

## WPŁYW PROCESU WIETRZENIA NA ZMIANY WYBRANYCH PARAMETRÓW FIZYKOCHEMICZNYCH I MECHANICZNYCH ODPADÓW WYDOBYWCZYCH W STREFIE AERACJI SKŁADOWISKA LUBELSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

### THE WEATHERING EFFECT ON THE CHANGES OF SELECTED CHEMICAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF THE EXTRACTIVE WASTE IN THE AERATION ZONE OF A MINE WASTE DUMP IN THE LUBLIN COAL BASIN

MICHAŁ GWOŹDZIEWICZ<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Długoletnia ekspozycja odpadów górniczych powoduje dezintegrację fizyczną struktury składowanych skał, ich zmiany chemiczne oraz mechaniczne. Ponadto wietrzenie odpadów górniczych znacząco wpływa na tempo migracji zanieczyszczeń przez strefę aeracji nadpoziomowego składowiska odpadów LZW. W pracy zaprezentowano wyniki wieloletnich badań autora dotyczących zmian wybranych parametrów fizykochemicznych i mechanicznych odpadów wydobywczych zdeponowanych na składowisku Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Badania miały na celu ustalenie wpływu wieloletniego składowania tych odpadów na stan środowiska wodno-gruntowego oraz przedstawienie możliwości aplikacji tych odpadów w środowisku. Przedstawiono wyniki badań składu chemicznego, uziarnienia, wartości parametrów filtracyjnych i mechanicznych różnowiekowych odpadów górniczych LZW. Ocena wybranych parametrów fizykochemicznych, mechanicznych i filtracyjnych oraz ich zmian dostarcza danych, które bezpośrednio lub pośrednio mogą być wykorzystane w praktyce (do budowy obiektów inżynierskich, hydrotechnicznych lub jako podłoża budowlanego).

**Słowa kluczowe:** odpady wydobywcze, wietrzenie odpadów wydobywczych, skład chemiczny odpadów, parametry fizyko-mechaniczne, Lubelskie Zagłębie Węglowe.

**Abstract.** Long-lasting exposition of mine waste to atmospheric phenomena (weathering) causes physical disintegration of the rock structure and its chemical and physical changes. The present paper shows the results of multi-year investigations concerning the problem of changes in selected physical, chemical and mechanical parameters of mine waste deposited in a dumping ground located in the Lublin Coal Basin. Moreover, mine waste weathering has a significant effect on the migration rate of contaminants in the mine waste heap aeration zone. Research results of chemical and grain-size composition, and the values of filtration and mechanical parameters of the dumped multi-age layers of mine waste, are also described. The goal of the research was to determine the influence of long-standing mine waste deposition on water-ground environmental conditions, and to present the possibilities of further utilization of mine waste. The assessment of selected physical, chemical, mechanical and filtration parameters and their changes gives some information that may be applicable in practice.

**Key words:** mine waste, weathering of mine waste, chemical composition, physical and mechanic parameters, Lublin Coal Basin.

## WSTĘP

Celem pracy autora było określenie wartości wybranych parametrów filtracyjnych, chemicznych i fizyko-mechanicznych zwałowanych odpadów wydobywczych Lubelskiego Zagłębia Węglowego (LZW) i ich zmian w czasie oraz w procesie przeobrażeń pod wpływem czynników wieloletniego

oddziaływania zewnętrznego (procesów atmosferycznych i wietrzeniowych). Po kilkunastu latach zdeponowania w środowisku odpad wydobywczy z LZW jest bardzo odmiennym gruntem w stosunku do skały rodzimej. Proces ten jest interesujący ze względu na zniszczenie pierwotnej naturalnej struk-

<sup>1</sup> Główny Instytut Górnictwa, Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice; e-mail: m.gwozdziejwicz@gig.eu

tury wydobytych skał karbońskich, ich wzajemne przypadkowe pokruszenie, rozdrobnienie, wymieszanie, nawodnienie i zdeponowanie na składowisku. Obserwowane są wyraźne zmiany i przeobrażenia, jakim podlegały te skały podczas procesu wietrzenia i ich przebudowy w nowy rodzaj gruntu w trakcie wieloletniego składowania w środowisku. Znajomość tych przeobrażeń stanowi ważny aspekt w planowaniu aplikacyjnym oraz określeniu ryzyka środowiskowego związanego ze składowaniem tych odpadów. Ocena parametrów filtracyjnych i mechanicznych oraz ich zmian w czasie dostarcza danych, które bezpośrednio lub pośrednio mogą być wykorzystane w praktyce do budowy obiektów ziem-

nych, hydrotechnicznych lub jako podłoże budowlane. Wskazane zmiany cech i właściwości zdeponowanych i przeobrażonych odpadów górniczych LZW pozwalają zaklasyfikować je jako szczególny rodzaj ośrodka gruntowego. Istotnym kryterium w badaniach podłoża gruntowego dla potrzeb inżynierskich oraz hydrogeologicznych jest nośność, będąca w ścisłym związku z zagęszczeniem oraz wodoprzepuszczalność zarówno w trakcie badań, jak i w perspektywie kilkunastu czy kilkudziesięciu lat. Natomiast szczególnie ważna dla środowiska przyrodniczego jest ilość wypłukiwanych z odpadów substancji chemicznych.

## OGÓLNA BUDOWA LUBELSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

Karboński basen Lubelskiego Zagłębia Węglowego jest wydłużoną strukturą o kierunku NW–SE, ograniczoną od północy linią biegnącą przez Łuków, Radzyń, Parczew, Włodawę po Hrubieszów, a od strony południowej od Dębina przez Lublin, Zamość do Jarczowa. Długość LZW wynosi około 180 km, a szerokość 20–40 km, powierzchnia zagłębia wynosi około 4 tys. km<sup>2</sup>. Lubelskie Zagłębie Węglowe znajduje się w obrębie dwóch jednostek geologicznych – struktury zrębowej podlasko-lubelskiej i niecki nadbużańskiej.

Struktura zrębowa podlasko-lubelska od północy graniczy z obniżeniem podlaskim (od którego jest oddzielona uskokami), zaś od południowego zachodu – z rowem mazowiecko-lubelskim, leżącym częściowo na platformie prekambryjskiej, a częściowo na platformie paleozoicznej. Granica południowo-zachodnia biegnie wzdłuż uskoku Kocka (Mizerski, 2005). Na strukturę zrębową podlasko-lubelską i rów mazowiecko-lubelski jest nałożona niecka nadbużańska, wypełniona osadami karbonu. Struktura zrębowa podlasko-lubelska jest podzielona na bloki uskokami o kierunku NE–SW (Żelichowski, 1974) i o kierunku NW–SE, wzdłuż których fundament krystaliczny jest obniżony lub wypiętrzony na różnicowaną wysokość 450–4000 m p.p.m. Na skałach fundamentu krystalicznego spoczywają osady bardzo różnego wieku – od neoproterozoiku aż po jurę. Jest to spowodowane aktywnością uskoków podczas fazy bretońskiej w mezozoiku. Osady dolnego karbonu leżą na różnowiekowych (od prekambriu po dewon) skałach starszych. Po ruchach fazy asturyjskiej w późnym karbonie obszar struktury zrębowej podlasko-lubelskiej był przez długi czas poddawany erozji i został przykryty osadami młodszymi dopiero w trakcie transgresji jurajskiej (Mizerski, 2005).

