

Justyna Rybak, Grzegorz Pasternak

Wykorzystanie makrobezkręgowców do oceny biologicznej jakości wody na terenach wodonośnych we Wrocławiu

Badania jakości wody w Polsce w dużej mierze opierają się na wynikach analiz fizyczno-chemicznych, natomiast wskaźniki biologiczne wciąż stosowane są sporadycznie, mimo że zwierzęta wodne są czułym narzędziem do oceny zarówno krótko- jak i długoterminowych zaburzeń zachodzących w ekosystemach wodnych [1–3]. Do oceny jakości wody szczególnie dobrze nadają się makrobezkręgowce bentosowe zamieszkujące osady denne, których większość gatunków spełnia kryteria idealnego organizmu wskaźnikowego [4]. Wykorzystanie makrobezkręgowców do oceny jakości wody uwarunkowane jest ich dużą dostępnością, łatwym poborem próbek oraz stosunkowo prostą identyfikacją do rangi rodziny. Ich cykl życiowy jest na tyle długi, aby można było zarejestrować stan środowiska wodnego i zachodzące w nim zmiany, a ich względnie osiadły tryb życia odzwierciedla lokalne warunki panujące w środowisku [3, 4]. Zalety makrobezkręgowców zostały wykorzystane do opracowania wskaźników biotycznych, które opierają się na ilościowych zmianach taksonów w miarę wzrostu stopnia zanieczyszczenia wody. Z uwagi na różnorodność metod biotycznych, wybranie najlepszej z nich do stosowania w Polsce okazało się trudne. Ostatecznie przyjęto polską modyfikację wskaźnika BMWP-PL [3].

W niniejszej pracy podjęto próbę oceny jakości wody w oparciu o analizę makrozoobentosu zasiedlającego stawy infiltracyjne we Wrocławiu oraz graniczące z nimi starorzecze Oławy. Z terenów wodonośnych oraz z Oławy zasilanej wodą z Nysy Kłodzkiej ujmowana jest woda do zaopatrzenia Wrocławia. W związku z sąsiadującymi z terenami wodonośnymi Elektrociepłownią „Czechnica” oraz składowiskiem odpadów żelazochromu, powstałym w wyniku działalności nieczynnej już Huty „Siechnice”, istnieje możliwość spływu związków toksycznych, a co za tym idzie – zanieczyszczenia wody na tych terenach metalami ciężkimi [5]. Z tego względu uzasadniona jest ocena stopnia zanieczyszczenia wody w wybranych stawach infiltracyjnych oraz starorzeczu Oławy poprzez porównanie akwenów znajdujących się w sąsiedztwie terenów przemysłowych oraz usytuowanych na obszarze pobawionym zanieczyszczeń. Ocena jakości biologicznej wody przeprowadzono w oparciu o analizę bioróżnorodności i struktury zbiorowisk makrozoobentosu, wykorzystując do tego celu różne wskaźniki biotyczne. Przeprowadzone badania są pierwszą próbą analizy składu makrobezkręgowców bentosowych na terenach wodonośnych we Wrocławiu i w starorzeczu Oławy.

Materiały i metody

Tereny wodonośne o powierzchni 1026 ha położone są w południowo-wschodniej części Wrocławia. Jest to płaski obszar, przeważnie o charakterze łąki, tylko częściowo zakrzewiony i zadrzewiony, pokryty systemem rowów i kanałów, które doprowadzają wodę do 63 stawów infiltracyjnych [6]. Do badań wytypowano pięć stawów infiltracyjnych, których średnia szerokość wynosiła 15÷50 m, długość 130÷280 m, a głębokość 2,5÷3,5 m. W wyniku wieloletniej eksploatacji, podczas której zabiegi czyszczenia stawów prowadzone były rzadko, nagromadzona została w nich znaczna ilość osadów dennych [6]. W pobliżu jednego ze stawów znajduje się hałda popiołów i odpadów poprodukcyjnych z nieczynnej już Huty „Siechnice”. Pozostały obszar terenów wodonośnych jest pozbawiony wpływu zanieczyszczeń. Badania przeprowadzono również w starorzeczu Oławy.

Wybrane stawy infiltracyjne porośnięte są głównie trzciną pospolitą *Phragmites australis*, rośliną kosmopolityczną o szerokiej tolerancji ekologicznej. W najbliższej okolicy występują pojedyncze drzewa liściaste – lipa szerokolistna *Tilia platyphyllos* (gatunek głównie nizinny, wymagający żyznych gleb), lipa drobnolistna *Tilia mordata* (gatunek pospolity w Polsce, wrażliwy na duże zanieczyszczenia powietrza) oraz olsza czarna *Alnus glutinosa* (jedno z ważniejszych drzew wilgotnych nadbrzeżnych zarośli) [7].

