;
3 – CEC 16,5–50,3 mval/100 g; 4 – CEC 7–23 mval/100 g; 5 – CEC 21–35,1 mval/100 g

Fig. 29. The differentiation of poznańskie clays sorption properties by B. Łuczak-Wilamowski (1995)

- c. Spośród przedkenozoicznych kopalin ilastych przedmiot zainteresowań w opracowaniu stanowiły tylko niektóre ich rodzaje. Spośród nich, odmianą mogącą znaleźć zastosowanie do izolacji składowisk odpadów stanowią ily doggerskie (rys. 30). W przypadku innych odmian, chociażby łupków karbońskich, wykorzystanie takie staje się ograniczone czy wątpliwe z uwagi głównie na ilość i charakter minerałów

ilastych oraz znaczny stopień złupkowacenia. Stwierdzenie to nie dotyczy oczywiście karbońskich iłów montmorillonitowych.

- d. Możliwości wykorzystania surowców kaolinowych do budowy przesłon hydroizolacyjnych wydają się być ograniczone. Wynika to z ich składu mineralnego i dominacji w nich kaolinitu, minerału o „sztywnej” zazwyczaj strukturze ograniczającej wartości powierzchni właściwej i pojemności jonowymiennej. Chociaż prognozy takie nie zawsze się spełniają. Wskazują na to chociażby rezultaty badań uzyskane w przypadku odmian tych kopalni zalegających w złożu „Rusko-Jaroszów”.
 - e. Inaczej wygląda sytuacja w przypadku kopalni bentonitowych. Z uwagi na dominację w ich składzie mineralnym beidellitu czy montmorillonitu, minerałów odznaczających się wysokimi właściwościami powierzchni właściwej i pojemności jonowymiennej, wydawałoby się, że w zdecydowanej większości powinny nadawać się do wykorzystania przy budowie przesłon hydroizolacyjnych. Są też w takim charakterze stosowane. Mankamentem takiego zastosowania, jak wykazuje praktyka, jest ich znaczna rozmakalność, cecha wynikająca ze struktury tych minerałów ilastych. Jednakże ten typ kopalni rzadko jest spotykany w Polsce. Poza tym geologiczno-górnictwe warunki zalegania sprzyjają ich eksploatacji.
 - f. Duże nadzieje należy wiązać z możliwością wykorzystania przy budowie przesłon hydroizolacyjnych kopalni towarzyszących i mineralnych surowców odpadowych. Ich obecność związana jest z procesami eksploatacji, przeróbki i przetwarzania kopalni głównych. Dotyczy niemal wszystkich branż polskiego przemysłu mineralnego, górnictwa czy hutnictwa. Przeprowadzone studia i wyniki badań pozwalają stwierdzić, że kryteria te spełniają niektóre odmiany kopalni towarzyszących węglom brunatnym. Są to przede wszystkim ily beidellitowe ze złoża „Bełchatów”, a w dalszej kolejności ily poznańskie z odkrywek w rejonie Konina – Adamowa zaś w stopniu ograniczonym również odmiany z „Turoszowa”. W przypadku złoża „Bełchatów” możliwości takie uzasadniają nie tylko ich skład mineralny i właściwości fizykochemiczne, ale i znaczne zasoby, a także fakt gromadzenia ich na złożach antropogenicznych ułatwiających zagospodarowanie. Sytuacja ta jest postrzegana i pozytywnie określana również przez innych autorów zajmujących się tą problematyką.
- III. Przytoczona ocena dotycząca możliwości wykorzystania skał ilastych Polski do ekranowania składowisk odpadów wskazuje na największą taką przydatność w przypadku iłów poznańskich, iłów zapadliska przedkarpackiego oraz niektórych odmian kopalni towarzyszących w przypadku górnictwa węgla brunatnego. Są to odmiany w zasadzie tożsame z propozycjami L. Wysokińskiego (2007). Autor ten jednak wśród rodzajów kopalni ilastych rokujących nadzieje na wykorzystanie do budowy przesłon hydroizolacyjnych wymienił także inne ich odmiany. Były nimi ily oligoceńskie (septariowe) czy ily yoldiowe (rys. 30). W drugim przypadku propozycja ta wydaje się być wątpliwa. Ważniejsze jednak przeświadczenie zdaje się wynikać zarówno z badań własnych autorów opracowania, jak i doświadczeń L. Wysokińskiego (2007). Istnieje mianowicie uzasadniona każdorazowo potrzeba i konieczność oceny przydatności do budowy przesłon



Rys. 30. Mapa występowania rejonów kopalin ilastych perspektywicznych do budowy przesłon hydroizolacyjnych wg L. Wysokińskiego (2007)

Objaśnienia: 1 – zasięg ilów mio-plioceńskich, 2 – zasięg ilów mioceńskich zapadliska przedkarpackiego, 3 – zasięg ilów oligoceńskich, 4 – zasięg ilów jurajskich, 5 – zasięg ilów triasowych, 6 – ważniejsze złoża węgla brunatnego, 7 – brzeg nasunięcia Karpat, 8 – obszar północno-wschodni ilów poznańskich, 9 – obszar centralny ilów poznańskich, 10 – obszar południowo-zachodni ilów poznańskich, 11 – obszar południowy ilów poznańskich

Fig. 30. The occurrence map of mineral resources perspective areas of clay for diaphragms waterproofing construction by L. Wysokiński (2007)

hydroizolacyjnych w przypadku nie tylko każdej odmiany litostratygraficznej osadów, ale nawet złóż czy wystąpień. Dowodzą tego chociażby sytuacje mające miejsce w przypadku złoża „Rusko-Jaroszów” czy też łupków fliszu karpackiego.

- IV. Wyniki przeprowadzonych prac studialnych wskazują, że najbardziej przydatne do budowy przesłon hydroizolacyjnych wydają się być polimineralne odmiany skał ilastych. Według przyjętych kryteriów klasyfikacji zaliczyć je można do odmian kaolinitowo-illitowych. Obecność w nich minerałów montmorillonitowych czy beidellitowych lub o strukturach mieszanopakietowych zdolności te powiększają. Ważny jest także charakter uziarnienia, a także zaawansowania procesów diagenetycznych skały prowadzących do złupkowacenia.
- V. Stan wiedzy na temat przydatności skał ilastych decydujących o ich przydatności do budowy przesłon jest dalece niewystarczającym. Brakuje w nich zwłaszcza wyników badań określających cechy fizykochemiczne – pojemność jonowymienną czy powierzchnię właściwą. Sytuacja ta wynika po części stąd, że badane i dokumentowane były one w innym celu – na użytek przemysłu mineralnego a zwłaszcza ceramiki budowlanej. Taki ich kierunek wykorzystania nie wymagał realizacji zakresu analiz wynikającego z „Aprobataj tech-

Tabela 45

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

Table 45

The usefulness evaluate of the certain varieties of Polish raw clay for construction of waterproofing diaphragms according to the “Technical Approval...” (2002)

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

nicznej...” (2002). Stąd też każdorazowo próba utylizacji kopalin ilastych w celu wykorzystania do budowy przesłon hydroizolacyjnych powinna być poprzedzona wykonaniem wspomnianych badań mineralogiczno-chemicznych, granulometrycznych oraz fizykomechanicznych.

Praca zrealizowana w ramach działalności statutowej Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie w roku 2015 (nr 11.11.140.319) oraz badań statutowych Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w 2015 roku.

Podziękowania

Autorzy pracy pragną serdecznie podziękować Pani dr inż. Katarzynie Górniak za udostępnienie zdjęć minerałów ilastych z Elektronowego Mikroskopu Skaningowego, które zostały wykorzystane w pracy.

Literatura

- Aprobata Techniczna 2002. IMUZ/18-0011-00 Materiały do stosowania w budownictwie melioracyjnym roztworu hydroizolującego na bazie glin polimineralnych. Falenty. Instytut Melioracji Użytków Zielonych.
- Bahranowski K., 2000 – Podpierane montmorillonity dotowane jonami metali przejściowych: otrzymywanie, właściwości fizyko-chemiczne, przykłady zastosowań w katalizie. Rozprawa habilitacyjna – maszynopis. Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH.
- Bahranowski K., Ratajczak T., 1977 – Skład mineralny glin aluwialnych z Radłowa nad Dunajcem. Zeszyty Naukowe AGH, Geologia t. 3, z. 3, s. 75–87.
- Bahranowski K., Ratajczak T., 1979 – Charakterystyka mineralogiczna iłówo-miocenów okolic Tarnowa. Prace Mineralogiczne 54, s. 7–20.
- Bahranowski K., Gawęł A., Górnica K., Muszyński M., Ratajczak T., Szydłak T., Wyszomirski P., 1999 – Skład mineralny skał ilastych z kopalni węgla brunatnego Bełchatów w aspekcie ich surowcowego wykorzystania. Górnictwo Odkrywkowe R. XLI, z. 1, s. 93–106.
- Bahranowski K., Ratajczak T., Rutkowski J., 1984 – Skład mineralny glin aluwialnych pochodzących z doliny Sanu (między Sanokiem a Dynowem). Zeszyty naukowe AGH. Geologia t. 10, z. 3, s. 103–115.
- Bajda T., Ratajczak T., 2005 – Możliwości wykorzystania bełchatowskich iłówo-beidellitowych jako sorbentów pierwiastków toksycznych na przykładzie związków chromu. Górnictwo Odkrywkowe R. XLV, nr 2, s. 39–42.
- Bilans złóż kopalni i wód podziemnych w Polsce wg stanu na 21.XII.2014. Warszawa. Wyd. PIG-PIB.
- Bolewski A., Michałek Z., Stopa S.Z. 1963. Utwory montmorillonitowe warstw porębskich w Niece Bytomskiej. Przegląd Geologiczny nr 7, s. 333–335.
- Bolewski A., Budkiewicz M., Wyszomirski P., 1991 – Surowce ceramiczne. Warszawa. Wyd. Geologiczne, 397 s.
- Bolewski A., Manecki A., 1993 – Mineralogia szczegółowa. Wyd. PAE, Warszawa, 662 s.
- Bonarski K., 1966 – Dokumentacja geologiczna iłówo-nadrudnych poziomu spągowego kopalni „Wręczyca” i „XX-lecia PRL”. Archiwum Przedsiębiorstwa Geologicznego w Kielcach.
- Borys M., Mojsiej K., Czartoryjski J., Filipowicz T., 2002 – Wytyczne stosowania odpadów pogórnich do budowy wałów przeciwpowodziowych i innych budowli hydrotechnicznych. Falenty. Wyd. IMUZ, 68 s.
- Bożęcki P., Rzepa G., 2012 – Możliwość wykorzystania kopalni towarzyszących z wybranych złóż surowców skalnych Polski jako komponentów do budowy przesłon hydroizolacyjnych. Górnictwo Odkrywkowe R. 53, nr 1–2, s. 104–108.