Niecka nadbużańska, zwana też niecką lubelską, powstała w wyniku procesów tektonicznych związanych z fazą bretońską i fazą asturyjską. Jest to struktura synklinalna o osi wynurzającej się ku południowemu wschodowi. Jej północno-wschodnie skrzydło ma niewielkie nachylenie i prostą budowę monoklinalną. Skrzydło południowo-zachodnie jest bardziej strome, częste są powtórzenia tektoniczne, związane z obecnością uskoków podłużnych. W osi niecki biegnie

wygasająca ku SE antyklina Kocka, związana z występującym w podłożu uskokiem Kocka. Antyklina ta dzieli nieckę nadbużańską na dwie części: podniesienie łukowsko-hrubieszowskie i rów lubelski (Żelichowski, 1974).

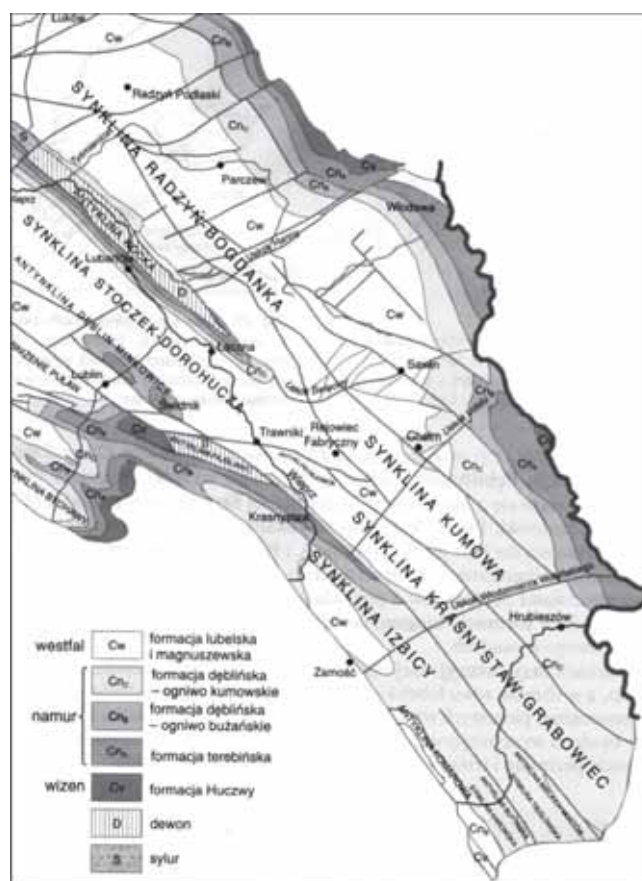


Fig. 1. Główne podpermie jednostki Lubelszczyzny w strefie kontaktu platformy prekambryjskiej i platformy paleozoicznej (wg Stupnickiej, 1997)

Main sub-Permian units of the Lublin region at the contact zone of the Precambrian and Paleozoic platforms (after Stupnicka, 1997)

Nieckę nadbużańską wypełniają osadowe skały karbonu. Powstawały one na obniżonym brzegu platformy wschodnioeuropejskiej, a oś basenu sedimentacyjnego przemieszczała się w czasie ku NE, co przemawia za związkiem niecki z orogenezą waryscyjską położoną na zachodzie (Stupnicka, 1997). Schematyczną budowę geologiczną Lubelskiego Zagłębia Węglowego przedstawia figura 1.

Osady karbońskie cechują się cyklicznością, która była spowodowana eustatycznymi zmianami poziomu morza. We wczesnym karbonie sedimentacja następowała w warunkach morskich, a w późnym karbonie – początkowo paralicznych, a później limnicznych. Serię produktywną stano-

wią utwory westfalu – warstwy lubelskie. Pokłady węgla zalegają prawie poziomo, maksymalnie do 20°. Eksploatowany aktualnie pokład 382 zalega na głębokości około 920 m. Złoże w rejonie LW Bogdanka nie jest poprzecinane uskoka-  
mi, a jedynie nieznaczne zaburzenia tektoniczne zaobserwowano w pokładzie 382. Ze względu na kryteria bilansowości złoże interesująca jest tylko górna część karbonu produktywnego zwana warstwami lubelskimi. 6,8–8,5% miąższości warstw lubelskich stanowią osady fitogeniczne, w których wydzielono 18 pokładów bilansowych węgla o miąższościach od 0,70–3,80 m. Udokumentowane zasoby to węgle energetyczne typu 31–32 i węgle gazowo-koksowe typu 34.

## CHARAKTERYSTYKA SKŁADOWISKA ODPADÓW WYDOBYWCZYCH LZW

Odpady lokowane na zakładowym składowisku odpadów pogórnich (wydobywczych) w Bogdancie to skały płonne pochodzące z zakładu wzbogacania węgla przedsiębiorstwa Lubelski Węgiel Bogdanka S.A. (wcześniej KWK Bogdanka). Od ponad 25 lat na składowisku gromadzone są skały o bardzo podobnym uziarnieniu i składzie petrograficznym oraz mineralnym (fig. 2), na które składają się:

- odpady skalne (kamień) w klasie ziarnowej 500 ÷ 200 mm (20–30%),
- odpady gruboziarniste w klasie ziarnowej 200 ÷ 20 mm (30–50%),
- odpady w klasie ziarnowej 20 ÷ 0,5 mm (5–20%),
- odpady drobnoziarniste w klasie ziarnowej < 0,5 ÷ 0 mm, odzyskiwane w prasach taśmowych (5–10%).

