

Tadeusz Molenda¹, Agnieszka Błońska², Damian Chmura³

CHARAKTERYSTYKA HYDROGRAFICZNO – HYDROCHEMICZNA ANTROPOGENICZNYCH MOKRADEŁ (NA PRZYKŁADZIE OBIEKTÓW W STARYCH PIASKOWNIACH)

Streszczenie: W artykule przedstawiono charakterystykę hydrograficzno – hydrochemiczną antropogenicznych mokradeł rozwiniętych w starych piaskowniach. Wykazano, że wyrobiska po eksploatacji piasku podlegają spontanicznym procesom sukcesji prowadzącym do rozwoju antropogenicznych mokradeł. W początkowym okresie, dominującą rolę w zasilaniu mokradeł odgrywają wody podziemne. Dlatego też wody mokradeł inicjalnych cechuje wodorowęglano-wapniowy ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$) typ wód i obojętny lub słabo alkaliczny odczyn. W późniejszych fazach sukcesji dominującą rolę w zasilaniu zaczynają odgrywać wody opadowe. Dlatego też mineralizacja maleje a wody ulegają zakwaszeniu. Następuje zmiana typu hydrochemicznego na siarczanowo-wapniowy ($\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$).

Słowa kluczowe: antropogeniczne mokradła, hydrologia, hydrochemia, sukcesja, piaskownia.

WSTĘP

Ingerencja człowieka w środowisko przyrodnicze prowadzi do istotnych zmian w jego poszczególnych komponentach. Efekt tej ingerencji jest szczególnie zauważalny na obszarach górniczych. Eksploatacja i przeróbka pozyskanych surowców mineralnych prowadzi do zasadniczych zmian w rzeźbie terenu i stosunkach wodnych obszarów górniczych. Zmiana stosunków wodnych może być zarówno następstwem celowych i zamierzonych działań człowieka, jak i działań niezamierzonych jako pośredni skutek eksploatacji surowców. Spektakularnym przejawem działalności górniczej jest tworzenie nowych, dotychczas nieznanych form antropogenicznych. Jednymi z nich są piaskownie. Od chwili zaprzestania eksploatacji piasku ustaje wpływ człowieka i piaskownie zaczynają podlegać określonym procesom morfogenetycznym, geochemicznym i biologicznym. W ich następstwie może dojść do rozwoju antropogenicznych mokradeł. Obiekty tego typu rozwijają się w miejscu starych,

¹ Katedra Geografii Fizycznej, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, e-mail: tedimolenda@interia.pl

² Katedra Geobotaniki i Ochrony Przyrody, Uniwersytet Śląski, ul. Jagiellońska 28, 40-032 Katowice, e-mail: agnieszka.blonska@us.edu.pl

³ Instytut Ochrony i Inżynierii Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2 43-309 Bielsko-Biała, e-mail: dchmura@ath.bielsko.pl

nierekultywowanych piaskowni. Na istnienie antropogenicznych mokradeł zwrócili uwagę w swoich pracach m.in.: Czyłok, Rahmonov, 1996; Czyłok, 1997; Woźniak, Kompała, 2000; Czyłok, 2004; Bzdon, Ciosek, 2006; Chmura, Molenda, 2007; Bąba, Kompała, 2003; Chmura, Molenda, 2008, Czyłok i in., 2008, Bzdon, 2009; Czyłok, Szymczyk, 2009; Kompała-Bąba, Bąba, 2009; Błońska 2010, podkreślając przede wszystkim ich istotną rolę dla zachowania różnorodności biologicznej, bowiem są one często ostoją wielu rzadkich gatunków roślin torfowiskowych, w tym gatunku o znaczeniu europejskim – lipiennika Loesela (*Liparis loeselii*). W zależności od wieku oraz uwarunkowań hydrogeologicznych mokradła cechują się zróżnicowanymi właściwościami fizyczno-chemicznymi wód. W niniejszym artykule przedstawiono wstępne wyniki badań składu chemicznego wód antropogenicznych mokradeł zlokalizowanych w starych piaskowniach.