- Brański P., 1994 – Możliwości wykorzystania ilów serii poznańskiej w ochronie środowiska. *Przegląd Geologiczny* t. 42, nr 6, s. 446–449.
- Brański P., 1995 – Perspektywy wykorzystania ilów miocenijskich zapadliska przedkarpackiego w ochronie środowiska. *Przegląd Geologiczny* t. 43, nr 6, s. 493–496.
- Brański P., 2007 – Ocena możliwości wykorzystania wybranych przedkezoicznych kopalni ilastych z obszaru Polski do celów ochrony środowiska. *Przegląd Geologiczny* t. 55, nr 6, s. 467–474.
- Cabała J., 2001 – Skład mineralny i wybrane cechy chemiczne ekologicznego surowca haloizytowego z Dunina. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo* t. 248.
- Cegła J., Harasimiuk R., 1969 – Niektóre własności fizyko-chemiczne utworów pyłowych Kotlin Karpackich i lessów wyżynnych. *Annales UMCS Sectio B – Geographia* t. 22.
- Choma-Moryl K., 2002 – Możliwość wykorzystania ilastych zwietrzelin bazaltowych do uszczelniania składowisk odpadów. [W:] *Materiały z Konferencji Naukowej nt. Zastosowanie gruntów zdegradowanych*. Mrągowo.
- Choma-Moryl K., Rinke M., 2005 – Ocena możliwości sorpcyjnych Cd i Pb przez wybrane grunty spoiste z terenu dolnego Śląska (Polska) w aspekcie ich wykorzystania do uszczelniania składowisk odpadów. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 21, z. 2, s. 69–82.
- Ciullo A., 1996 – White bentonite. A bridge future. *Industrial Clays*. Industrial Minerals Informations Ltd. Sureey, UK.
- Czarnecki L., Frankowski R., Kuszneruk J., 1992 – Syntetyczny profil litostratigraficzny utworów trzeciorzędowych złoza Bełchatów dla potrzeb Bazy Danych Geologicznych. *Górnictwo Odkrywkowe* R. XXXIX, nr 3–4.
- Droba J., 1994 – Utylizacja odpadów powęglowych w kopalni węgla kamiennego „Bogdanka” S.A. *Ekoinżynieria* nr 1, s. 12–14.
- Duczmal-Czernikiewicz A., 2013 – Mineralogia i geochemia osadów po flotacji rud miedzi starego i nowego zagłębia miedziowego. *Wydawnictwo Naukowe, Poznań*, 203 s.
- Dyjur S., 1970 – Seria poznańska w zachodniej Polsce. *Kwartalnik Geologiczny* t. 14, nr 4.
- Dyjur S., 1992 – Rozwój sedymentacji i przebieg przeobrażeń osadów w basenie serii poznańskiej w Polsce. *Acta Univ. Wratislaviensis 1354, Prace Geologiczno-Mineralne* nr 26, s. 3–16.
- Dyjur S., Kościółko H., 1991 – Bentonitowe i haloizytowe zwietrzliny bazaltowe Dolnego Śląska i kierunki ich wykorzystania. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geoterma* nr 5–6.
- Franus W., 2002 – Studium geologiczno-mineralogiczne skał ilastych formacji pstrych łupków jednostki skolskiej, *Prace Mineralogiczne* nr 92.
- Galos K., Kuryłonek M., Gierczak B., 2012 – Charakterystyka mineralogiczno-technologiczna surowców kaolinowych pochodzących z płukania piasków kwarcowych w zakładach Osiecznica i Grudzień Las. [W:] *Materiały z XII Konferencji z cyklu „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”*. Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków.
- Gazda L., 2003 – Ocena surowcowa przeróbczych odpadów przywęglowych z KWK „Bogdanka”. [W:] *Materiały z Konferencji nt. „Udział Politechniki Lubelskiej w rozwoju LZW”*. Lublin 17 maja 2003 roku, s. 89–101.
- Gazda L., Franus W., 2003 – Minerale skał przywęglowych LZW – historia poznania, uroda, technologia. [W:] *Materiały z Konferencji nt. „Udział Politechniki Lubelskiej w rozwoju LZW”*. Lublin 17 maja 2003 roku, s. 81–84.

- Górnjak K., Szydlak T., Bahranowski K., Gawel A., Muszyński M., Ratajczak T., 1999 – Skład mineralny kopaliny towarzyszących węglom oraz odpadów poflotacyjnych w aspekcie ich wykorzystania jako składników mieszanek popiołowo-mineralnych. *Prace Specjalne PTMiN* z. 13, s. 35–43.
- Górnjak K., 2008 – Skąły ilaste [W:] *Przewodnik do Petrografii* (Praca zbiorowa pod redakcją Andrzeja Maneckiego i Marka Muszyńskiego). Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH.
- Gradecki D., 1997 – Kopaliny towarzyszące złożom węgla brunatnego w rejonie konińskim. *Górnictwo Odkrywkowe R.* 39, z. 1–2, s. 3–8.
- 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, granulometrycznego chemicznego ultradrobnych stabilnych spoiw mineralnych – zadanie 1. Projekt Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Zastosowanie ultradrobnych spoiw na bazie gliny do wykonywania przesłon hydroizolacyjnych”.
- Greszta J., 1963 – Charakterystyka gleboznawcza zwałów kopalnictwa rud żelaza oraz metody ich zagospodarowania. *Ochrona Przyrody R.* 29.
- Handke M., 2008 – Krystalochemia krzemianów. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- Helios-Rybicka E., 1975 – Reakcje krzemianów warstwowych z wodorotlenkami wapnia i ich wpływ na wytrzymałość gruntów ilastych. Rozprawa doktorska – maszynopis. Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH.
- Kasza L., Pytliński A., Simiczjew P., Kosowski L., Tylikowski M., 1994 – Surowce ilaste KWB Turów – analiza możliwości wykorzystania. Wrocław. Biuro Ekspertyz Geologicznych.
- Klimaszewski M., 1952 – Zagadnienia plejstocenu południowej Polski. Z badań czwartorzędu w Polsce t. 1. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* nr 65.
- Klojzy-Karczmarczyk B., Mazurek J., 2009 – Wybrane aspekty zabezpieczenia środowiska gruntowo-wodnego w procesie zamykania składowisk odpadów komunalnych. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* nr 436, s. 247–252.
- Kłapyta Z., 1975 – Bentonity i iły montmorillonitowe Polski. *Prace Mineralogiczne* nr 43.
- Kłapyta Z., 2008 – Skąły montmorillonitowe Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. [W:] *Sorbenty mineralne Polski* (praca zbiorowa pod red. Z. Kłapyty i W. Żabińskiego). Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, s. 20–30.
- Kłapyta Z., Żabiński W., 2008 – *Sorbenty mineralne Polski*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 193 s.
- Kociszewska-Musiał G., 1988 – Surowce mineralne czwartorzędu. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 281 s.
- Kompleksowa dokumentacja geologiczna złoża gliny ogniotrwałej „Rusko-Jaroszów” w kat. B. Archiwum Przedsiębiorstwa Geologicznego PROXIMA we Wrocławiu, 1991.
- Kościówko H., Dyjor S., 1993 – Surowce skalne regionu dolnośląskiego użyteczne w ochronie środowiska. Wyd. PIG, 120 s.
- Kozłowski S. red. 1977 – *Katalog wybranych złóż surowców ceramiki budowlanej w Polsce*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- Kozydra Z., Wyrwicki R., 1970 – Surowce ilaste. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 307 s.
- Kubisz J., Śródoń J., 1973 – Studium mineralogiczno-petrograficzne skał poziomu bentonitowego z Niecki Bytomskiej. *Prace Mineralogiczne* nr 31.