### SKŁAD PETROGRAFICZNY ODPADÓW WYDOBYWCZYCH LZW

Skały płonne lokowane na składowisku Lubelski Węgiel Bogdanka S.A. stanowią mieszaninę skał górnokarbońskich: łupków ilastych z węglem kamiennym, iłowców, mułowców, piaskowców, syderytów ilastych i sferosyderytów. Charakterystyka poszczególnych rodzajów skał przedstawia się następująco:

- ciemnoszare i szaroczarne łupki ilaste laminowane na powierzchniach podzielności substancją węglistą;
- szare i ciemnoszare iłowce o niewyraźnej łupliwości ze skupieniami (inkrustacją) substancji organicznej oraz sporadycznie piryty;
- ciemnoszare iłowce o gruzłowej teksturze, zlustrowane, z licznymi fragmentami uwęglonej flory (gleby stigmariowe);
- szare mułowce bez warstwowania, zwarte, w skupieniach zawierające substancję węglistą i wtrącenia jasnoszarych minerałów ilastych;
- jasnoszare mułowce, przechodzące w drobnoziarniste beżowe piaskowce z kongrecjami syderytów ilastych oraz syderoplesytów;

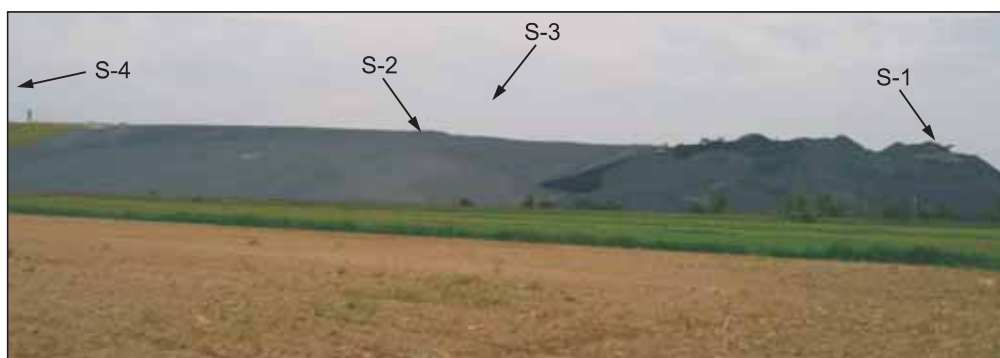
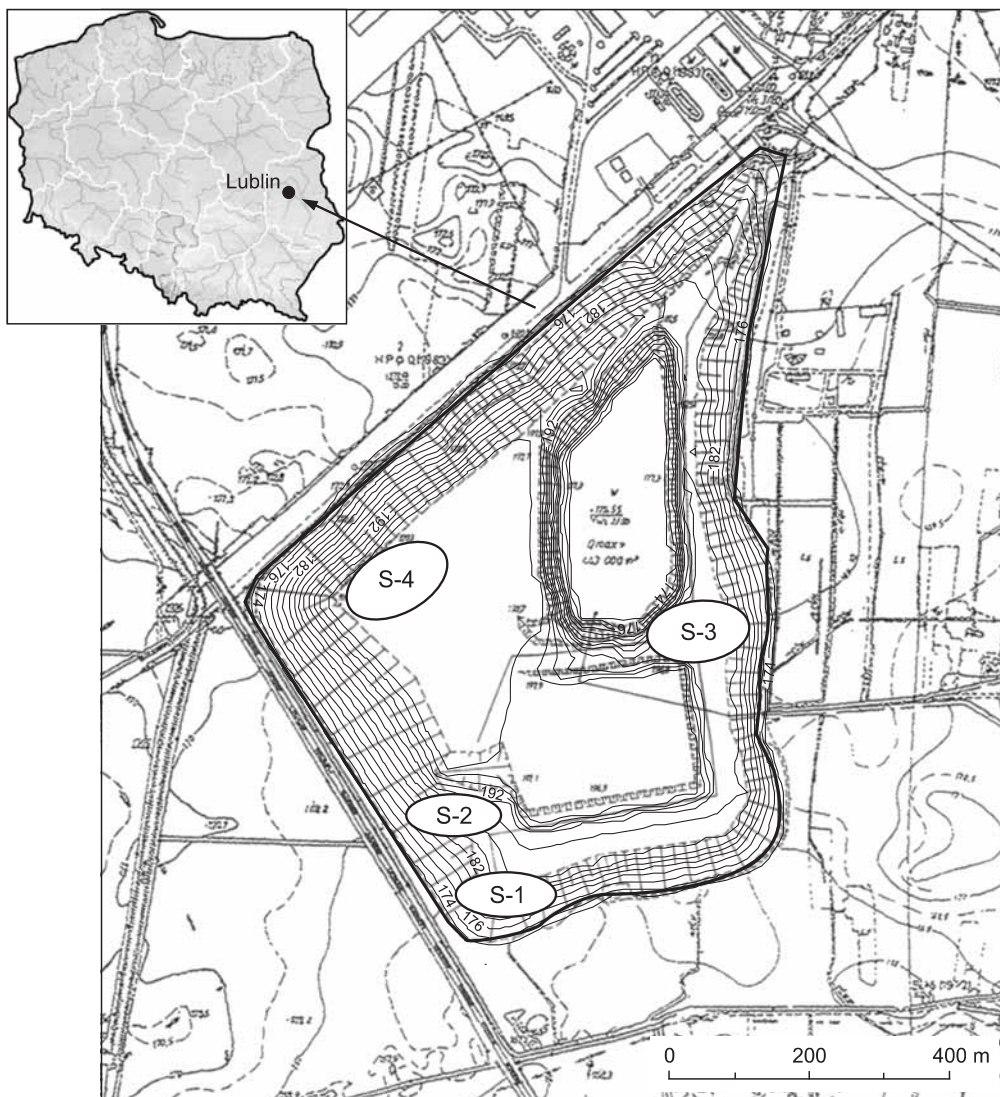
- jasnoszare-brunatne, drobnoziarniste piaskowce kwarcowe o spoiwie ilastym lub ilasto-krzemionkowym z koncentrycznymi skupieniami syderytu i piryty;
- szarobrunatne syderyty ilaste płytowe miejscami z niewyraźną łupliwością;
- brunatne sferosyderyty i syderoplesyty z żyłkami kalcytu, ankerytu i dolomitu.

Skały płonne usuwane na etapie przygotowania złoże oraz wraz z wydobywaniem węgla kamiennego i jego przeróbką, zgodnie z Ustawą z dnia 27 kwietnia 2001r. o odpadach (Dz.U. Nr 62, poz. 628), zaklasyfikowane są do grupy 01 – odpady powstające przy poszukiwaniu, wydobywaniu, fizycznej i chemicznej przeróbce rud oraz innych kopalin, a obecnie zgodnie z Ustawą z dnia 10 lipca 2008 r. o odpadach wydobywczych (Dz.U. Nr 138, poz. 865) nazywane są odpadami wydobywczymi. O możliwościach wykorzystania tych odpadów decydują ich właściwości mechaniczne i fizykochemiczne (Bzowski i in., 2010).