Staw 1 (ok. 0,4 ha) położony jest przy południowo-wschodniej granicy terenów wodonośnych. Od strony granicznej występują pojedyncze drzewa liściaste, a jego brzegi porośnięte są trzciną pospolitą. Staw leży w pobliżu miejscowości Radwanice (ok. 1 km), od której oddzielony jest polami uprawnymi. Staw 2 (ok. 0,5 ha) położony jest również przy południowo-wschodniej granicy terenów wodonośnych. Brzegi stawu porośnięte są także trzciną pospolitą. Położony jest w pobliżu miejscowości Radwanice i Siechnice (ok. 1 km). Staw 3 (0,45 ha) położony jest w centrum terenów wodonośnych. Wokół brzegu rośnie trzcina oraz znajdują się niewielkie zadrzewienia. Staw 4 (ok. 0,15 ha) leży w najbliższym sąsiedztwie stawu 3, centrum terenów wodonośnych. Jest najmniejszy z badanych, jego brzeg jest porośnięty trzciną. Największy staw 5 (ok. 0,98 ha) usytuowany jest w bezpośrednim sąsiedztwie hałdy odpadów (300 m) oraz miejscowości Siechnice. Położony jest we wschodniej części terenów wodonośnych, na samej ich granicy. Jego brzegi porośnięte są trzciną oraz pojedynczymi drzewami.

Tabela 1. Ujednolicona klasyfikacja wody na podstawie wskaźników biotycznych
Table 1. Unified classification of water quality according to the biotic indices studied

CBS	TBI	EPT	BBI	FBI	APST-PL	BMWP-PL	Klasa	Jakość wody
>3000	9÷10	90÷100%	9÷10	0÷3,95	>5,4	>150	I	bardzo dobra
300÷2999	7÷8	70÷80%	7÷8	3,96÷4,85	4,81÷5,4	101÷150	II	dobra
180÷299	5÷6	50÷60%	5÷6	4,86÷5,90	4,21÷4,8	51÷100	III	zadowalająca
45÷179	3÷4	30÷40%	3÷4	5,91÷6,95	3,61÷4,2	16÷50	IV	niezadowalająca
<45	0÷2	10÷20%	1÷2	6,96÷10,0	3,6>	0÷15	V	zła

Starorzecze Oławy stanowi odcięty zbiornik pozostały po meandrującej rzece. Położony jest w północno-wschodniej części terenów wodonośnych. Nad jego brzegiem znajduje się ujęcie powierzchniowe (pompownia „Czechnica”). Brzegi starorzecza, oprócz trzciny pospolitej, porośnięte są drzewami i krzewami. Dominują olsza czarna, lipa drobnolistna i szerokolistna. W niektórych miejscach drzewa są zanurzone w wodzie.

Analizy chemiczne wody (pH, azotany, azotyny, azot amonowy, fosforany, żelazo, chrom) zostały wykonane przez Okręgową Stację Chemiczno-Rolniczą we Wrocławiu. Makrobezkręgowce pobrano z każdego stanowiska badawczego trzykrotnie, w maju, czerwcu i lipcu 2008r. Do poboru bentosu wykorzystano czerpak o otworach 154 μm, przy czym liczba próbek pobranych jednorazowo wynosiła 10 na obszarze 0,25 m². Zastosowano metodę pobierania próbek tzw. kopnięciem (Danish fauna Index) przy pomocy czerpaka [8, 9]. Zebrane gatunki zostały utrwalone w alkoholu (80%), ponumerowane i oznaczone z użyciem odpowiednich kluczy [10] za pomocą mikroskopu stereoskopowego. Zagęszczenie organizmów wyrażono ich liczbą na powierzchni 0,25 m². Wykorzystano siedem różnych wskaźników biotycznych, bazujących na wrażliwości kluczowych grup taksonomicznych na zanieczyszczenia oraz uwzględniających liczbę grup obecnych w próbce. Do oceny biologicznej jakości wody zastosowano [11–15]:

- wskaźnik biotyczny rzeki Trent TBI (Trent Biotic Index),
- sumaryczny wskaźnik jakości wody BMWP-PL (Biological Monitoring Working Party),
- wskaźnik jakości wody Chandlera CBS (Chandler Biotic System),
- wskaźnik jakości wody ASPT-PL (Average Score Per Taxon),
- wskaźnik FBI (Family Biotic Index),
- belgijski wskaźnik biotyczny BBI (Belgian Biotic Index),
- wskaźnik EPT_{TAX}, pochodzący od nazw trzech rzędów owadów, których larwy są wykorzystywane w tej metodzie (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera).

Ze wskaźnikami, w zależności od wrażliwości bezkręgowców na zanieczyszczenia, skorelowane są punkty, których suma daje odpowiedni stopień czystości wody. Aby dokonać porównania jakości wody na podstawie wskaźników biotycznych zastosowano ujednoliconą klasyfikację przedstawioną w tabeli 1.

Zebrane organizmy posłużyły do analizy trzech składowych struktury biocenoz – bogactwa gatunkowego, czyli określenia liczby występujących gatunków, struktury dominacji (D) (jednolitość rozkładu osobników każdego gatunku) oraz częstości występowania (F) [16]. Ponadto do oceny bioróżnorodności wykorzystano wskaźniki Margalefa [17] i Hurlberta (PiE) [16].