- Kuhl J., 1957 – Surowce mineralne towarzyszące złożom węgla i ich wykorzystanie. *Przegląd Geologiczny* 5.
- Kuhl J., 1958 – Charakterystyka skał towarzyszących pokładom węgla, rud i siarki w polskich złożach. *Poradnik górnika* t 1, Katowice.
- Kuszneruk J., 1995 – Polski węgiel brunatny. Charakterystyka złóż węgla brunatnego w Polsce i ich przemysłowe wykorzystanie. Wyd. KWB „Bełchatów”.
- Kuś R., 1996 – Przesłony hydroizolacyjne dla obwałowania rzek i zbiorników powierzchniowych. [W:] *Materiały z VI Konferencji nt. „Problemy geologii w ekologii i górnictwie podziemnym”*. Ustroń, s. 299–308.
- Kuś R., 2010 – Wymagania stawiane roztworom hydroizolacyjnym. Praktyczne zastosowanie. [W:] *Materiały z konferencji „Stabilizacja masywów skalnych w podłożu budowli hydroizolacyjnych”*. Warszawa: Instytut Metrologii i Gospodarki Wodnej.
- Lewicka E., Wyszomirski P., 2004 – Przeróbka kopalin ilastych. [W:] *Surowce mineralne Polski. Surowce skalne: Surowce ilaste (Praca zbiorowa pod red. R. Neya)*. Kraków: Wydawnictwo Instytutu GSMiE PAN.
- Łuczak-Wilamowska B., 1995 – Inżyniersko-geologiczna ocena ilów poznańskich jako materiału izolacyjnego składowisk odpadów. *Ekoinżynieria* nr 4/5, s. 1–22.
- Łukwiński S., Szczyński H., 1995 – Iły jako surowce do masowego uszczelniania gruntów. *Materiały Ogniotrwałe* nr 3, 93–96.
- Majer E., 2005 – Zastosowanie ilów beidellitowych z nadkładu KWB Bełchatów S. A. jako materiału do budowy składowisk odpadów. *Górnictwo Odkrywkowe* R. 45, nr 6, s. 56–61.
- Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., Tajduś A., 1997 – Lokowanie odpadów w kopalniach podziemnych. Wydawnictwo CPPGSMiE PAN, Kraków.
- Mączka W., 1997 – Składowiska odpadów przemysłowych. [W:] *Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami '97*. Ryto.
- Michalek Z., 1965 – Iły montmorillonitowe z Radzionkowa na Górnym Śląsku. *Zeszyty Naukowe AGH, Rozprawy* nr 39, 155 s.
- Mrzyglód T., 1996 – Skład mineralny odpadów rud żelaza jako kryterium ich proelologicznego wykorzystania. *Maszynopis pracy dyplomowej*. Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH.
- Nieć M., Matl K., Wyrwicki R., Wiśniewski J., 2004 – Iły turosszowskie – mit kopalin towarzyszących. *Studia, Rozprawy, Monografie* nr 128, Kraków: Wydawnictwo Instytutu GSMiE PAN, 87 s.
- Nieć M., Ratajczak T., 2004 – Złoża kopalin kaolinowych, ilów białych wypalających się, kopalin haloizytowych, s. 31–64. Złoża kopalin bentonitowych i zeolitowych s. 101–114. Złoża kopalin ilastych do produkcji ceramiki budowlanej, kruszyw lekkich i cementu s. 117–212. [W:] *Surowce mineralne Polski. Surowce skalne. Surowce ilaste (pod red. R. Neya)* Wydawnictwo Instytutu GSMiE PAN.
- Oleszczyński B., Gazda L., 2003 – Badania nad efektywnością wykorzystania odpadów przywęglowych z KWK „Bogdanka”. [W:] *Materiały z Konferencji nt. „Udział Politechniki Lubelskiej w rozwoju LZW”*, Lublin, s. 26–34.
- Osika R., 1954 – Badania geologiczne ilów rudonośnych Jury Krakowsko-Wieluńskiej. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* nr 1.

- Panna W., Wyszomirski P., Motyka J., 2013 – Możliwości wykorzystania wybranych surowców smektytowych jako materiałów do celów hydroizolacyjnych. [W:] Materiały z XXIII Konferencji z cyklu „Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi”, Krynica.
- Panna W., Wyszomirski P., Myszkowski R., 2014. Charakterystyka surowcowa odpadu eksploatacyjnego z kopalni w Wysoczanach (woj. podkarpackie). *Zeszyty Naukowe Instytutu GSMiE PAN* nr 88, s. 183–193.
- Piecuch T. red., 1979. Badania nad możliwością i celowością utylizacji posyderytowych hałd rejonu Częstochowy. Maszynopis. *Archiwum Instytutu Inżynierii Łądowej Politechniki Częstochowskiej*.
- Pilch W., 1973 – Dokumentacja geologiczna w kat. C₂ złoża łupków mioceńskich i glin czwartorzędowych do produkcji ceramiki budowlanej Niepla, *Archiwum Starostwa Powiatowego w Krośnie*.
- Ratajczak T., 1974 – Charakterystyka mineralogiczno-petrograficzna skał płonnych Lubelskiego Zagłębia Węglowego. *Prace Geologiczne* nr 85, 85 s.
- Ratajczak T. red., 1984 – Atlas geologiczno-surowcowy województwa krośnieńskiego. Tom IV Surowce ilaste województwa krośnieńskiego. *Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH*.
- Ratajczak T., 1989 – Skały ilaste z południowo wschodniej części polskich Karpat fliszowych (rejon województwa krośnieńskiego). *Zeszyty Naukowe AGH, Geologia* t. 15, z. 4, s. 41–93.
- Ratajczak T., 1998 – Hałdy po górnictwie rud żelaza w rejonie częstochowskim, stan aktualny i możliwości zagospodarowania. Kraków: Wydawnictwo IGSMiE PAN, 92 s.
- Ratajczak T., 2002 – Wykazanie możliwości wykorzystania ilów i szlamów poflotacyjnych po górnictwie rud Cu w charakterze składników spoiw hydroizolacyjnych. Maszynopis. *Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH*.
- Ratajczak T. red., 2011 – Wykazanie możliwości wykorzystania ilów i szlamów w charakterze składnika ultradrobnych spoiw hydroizolacyjnych. *Archiwum Przedsiębiorstwa Robót Geologiczno-Wiertniczych, Sosnowiec*.
- Ratajczak T. red., 2012 – Problematyka kopalni towarzyszących, mineralnych surowców odpadowych i złóż antropogenicznych w racjonalnej gospodarce surowcami mineralnymi. Projekt realizowany na zamówienie Ministra Środowiska, 379 s.
- Ratajczak T., 2015 – Opinia dotycząca zakwalifikowania kopaliny ze złoża „Dunino” jako ogniotrwałej i ceramicznej. Maszynopis. *Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH*.
- Ratajczak T., Bahranowski K., Olkiewicz S., 1992 – Wstępna ocena właściwości powierzchniowych, jonowymiennych i kwasowych ilów z Bełchatowa. *Zeszyty Naukowe AGH. Kwartalnik Geologia* t. 18 z. 4, s. 43–50.
- Ratajczak T., Stachura E., 2004 – Wytypowanie polskich skał ilastych w powiązaniu z ich regionalnym występowaniem w kontekście wykorzystania do potrzeb modyfikacji gruntów i wykonania przesłon hydroizolujących. *Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH*, 39 s.
- Ratajczak T., Strzelska-Smakowska B., 2007 – Rola kopalni lokalnych i mineralnych surowców w złożach antropogenicznych w ochronie środowiska na przykładzie powiatu chrzanowskiego. *Poradnik metodyczny*. Warszawa. Wyd. NFOSiGW, 49 s.
- Ratajczak T., Hycnar E., Bożęcki P. – Iły beidellitowe ze złoża węgla brunatnego w Bełchatowie jako surowiec do budowy przesłon hydroizolacyjnych. *Górnictwo Odkrywkowe* – praca w druku
- Rippel J., Pacelt H., 1979 – Ocena przydatności ilów turoszowskich w przemyśle materiałów ogniotrwałych w świetle najnowszych badań. *Górnictwo Odkrywkowe* nr 3–4.

- Rosik-Dulewska C., 2006 – Podstawy gospodarki odpadami. Wyd. III Uaktualnione, Wydawnictwo Naukowe PWN, 329 s.
- Rowe R.K., Quigley R.M., Booker J.R., 1995 – Clayey barrier systems for waste disposal facilities. London. E and FM SPON.
- Rozporządzenie MOŚ 1997. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 24 grudnia 1997 r. w sprawie klasyfikacji odpadów (Dz.U. 1997 nr 162 poz. 1135).
- Rozporządzenie MŚ 2003. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz.U. 2003 nr 61 poz. 549).
- Różycki S.Z., 1961 – Plejstocen Polski środkowej. Wydawnictwo PWN, Warszawa.
- Rühle E., Mojski E., 1968 – Czwartorzęd. Atlas geologiczny Polski w skali 1 : 2 000 000. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- Ryka W., Maliszewska A., 1991 – Słownik petrograficzny. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 403 s.
- Sałaciński R., Gąsiński A., 2012 – Możliwości wykorzystania gospodarczego surowców ilastych z plioceńskich ilów z KWB „Bełchatów” pole Szczerców. *Górnictwo Odkrywkowe* R. LIII, nr 1–2.
- Sikora W., 1986 – Skład mineralny zwiertzeliny bazaltowej z Dunina. *Archiwum Mineralogiczne* t. XLI, z. 1.
- Simiczyjew P., Jasiński A.W., 1997 – Zakres badań skał ilastych o cechach hydroizolacyjnych. *Górnictwo Odkrywkowe* R. XXXIX, nr 1–2, s. 64–71.
- Stevens R., 1983 – A new and silt-clay for textural nomenclature. *Geologica Förenings. Stockholm Föhandlinger* 105, 4.
- Stoch L., 1974 – Minerality ilaste. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- Stoch L., Bahranowski K., 1976 – Charakterystyka mineralogiczna i własności termiczne pstrych łupków ilastych z Międzybrodzia koło Sanoka. *Kwartalnik Geologiczny* t. 20, z. 4, s. 807–821.
- Stoch L., Dyjor S., Sikora W., Kalmus M., 1977a – Zwiertzeliny bazaltowe Dolnego Śląska. *Prace Mineralogiczne* t. XLI, z. 1.
- Stoch L., Bahranowski K., Gatarz Z., Środoń J., 1977b – Charakterystyka mineralogiczna ilów nadkładowych złoża siarki w Machowie koło Tarnobrzega. *Kwartalnik Geologiczny* t. 21, z. 2, s. 291–309.
- Szamałek K., 1981 – Skład mineralny i właściwości ceramiczne ilołupku karbońskiego z Mikołowa. *Ceramika Budowlana* R. 23, nr 9, s. 186–192.
- Szczepańska J., 1999 – Ocena wpływu składowisk odpadów górniczych na jakość wód podziemnych w oparciu o badania laboratoryjne i terenowe. [W:] *Materiały ze „Szkoły Gospodarki Odpadami ’99”*. Ryto, s. 411–424.
- Środoń J., 1976 – Mixes-layer smectite/illites in the bentonites and tonsteins from the Upper Silesian Coal Basin (Poland), “*Bull. Acad. Polon. Sci. Ser de la Terre*” t 1, s. 165–173.
- Święch F., 2005 – Badania mineralogiczno-geochemiczne węgla z KWK „Janina” w aspekcie oddziaływania produktów ich przeróbki na otaczające środowisko. *Rozprawa doktorska – maszynopis. Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH.*