### SKŁAD MINERALNY ODPADÓW WYDOBYWCZYCH I ZMIANY W PROCESIE WIETRZENIA

Wieloletnie badania składu mineralnego wykazały, że dominującymi minerałami w karbońskich odpadach wydobywczych kopalni LW Bogdanka są minerały ilaste, których udział zmieniał się w przedziale 50–65% obj. Wśród nich wyróżnić należy znaczące zawartości kaolinitu (25–40% obj.) i illitu (10–25% obj.). W ilościach śladowych występują chloryty i smektyty oraz minerały ilaste o strukturach mieszanopakietowych. Dopełnienie składu mineralnego stanowi przede wszystkim kwarc (20–35% obj.) oraz w mniejszych ilościach syderyt, skalenie, piryty i substancja organiczna (tab. 1).

Zawartość procentowa minerałów ilastych zmieniała się nieznacznie w latach, jednak ich średni udział w odpadach kierowanych na składowisko cechuje się stabilnością i nie wykazuje znaczących różnic (tab. 1). Niewielkie różnice wykazują ilości syderytu, które często związane są z miejscowym występowaniem oolitowej formy tego minerału w tzw.



| Strefy badań odpadów pogórnicych | Mine waste investigation zones |
|----------------------------------|--------------------------------|
| S-1 świeże                       | S-1 recent                     |
| S-2 jednoroczne                  | S-2 one-year-old               |
| S-3 8–10 letnie                  | S-3 8–10-years-old             |
| S-4 15–17 letnie                 | S-4 15–17-years-old            |

**Fig. 2.** Lokalizacja składowiska odpadów wydobywczych LW Bogdanka wraz ze strefami badań różnowiekowych odpadów wydobywczych *in situ* (fot. M. Gwoździewicz, 24.06.2009 r.)

Location of multi-year mine waste research zones, waste dump in the Bogdanka Coal Mine (photo by M. Gwoździewicz, 24.06.2009)

Tabela 1

**Skład mineralny odpadów wydobywczych z kopalni LW Bogdanka [% obj.]**  
(wg Bzowski i in., 2010)

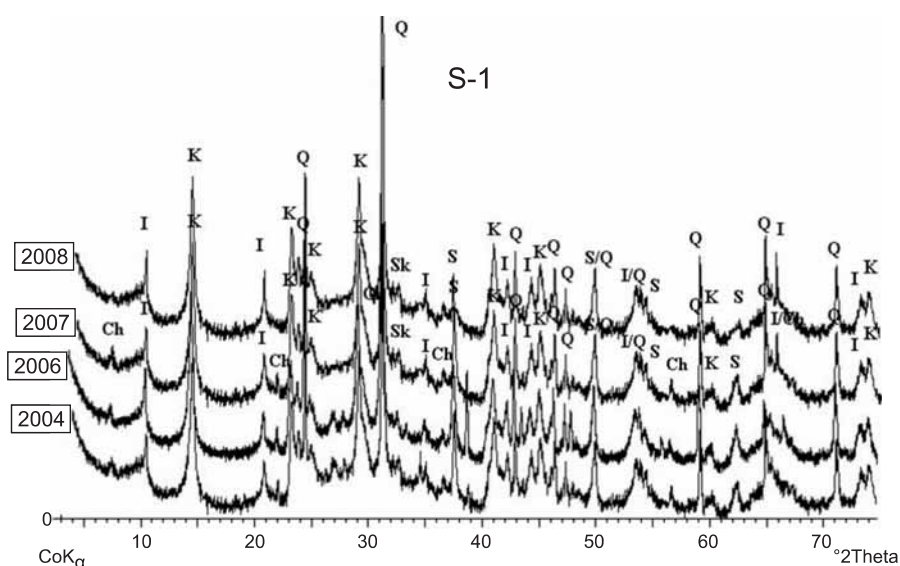
Mineral composition of extractive mine waste from the Bogdanka Coal Mine, [% vol.]  
(after Bzowski *et al.*, 2010)

| Skład mineralny       | Lata    |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | do 2000 | 2002  | 2004  | 2006  | 2007  | 2008  | 2010  |
| Minerały ilaste,      | 60–65   | 60–65 | 55–60 | 50–55 | 50–55 | 55–60 | 55–60 |
| w tym: kaolinit       | 30–35   | 35–40 | 30–35 | 25–30 | 30–35 | 30–35 | 30–35 |
| illit                 | 20–25   | 20–25 | 20–25 | 15–20 | 10–15 | 20–25 | 20–25 |
| chloryt               | 5–10    | śl.   | śl.   | 5–10  | 5–10  | śl.   | śl.   |
| smektyt               | śl.–10  | śl.   | śl.   | śl.   | śl.   | śl.   | śl.   |
| Kwarc                 | 20–25   | 20–25 | 25–30 | 30–35 | 30–35 | 25–30 | 20–25 |
| Skalenie              | śl.–5   | śl.–5 | śl.–5 | śl.–5 | śl.   | śl.   | śl.   |
| Syderyt               | 2–5     | 2–5   | 2–5   | 5–8   | 8–10  | 2–5   | 2–5   |
| Kalcyt                | śl.     | –     | śl.   | śl.   | śl.   | –     | –     |
| Piryt                 | śl.–1   | śl.–2 | śl.–2 | śl.–2 | śl.–1 | śl.–1 | śl.–1 |
| Substancja organiczna | 5–10    | 5–10  | 5–10  | 2–5   | 5–7   | 7–10  | 7–10  |

glebach stigmariowych, często ułożonych w stropie i spągu pokładów węgla (Cichoń, 1977) lub w formie lokalnych koncentracji sferyderytów i syderytów septariowych wypełnionych mineralizacją z porowych roztworów rezydualnych (dolomit, ankeryt, kalcyt, piryt, kwarc i gips) (Gwoździewicz, 2011). Niewielką zmienność mineralogiczną w zakresie udziałów poszczególnych minerałów ilastych: kaolinitu, illitu i chlorytu oraz skaleni, syderytu i pirytu w monitorowanych odpadach wydobywczych z kopalni LW Bogdanka potwierdzają dyfraktogramy XRD zaprezentowane na [figurze 3](#).