Wyniki badań

Charakterystykę składu chemicznego wody przedstawiono w tabeli 2. Woda w stawach infiltracyjnych oraz starorzeczu Oławy charakteryzowała się umiarkowanym i silnym zanieczyszczeniem (tab. 1). Zarówno pH, jak i zawartości azotanów oraz azotu amonowego nie wykroczyły poza granice II klasy czystości wg rozporządzenia Ministra Środowiska z 20 sierpnia 2008 r. (Dz. U. nr 162, poz. 1008). Z kolei zawartość azotynów i fosforanów w tym rozporządzeniu nie podlega klasyfikacji. Azotyny są formą przejściową przemiany azotu amonowego do azotanów, przy czym nawet mała ilość azotynów jest toksyczna dla środowiska wodnego [18]. W badanych próbkach największą zawartość azotynów zaobserwowano w stawie 5. Kolejnym badanym wskaźnikiem zanieczyszczenia wody był fosfor. Związki fosforu, mimo że nie są szkodliwe dla zdrowia człowieka, są niepożądane w wodzie, ponieważ sprzyjają rozwojowi mikroorganizmów. Obecność tych związków w wodzie przeznaczony do spożycia budzi także obawy natury higieniczno-sanitarnej, zwłaszcza jeżeli występują wraz ze związkami azotowymi [19]. Dużą ilość fosforanów zaobserwowano na wszystkich badanych stanowiskach (w tym w starorzeczu Oławy). Obecność azotynów w wodzie świadczy o tym, że zachodzą w niej procesy utleniania i redukcji. Związki fosforu, podobnie jak związki azotu,

Tabela 2. Właściwości fizyczno-chemiczne wody w stawach infiltracyjnych i starorzeczu Oławy
Table 2. Physicochemical properties of water in wet ponds and old Olawa river basin

Stanowisko	pH	Azotany gNO ₃ ⁻ /m ³	Azotyny gNO ₂ ⁻ /m ³	Azot amonowy gNH ₄ ⁺ /m ³	Fosforany gPO ₄ ³⁻ /m ³	Żelazo og. gFe/m ³	Chrom gCr/m ³
Staw 1	7,3	7,53	0,75	0,62	1,90	–	–
Staw 2	7,2	5,71	0,65	0,58	2,18	–	–
Staw 3	7,4	4,83	0,55	0,37	1,87	–	–
Staw 4	7,0	4,74	0,45	0,66	2,33	–	–
Staw 5	7,1	8,46	1,34	0,50	2,18	0,0782	0,0024
Starorzecze Oławy	7,3	5,36	0,58	0,71	1,99	–	–

Tabela 3. Skład zgrupowań makrozoobentosu na stanowiskach badawczych
Table 3. Macrozoobenthos composition at sampling sites

Grupa taksonomiczna	Liczba taksonów/liczba osobników						
	staw 1	staw 2	staw 3	staw 4	staw 5	starorzecze Oławy	razem
Gastropoda	–	2/20	1/60	1/60	–	2/60	6/200
Viviparidae	–	10	–	–	–	10	–
Lymnaeidae	–	10	60	60	–	50	–
Bivalvia	2/93	2/155	2/101	1/10	1/33	1/266	9/658
Dreissenidae	11	121	90	–	33	266	–
Unionidae	82	34	11	–	–	–	–
Sphaeriidae	–	–	–	10	–	–	–
Diptera	–	1/10	1/83	1/64	1/140	1/212	5/509
Chironomidae	–	10	83	64	140	212	–
Ephemeroptera	1/33	3/66	3/140	1/57	–	2/197	10/493
Caenidae	33	33	15	57	–	27	–
Heptageniidae	–	12	–	–	–	170	–
Potamanthidae	–	21	15	–	–	–	–
Ephemeridae	–	–	120	–	–	–	–
Trichoptera	–	1/10	1/12	3/43	1/12	1/23	7/100
Limnephilidae	–	–	–	–	12	23	–
Goeridae	–	10	–	–	–	–	–
Ecnomidae	–	–	12	22	–	–	–
Brachycentridae	–	–	–	10	–	–	–
Sericostomatidae	–	–	–	12	–	–	–
Odonata	–	3/59	1/68	–	1/21	1/8	6/156
Platycnemididae	–	33	68	–	21	8	–
Coenagrionidae	–	17	–	–	–	–	–
Gomphidae	–	16	–	–	–	–	–
Megaloptera	–	1/13	1/42	1/6	–	1/51	4/112
Sialidae	–	13	42	6	–	51	–
Planipennia	–	–	–	–	–	1/4	1/4
Sisyridae	–	–	–	–	–	4	–
Heteroptera	–	1/12	–	–	–	1/23	2/35
Corixidae	–	–	–	–	–	23	–
Nepidae	–	12	–	–	–	–	–
Crustacea	–	–	2/40	1/71	1/13	2/46	6/170
Mysidacea	–	–	–	–	–	18	–
Isopoda	–	–	23	71	13	28	–
Decapoda	–	–	17	–	–	–	–
Razem	3/126	14/345	12/546	9/311	5/219	13/890	56/2437

mogą pochodzić z ługowania gleby nawożonej nawozami fosforanowymi, bądź z rozkładu związków organicznych zawartych w ściekach gospodarczych i przemysłowych. Prawdopodobnie zanieczyszczenia te pochodziły z Oławy i Nysy Kłodzkiej, których wody wykorzystywane są do zasilania stawów infiltracyjnych. Ponadto w wodzie ze stawu 5 wykryto również śladowe ilości metali ciężkich (żelazo i chrom). Ilość chromu nie przekraczała wartości granicznej, z kolei dopuszczalnej wartości żelaza nie ustalono w rozporządzeniu Ministra Środowiska z 20 sierpnia 2008 r., ale – zgodnie z uprzednio obowiązującym rozporządzeniem (z 11 lutego 2004 r.) – stwierdzone wartości także były nieznaczne.