- Tokarski Z., Katwa M., Przybyłek A., Ropska H., Wolfke S., 1964 – Surowce ceramiki budowlanej. Prace Komisji Nauk Technicznych Oddziału Krakowskiego PAN. Ceramika z. 1, s. 200.
- Traczyk S., 1979 – Geologiczno-surowcowa charakterystyka fliszowych łupków ilastych okolic Sanoka. Biuletyn Instytutu Geologicznego nr 313.
- Tronowska J., 1997 – Dokumentacja geologiczna w kat. C1 złoża glin kamionkowych „Kraniec” w Brzegu Dolnym. Archiwum Przedsiębiorstwa Robót Wiertniczych i Górniczych WIERTEX w Legnicy.
- Twardowska I., Szczepańska J., Witczak S., 1988 – Wpływ odpadów górnictwa węgla kamiennego na środowisko wodne. Ocena zagrożenia, prognozowanie, zapobieganie. Wrocław. Wydawnictwo Ossolineum. Prace i studia Instytutu Podstaw Inżynierii Środowiska PAN w Zabrzu nr 35, s. 251.
- Ustawa o odpadach z dnia 14 grudnia 2013 r. (Dz.U. 2013 poz. 21).
- Wichrowski Z., 1981 – Studium mineralogiczne ilów serii poznańskiej. Archiwum Mineralogiczne t. 37, z. 2, s. 93–196.
- Wieser T., 1994 – Zeolity – kopaliny XXI wieku. Przegląd Geologiczny t. 42 nr 6, s. 477–482.
- Wieser T., 2008 – Bentonity i ilowce clinoptolitowo-montmorillonitowe Karpat fliszowych Polski. [W:] Sorbenty mineralne Polski (praca zbiorowa pod red. Z. Kłapyty i W. Żabińskiego). Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, s. 54–64
- Wyrwicka K., Wyrwicki R., 1994 – Waloryzacja złóż kopalin ilastych (z mapą 1 : 750 000). Wydawnictwo PIG, Warszawa, 80 s.
- Wyrwicki R. 1974 – Osady ilaste serii poznańskiej jako surowce ceramiczne. Biuletyn Instytutu Geologicznego nr 280, Warszawa, s. 107–215.
- Wyrwicki R., 1993 – Potrzeba ochrony beidellitowych ilów z KWB Bełchatów. Przegląd Geologiczny t. 41, nr 9, s. 612–620.
- Wyrwicki R., 1995 – Właściwości ceramiczne ilastych osadów zastoiskowych – warwitów z KWB „Bełchatów”. Górnictwo Odkrywkowe R. XXXVI nr 3–4, s. 100–111.
- Wysokiński L., 1999 – Zagadnienia geotechniczne w budowie składowisk. [W:] Materiały „Szkoly Gospodarki Odpadami ’99”, Rytro.
- Wysokiński L. red., 2007 – Zasady oceny przydatności gruntów spoistych Polski do budowy mineralnych przesłon izolacyjnych. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa.
- Wyszomirski P., 1995 – Badania nad uszlachetnianiem ilów ze złoża glin ogniotrwałych „Rusko-Jaroszów”. Archiwum Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii AGH.
- Zakrzewski M., 1973 – Rudy i skały otaczające poziom spągowego w obszarze częstochowskim. Praca doktorska – maszynopis. Katedra Geologii Górniczej i Złożowej AGH.

Kryterium mineralogiczne jako element oceny przydatności niektórych polskich surowców ilastych do budowy przesłon hydroizolacyjnych

Streszczenie

Jednym z podstawowych wezwań świata cywilizacyjnego stały się zagadnienia dotyczące ochrony środowiska. Należą do nich m.in. problemy ograniczenia szkodliwego oddziaływania na środowisko wytwarzanych i gromadzonych na składowiskach odpadów. Służyć temu winny m.in. przesłony opasujące lub podścielające te nagromadzenia. Wieloletnie doświadczenie związane z budową i funkcjonowaniem składowisk wskazują, że jeden z lepszych efektów w tym zakresie uzyskuje się poprzez zastosowanie do ich budowy odmian skał zaliczanych do tzw. sorbentów mineralnych. Należą do nich skały ilaste.

Podstawę oceny przydatności skał ilastych zalegających na terenie Polski do budowy przesłon hydroizolacyjnych stanowiły kryteria będące treścią „Aprobaty technicznej – materiały do stosowania w budownictwie melioracyjnym roztworu hydroizolującego na bazie glin polimineralnych” z 2002 roku. Spośród istniejących i stosowanych metod oceny przydatności ta w sposób najbardziej jednoznaczny i wyraźny zdaje się argumentować potrzebę „wiedzy” mineralogicznej, czyniąc ją niejako konieczną i niezbędną w zagadnieniach rozstrzygających o tej przydatności skał ilastych.

Krajowe kopaliny ilaste są eksploatowane ze złóż zróżnicowanych wiekowo – od karbonu po holocen. W największej ilości są wykorzystywane gliny i iły okresu trzeciorzędowego i czwartorzędowego. Złóża kopaliny ilaste badane i dokumentowane są głównie jako surowce ceramiki budowlanej. Stąd zazwyczaj brakuje w nich rezultatów analiz, które mogłyby określić ich przydatność dla celów ochrony środowiska, w tym także do budowy przesłon hydroizolacyjnych.

W celu realizacji celów badawczych opracowania przedstawiono charakterystykę mineralogiczną większości skał ilastych Polski. Wraz z danymi granulometrycznymi, składem chemicznym i właściwościami fizykochemicznymi stały się one podstawą do sformułowania wniosków dotyczących możliwości wykorzystania tych kopaliny do izolowania składowisk odpadów. Wyniki tych prac wskazują, że zalegające na terenie kraju skały ilaste charakteryzują się zróżnicowaną przydatnością do budowy przesłon hydroizolacyjnych:

- ograniczone są możliwości wykorzystania w zasadzie wszystkich odmian czwartorzędowych skał ilastych,
- w przypadku ilastych skał trzeciorzędowych część z nich wykazuje dobre, a nawet bardzo dobre właściwości, uzasadniające możliwość wykorzystania do budowy prze-

słon hydroizolacyjnych. Dotyczy to zwłaszcza iłóv poznańskich i odmian pochodzących z zapadliska przedkarpackiego,

- spośród przedkenozoicznych kopalin ilastych odmianą mogącą znaleźć zastosowanie do izolacji składowisk odpadów są m.in. ily doggerskie. W przypadku iłolupków karbońskich wykorzystanie takie staje się ograniczone. Stwierdzenie to nie dotyczy karbońskich iłóv montmorillonitowych,
- możliwości wykorzystania surowców kaolinowych do budowy przesłon wydaje się być ograniczone,
- inaczej wygląda sytuacja w przypadku kopalin bentonitowych. W zdecydowanej większości ich odmiany powinny się nadawać do wykorzystania przy budowie przesłon,
- duże nadzieje należy wiązać z możliwością wykorzystania przy budowie przesłon niektórych odmian kopalin towarzyszących. Kryteria takie spełniają m.in. odmiany spotykane w złożach węgla brunatnych. Są to przede wszystkim ily beidellitowe ze złoża „Bełchatów” a w dalszej kolejności ily poznańskie z odkrywek w rejonie Konina i Adamowa.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że istnieje uzasadniona potrzeba i konieczność każdorazowej oceny przydatności do budowy przesłon hydroizolacyjnych w przypadku nie tylko każdej odmiany litostratygraficznej osadów ilastych, ale także kolejnych złóv czy wystąpień.

Okazało się też, że najbardziej przydatne do budowy przesłon hydroizolacyjnych wydają się być poliminerálne odmiany skał ilastych.

Mineralogical criterion as a part of suitability assessment of some Polish clay deposits for construction of waterproofing apertures

Abstract

One of the fundamental civilization challenges have become environmental issues. One of them is a problem of reducing of harmful effects to the environment of products deposited in landfill sites. For this purpose, among other, surrounding or underlying apertures can be used. Many years of experience related with construction and operation of landfills indicate that one of the best results in this area is achieved by applying to their construction varieties types of rocks belong to group called “mineral sorbents”. These include clay rocks.

The assessing basis of suitability of clay rocks defaulting in Poland for building waterproofing apertures were criteria found in “Technical Approval – materials for use in drainage construction waterproofing solution based on poly-minerals clays” from 2002 year. Among the existing and applied methods to assess the suitability for construction of waterproof apertures this method is the most unequivocal and clear seems to argue the need of mineralogical knowledge, making it somehow necessary and indispensable in issues deciding on the suitability.

Polish clay minerals are exploiting from deposits characterized with very different ages – from the Carboniferous the Holocene. The most common examples are Tertiary and Quaternary clays and silts. Clay mineral deposits are commonly researched and documented as raw materials mainly for building ceramics. Hence usually they lack of analysis results that could determine their suitability for environmental protection, including the construction of waterproofing apertures.

In order to achieve this study objectives, mineralogical characteristics of the majority of Polish argillaceous rocks have been presented. Together with granulometric data, chemical composition and physicochemical properties have become the basis for formulating proposals on the possibility of using these rock to isolate landfills. The results of those work indicate that clays from across the country are characterized by varying usefulness to build waterproof apertures,

- basically, all varieties of Quaternary clay rocks have limited use possibility
- in the case of Tertiary clay rocks some of them have a good or even very good properties, justifying their use possibility for the construction of waterproofing apertures.