Przemiany chemiczne, fizykomechaniczne i biologiczne zachodzące w składowisku oraz infiltracja wód pochodzących

z opadów atmosferycznych powodują zmiany w składzie mineralnym zdeponowanego materiału skalnego. Jak wynika z danych literaturowych (Bzowski, Zawisłak, 2005; Bzowski, Gwoździewicz, 2000; Gwoździewicz i in., 2007) różnice uwidaczniają się w ilościach oznaczonych minerałów ilastych: kaolinitu, chlorytów i smektytu oraz innych, takich jak: kwarc, syderyt, piryt i kalcyt. Zmienne ilości poszczególnych minerałów ilastych mogą wynikać z występowania tych minerałów w strukturach mieszanopakietowych, które na skutek wietrzenia ulegają rozpadowi. Podobnie intensywnemu wietrzeniu ulegają węglany i piryt, a także substancja organiczna, zwłaszcza w powierzchniowych strefach składo-



**Fig. 3. Dyfraktogramy XRD próbek odpadów wydobywczych**

Ch – chloryt, I – illit, K – kaolinit, S – syderyt, Sk – skałen, Q – kwarc

XRD patterns of mine-waste samples

Ch – chlorite, I – illite, K – kaolinite, S – siderite, Sk – feldspar, Q – quartz

wiska. Efektem długotrwałego wietrzenia jest wzrost zawartości chlorytu po przeobrażeniu skaleni i illitu, który może być produktem przeobrażenia mik, obecnych w odpadach. Następuje również wyraźna redukcja ilości pirytu, który po kilkunastu latach uległ praktycznie w 90% zwietrzeniu. Pod względem mineralnym odpad powęglowy zwałowany na składowisku przez 8–10 lat nie różni się od tego samego typu odpadu zwałowanego przez okres 15–17 lat. Efekt wietrzeniowy wydaje się być podobny pomimo różnego czasu składowania. Prawdopodobnie jest to rezultatem gwałtownego rozpadu struktury pierwotnej skał i szybkich przemian chemicznych na skutek wietrzenia w pierwszych kilku latach składowania. Po kilku latach proces ten ulega spowolnieniu i różnice strukturalne oraz chemiczne są mniejsze, a zatem słabiej zauważalne w kolejnych latach.

#### ZMIENNOŚĆ UZIARNIENIA RÓŻNOWIEKOWYCH ODPADÓW WYDOBYWCZYCH

Skład granulometryczny różnowiekowych odpadów pogórnich oraz tzw. odpadów świeżych ze zwałowiska LW Bogdanka przedstawiono na figurze 4.

Z porównania składu granulometrycznego świeżych (S-1) odpadów pogórnich z uziarnieniem odpadów zalegających na składowisku od kilku do kilkunastu lat wynika, że odpady te wraz z czasem ich zalegania na składowiskach zawierają zdecydowanie mniej ziaren należących do frakcji kamienistej (wietrzenie fizyczne), a więcej ziaren drobniejszych, szczególnie frakcji piaskowej i pyłowej oraz ziarna żwirowe. W miarę upływu czasu składowania odpadów pogórnich na zwałowisku ich uziarnienie zmienia się najszybciej w warstwie przypowierzchniowej, co stwierdzono obserwując zmiany uziarnienia odpadów pobranych z war-

stwy odpowiadającej maksymalnej strefie przemarzania dla Lubelszczyzny (do 1,0 m) dla stref zwałowiska po okresie około jednego roku (S-2), 8–10 (S-3) i 15–17 lat ich składowania (strefa S-4).

#### ZMIANY WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI

Badanie wodoprzepuszczalności różnowiekowych odpadów wydobywczych zdeponowanych na składowisku LW Bogdanka autor przeprowadził metodą infiltrometru dwupięściennego na powierzchni składowiska i w płytkich wkopach oraz infiltrometru Guelpha w przedziale głębokości od 0,0 do 1,0 m. Pomiarów wodoprzepuszczalności odpadów świeżych wykazały, że charakteryzują się one współczynnikami filtracji o wartościach  $1,1 \cdot 10^{-3}$ – $9,8 \cdot 10^{-4}$  m/s. Odpady po jednym roku wietrzenia na składowisku charakteryzują się współczynnikami filtracji o wartościach  $2,6 \cdot 10^{-4}$  do  $8,2 \cdot 10^{-6}$  m/s. Dla odpadów poddawanych ok. 8–10-letniemu procesowi wietrzenia współczynniki filtracji wahały się od  $5,9 \cdot 10^{-6}$  do  $1,2 \cdot 10^{-8}$  m/s. Są to podobne wartości do uzyskiwanych w badaniach tych odpadów przeprowadzonych w latach ubiegłych (Borys i in., 2002).

Współczynniki filtracji różnicuje charakter petrograficzny odpadów w poszczególnych miejscach oraz rozwijanie się wraz z wiekiem składowania tzw. makropor i uprzywilejowanych stref migracji wody, co w decydujący sposób wpływa na współczynnik filtracji. Większy udział łupków ilastych i ilowców o znacznej zawartości frakcji ilastej i kwarcu pelitycznego wpływa na obniżenie wodoprzepuszczalności, natomiast duże ilości syderytów i piaszczowców tworzą strefy o większej wodoprzepuszczalności. Postępujący proces wietrzenia i zmniejszania uziarnienia zdeponowanych odpadów powoduje samoczynne zmniejszanie wodoprzepuszczalności

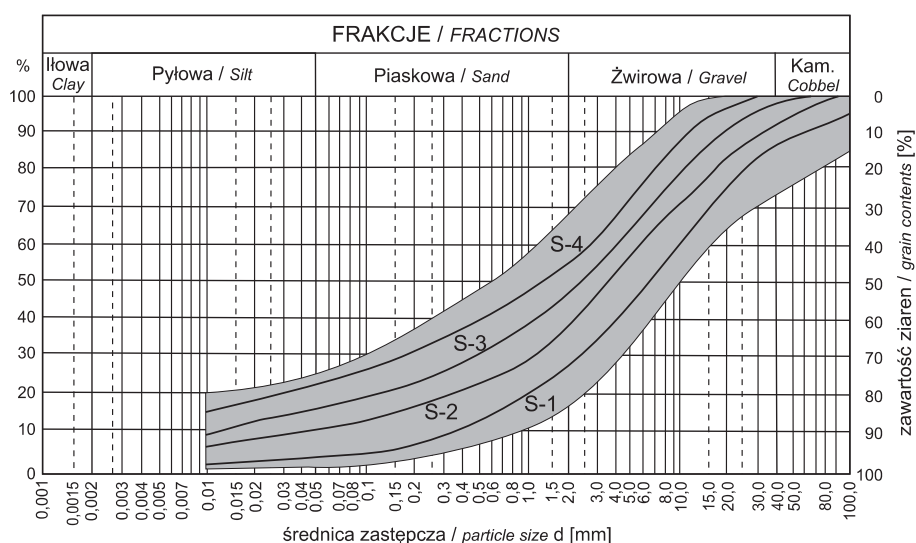
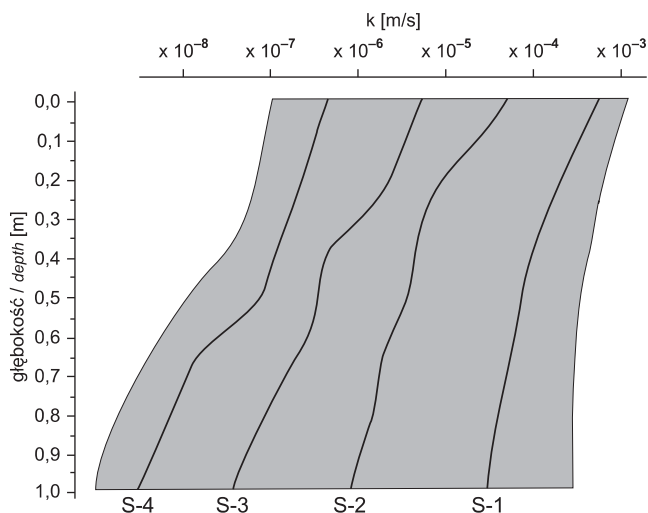