Ogółem zebrano 2437 osobników należących do Gastropoda, Bivalvia, Ephemeroptera, Odonata, Trichoptera, Heteroptera, Diptera, Megaloptera, Neuroptera i Crustacea. Na badanym obszarze zidentyfikowano 56 taksonów (tab. 3), które posłużyły do oceny biologicznej jakości wody.

Większość gatunków bezkręgowców, których obecność stwierdzono na terenach wodonośnych była charakterystyczna w przypadku wód lekko zanieczyszczonych oraz charakteryzujących się mulistym dnem (Megaloptera, Caenidae, Unionidae, Gastropoda, Diptera, Isopoda). Osobniki wrażliwe na zanieczyszczenia występowały sporadycznie i reprezentowane były przez dwie rodziny chruścików – Limnephilidae i Brachycentridae.

Tabela 4. Klasyfikacja jakości wody na stanowiskach badawczych według wskaźników biotycznych
Table 4. Water quality classification according to biotic indices at sampling sites

Wskaźnik biotyczny	Staw 1		Staw 2		Staw 3		Staw 4		Staw 5		Starorzecze Oławy	
	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa	wartość	klasa
BMWP-PL	21	IV	83	III	64	III	43	IV	26	IV	57	III
ASPT-PL	7,0	I	5,9	I	5,3	II	4,8	III	5,2	II	4,4	III
TBI	5	III	7	II	8	II	5	III	4	IV	9	I
FBI	6,2	IV	5,7	III	5,0	III	8,7	V	9,6	V	4,1	II
BBI	3	IV	6	III	5	III	6	III	5	III	5	III
CBS	137	IV	515	II	381	II	378	II	112	IV	410	II
EPT _{TAX}	25	IV	22	IV	29	IV	30	IV	5	V	24	IV

Klasyfikację biologiczną i porównanie jakości wody za pomocą wybranych wskaźników biotycznych przedstawiono w tabeli 4, natomiast w tabeli 5 przedstawiono klasyfikację wody na podstawie wskaźnika Margalefa. Wszystkie wody zostały sklasyfikowane do I klasy czystości, z wyjątkiem stawów 1 i 5, które należały do III klasy. Taki wynik miał związek z niewielką liczbą rodzin występujących na badanych stanowiskach. W tej samej tabeli przedstawiono wartości wskaźnika Hurlberta na wszystkich badanych stanowiskach. Można zauważyć, że także najmniejszą wartość tego wskaźnika osiągnęła woda w stawach 1 i 5. W przypadku stawów rozpatrywanych jako całość (stawy ogółem) wartość tego wskaźnika była dużo większa.