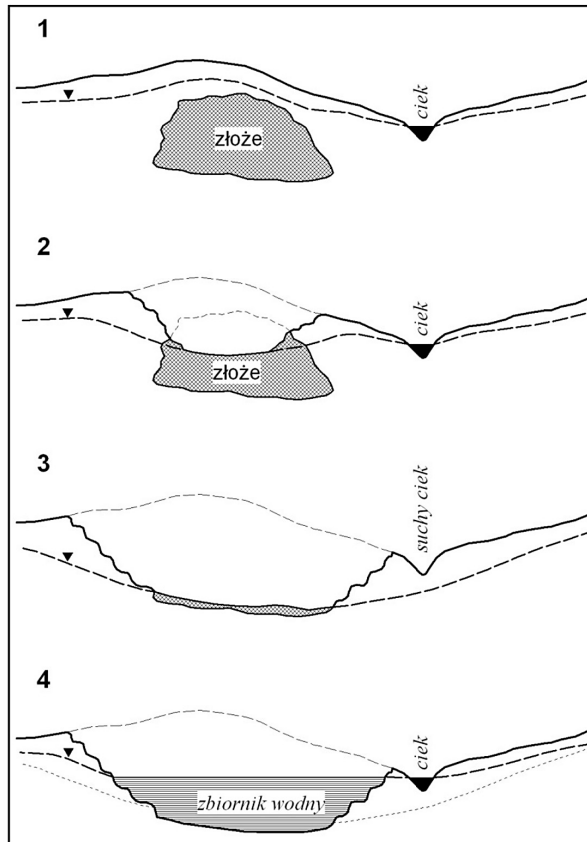
OBIEKTY I METODY BADAŃ

Do badań wytypowano dwa antropogeniczne mokradła rozwinięte w miejscach starych piaskowni. Są to mokradła: „Kuźnica” w Dąbrowie Górniczej (50° 23' 29,59" N; 19° 13' 5,57" E) oraz „Podkowa” w Jaworznie-Szczakowej (50° 15' 7,44" N; 19° 19' 12,11" E). Oprócz mokradeł antropogenicznych do badań wytypowano również naturalne torfowisko „Błędów” jako obiekt kontrolny (50° 20' 21,75" N; 19° 27' 6,48" E).

Jak już wspomniano, badane mokradła antropogeniczne rozwinęły się w wyrobiskach po odkrywkowej eksploatacji piasku. Eksploatacja odkrywkowa należy do najdrastyczniejszych form ingerencji człowieka w środowisko. W miejscu odkrywki całkowitej zagładzie ulega biocenoza. Zmianie ulegają również stosunki wodne w obszarach przyległych do odkrywki. Polegają one zarówno na przekształceniu powierzchniowej sieci hydrograficznej, jak i powstaniu leja depresji.

W początkowym okresie eksploatacji złoża, kiedy surowce znajdują się powyżej zwierciadła wód podziemnych, do wyrobiska dopływają jedynie wody opadowe oraz wody pochodzące ze spływu powierzchniowego. Z chwilą, gdy spąg wyrobiska obniży się poniżej zwierciadła wód podziemnych nastąpi ich wypływ i zalewanie wyrobiska (rys. 1). Wypływy te mogą mieć niekiedy skoncentrowany charakter oraz znaczną wydajność. Skoncentrowane wypływy stwierdzono w jednej z badanych piaskowni w Jaworznie – Szczakowej. W celu zapewnienia bezpiecznych warunków eksploatacji, dopływająca do wyrobiska woda musi być z niego usuwana. Odwadnianie wyrobiska następuje albo na drodze grawitacyjnej poprzez sieć rowów i kanałów odwadniających lub systemami pomp.