Fig. 4. Schematyczne krzywe uziarnienia różnowiekowych odpadów oraz zakres stwierdzonych zmienności uziarnienia (szary kolor)

Diffraction pattern of multi-year mine waste size composition curve and range of size composition variation (background grey colour)



**Fig. 5. Zakres zmian współczynnika filtracji  $k$  różnowiekowych odpadów wydobywczych na składowisku LW Bogdanka**

Variation range of the filtration factor  $k$  for multi-year mine waste at the Bogdanka Coal Mine dump

odpadów, ich zagęszczanie i stabilizację, a przez to zwiększoną nośność podłoża. Potwierdzają to wcześniej wykonane badania odpadów wydobywczych (Borys i in., 2002) oraz przeprowadzone przez autora (Gwoździewicz, 2011). Wynika z tego, że zagęszczanie oraz przyrost drobnej frakcji ilastej w procesie wietrzenia odpadów wydobywczych pozwala na uzyskanie warstw prawie nieprzepuszczalnych, przy jednoczesnej dużej nośności takiego podłoża na skutek istnienia tzw. szkieletu skalnego, powstałego dzięki odporności na wietrzenie skał nie ilastych. Potwierdzają to badania odpadów wydobywczych na składowisku, gdzie oznaczone dla 15–17-letnich odpadów metodą infiltrometru Guelpha współczynniki filtracji wahały się od  $4,2 \cdot 10^{-6}$  do  $2,1 \cdot 10^{-9}$  m/s (fig. 5), (Gwoździewicz, 2011).

#### ZMIANY NOŚNOŚCI RÓZNOWIEKOWYCH ODPADÓW LW BOGDANKA

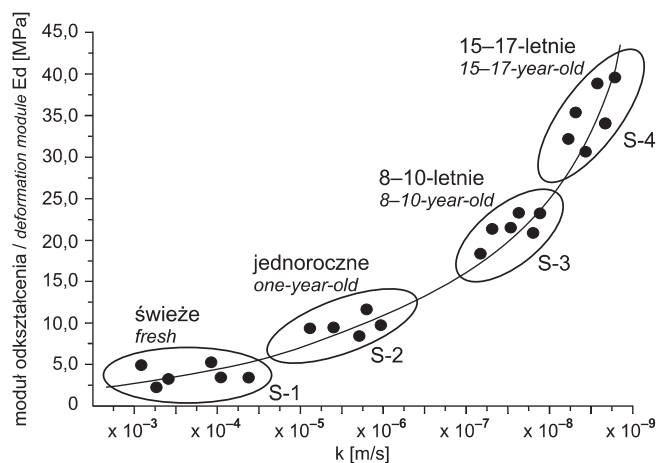
Istotnym kryterium dla potrzeb inżynierskich oraz hydrogeologicznych w badaniach podłoża gruntowego zbudowanego z odpadów wydobywczych jest jego nośność, będąca w ścisłym związku z zagęszczaniem. Do pomiarów zastosowano lekką płytę do badań właściwości dynamicznych podłoża gruntowego (lekka płyta dynamiczna, fig. 6), gdzie do obliczeń nośności wykorzystuje się zależność korelacyjną wskaźnika zagęszczenia ( $I_s$ ) od modułu dynamicznego odkształcenia ( $Ed$ ) (Sulewska, 1993).

Jak wynika z danych prezentowanych na figurze 7, odpady wydobywcze już po jednym roku składowania osiągają stopień zagęszczenia  $I_s = 0,86$  (moduł  $Ed$  około 10,0 MPa) na skutek procesów wietrzeniowych, dezintegracji ziarnowej oraz osiadania masy składowanych odpadów. Po około 8–10 latach składowania procesy wietrzeniowe powodują osiągnięcie stopnia zagęszczenia przez zdeponowane odpady



**Fig. 6. Badanie nośności lekką płytą dynamiczną na składowisku LW Bogdanka (strefa S-3: odpady 8–10-letnie) (fot. M. Goździewicz, 15.09.2010 r.)**

Load capacity research using a deflectometer at the Bogdanka mine waste dump (zone S-3: 8–10-year waste) (photo by M. Gwoździewicz, 15.09.2010)



**Fig. 7. Wykres zależności stopnia zagęszczenia (modułu odkształcenia  $Ed$ ) od zmienności współczynnika filtracji  $k$  dla różnowiekowych odpadów wydobywczych na składowisku LW Bogdanka**

Diagram of relationship between the concentration rate (deformation module  $Ed$ ) and the filtration factor  $k$  of multi-year mine waste from the Bogdanka Coal Mine

$I_s = 0,90-0,95$  (moduł  $E_d$  20,0–25,0 MPa), a po 15–17 latach wskaźnik  $I_s$  osiąga 0,99–1,00 (moduł  $E_d$  30,0–40,0 MPa (Gwoździewicz, 2011).

### PODSTAWOWY SKŁAD CHEMICZNY

Podstawowy skład chemiczny odpadów wydobywczych z kopalni LW Bogdanka monitorowany w latach 1996–2010 nie wykazuje znaczących różnic. Zawartości krzemionki wahały się 40,96–57,92%,  $Al_2O_3$  – 18,41–25,42% oraz  $K_2O$  – 1,95–2,80%. Ilości tych składników chemicznych uzależnione są głównie od zawartości w składzie mineralnym odpadów wydobywczych kwarcu, kaolinitu, illitu oraz skaleni. Pozostałe pierwiastki podstawowego składu chemicznego związane są zarówno z już wymienionymi, jak i innymi minerałami ilastymi oraz syderytem. Charakterystykę chemiczną odpadów wydobywczych uzupełniają straty prażenia w ilościach od 13,28 do 22,80%, wynikające przede wszystkim z obecności węgla kamiennego w odpadach oraz zawartości żelaza ( $Fe_2O_3$  3,14–7,66%) związane z obecnością syderytu i pirytu. Uzyskane w latach 1996–2010 wyniki monitoringu podstawowych składników odpadów wydobywczych z kopalni LW Bogdanka, w porównaniu do wcześniejszych wyników badań skał przylegających do pokładów węgla w LZW oraz danych literaturowych nie wykazują znacznych zmian (Bzowski i in., 2010).