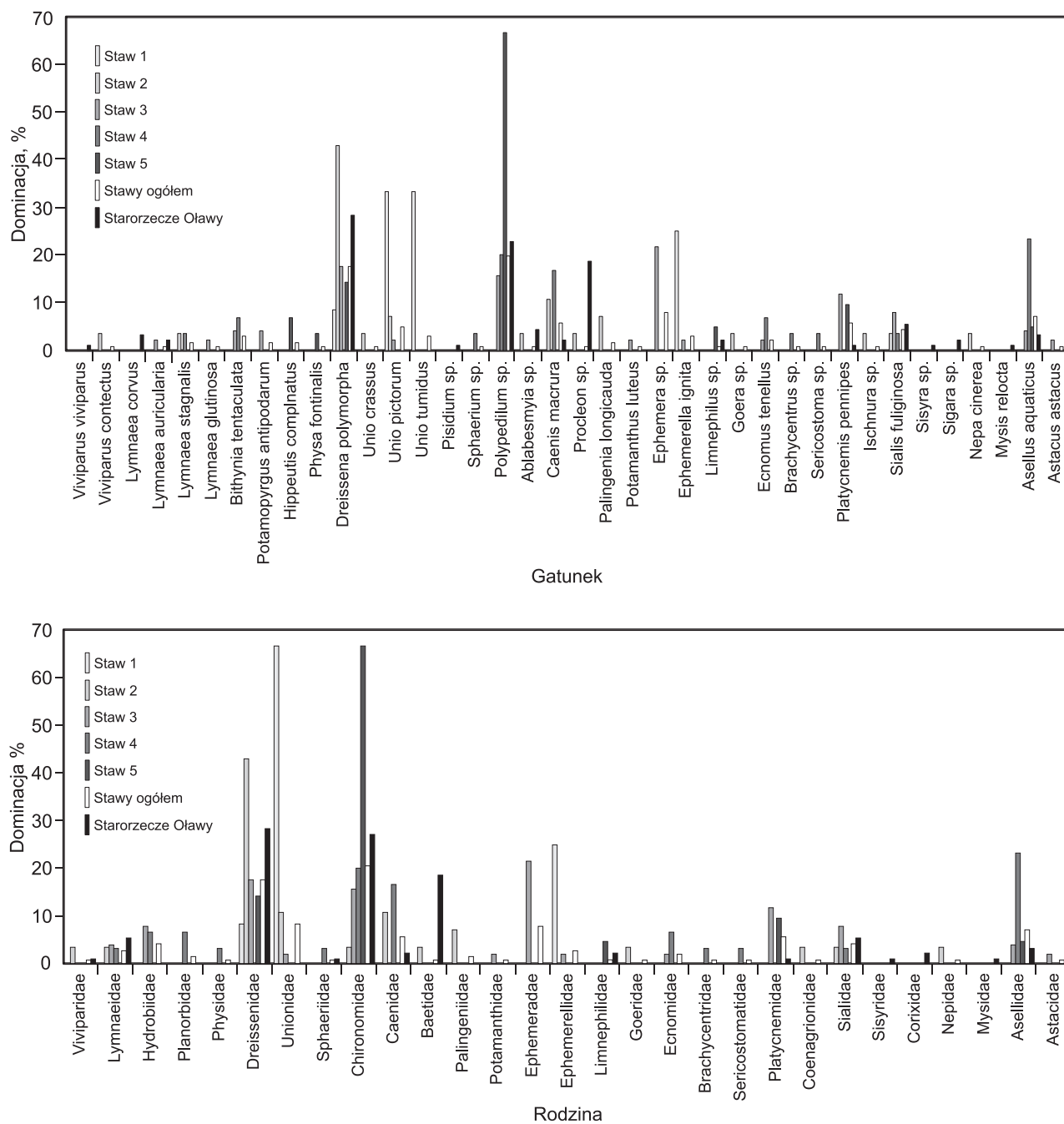
Tabela 5. Wartości wskaźników Margalefa i Hurlberta
Table 5. Values of Margalef and Hurlbert indices

Miejsce	Wskaźnik Margalefa	Klasa czystości wody	Wskaźnik Hurlberta
Staw 1	2,78	III	0,65
Staw 2	8,29	I	0,76
Staw 3	7,61	I	0,85
Staw 4	8,12	I	0,83
Staw 5	3,78	III	0,50
Stawy ogółem	12,08	I	0,90
Starorzecze Oławy	7,13	I	0,82

Strukturę dominacji gatunków i rodzin na poszczególnych stanowiskach badawczych przedstawiono na rysunku 1. Wskaźnik dominacji Simpsona osiągnął największą wartość w przypadku stawu 5, czego powodem była duża dominacja *Polypedium* sp. We wszystkich stawach, z wyjątkiem 1 i 2, dominował *Polypedium* sp. Równie dużą dominacją charakteryzował się gatunek *Dreissena polymorpha*, który nie został stwierdzony jedynie w stawie 4. Największe wartości wskaźnika dominacji osiągnęły w stawie 1 trzy gatunki – *Unio pictorum*, *Unio tumidus* i *Ephemerella ignita*. W przypadku rodzin (rys. 2) odnotowano dominację Chironomidae w stawie 5 oraz Unionidae w stawie 1, które są charakterystyczne w przypadku wód lekko zanieczyszczonych. W stawie 2 dominowała z kolei rodzina Dreissenidae, która jest stosunkowo wrażliwa na duże zanieczyszczenia. W pozostałych stawach oraz w starorzeczu stwierdzono bardziej równomierny rozkład dominacji. W stawie 1 wyróżniono tylko dwie klasy dominacji – eudominantów oraz dominantów. Do eudominantów

zaliczono aż trzy z czterech występujących tam gatunków – *Unio pictorum*, *Unio tumidus* i *Ephemerella ignita*, natomiast czwarty gatunek *Dreissena polymorpha* był dominantem. W stawie 5 wyróżniono już trzy klasy dominacji, zarówno wśród gatunków, jak i rodzin. Do grupy eudominantów należały dwa gatunki *Dreissena polymorpha* i *Polypedium* sp., dominantem był jeden takson – gatunek *Platycnemis pennipes*, pozostałe zaliczono do subdominantów. W stawach 2 i 4 również występowały trzy klasy dominacji. Staw 4 charakteryzował się trzema gatunkami w klasie eudominantów (*Polypedium* sp., *Caenis macrura* i *Asellus aquaticus*) i trzema w klasie dominantów (*Bithynia tentaculata*, *Hippeutis complanatus* i *Ecnomus tenellus*), pozostałe gatunki należały do subdominantów. W stawie 2 stwierdzono, iż na te dwie klasy przypadają po dwa gatunki – odpowiednio *Dreissena polymorpha* i *Caenis macrura* oraz *Unio pictorum* i *Palingenia longicauda*, pozostałe taksony również należały do klasy subdominantów. Tylko w przypadku stawu 3 i starorzecza Oławy gatunki i rodziny znajdowały się we wszystkich klasach dominacji. Eudominantami w stawie 3 były *Dreissena polymorpha*, *Polypedium* sp., *Ephemera* sp. i *Platycnemis pennipes*, natomiast w starorzeczu Oławy *Dreissena polymorpha*, *Polypedium* sp. oraz *Proclon sp.* W obu przypadkach dominantem był *Salix fuliginosa*. Do subdominantów w starorzeczu Oławy zaliczono *Lymnaea corvus*, *Lymnaea auricularia*, *Ablabesmyia* sp., *Caenis macrura*, *Limnephilus* sp., *Sigara* sp. i *Asellus aquaticus*. W przypadku stawu 3 odnotowano mniej subdominantów, niż w starorzeczu Oławy (*Bithynia tentaculata*, *Potamopyrgus antipodarum* i *Asellus aquaticus*). Pozostałe gatunki należały do recedentów.