Po zakończeniu eksploatacji zaprzestaje się pompowania wód, a napływająca do wyrobiska woda doprowadza do jego zalania, co w konsekwencji prowadzi do powstania zbiornika wyrobiskowego (rys. 1). W przypadku odwodnienia grawitacyjnego, sieć rowów i kanałów nadal spełnia swe funkcje a wyrobisko pozostaje suche. W wielu jednak przypadkach, w obrębie dużego wyrobiska, mogą pozostawać zagłębienia

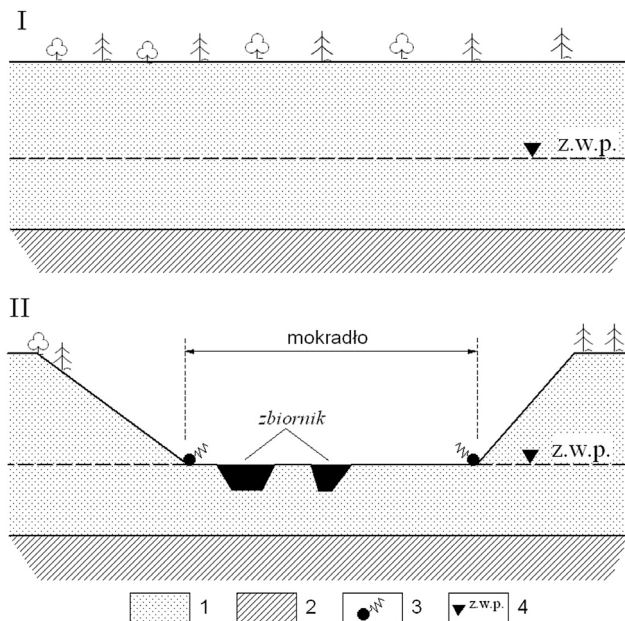


Rys. 1. Etapy powstania zbiornika wyrobiskowego: 1– okres przed eksploatacją piasków, 2 i 3 – w trakcie eksploatacji, 4 – okres po zakończeniu eksploatacji

Fig. 1. Stages of excavation reservoir forming

trudne do odwodnienia na drodze grawitacyjnej. Wówczas spąg takich zagłębień pozostaje stale wilgotny a nawet może być zatopiony. Z taką sytuacją mamy do czynienia w przypadku mokradła Podkowa. Jest to typowe zagłębienie bezodpływowe o stale podmokłym spągu wyrobiska (rys. 2). Najniższą część tego zagłębienia zajmuje zbiornik wodny w kształcie podkowy, stąd nazwa obiektu.

Trochę odmiennie kształtują się warunki hydrograficzne w obrębie mokradła Kuźnica. Powstało ono w obrębie wyrobiska wielopoziomowego. Głębokość pierwszego poziomu eksploatacyjnego nie przekroczyła poziomu wód gruntowych. Nie było więc potrzeby odwadniania wyrobiska. W późniejszym etapie eksploatacji, po przekroczeniu zwierciadła wód podziemnych odkrywkę odwadniano mechanicznie. Po zakończeniu eksploatacji wstrzymano odwadnianie wyrobiska. W następstwie doszło do zatopienia II poziomu eksploatacyjnego i utworzenia zbiornika (rys. 3). Przy krawędzi wyrobiska I poziomu eksploatacyjnego ma miejsce wypływ wód podziemnych z „przeciętej”



Rys. 2. Warunki hydrograficzne mokradła „Podkowa”. I – stan przed eksploatacją piasków, II – stan obecny: 1 – piaski, 2 – warstwa nieprzepuszczalna, 3 – wypływ wód podziemnych, 4 – zwierciadło wody gruntowej

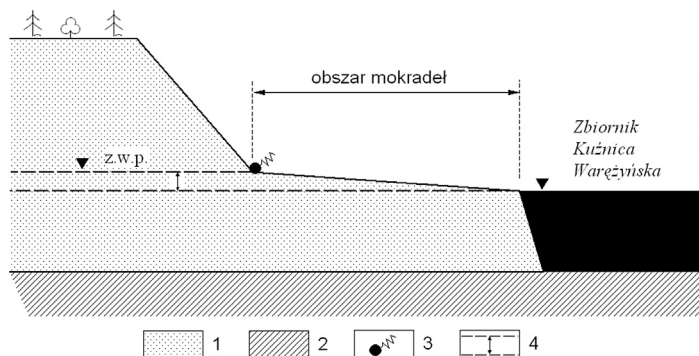
Fig. 2. Hydrographic conditions of wetland „Podkowa”. I – state before Sand exploitation, II – present state

warstwy wodonośnej (rys. 3). Wody te przepływają po powierzchni spągu I poziomu eksploacyjnego prowadząc do jego stałego zawodnienia. Po przepłynięciu wody te dopływają do zbiornika.