### ZMIANY STĘŻEŃ SKŁADNIKÓW WYMYWANYCH Z RÓŻNOWIEKOWYCH ODPADÓW

Poza przedstawionymi właściwościami mechanicznymi, które decydują o przydatności technicznej odpadów wydobywczych, właściwości chemiczne tych odpadów pozwalają na ocenę zagrożenia środowiskowego aplikowanych odpadów wydobywczych. Dla takiej oceny decydujące znaczenie mają informacje o ilościach substancji wymywanych z przedmiotowych odpadów wraz z czasem zalegania w środowisku. Badania stężeń składników podstawowych w wyciągach wodnych z pobranych różnowiekowych próbek odpadów wykonano w celu uzyskania informacji o składzie chemicznym roztworów migrujących w bryle badanego składowiska. Ponadto badania te przeprowadzono w celu pozyskania informacji, w jaki sposób bezpośrednio aplikowanie tych odpadów w środowisku wpłynie na jakość wód podziemnych i powierzchniowych. Wyniki badań najistotniejszych składników wymywanych z odpadów zaprezentowano na [figurze 8](#).

Stężenia siarczanów w wyciągu wodnym z odpadów powęglowych występujących w powierzchniowej części składowiska w Bogdancie wzrastają przez kilka pierwszych lat składowania do wielkości prawie dwukrotnie wyższej od stwierdzonych ilości w świeżych odpadach powęglowych. Niskie stężenia siarczanów stwierdzono natomiast w wyciągu wodnym z odpadów po 15–17 latach składowania,

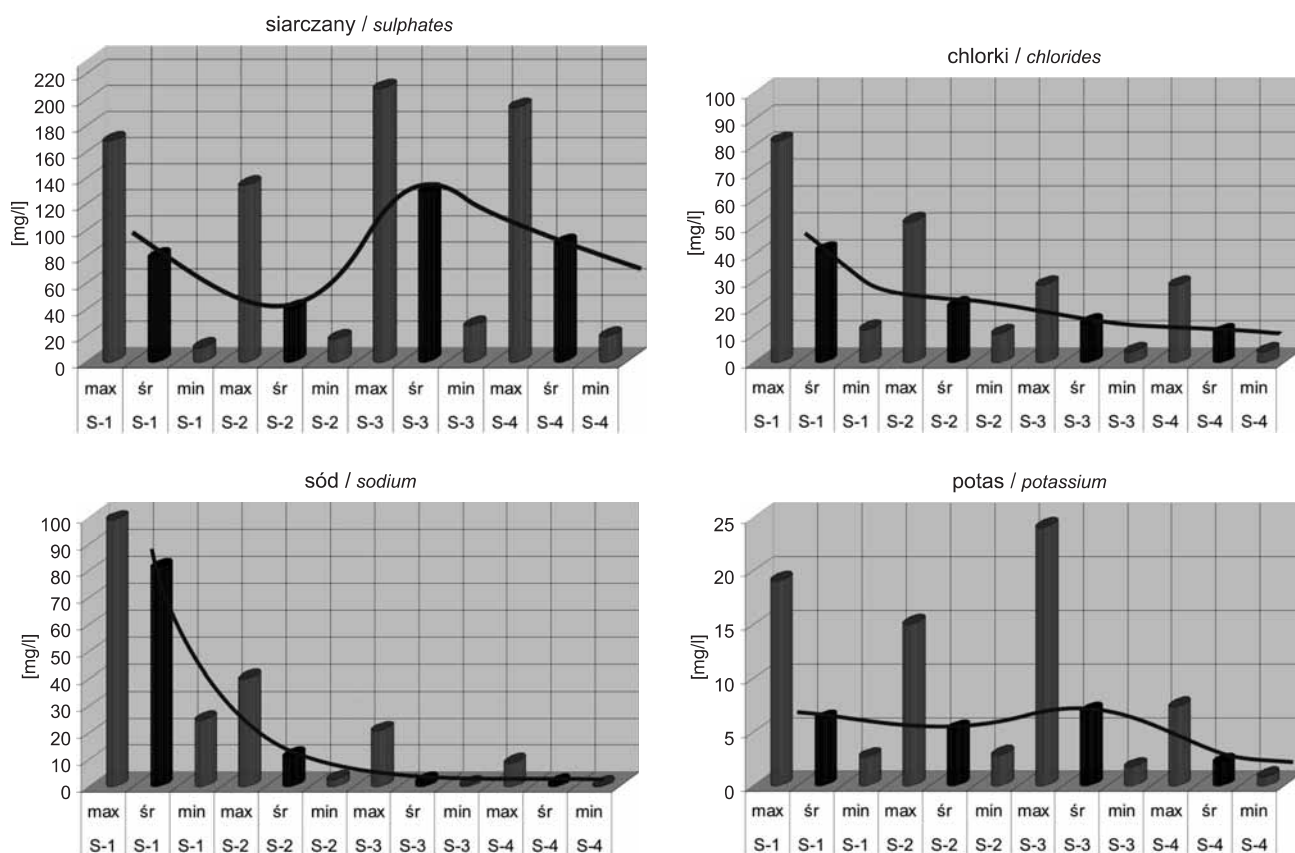


Fig. 8. Stężenia składników wymywanych z różnowiekowych odpadów wydobywczych

Concentration of components in aqueous extracts from multi-year mine waste



co świadczy o ich stopniowym wyflukiwaniu, przy jednoczesnej ograniczonej dostawie w postaci wietrzejących siarczków. Zjawisko to związane jest również ze stopniowym zmniejszeniem przepuszczalności zgromadzonego na składowisku materiału, jego zagęszczeniem i przez to spowolnieniem migracji lub nawet unieruchomieniem niektórych związków chemicznych.

Stężenia chlorków i sodu w wyciągu wodnym z odpadów powęglowych występujących w powierzchniowej części składowiska intensywnie spadają już w pierwszych miesiącach składowania na powierzchni terenu. Stężenia chlorków po ok. 8–10 latach składowania spadają do wielkości czterokrotnie niższej od ilości stwierdzonych w świeżych odpadach powęglowych, jednak w odpadach 15–17-letnich

ich stężenie jest niewiele niższe, co sugeruje spowolnienie procesu ługowania prawdopodobnie na skutek sił podsiąkania kapilarnego. W przypadku badań stężeń potasu w wyciągach wodnych z odpadów powęglowych pobranych w różnych etapach wietrzenia, w porównaniu do wyników badań wyciągów wodnych z odpadów świeżych, stwierdzono podobne zjawisko koncentracji w odpadach starszych i podobnie odpady 8–10-letnie wykazują najwyższe koncentracje (fig. 8).