This applies especially to poznańskie clays and varieties coming from Carpathian foredeep,

- from the before Cenozoic clay deposits variant may find their use for the isolation of landfills include doggerskie clays. In the case of Carboniferous shale such use becomes limited. This statement does not apply to Carboniferous montmorillonite clays,
- possible use of raw kaolin materials for the construction of apertures seems to be limited,
- different situation is in the case of bentonite minerals. In the vast majority of their varieties should be suitable for use in the construction of apertures,
- high expectations should be connected with potential use in the construction of apertures from certain varieties of associated minerals. Such criteria meet, among others, variations found in lignite deposits. These are mainly beidelollite clays from the “Bełchatów” deposit. Further examples of this can be found in the case of poznańskie clays from outcrops near Konin and Adamów.

Results of this study indicate that there is a justified need and necessity of respective assessment of suitability for building waterproofing apertures not only for each variety of lithostratigraphic clay deposits but also for others deposits or occurrences.

It also turned out that the most useful for building waterproofing apertures seem to be polymineral variety of clay rocks.

STUDIA, ROZPRAWY, MONOGRAFIE

- 1** J. Dziewański (red.):
Oddziaływanie przemysłu siarkowego na środowisko przyrodnicze województwa tarnobrzeskiego
- 2** M. Księżyk:
Racjonalne gospodarowanie pierwotnymi nośnikami energii w Polsce
- 3** E. Mokrzycki:
Metoda obliczania kosztów pozyskania sortymentów handlowych węgla kamiennego
- 4** I. Soliński:
Metoda wyznaczania kosztów przyrostu pozyskania nośników energii w aspekcie zapotrzebowania gospodarki
- 5** Z. Maciejewski i in.:
Określenie potrzeb energetycznych kraju na podstawie zmieniającego się w latach prognozy wskaźnika elastyczności zużycia energii względem dochodu narodowego wytworzonego

Z. Maciejewski i in.:
Koncepcja komputerowego systemu wspomaganie decyzji w zakresie kompleksu paliwowo-energetycznego
- 6** K. Wanielista, J. Kicki:
Sterowanie wykorzystaniem zasobów naturalnych kopalin w systemie nakazowym i w warunkach gospodarki rynkowej
- 7** I. Soliński i in.:
Opracowanie metodyki ustalania kompleksowych kosztów pozyskiwania i przetwarzania krajowych surowców mineralnych
- 8** J. Dziewański (red.):
Opracowanie kompleksowej metodyki badania oddziaływania górnictwa i przetwórstwa na środowisko oraz zasad i metod rekultywacji obszarów zdegradowanych (Synteza)
- 9** J. Dziewański, U. Józefko:
Budowa geologiczna doliny środkowego Sanu między Niewistką a Dynowem
- 10** J. Sokołowska:
Metodyka poszukiwania złóż kopalin płynnych
- 11** S. Węclawik:
Kompleksowa metodyka badań ochrony surowców balneologicznych przed oddziaływaniem przemysłu
- 12** R. Ney (red.) i in.:
Zwiększenie efektywności pozyskiwania i wykorzystania surowców mineralnych
- 13** W. Suwała i in.:
Pakiet modeli gospodarki surowcami mineralnymi
- 14** W. Blaschke i in.:
Metodyka optymalizacji wykorzystania surowców mineralnych w procesach przeróbki i przetwórstwa
- 15** K. Wanielista i in.:
Zasady racjonalnej gospodarki zasobami naturalnymi złóż kopalin stałych
- 16** E. Mokrzycki, S.A. Blaschke:
Metodyka liczenia kosztów wzbogacania węgla kamiennego

E. Mokrzycki, Z. Grudziński:
Metodyka liczenia kosztów przeróbki rud cynkowo-olowiowych
- 17** J. Dziewański (red):
Zasady badań środowiska przyrodniczego w aspekcie jego ochrony

- 18** S. Szukalski i in.:
Przegląd metod określania wpływu czynników ogólnogospodarczych na gospodarkę paliwowo-energetyczną kraju
- 19** M. Nieć, Z. Kokesz:
Metody geostatystyczne w rozpoznawaniu i dokumentowaniu złóż oraz w ochronie środowiska
- 20** E. Mokrzycki i in.:
Skutki oddziaływania zanieczyszczeń na środowisko przyrodnicze i metody szacowania strat
- 21** Z. Pilecki:
Statystyczna analiza emisji sejsmoakustycznej dla kontroli zagrożenia tąpnięciami
- 22** Praca zbiorowa pod red. E. Mokrzyckiego
Problemy kompleksowego wykorzystania surowców mineralnych
- 23** K. Wanielista:
Wartość i metoda wyceny zasobów złóż kopalin stałych
- 24** J. Waclawski, J. Kicki:
Gospodarka zasobami złóż węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym w latach 1981–1990, cz. I
- 25** J. Dziewański:
Budowa geologiczna terenów i problemy geologiczno-inżynierskie zbudowanych i projektowanych stopni wodnych w dolinie Sanu
- 26** H. Gaj i in.
Model makroekonomiczny energia–ekologia–ekonomia. Podejście metodyczne
- 27** E. Pietrzyk-Sokulska:
Petrogeneza utworów skalnych okolicy Młotów w Górach Bystrzyckich
- 28** Praca zbiorowa pod red. I. Solińskiego:
Opłacalność pozyskiwania i wykorzystania wód geotermalnych w wybranych regionach Polski
- 29** Praca zbiorowa pod red. J. Dziewańskiego:
Metodyka oceny walorów środowiska przyrodniczego na przykładzie województwa tarnobrzeskiego
- 30** J. Kicki, J. Waclawski:
Gospodarka zasobami złóż węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym w latach 1981–1990, cz. II
- 31** Praca zbiorowa pod red. W. Blaschke:
Koncepcja systemu cen na węgiel kamienny w warunkach przejściowych do gospodarki rynkowej
- 32** Praca zbiorowa pod red. R. Neya:
Energia odnawialna
- 33** W. Sroczyński:
Karpackie grunty pokrywowe (nieskaliste) i ich rola w budownictwie wodnym
- 34** Praca zbiorowa pod red. I. Solińskiego:
Prognozy kosztów oraz konkurencyjność odnawialnych i nieodnawialnych nośników energii w Polsce
- 35** Praca zbiorowa pod red. E. Mokrzyckiego:
Technologie czystego węgla na etapie przeróbki i przygotowania węgla do procesu użytkowania
- 36** M. Kudelko:
*Koszty ekologiczne w strukturze kosztów polskiego przemysłu węglowego
Projekt badawczy nr 0789/P1/93/05*
- 37** Praca zbiorowa pod red. W. Blaschke i E. Mokrzyckiego:
Węgiel koksowy na rynkach światowym i krajowym
- 38** W. Suwała:
Badania modelowe perspektyw górnictwa i rynku węgla kamiennego w Polsce

- 39** E. Pietrzyk-Sokulska:
Wpływ podziemnej eksploatacji i przeróbki węgla kamiennego na środowisko przyrodnicze w Polsce
E. Panek:
Wpływ eksploatacji i spalania węgla brunatnego na środowisko przyrodnicze w Polsce
- 40** Praca zbiorowa pod red. J.J. Hycnara i E. Mokrzyckiego:
Technologie czystego węgla – odsiarczanie i demineralizacja za pomocą silnych zasad
- 41** J. Dziewański, Z. Olszamowski:
Likwidacja filtracji wody przez masyw skalny prawego przyczółka zapory Wisła-Czarne
- 42** J. Dziewański, E. Gąsiorowska, A. Mirosławska:
Zagadnienia geologiczno-inżynierskie rejonu stopnia wodnego Sromowce Wyżne na Dunajcu
- 43** Praca zbiorowa pod red. K. Ślizowskiego:
Występowanie i rozkład jodu w biosferze rzeki Wisły
- 44** S. Siewierski
Strategiczne i operacyjne modele optymalizacji, eksploatacji i przeróbki rud metali nieżelaznych
- 45** Praca zbiorowa pod red. I. Solińskiego:
Wybrane zagadnienia metodyki badań efektywności górnictwa węgla kamiennego
- 46** J. Jarosz:
Sposób wyznaczania zasięgu strefy spękań i lokalizacji odspojień w stropie wyrobisk górniczych za pomocą metody sejsmicznej
- 47** Praca zbiorowa pod red. J. Dziewańskiego:
Denudacja stoków w górnych odcinkach zlewni rzek karpackich
- 48** B. Kępińska:
Model geologiczno-geotermalny niecki podhalańskiej
- 49** K. Wanielista, S. Siewierski, J. Kicki, J. Butra:
Ekonomiczne aspekty eksploatacji zasobów złóż rud miedzi
- 50** E. Pietrzyk-Sokulska:
Zagadnienia zoologiczne eksploatacji surowców skalnych (na przykładzie województwa nowosądeckiego)
- 51** W. Suwała, M. Kudełko:
Analiza rynku paliw w Polsce w aspekcie wprowadzania instrumentów rynkowych w dziedzinie ochrony środowiska
- 52** G. Gawrońska:
Metoda szacowania strat w rolnictwie i leśnictwie spowodowanych zanieczyszczeniem atmosfery
- 53** W. Sroczyński:
Karpackie pokrywy czwartorzędowe w świetle wyników standardowych badań laboratoryjnych dla budownictwa wodnego (obiekty: Dobczyce, Krempana, Niewistka)
- 54** J. Kicki, E. J. Sobczyk:
Zasoby przemysłowe węgla kamiennego kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w latach 1981–1994
Analiza i trend zmian
- 55** J. Binder, J. Dziewański:
Budownictwo wodne a ochrona środowiska przyrodniczego
System wodny Gabczikowo na Dunaju
- 56** W. Dziurzyński:
Prognozowanie procesu przewietrzania kopalni głębinowej w warunkach pożaru podziemnego
- 57** Praca zbiorowa pod red. W. Blaschke i R. Neya:
Formuły sprzedażne węgla kamiennego zmodyfikowane do wymogów sprawozdawczości Unii Europejskiej
- 58** A. Sroka:
Dynamika eksploatacji górniczej w punktu widzenia szkód górniczych