Powierzchnia antropogenicznych mokradeł jest zróżnicowana. Największą powierzchnię zajmuje mokradło Kuźnica ok. 30 ha. Mokradło Podkowa jest zdecydowanie mniejsze, a jego powierzchnia wynosi 10 ha, z czego trwale zatopione jest 1,4 ha.

Mokradło „Błądów” zlokalizowane jest w dolinie Białej Przemszy a jego powierzchnia wynosi 0,5 ha. Jest to naturalne torfowisko typu przejściowego [Malewski i in. 1998].

Kartowanie hydrograficzne pozwalające na ocenę stosunków wodnych obszaru mokradeł przeprowadzono zgodnie z wytycznymi podanymi przez Gutry – Korycką i Werner – Więckowską [1996]. Pomiar powierzchni mokradeł wykonano na podkładach topograficznych w skali 1: 10000. Pomiar odczynu, temperatury, potencjału redox oraz przewodnictwa elektrycznego właściwego (PEW) wykonano bezpośrednio w terenie za pomocą miernika Professional Plus firmy YSI. Próby wód do analiz chemicznych pobierano do polietylenowych butelek. Pomiarów terenowych oraz pobór prób wykonano w „kałużach” (zastoiskach wody) utrzymujących się na powierzch-



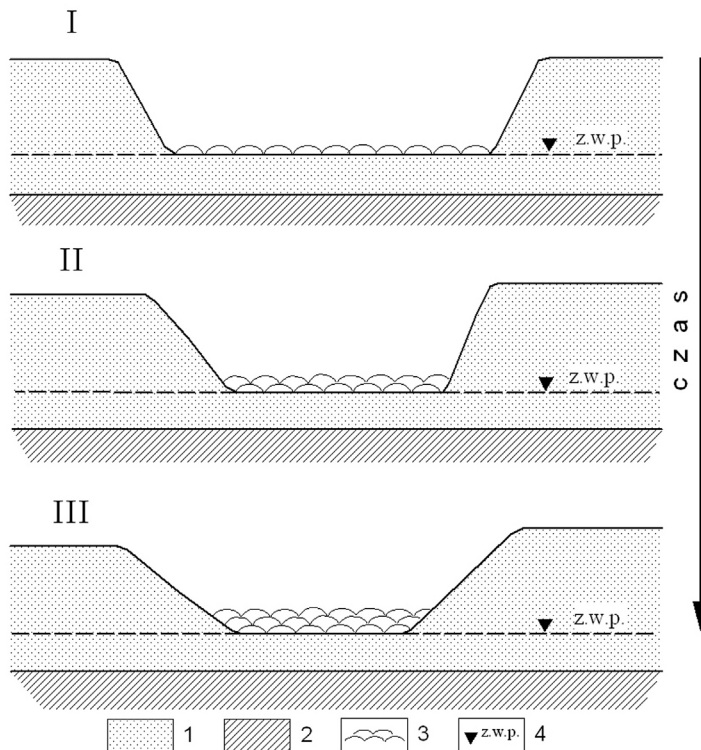
Rys. 3. Warunki hydrograficzne mokradła „Kuźnica”: 1 – piaski, 2 – warstwa nieprzepuszczalna, 3 – wypływ wód podziemnych, 4 – zakres wahań zwierciadła wód podziemnych
 Fig. 3. Hydrographic conditions of wetland „Kuźnica” (simplified scheme)

ni mokradeł. Nie wyciskano wody z osadów organicznych. Analizy laboratoryjne obejmowały oznaczenia głównych kationów i anionów w wodzie: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , PO_4^{2-} , NH_4^+ . Oznaczenia wybranych jonów wykonano zgodnie z ogólnie przyjętą metodyką badań hydrochemicznych (Krawczyk, 1999). Typ hydrochemiczny wód ustalono w oparciu o klasyfikację Szczukariewa-Prickłońskiego (Macioszczyk, 1983).