Największą częstość występowania (100%) odnotowano w starorzeczu Oławy – cechowała ona gatunek *Polypedium* sp., natomiast nieco mniejszą charakteryzował się gatunek *Dreissena polymorpha*, oba jednak zaliczały się do gatunków absolutnie stałych w starorzeczu Oławy. Nie stwierdzono występowania gatunków stałych. Do akcesorycznych zaliczono *Lymnaea corvus*, *Ablabesmyia* sp., *Limnephilus* sp., *Salix fuliginosa* i *Asellus aquaticus*. Pozostałe gatunki sklasyfikowano jako przypadkowe. Z kolei w stawach stwierdzono występowanie tylko jednego gatunku absolutnie stałego – *Dreissena polymorpha*. Gatunkami stałymi były *Unio pictorum*, *Polypedium* sp., *Salix fuliginosa*, *Asellus aquaticus*, *Lymnaea stagnalis*, *Bithynia tentaculata*, *Caenis macrura* i *Ephemerella ignita*. *Ecnomus tenellus* i *Platycnemis pennipes* stanowiły gatunki akcesoryczne w stawach.



Rys. 1. Struktura dominacji gatunków i rodzin na stanowiskach badawczych
Fig. 1. Structure of species and families domination at sampling sites

Dyskusja wyników

Wrocławskie tereny wodonośne, leżące na obszarze Niziny Śląskiej, w całości objęte są strefą ochrony sanitarnej, przez co są niedostępne dla ludności oraz teoretycznie nie mają żadnych źródeł zanieczyszczeń. Woda z Oławy i Nysy Kłodzkiej poddawana jest w stawach procesowi samooczyszczania na drodze infiltracji [6]. Zastosowany bogaty zestaw wskaźników biotycznych, oparty na analizie zespołu makrobezkręgowców, odzwierciedla zróżnicowanie stanowisk pod względem stanu zanieczyszczenia wody. W Polsce bardzo rzadko przeprowadza się analizę jakości wody przy użyciu większej liczby wskaźników biotycznych [2, 20], przy czym wskaźnikiem, który najniżej ocenił badane stanowiska był EPT_{TAX} . Według tego systemu, woda aż w pięciu stanowiskach badawczych należała do IV klasy czystości, natomiast na jednym stanowisku

(staw 5) nawet do V klasy. Metoda EPT_{TAX} opiera się na obecności trzech najwrażliwszych rodzin larw owadów – Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera. Plecoptera występują w wodach czystych i dobrze natlenionych o szybkim nurcie [14]. Tym samym całkowity brak tego taksonu w badanym typie wody znacząco wpłynął na pogorszenie wyniku klasyfikacji. Przy użyciu metody BBI, wody na pięciu stanowiskach zostały sklasyfikowane jako zadowalającej jakości. Wyjątek stanowił staw 1, w którym woda miała niezadowalającą jakość. BBI bierze pod uwagę nie tylko wybrany takson, czy jego liczebność, ale również całkowitą liczbę jednostek systematycznych obecnych w próbie, niezależnie od tego, jaką tolerancją na zanieczyszczenia wykazują się te jednostki [12]. Największą liczbę punktów według tego wskaźnika otrzymała rodzina jętek Heptageniidae, która stanowiła aż 20% wszystkich zebranych taksonów w starorzeczu Oławy. Tym samym