- 59** Z. Pilecki:
Modelowanie zachowania się masywu skalnego na podstawie badań empirycznych in-situ
- 60** Praca zbiorowa pod red. J. Dziewańskiego:
Warunki geologiczno-inżynierskie podłoża Zespołu Zbiorników Wodnych Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne im. Gabriela Narutowicza na Dunajcu
- 61** Praca zbiorowa pod red. J. Dziewańskiego:
Określenie podatności stoków i brzegów potoków na erozję na przykładzie zlewni Ropy
- 62** Praca zbiorowa pod red. J. Dziewańskiego:
Sozologiczne problemy w budownictwie wodnym
- 63** Z. Grudziński:
System cenowy w górnictwie węgla brunatnego
- 64** U. Lorenz:
Metoda oceny wartości węgla kamiennego energetycznego uwzględniająca skutki jego spalania dla środowiska przyrodniczego
- 65** P. Dobak:
Rola czynnika filtracyjnego w badaniach jednoosiowej konsolidacji gruntów
- 66** Praca zbiorowa pod red. J. Dziewańskiego:
Prognoza oddziaływania projektowanego zbiornika wodnego Krempana na środowisko przyrodnicze
- 67** J. Topolnicki:
Wyrzuty skalno-gazowe w świetle badań laboratoryjnych i modelowych
- 68** B. Uliasz-Misiak:
Technologia opróbowania poziomów wodonośnych rurowym próbnikiem złoża
- 69** M. Kudelko, W. Suwała:
Analiza wpływu wprowadzenia w Polsce opłat produktowych i depozytów na koszty funkcjonowania podmiotów gospodarczych i gospodarstw domowych oraz poziom inflacji
- 70** K. Czajka:
Geochemiczna i petrologiczna charakterystyka kontaktów złoża siarczkowego rud Zn–Pb ze skałami otaczającymi, w rejonie bytomskim
- 71** S. Stryczek, A. Gonet:
Geoinżynieria
- 72** M. Kudelko:
Model oceny funkcjonowania instrumentów zarządzania procesami redukcji emisji dwutlenku siarki w elektroenergetyce
- 73** J. Dziewański, D. Grodecki:
Przesłona przeciwfiltracyjna pod lewym skrzydłem zapory w Myczkowcach na Sanie
- 74** Praca zbiorowa pod red. R. Neya:
Energia odnawialna w ochronie środowiska
- 75** Praca zbiorowa pod red. S. Rychlickiego:
Metody wykrywania zanieczyszczeń ropopochodnych w środowisku gruntowo-wodnym
- 76** Praca zbiorowa pod red. W. Bujakowskiego:
Wybrane problemy wykorzystania geotermii – I
- 77** W. Blaschke:
System cen energetycznego węgla kamiennego
- 78** E.J. Sobczyk:
Wpływ zmian modelu gospodarczego na gospodarkę zasobami złóż węgla kamiennego w górnośląskim zagłębiu węglowym
- 79** E. Panek:
Metale śladowe w glebach i wybranych gatunkach roślin obszaru polskiej części Karpat

- 80** A. Uliasz-Bocheńczyk:
Wpływ wybranych dodatków mineralnych na właściwości mieszanin uszczelniających i wypełniających stosowanych w górnictwie podziemnym
- 81** E. Pietrzyk-Sokulska, E. Panek:
Podstawy strategii ekorozwoju w aspekcie zmian administracyjnych kraju – wybrane elementy
- 82** U. Lorenz:
Parytet importowy węgla kamiennego energetycznego
- 83** J. Dziewański, J. Dudek, Z. Olszamowski:
Nowa przesłona przeciwfiltracyjna w podłożu lewego skrzydła i przyczółka zapory Wisła–Czarne
- 84** Z. Pilecki, E. Popiołek:
Wpływ eksploatacji rud na zagrożenie powierzchni deformacjami nieciągłymi i jego badanie za pomocą metod geofizycznych
- 85** J. Darski, J. Kicki, E.J. Sobczyk:
Raport o stanie gospodarki zasobami złóż węgla kamiennego
- 86** J. Kwaśniewski:
Zastosowanie wybranych metod analizy sygnałów niestacjonarnych w diagnozowaniu lin i rur stalowych
- 87** E. Mokrzycki:
Ceny węgla energetycznego oferowanego w latach 1990–1999 w portach głównych eksporterów
- 88** L. Pająk:
Model numeryczny rozwoju strefy przemarzania gruntu w warunkach eksploatacji energii cieplnej
- 89** J. Butra:
Metoda doboru systemu eksploatacji złóż rud miedzi w polach o jednorodnej charakterystyce geologicznej
- 90** Praca zbiorowa pod red. S. Plewy:
Rozpoznanie pola cieplnego ziemi w obszarze Górnoląskiego Zagłębia Węglowego dla potrzeb górnictwa i ciepłownictwa
- 91** Praca zbiorowa pod red. J. Dziewańskiego:
Tematyka prac naukowo-badawczych realizowanych w Instytucie Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN w XV-letnim okresie
- 92** Praca zbiorowa pod red. W. Neya:
Wybrane problemy wykorzystania geotermii – II
- 93** B. Kępińska:
Warunki hydrotermalne i termiczne podhalańskiego systemu geotermalnego w rejonie otworu Biały Dunajec PAN-1
- 94** E. Mokrzycki:
Ceny węgla koksowego oferowanego w latach 1990–1999 w portach głównych eksporterów
- 95** W. Suwała, M. Kudełko, J. Kamiński:
Rynek węgla kamiennego w Polsce
- 96** J. Dziewański, Z. Pilecki, W. Sroczyński:
Zagadnienia badań geologiczno-inżynierskich w projektowaniu tuneli komunikacyjnych w utworach fliszu karpackiego – na przykładzie tunelu w Lalikach
- 97** W. Dziurzyński, T. Pałka:
Komputerowy system monitoringu zagrożenia pożarowego i wyznaczania dróg ucieczkowych w warunkach pożaru w kopalni podziemnej
- 98** E. Pietrzyk-Sokulska:
Waloryzacja obszarów występowania i eksploatacji złóż zwięzłych surowców skalnych na przykładzie Beskidów Zachodnich
- 99** W. Sroczyński, A.K. Wota:
Prognozowanie oddziaływania karpackich zbiorników wodnych na środowisko geologiczne i powierzchnię ziemi

- 100** U. Ozga-Blaschke:
Parytet importowy węgla koksowego
- 101** P. Czaja:
Analiza nośności segmentowej obudowy szybów upodatnionej materiałem nieliniowo sprężystym
- 102** J. Dziewański, J. Starowicz:
Zastosowanie kruszywa z miejscowych złóż materiałów budowlanych do betonów hydrotechnicznych (na przykładzie zapory w Solinie)
- 103** A. Wójcik:
Otrzymywanie pochodnych poliwinylkarbazolu o właściwościach elektroluminescencyjnych
- 104** M. Giergiel:
Komputerowe wspomaganie w projektowaniu maszyn wibracyjnych
- 105** P. Batko:
Wpływ właściwości strzelniczych materiału wybuchowego na efekt sejsmiczny strzelania
- 106** L. Gawlik, I. Grzybek
Szacowanie emisji metanu w polskich zagłębach (system węgla kamiennego)
- 107** M. Wójcik
Awaryjne hamowanie górniczych wyciągów szybowych urządzeniami ciernymi – teoria, badania i aplikacje przemysłowe
- 108** J. Mucha
Struktura zmienności zawartości [Zn] i [Pb] w śląsko-krakowskich złożach rud Zn-Pb
- 109** J. Dziewański, Z. Pilecki
Ocena warunków geologiczno-inżynierskich na terenie powierzchniowych ruchów masowych na przykładzie osuwiska w Zgłobicach
- 110** Praca zbiorowa pod redakcją E. Pietrzyk-Sokulskiej:
Uwarunkowania przyrodniczo-kulturowe funkcjonowania turystyki zrównoważonej w Beskidach Zachodnich
- 111** W. Suwała, M. Kudętko, J. Kamiński:
Rynek węgla kamiennego w Polsce w latach 1991–2001
- 112** U. Lorenz, W. Blaschke, Z. Grudziński:
Propozycja nowej formuły sprzedażnej węgla energetycznego przeznaczonego dla energetyki zawodowej
- 113** B. Kępińska, A. Łowczowska:
Wody geotermalne w lecznictwie, rekreacji i turystyce
- 114** J. Cieślak:
Metody natężeniowe w analizie elementów konstrukcyjnych
- 115** Praca zbiorowa pod redakcją W. Sroczyńskiego:
Uwarunkowania geologiczne realizacji zbiornika przeciwpowodziowego Racibórz Dolny na Odrze
- 116** Z. Blaschke, W. Blaschke:
Ocena celowości wzbogacania węgla na potrzeby energetyki w samodzielnych zakładach przerobczych
- 117** B. Kłojzy-Karczmarczyk:
Zastosowanie odpadów energetycznych w ograniczaniu transportu zanieczyszczeń ze składowisk odpadów górniczych
- 118** J. Dziewański, A.K. Wota, D. Limanówka, E. Cebulak, S. Michalik:
Katastrofalny spływ wodno-gliniasty w Muszynie w lipcu 2002 roku
- 119** U. Ozga-Blaschke:
Metoda powiązania parametrów jakościowych węgla koksowego z jego wartością użytkową
- 120** J. Dziewański, Z. Pilecki:
Problemy rozpoznania geologiczno-inżynierskiego w projektowaniu tuneli drogowych Węgierska Górka i Milówka