WYNIKI I DYSKUSJA

Decydujący wpływ na właściwości fizyczno – chemiczne wód antropogenicznych mokradeł ma sposób ich zasilania. W I (inicjalnej) fazie rozwoju spąg wyrobiska stale „przepłukiwany” jest wodami podziemnymi wypływającymi przy krawędziach odkrywki (rys. 4). Dlatego też skład chemiczny wód mokradeł w inicjalnych fazach sukcesji zbliżony jest do składu chemicznego wód podziemnych. Przykładowo, dla mokradła „Kuźnica” wartość PEW wynosi $> 400 \mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}$ a odczyn $\text{pH} > 6,5$. W miarę rozwoju torfowiska i narastania „poduch” mszaków torfowców (II faza) zasilanie jest mieszane gruntowo-opadowe. Przy pełnym wykształceniu, znacznej miąższości warstwy mszystej (faza III) dominującą rolę w zasilaniu zaczynają odgrywać wody opadowe. W obrębie takich mokradeł zarówno PEW jak i odczyn wód spada. Przykładowo dla mokradła „Podkowa” średnia wartości PEW wynosi $120 \mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}$ a odczyn $\text{pH} < 5,5$. Stwierdzone wartości odczynu i PEW są jednak większe od tych, jakie odnotowano w wodzie naturalnego mokradła „Błądów”. Odczyn wód tego mokradła wynosił $< 5,3 \text{ pH}$ a $\text{PEW} < 50 \mu\text{S} \times \text{cm}^{-1}$.

W wodzie inicjalnych mokradeł stwierdzono również wysokie stężenie jonów wapnia i magnezu. Dla mokradła Kuźnica średnie stężenie wapnia wynosiło $52 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$ a magnezu $12 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$. Dla porównania, w mokradle Podkowa o zaawan-



Rys. 4. Procesy sukcesji na antropogenicznym mokradle. I – faza inicjalna (dominuje zasilanie wodami gruntowymi), II – etap przejściowy (zasilanie gruntowo-opadowe), III – faza dojrzała (dominuje zasilanie opadowe): 1 – piaski, 2 – warstwa nieprzepuszczalna, 3 – „puduchy” torfowców, 4 – zwierciadło wody podziemnej

Fig. 4. Processes of successions on anthropogenic wetland. I – initial phase (underground waters supply is dominating process), II – transitional phase (underground waters supply and precipitation), III – mature phase (precipitation is dominating process)

Tabela 1. Skład chemiczny wód ($\text{mg} \times \text{dm}^{-3}$) naturalnych i antropogenicznych mokradeł (9.11.2011)

Obiekt	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	NH_4^+	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-
Podkowa	7,07	2,35	0,6	0,02	0,57	12,2	4,35	16,46	0,03
Kuźnica	47,54	8,44	17,99	3,47	0,00	100,68	33,14	5,64	5,83
Błędów	3,72	0,65	1,47	0,01	0,18	0,00	5,64	4,36	0,03

sowanych procesach sukcesji średnie stężenie wapnia wynosiło $9 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$ i odpowiednio magnezu $3 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$. Różnice stwierdzono również w przypadku chlorków. W wodzie mokradła „Kuźnica” średnie stężenie chlorków wynosiło $34 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$ i było ono większe od tego, jakie stwierdzono w mokradle Podkowa ($6 \text{ mg} \times \text{dm}^{-3}$).