starorzecze Oławy cechowała, według BBI, zadowalająca jakość wody. Wykorzystując metodę CBS, aż na czterech stanowiskach (stawy 2–4 i starorzecze Oławy) odnotowano dobrą jakość wody. W stawach 1 i 5 stwierdzono niezadowalającą jakość wód, co było spowodowane najmniejszą bioróżnorodnością makrobezkręgowców, w porównaniu z innymi stanowiskami. Metoda CBS zakłada, iż im więcej bezkręgowców o wąskim zakresie tolerancji na zmiany środowiska, tym większą wartość liczbową im się przypisuje, natomiast im więcej organizmów preferujących wody zanieczyszczone, bądź o dużej zdolności przystosowawczej do nowych warunków, tym mniej punktów im się przyznaje. Jedynie rodzajowi *Gammarus* sp. przypisuje się stałą liczbę punktów, niezależnie od tego, ilu przedstawicieli stwierdzono w próbce. *Gammarus* sp. charakteryzuje się bowiem średnią tolerancją na zanieczyszczenia (w zależności od rodzaju), dlatego też może być uznany jako odnośnik. Analizując system Chandlera (CBS) [12], uznano iż metoda ta jest najlepszym wskaźnikiem wpływu jakości wody na biologiczne warunki w niej panujące. Stwierdzono również, że system ten sprawdza się zarówno na stanowiskach bystrzycowych, jak i tych, na których nurt jest powolny [12]. Przedstawione wyniki, również potwierdzają ten wniosek. Według metody TBI, wody na stanowiskach 2 i 3 należały do dobrej jakości, natomiast wody bardzo dobrej jakości charakteryzowały starorzecze Oławy. Z kolei woda w stawie 5 była niezadowalającej jakości. System TBI opiera się na tolerancji wybranych bezkręgowców na zanieczyszczenia, toteż obliczając wartość tego wskaźnika należy najpierw ocenić, czy w danym miejscu występują osobniki należące do rzędów Plecoptera, Trichoptera i Ephemeroptera, które są najbardziej wrażliwe na wszelkie zmiany w środowisku oraz wykluczyć obecność bioindykatorów wskazujących na obecność zanieczyszczeń (*Gammarus* sp., *Asellus* sp., larwy Chironomidae) [12]. Kolejnym wskaźnikiem biotycznym użytym do porównań był FBI. Według tej metody najniższą V klasę wody odnotowano w stawach 4 i 5, natomiast IV klasę w stawie 1, co było spowodowane niewielką liczbą rodzin bezkręgowców stwierdzonych na tych stanowiskach, jako że system ten uwzględnia również liczebność występujących osobników. Na pozostałych stanowiskach badawczych, gdzie liczba znalezionych rodzin bezkręgowców była większa, wody odznaczały się lepszą jakością. Przy użyciu metody BMWP-PL, najczęściej stosowanej w Polsce, stawy 2 i 3 oraz starorzecze Oławy sklasyfikowano jako wody III klasy czystości, natomiast IV klasę stwierdzono na pozostałych stanowiskach (stawy 1, 4 i 5), gdzie liczba rodzin fauny dennej wynosiła poniżej 10. W przypadku wszystkich stanowisk badawczych najwyższe wartości w klasyfikacji uzyskano przy wykorzystaniu metody ASPT. Według tego systemu stwierdzono I klasę czystości wody w stawach 1 i 2. Wody należące do II klasy czystości odnotowano w stawach 3 i 5, z kolei III klasy w stawie 4 i starorzeczu Oławy. Wyniki otrzymane przy użyciu tego wskaźnika najbardziej odbiegły od innych analizowanych systemów. ASPT nie był zbliżony ani z innymi indeksami biotycznymi, ani z wynikami analizy fizyczno-chemicznej wody. Metoda ta opiera się na średniej arytmetycznej, nie zaś – jak pozostałe wskaźniki – na średniej ważonej. Oznacza to, że uwzględnia ona liczbę rodzin występujących w analizowanej próbce, ignorując przy tym liczebność poszczególnych gatunków wchodzących w skład tych taksonów. W wyniku tego może zdarzyć się sytuacja, iż w dwóch różnych

środowiskach, charakteryzujących się odmienną jakością wody, wskaźnik ASPT może mieć taką samą wartość i na przykład wskazywać wodę o dobrej jakości, mimo iż gatunki występujące na danych stanowiskach mogą być zupełnie inne, a ich liczebność wskazuje na istotne różnice występujące pomiędzy stanowiskami. Taka sytuacja miała właśnie miejsce w omawianych badaniach.