- 121** M. Kudelko:
Efektywna alokacja zasobów w krajowym systemie energetycznym
- 122** Praca zbiorowa pod redakcją W. Blaschke:
Funkcjonowanie górnictwa węgla kamiennego na podstawie uregulowań prawnych Unii Europejskiej w latach 1993–2002
- 123** Praca zbiorowa pod redakcją W. Blaschke:
Możliwości funkcjonowania kopalń węgla kamiennego w Polsce w świetle przepisów UE dotyczących zasad świadczenia pomocy państwa dla górnictwa w latach 2002–2010
- 124** T. Olkusi:
Straty energii chemicznej w procesach energetycznego wykorzystania węgla kamiennego
- 125** A.P. Barbacki:
Zbiorniki wód geotermalnych niecki miechowskiej i środkowej części zapadliska przedkarpackiego
- 126** J. Sałacki:
Model złoża rud miedzi dla potrzeb projektowania i prowadzenia eksploatacji
- 127** Suwała W., Kudelko M., Kamiński J.:
The primary energy market in Poland in 1993–2002
- 128** Nieć M., Matl K., Wyrwicki R., Wiśniewski J.:
Ily turoszowskie mit kopalin towarzyszących
- 129** K. Ślizowski, J. Köhsling, L. Lankof:
Uwarunkowania podziemnego składowania odpadów niebezpiecznych w Polsce
- 130** Publikacja zbiorowa pod redakcją E. Panek:
Uwarunkowania przyrodniczo-kulturowe rozwoju turystyki zrównoważonej w Bieszczadach
- 131** E. Pietrzyk-Sokulska:
Kryteria i kierunki adaptacji terenów po eksploatacji surowców skalnych. Studium dla wybranych obszarów Polski
- 132** R. Tarkowski:
Geologiczna sekwestracja CO₂
- 133** D. Grodecki:
Zależność wodo- i cementochłonności od budowy geologicznej podłoża zapory w Myczkowcach
- 134** J. Kicki, E.J. Sobczyk:
Restrukturyzacja górnictwa w Polsce a struktura i wystarczalność zasobów węgla kamiennego
- 135** B. Kępińska:
Warunki termiczne i hydrotermalne podhalańskiego systemu geotermalnego
- 136** Praca zbiorowa pod red. B. Uliasz-Misiak:
Badania mikrobiologiczne wycieków CO₂ w rejonie Muszyny w celu opracowania metod biomonitoringu
- 137** J. Ślizowski:
Geomechaniczne podstawy projektowania komór magazynowych gazu ziemnego w złożach soli kamiennej
- 138** M. Kaliski, D. Staśko:
Bezpieczeństwo energetyczne w gospodarce paliwowej Polski
- 139** M. Kudelko, W. Suwała, J. Kamiński:
Koszty zewnętrzne w energetyce – zastosowanie w badaniach modelowych
- 140** L. Zawisza:
Hydrodynamiczne modelowanie basenów naftowych dla oceny ich perspektyw złożowych
- 141** U. Ozga-Blaschke:
Międzynarodowy rynek węgla koksowego

- 142** B. Uliasz-Misiak:
Pojemność podziemnego składowania CO₂ dla wybranych mezozoicznych poziomów wodonośnych oraz złóż węglowodorów w Polsce
- 143** Praca zbiorowa pod red. M. Kudelko:
Scenariusze rozwoju krajowego sektora węgla kamiennego do 2020 roku – foresight technologiczny
- 144** E. Pilecka:
Indukowane podziemną działalnością górniczą wysokoenergetyczne wstrząsy górotworu a lineamenty na obrazach satelitarnych
- 145** A.K. Wota:
Optymalizacja wyboru lokalizacji składowisk odpadów komunalnych z wykorzystaniem metody AHP (Analytic Hierarchy Process)
- 146** M. Filipowicz:
Experimental investigations of m-atomic and m-molecular processes in muon catalysis of nuclear fusion reactions
- 147** A. Szurlej:
Rola gazu ziemnego w bilansie paliwowo-energetycznym kraju ze szczególnym uwzględnieniem energetyki, w aspekcie wymogów ochrony środowiska
- 148** L. Gawlik:
Wpływ poziomu wydobycia węgla kamiennego na koszty jego pozyskania w kopalniach
- 149** H. Woźniak:
Osiadanie gruntów zwałowanych w świetle badań modelowych
- 150** E.J. Sobczyk:
Uciążliwość geologiczno-górnictwa warunków eksploatacji węgla kamiennego i jej wpływ na gospodarkę złożeń
- 151** R. Skrzypczak:
Jednostki przyrodniczo-kulturowe Beskidów w aspekcie turystyki zrównoważonej
- 152** P. Saługa:
Ocena ekonomiczna projektów i analiza ryzyka w górnictwie
- 153** A. Uliasz-Bocheńczyk:
Mineralna sekwestracja CO₂ w wybranych odpadach
- 154** A. Malinowska:
Ocena zagrożenia uszkodzeniami obiektów budowlanych na terenach górniczych z wykorzystaniem wnioskowania rozmytego
- 155** Praca zbiorowa pod red. W. Suwały:
Analiza problemu relokacji źródeł energii elektrycznej dla polskiego systemu elektroenergetycznego i przedsiębiorstw w wyniku polityki klimatycznej UE
- 156** U. Lorenz, Z. Grudziński:
Międzynarodowe rynki węgla kamiennego energetycznego
- 157** Praca zbiorowa pod red. K. Galosa:
Waloryzacja bazy zasobowej piasków szklarskich i ocena perspektyw złożowych w świetle współczesnych wymagań przemysłu szklarskiego
- 158** B. Tomaszewska:
Transformations of soil and aquatic environment under the impact of anthropogenic factors – examples from the selected area in Skawina
- 159** M. Kopacz:
Metoda wyceny projektów inwestycyjnych w polskim górnictwie rud miedzi z wykorzystaniem symulacji stochastycznej
- 160** M. Nieć:
Kryteria geologiczne złoża (kryteria bilansowości)

- 161** K. Galos:
Wpływ składu mineralnego wybranych itów na właściwości tworzyw gresowych
- 162** T. Danek, A. Leśniak, A. Pięta:
Numerical modeling of seismic wave propagation in selected anisotropic media
- 163** E. Lewicka:
Ocena kopaliny skaleniowo-kwarcowej ze Sławniowic (Sudety Wschodnie) jako potencjalnego surowca ceramicznego
- 164** Praca zbiorowa pod redakcją R. Tarkowskiego:
Potencjalne struktury geologiczne do składowania CO₂ w utworach mezozoiku Niżu Polskiego (charakterystyka oraz ranking)
- 165** W. Suwała, J. Kamiński, P. Kaszyński, M. Kudelko:
The primary energy tendencies in Poland
- 166** L. Lankof:
Analiza odkształcalności i utraty masy zębów brunatnych w aspekcie składowania odpadów promieniotwórczych w środkowopolskich wysadach solnych
- 167** P. Saługa:
Elastyczność decyzyjna w procesach wyceny projektów geologiczno-górnictwowych
- 168** J. Ślizowski, K. Urbańczyk, D. Wiewiórka, M. Kowalski, K. Serbin:
Stateczność wyrobisk w pokładach ewaporatów LGOM w aspekcie budowy podziemnego laboratorium badawczego
- 169** J. Kulczycka:
Ekoefektywność projektów inwestycyjnych z wykorzystaniem koncepcji cyklu życia produktu
- 170** W.M. Bajdur:
Eko-polielektrolity syntetyczne redukujące ładunki zanieczyszczeń w ściekach i wodach przemysłowych
- 171** H. Wirth:
Wieloczynnikowa wycena złóż i ich zasobów na przykładzie przemysłu metali nieżelaznych
- 172** B. Rajpolt, B. Tomaszewska:
Zanieczyszczenie środowiska gruntowo-wodnego fluorem na przykładzie Huty Aluminium w Skawinie
- 173** M. Kudelko, W. Suwała, J. Kamiński, P. Kaszyński:
Modelowanie rynków energii dla różnych systemów dystrybucji uprawnień do emisji dwutlenku węgla
- 174** T. Olkusi:
Analiza produkcji węgla kamiennego i jego wykorzystanie w wytwarzaniu energii elektrycznej w Polsce
- 175** J. Kamiński:
Siła rynkowa w krajowym sektorze wytwarzania energii elektrycznej
- 176** Praca zbiorowa pod redakcją A. Uliasz-Bocheńczyk:
Zaczyny cementowe w technologiach wiertniczych geologicznego składowania CO₂
- 177** Praca zbiorowa pod redakcją E. Lewickiej:
Innowacyjne technologie pozyskiwania najważniejszych surowców ceramicznych i szklarskich
- 178** M. Kudelko, W. Suwała, J. Kamiński, P. Kaszyński:
Handel uprawnieniami do emisji dwutlenku węgla w Unii Europejskiej
- 179** K. Stala-Szlugaj:
Polish imports of steam coal from the East (CIS) in the year 1990–2011
- 180** Z. Grudziński:
Metody oceny konkurencyjności krajowego węgla kamiennego do produkcji energii elektrycznej
- 181** D. Foszcz:
Zasady określania optymalnych rezultatów wzbogacania wieloskładnikowych rud miedzi