Wraz z rozwojem mokradel następuje również transformacja składu jonowego wód. Wody mokradel inicjalnych, zasilanych wodami podziemnymi cechuje wodorowęglanowo-wapniowy typ wód ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$) (Kuźnica). W późniejszym okresie, na skutek zakwaszenia, obniżeniu ulega zawartość jonów wodorowęglanowych (HCO_3^-). Wówczas dominującym anionem pozostają siarczany a wody reprezentują typ siarczanowo - wapniowy ($\text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}^{2+}$). Taki sam typ hydrochemiczny stwierdzono dla wód naturalnego mokradła. Jest to związane z ombrofilnym zasilaniem tych obiektów.

PODSUMOWANIE

W starych piaskowniach, które nie zostały zrehabilitowane dochodzi do procesów spontanicznej sukcesji [Kompala, 1997; Czylok, Baryła 2003, Szymczyk, Rahmonov, 2010]. Jeżeli spąg wyrobisk pozostaje stale wilgotny w piaskowniach mogą rozwinąć się bardzo cenne, pod względem przyrodniczym, mokradła. Obiekty te podlegają naturalnym procesom sukcesji, które modyfikują skład chemiczny wód. Obiekty młode cechuje większa mineralizacja wód związana z zasilaniem wodami podziemnymi. W późniejszym okresie mineralizacja maleje a wody ulegają zakwaszeniu. W Polsce badania dotyczące ekologii mokradel i wzajemnych zależności między roślinnością a siedliskiem prowadzone są bardzo rzadko [Gąbka, Lamentowicz 2008]. Ogólnie wiadomo, że mszaki, szczególnie torfowce, mogą zmieniać właściwości siedliska, głównie jego właściwości chemiczne powodując m.in. zakwaszenie, co znajduje też odzwierciedlenie w roślinności [van Breemen 1995, Sjörs and Gunnarston 2002]. Zaobserwowane procesy w obiektach antropogenicznych są więc analogiczne do tych, jakie występują w naturalnych.

PIŚMIENNICTWO

- Czylok A. 2004. Wyrobiska po eksploatacji piasku na Wyżynie Śląskiej i ich roślinność. [W:] J. Partyka (red.) Zróżnicowanie i przemiany środowiska przyrodniczo-kulturowego Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, t. 1, Przyroda. Wyd. Ojcowski PN, Ojców: 205–212.
- Chmura D., Molenda T. 2008 a. Antropogeniczne mokradła Wyżyny Śląskiej na przykładzie wyrobisk poeksploatacyjnych. [W:] S. Żurek (red.), Torfowiska gór i wyżyn: 31–40.
- Gutry-Korycka M., Werner-Więckowska H. (red.) 1989. Przewodnik do hydrograficznych badań terenowych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, ss. 275.
- Krawczyk W.E. 1999. Hydrochemia: ćwiczenia laboratoryjne dla III roku geografii. Wyd. UŚ, Katowice, ss. 89.
- Macioszczyk A. 1987. Hydrogeochemia, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, ss. 475
- Bąba W., Kompala A. 2003. Piaskownie jako centra bioróżnorodności. Środowisko i Rozwój, 7(1): 85–101.
- Błońska A. 2010. Siedliska antropogeniczne na Wyżynie Śląskiej jako miejsca występowania rzadkich i zagrożonych gatunków torfowiskowych klasy *Scheuchzeria-Caricetea nigrae* (North. 1937)R. Tx. 1937 Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 10(1): 7–19.