W wyciągach wodnych z odpadów powęglowych wraz ze wzrostem czasu składowania zaznacza się wzrost stężeń siarczanów i potasu, który jest spowodowany procesem zagęszczania i unieruchamiania roztworów porowych, a także zwiększania oddziaływania sił podsiąkania kapilarnego.

## PODSUMOWANIE

Zmiany fizykochemiczne i mechaniczne wietrzejących odpadów wydobywczych kopalni LW Bogdanka mają istotne znaczenie przy wykorzystaniu tych odpadów w różnorodnych aplikacjach w środowisku zarówno w znaczeniu użytkowym, jak i ekologicznym. Poznanie właściwości tych odpadów na różnych etapach wietrzenia pozwala na ocenę przydatności, a także wykorzystanie cech wietrzejącego odpadu. Odpady wydobywcze bezpośrednio po wydobyciu mają charakter okruszków skalnych łatwych do transportu i formowania obiektów inżynierskich dobrze wodoprzepuszczal-

nych, a po kilku latach nabierają charakteru gruntu spoistego słabo przepuszczalnego, typu gliny piaszczystej, ale równocześnie posiadającego szkielet skalny, nadający nośność uformowanym obiektom inżynierskim. Jednocześnie badania udowodniły, poza przydatnością do konstruowania podłoża budowlanego czy też obiektów hydrotechnicznych, znikomy wpływ na środowisko przyrodnicze zarówno w pierwszym etapie intensywnego wietrzenia, jak i w okresie wieloletnim. Skład chemiczny i mineralny w odróżnieniu od cech fizyko-mechanicznych tych odpadów zmienia się nieznacznie.

## LITERATURA

- BORYS M., MOSIEJ K., CZARTORYSKI J., FILIPOWICZ P., 2002 — Wytyczne stosowania odpadów pogórnich z kopalni Bogdanka do budowy wałów przeciwpowodziowych i innych budowli hydrotechnicznych. Wyd. IMUZ, Falenty.
- BZOWSKI Z., GWOŹDZIEWICZ M., 2000 — Utilization of clay minerals of Carboniferous claystones for waste dumps reclamation. *Scripta Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Masaryk, Geology*, **28/29**: 149–154.
- BZOWSKI Z., ZAWIŚLAK J., 2000 — Ocena wykorzystania karbońskich skał płonnych kopalni „Bogdanka” S.A. do rekultywacji bezglebowej. *Wiad. Górnicze*, **12**: 541–552.
- BZOWSKI Z., ZAWIŚLAK J., 2005 — Aspekt środowiskowy wietrzenia karbońskich odpadów górniczych wykorzystywanych do rekultywacji terenów pogórnich w rejonie Bogdanki. Warsztaty Górnicze 2005, Kazimierz Dolny n/Wisłą: 25–39. PAN Kraków.
- BZOWSKI Z., SZYDEŁ R., ZARĘBSKI K., ZAWIŚLAK J., 2010 — Wytyczne dotyczące wykorzystania odpadów wydobywczych z kopalni LW „Bogdanka” do niwelacji i rekultywacji niecek osiadań poeksploatacyjnych. Pomiar GIG, Lublin.
- CICHOŃ G., 1977 — Charakterystyka mineralogiczno-petrograficzna karbońskich gleb stigmariowych z Dorohuczcy. *Zesz. Nauk. AGH Geologia*, **3**, 3.
- GWOŹDZIEWICZ M., BZOWSKI Z., BOJARSKA K., 2007 — Distribution of chlorides and sulfates in the aeration zone of coal waste landfill and sulfides decomposition kinetics and groundwater environment acidification. Proc. 2nd Conf. IASME/WSEAS Water Resources, Hydraulics & Hydrogeology (WHH'07), Slovenia: 156–160.
- GWOŹDZIEWICZ M. 2011 — Wpływ procesu wietrzenia na migrację zanieczyszczeń w strefie aeracji składowiska odpadów górniczych lubelskiego zagłębia węglowego [Pr. doktor.]. Arch. GIG, Katowice.
- MIZERSKI W., 2005 — Geologia Polski dla geografów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz.U. Nr 112, poz. 1206.
- STUPNICKA E., 1997 — Geologia regionalna Polski. Wyd. Uniw. Warsz., Warszawa.
- SULEWSKA M.J., 1993 — Nowoczesny płytowy ugięciomierz udarowy. *Zesz. Nauk. Polit. Białostockiej, Nauki Techniczne*, **86**, Budownictwo, 11.
- USTAWA z dnia 10 lipca 2008r. o odpadach wydobywczych – Dz.U. Nr 138, poz. 865.
- ZDANOWSKI A., 1999 — Atlas geologiczny Lubelskiego Zagłębia Węglowego, 1:500 000. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ŻELICHOWSKI A., 1974 — Obszar radomsko-lubelski. *W: Budowa geologiczna Polski, t. IV, cz. 1*, Państw. Inst. Geol., Warszawa.

## SUMMARY

The paper presents the results of investigations of extractive waste in the Lublin Coal Basin (LCB), deposited for over more than 25 years in the mine waste heap of the Bogdanka Coal Mine. Relatively constant and homogeneous mineral composition of the waste allowed comparing its parameters in terms of changes in the physico-chemical properties (size distribution, chemical and mineral composition) resulting from weathering and exposure in the environment. Weathering processes significantly alter the mechanical properties of waste, but their mineral composition is changing slightly. This waste, during a several-month storage period, changes from the pebbly fraction to the sand–gravel fraction, and after a few years, it acquires the characteristics of cohesive soils like sandy or gravelly loam. It is related to the changes in geotechnical parameters, which increase the consistency and moisture content of the waste and decrease the angle of internal friction and the filtration coefficients values. The author's research presents the changes in

the particle size distribution over time, the reduction in the filtration rate and the increase in the degree of compaction and consolidation of extractive waste with the progress of weathering processes. The author found a clear correlation between the weathering time of the waste and changes in physico-mechanical and geotechnical parameters. In addition, the rate of chemical composition change in extractive waste and the quantity of the major components of soluble constituents eluted from the waste as it is exposed to weathering, were also determined. Pyrite content in the waste deposited at the Bogdanka landfill is less than that found in similar landfills of Upper Silesia, and the weathering is slower due to both a limited access of oxygen within the weathering waste and a higher buffering capacity of the waste. The study of mine waste in the Lublin Coal Basin demonstrated their suitability for the construction of various engineering objects. The variability of their properties at various weathering stages permits new applications in the environment.