- 182** T. Niedoba:
Wielowymiarowe charakterystyki zmiennych losowych w opisie materiałów uziarnionych i procesów ich rozdziału
- 183** U. Lorenz, U. Ozga-Blaschke, K. Stala-Szlugaj, Z. Grudziński:
Węgiel kamienny w kraju i na świecie w latach 2005–2012
- 184** Z. Pilecki:
Uzdatnienie podłoża autostrady A-1 na terenach pogórnicych płytkiej eksploatacji rud metali
- 185** R. Tarkowski, L. Dziewińska, S. Marek:
The characteristics of selected potential geological structures for CO₂ underground storage in Mesozoic deposits of the Szczecin–Mogilno–Uniejów Trough
- 186** Praca zbiorowa pod redakcją E. Lewickiej:
Market analysis of selected raw materials for the ceramic and glass industries in Poland over the years 1990–2012
- 187** M. Nieć, M. Młynarczyk:
Gospodarowanie zasobami węgla kamiennego w Polsce
- 188** U. Lorenz:
Ocena oddziaływania zmian cen węgla energetycznego na rynkach międzynarodowych na krajowy rynek węgla
- 189** A. Kot-Niewiadomska:
Uwarunkowania geologiczne zagospodarowania terenu przemysłowego Zakładów Metalurgicznych „Trzebinia” w Trzebini
- 190** B. Tomaszewska:
Ocena możliwości efektywnego wykorzystania schłodzonych wód termalnych
- 191** I. Baic:
Analiza wielokierunkowego wykorzystania depozytów mułów węglowych wraz z oceną ich oddziaływania na środowisko
- 192** M. Kudelko, J. Kamiński, P. Kaszyński, M. Malec:
Analiza wrażliwości sektora wytwarzania energii elektrycznej i ciepła
- 193** W. Bujakowski:
Geologiczne, środowiskowe i techniczne uwarunkowania projektowania i funkcjonowania zakładów geotermalnych w Polsce

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW DOTYCZĄCE OPRACOWANIA I PRZYGOTOWANIA DO DRUKU PUBLIKACJI W DZIALE WYDAWNICZYM: STUDIA, ROZPRAWY, MONOGRAFIE

1. Treść merytoryczna publikacji i sposób ich ujęcia powinny odpowiadać poziomowi działu i powinny odnosić się do tytułu działu: Studia, Rozprawy, Monografie.
2. Układ publikacji powinien być przejrzysty, zwarty, a jego treść podzielona na rozdziały tworzące zamkniętą całość. Objętość publikacji nie powinna być mniejsza od 5 arkuszy wydawniczych i nie powinna przekraczać 10 arkuszy wydawniczych (ok. 120 stron).
3. Każda publikacja powinna zawierać streszczenie w języku angielskim w objętości 1,5–2 strony maszynopisu. Tabele i rysunki zawarte w publikacji powinny również zawierać podpisy w języku angielskim.

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW DOTYCZĄCE PRZYGOTOWANIA TEKSTU NA DYSKIETCE

Wskazówki techniczne (przygotowanie elektronicznej wersji artykułu)

Kompletny materiał do druku powinien zawierać (wersja elektroniczna):

- tekst zasadniczy,
- tytuł w języku polskim i angielskim,
- tytuły naukowe Autorów, miejsca pracy oraz adres e-mail do korespondencji,
- tabele i rysunki,
- podpisy pod tabele i rysunki w języku polskim oraz angielskim,
- streszczenia i słowa kluczowe w obu językach,
- podziękowania, jeśli występują,
- oświadczenie o źródłach finansowania (jeśli inne niż domyślne).

Autorzy spoza Polski, zgłaszający artykuł do druku w języku angielskim nie muszą przedstawiać polskiej wersji językowej – zostanie ona uzupełniona w Redakcji.

Dostarczenie elektronicznej wersji artykułu jest obowiązkowe.

Tekst powinien być zapisany w programie WORD FOR WINDOWS.

Zaleca się zastosowanie czcionki Times Roman 12 lub Arial 12.

Całkowita objętość artykułu nie powinna przekraczać 15 stron.

W trakcie wpisywania tekstu prosimy o przestrzeganie następujących zasad:

- nie dzielić ręcznie wyrazów,
- nie justować poszczególnych linii akapitu za pomocą klawisza spacji,
- nie spacjować wyrazów (np. t y t u ł),
- nie podkreślać wyrazów, zdań (np. podkreślony).

Streszczenia w obu językach powinny zawierać co najmniej 1900 znaków ze spacjami i powinny odzwierciedlać merytoryczną zawartość artykułu.

Tytuły i podtytuły należy oddzielić od tekstu odstępem górnym i dolnym. Przy podziale tekstu na rozdziały i podrozdziały należy stosować numerację cyfrową wielorzędną:

- rozdziały – 1, 2, ...
- podrozdziały pierwszego stopnia – 1.1, 1.2, ..., 2.1, 2.2, ...
- podrozdziały drugiego stopnia – 1.1.1, 1.1.2, ..., 1.2.1, 1.2.2, ...
- podrozdziały trzeciego stopnia i ewentualnie inne tytuły pozostawia się zazwyczaj nienumerowane.

Tabele i rysunki należy umieścić w tekście po powołaniach. Zaleca się numerować je od 1 do n w obrębie całej publikacji.

Rysunki prosimy dostarczać również w wersji elektronicznej w osobnych plikach w formatach obsługiwanych przez program Corel DRAW 16 (np. *.CDR, *.CGM, *.TIF, *.JPG, *.PCX, *.IMG, *.XLS).

Wzory matematyczne numeruje się podając numer ujęty w nawiasy okrągłe na prawym marginesie (jeśli jest ich mało, nie wymagają numeracji). **Wszelkie symbole we wzorach** i powołaniach na nie w tekście prosimy pisać pismem pochyłym. Ważne jest, by 0 (zero) wpisane było przez klawisz cyfrowy, w celu odróżnienia go od litery O(o).

Powołania na cytowaną literaturę w tekście artykułu są obowiązkowe. W powołaniach na literaturę podajemy w nawiasie okrągłym nazwisko autora i rok wydania, np. (Rysiowa 1969) – jeden autor; (Nowakowski, Kapinos 1992) – dwóch autorów; (Kluz i in. 1972) – więcej niż dwóch autorów.

W przypadku prac zbiorowych posiadających redaktorów w nawiasie okrągłym podajemy nazwisko redaktora z adnotacją red. i rok wydania, np. (Zdun, red. 2004) – jeden redaktor; (Nowak, Kopa, red. 2003) – dwóch redaktorów; (Krus i in., red. 2000) – więcej niż dwóch redaktorów.

W przypadku prac zbiorowych nie posiadających redaktorów w nawiasie okrągłym podajemy początek tytułu i rok wydania, np. (Poradnik... 1971).

Literatura powinna być umieszczona na końcu pracy z oznaczeniem „LITERATURA”. Autor sporządza jeden wykaz literatury dla całej pracy, w której znajdują się tylko te pozycje, na które powołano się w tekście artykułu. Kolejność pozycji cytowanej literatury powinna być alfabetyczna (wg tekstów powołań).

Prawidłowy zapis bibliograficzny powinien zawierać:

- Książki jednego lub dwóch autorów:
Nazwisko i inicjały imion autora, rok wydania: Tytuł. Oznaczenie kolejności wydania (Wyd. 1, 2, ...).
Miejsce wyd., nazwa wydawcy, np.:
Rysiowa H., 1969 – Wstęp do matematyki współczesnej. Wyd. 2. Warszawa, PWN.
Rysiowa H., Nowakowski J., 1969 – Wstęp do matematyki współczesnej. Wyd. 2. Warszawa, PWN.
- Książki kilku autorów (powyżej dwóch):
Powołanie plus prawidłowy zapis bibliografii:
Rysiowa i in. 1969 – Rysiowa H., Nowakowski J., Kapinos J., 1969 – Wstęp do matematyki współczesnej. Wyd. 2. Warszawa, PWN.
- Artykuły z czasopism i innych wydawnictw ciągłych (jeden lub dwóch autorów):
Nazwisko i inicjały imion autora, rok wydania: Tytuł artykułu. Pełny tytuł czasopisma (nie skrót), numer rocznika (tomu), numer zeszytu, strony, np.:
Nowakowski J., Kapinos J., 1992 – Przemysł aluminiowy – stan obecny i tendencje zmian. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 23, z. 1, s. 17–28.
- Artykuły z czasopism i innych wydawnictw ciągłych (powyżej dwóch autorów):
Powołanie plus prawidłowy zapis bibliograficzny:
Rysiowa i in. 1992 – Rysiowa H., Nowakowski J., Kapinos J., 1992 – Przemysł aluminiowy – stan obecny i tendencje zmian. Gospodarka Surowcami Mineralnymi t. 23, z. 1, s. 17–28.
- Prace zbiorowe (pod redakcją jednego lub dwóch redaktorów):
Nazwisko i inicjały imion redaktora naukowego (z zaznaczonym skrótem red.), rok wydania: Tytuł. Oznaczenie kolejności wydania. Numer tomu (części, jeżeli jest). Wydawca, miejsce wydania, liczba stron, np.:
Paszowski B., red., 1971 – Poradnik inżyniera. Elektronika. Wyd. 2, t. 1. WNT, Warszawa, s. 256.
Pasikowski T, Gdowski A., red., 1994 – Zarys krystalografii. Wyd. 1, Wydawnictwo Praca i Płaca, Wrocław, s. 145.
- Prace zbiorowe (pod redakcją więcej niż dwóch redaktorów):
Powołanie plus prawidłowy zapis bibliografii:
Jackowski i in., red. 2007 – Jackowski T., Kryza O., Pasikow R., red., 2007 – Analiza gospodarki wodnej. Wyd. 1, WNT, Warszawa, s. 55.
- Prace zbiorowe nie posiadające redaktorów:
Powołanie plus pełny zapis bibliografii: Tytuł. Oznaczenie kolejności wydania, Numer tomu (jeśli bibliografia wielotomowa). Wydawca, miejsce wydania, strony lub liczba stron, specyficzne oznaczenia, np.
Decyzja... 2003 – Decyzja nr 1230/2003/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 czerwca 2003 r. przyjmująca wieloletni program działania w dziedzinie energii: Inteligentna Energia – Europa (2003–2006). Dziennik Urzędowy L 176, 15/07/2003 s. 0029–0036; 32003D1230.
Program... 2007 – Program rozwoju elektroenergetyki w latach 2007–2010. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, s. 68.