- Bzdon G. 2009. Post-exploitation excavations as supplementary habitats for protected and rare vascular plant species. [W:] Z. Mirek, A. Nikiel [red.], Rare, relicts and endangered plants and fungi In Poland. W. Szafer Institute of Botany. Polish Academy of Sciences, Kraków: 137-142.
- Bzdon G., Ciosek M.T. 2006. Fen orchid *Liparis loeselii* [L.] Rich. in abandoned gravel-pit in Dąbrówka Stany near Siedlce (Poland). Biodiv. Res. Conserv., 1–2: 193–195.
- Chmura D., Molenda T. 2007. The anthropogenic mire communities of the Silesian Upland (S Poland): a case of selected exploitation hollows. Nature Conservation, 64 (7): 57–63.
- Czyłok A., Rahmonov O. 1996. Unikatywne układy fitocenotyczne w wyrobiskach wschodniej części województwa katowickiego. Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych. WBiOŚ, WNoZ UŚ, Katowice-Sosnowiec, 23: 27–31.
- Czyłok A. 1997. Pionierskie zbiorowiska ze skrzypem pstrym *Equisetum variegatum* Schlech. w wyrobiskach po eksploatacji piasku. [W:] Wika S. [red.] Roślinność obszarów piaszczystych. Wydział Biologii i Ochrony Środowiska Uniwersytet Śląski, Zespół Jurajskich Parków Krajobrazowych, Katowice-Dąbrowa Górnicza: 61–66.
- Czyłok A., Baryła J. 2003. Wczesne stadia sukcesji roślinnej w wyrobisku po eksploatacji piasku w Kuźnicy Warężyńskiej. Przyroda Górnego Śląska, 31: 11–12.
- Czyłok A., Rahmonov O., Szymczyk A. 2008. Biological diversity in the area of quarries after sand exploitation in the eastern part of Silesian Upland. Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przynr. OL PAN, 5A: 15–22.
- Czyłok A., Szymczyk A. 2009. Sand quarries as biotopes of rare and critically endangered plant species. [W:] Z. Mirek, A. Nikiel [red.], Rare, relicts and endangered plants and fungi In Poland. W Szafer Institute of Botany. Polish Academy of Sciences, Kraków: 187–192.
- Gąbka M., Lamentowicz M. 2008. Vegetation-environment relationships In peatlands dominated by *Sphagnum fallax* In Western Poland. Folia Geobot., 43: 413–429.
- Kompała A. 1997. Spontaniczne procesy sukcesji na terenach po eksploatacji piasku na obszarze województwa katowickiego. Przegląd Przyrodniczy, 8 (1): 163–168.
- Kompała-Bąba A., Bąba W. 2009. Threatened and protected species In the Kuźnica Warężyńska sandpit (Wyżyna Śląska Upland, S Poland). [W:] Z. Mirek, A. Nikiel [red.], Rare, relict and endangered plants and fungi In Poland. W Szafer Institute of Botany. Polish Academy of Sciences, Kraków: 259–268.
- Malewski K., Stebel A., Wika S. 1998. Godne ochrony torfowisko w okolicy Błędowa na Wyżynie Śląskiej. Chroń. Przynr. Ojcz., 54(6): 89–92.
- Sjörs H., Gunnarson B. E. 2002. Calcium and pH In North and central Swedish mire Walters. J. Ecol., 90: 650–657.
- Szymczyk A., Rahmonov O. 2010. Szata roślinna antropogenicznych cieków i stref wpływu wód w piaskowni „Siemonia”. Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych Uniwersytet Śląski, WBiOŚ, WNoZ, Katowice-Sosnowiec, 42: 80–87.
- van Breemen N. 1995. How Sphagnum bogs dawn other plants. Trends Ecol. Evol., 10: 270–275.
- Woźniak G., Kompała A. 2000. Gatunki rzadkie i chronione na nieużytkach poprzemysłowych. [W:] Migula P., Nakonieczny M. [red.]. Problemy środowiska i jego ochrona. 8. Centrum Studiów nad Człowiekiem i Środowiskiem. UŚ. Katowice: 103–109.

Praca finansowana z projektu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N305 384938.

HYDROGRAPHIC AND HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ANTHROPOGENIC WETLANDS (A STUDY OF FORMER SANDPITS)

Summary. It was revealed that new wetlands are characterized by low mineralization and neutral pH of waters. Waters of older wetlands have lower mineralization and acid pH. It is associated with different types of wetlands. Wetlands in initial phases of succession are mainly supplied with underground waters. In further phase supply of precipitation waters it starts to dominate.

Key words: anthropogenic wetlands, hydrochemistry, water quality, succession, excavations.