Wśród zebranych gatunków dominowały taksony odporne na zanieczyszczenia, jak *Polypedium* sp., *Sialis fuliginosa* i *Asellus aquaticus*. Dodatkowo, zarówno wysoka dominacja, jak i częstość występowania, charakteryzowały gatunek *Dreissena polymorpha*, odpowiedzialny za samoczyszczanie wody. W wodach silnie zanieczyszczonych lub zeutrofizowanych *D. polymorpha* zanika, odgrywa on też bardzo ważną rolę w obiegu materii w ekosystemach. Duży udział pozostałych gatunków świadczył o niezbyt dobrej jakości wody na terenach wodonośnych i w starorzeczu Oławy. Staw 3 był jedynym, w którym odnotowano obecność *Astacus astacus* – gatunku znajdującego się w Polskiej Czerwonej Księdze Zwierząt [22]. W wodzie stawu 3 stwierdzono najmniejszą zawartość związków azotowych co może być związane z tym, że staw położony jest wewnątrz terenów wodonośnych, gdzie dopływ zanieczyszczeń jest najbardziej utrudniony. W przypadku stawów 2–4 odnotowano więcej gatunków i osobników niż w stawach 1 i 5, jednak we wszystkich przypadkach przeważały gatunki odporne na zanieczyszczenia. Podobne wyniki pod względem jakościowym otrzymano w starorzeczu Oławy. Tu również dominowały gatunki o wysokiej tolerancji na zanieczyszczenia – *Polypedium* sp., *Salis fuliginosa*, *Proclon* sp. i *Dreissena polymorpha*. W starorzeczu Oławy odłowiono najwięcej osobników (890) i gatunków (13). Tak rozbieżne wyniki pod względem ilościowym między stawami i starorzeczem Oławy mogą być spowodowane dużą różnicą w wielkości zbiorników wodnych – starorzecze Oławy jest zdecydowanie większe niż poszczególne stawy, poza tym charakteryzuje się bardziej mulistym dnem. Gatunki wrażliwe na zanieczyszczenia występowały w stawach sporadycznie, a powodem takiej sytuacji mogły być duże wahania jakości wody w ciągu roku. W stawach 1 i 5 przeważały organizmy należące do eudominantów, co spowodowane było małą liczbą gatunków. W przypadku stawów najbardziej różnorodnych pod względem gatunkowym, najliczniejsza grupa należała do recedentów lub subdominantów. Rodziną charakteryzującą się największą dominacją w większości stawów, a przede wszystkim w stawie 5, była Chironomidae. Takson ten jest typowy w przypadku rzek i jezior nizinnych o miękkim, mulistym podłożu. Dominację tej rodziny stwierdzono również w dolnym brzegu Odry [21]. Poza tym, stawy miały duże podobieństwo pod względem gatunków do Odry w jej środkowym odcinku (poniżej ostatniego jazu w okolicy Brzegu Dolnego), gdzie również stwierdzono obecność takich gatunków, jak *Dreissena polymorpha*, *Bithynia tentaculata*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Sphaerium* sp., *Unio pictorum* czy *Unio tumidus* [21]. Taka sytuacja mogła być spowodowana wieloma czynnikami – w obu przypadkach dno było muliste, wyniki fizyczno-chemiczne analizy wody były zbliżone, panowały identyczne warunki klimatyczne oraz teren badań cechował nizinny charakter. We wszystkich stawach odnotowano największą częstość występowania 5 gatunków – *Dreissena polymorpha*, *Unio pictorum*, *Polypedium* sp., *Salis fuliginosa* i *Asellus aquaticus*. Wszystkie cechują się odpornością na zanieczyszczenia, ale w różnym stopniu. Duża częstość występowania

tych gatunków potwierdziła niezbyt dobrą kondycję wody na badanych terenach. Wskaźnik bioróżnorodności Hurlberta był największy w przypadku stawu 3 oraz starorzecza Oławy, co wskazuje na największą różnorodność tych stanowisk. Taki wynik związany był z dużą liczbą gatunków w stosunku do liczby osobników, jednak gatunki składające się na tę bioróżnorodność są gatunkami odpornymi na zanieczyszczenia. Wynik uzyskany na podstawie tego wskaźnika potwierdził dodatkowo rezultat otrzymany za pomocą wskaźnika Margalefa, według którego woda w stawach 2–4 i w starorzeczu Oławy pod względem bioróżnorodności należała do I klasy czystości, a w stawach 1 i 5 – do III klasy czystości. Powodem gorszego stanu wody w tych dwóch stawach może być fakt, że są one położone na granicy terenów wodonośnych, przez co są bardziej dostępne dla ludzi i łatwiej mogą ulegać zanieczyszczeniu. Staw 1 charakteryzuje się dużą głębokością oraz brakiem płytkiej strefy przybrzeżnej (litoralu), która stanowi doskonały mikrohabitat dla zgrupowań makrozoobentosu [20]. Z kolei staw 5 znajduje się obok hałdy, co również może wpływać na małą różnorodność biologiczną i dominację bezkręgowców odpornych na zanieczyszczenia. Analizy fizyczno-chemiczne potwierdziły ogólną złą kondycję wody w tym stawie oraz dodatkowo stwierdzono występowanie śladowych ilości związków chromu i żelaza. Ubogi skład gatunkowy może zatem sugerować, że jakiś czas temu tych substancji mogło być więcej. Jednocześnie – z uwagi na brak odpływu i małą powierzchnię – woda w stawach może bardzo wolno ulegać samooczyszczaniu, w przeciwieństwie do rzek, gdzie na całej długości dochodzi do oczyszczania, o ile nie wystąpią kolejne dopływy zanieczyszczeń [20]. Powodem większego bogactwa fauny starorzecza Oławy niż poszczególnych stawów może być także różnica terenów przyległych – w przeciwieństwie do okolic stawów brzeg starorzecza Oławy jest zadrzewiony i porośnięty wysokimi krzewami, co stwarza dogodniejsze warunki do bytowania niektórych gatunków, jednocześnie stanowiąc naturalną osłonę przed ludźmi. Starorzecze różni się od stawów również podłożem, jest bardziej muliste. Związek między podłożem a różnorodnością gatunków był już wielokrotnie odnotowywany [1, 20]. Miękkie, muliste dno jest idealne dla zwierząt, które się w nim zakopują, np. Chironomidae, natomiast zatopione kawałki gałęzi doskonale nadają się dla Trichoptera oraz umożliwiają rozwój innych gatunków, np. małży z rodziny Dreissenidae dominujących na tym stanowisku, które przystwierdzają się do twardej powierzchni [20, 21]. Spośród wszystkich stanowisk badawczych w starorzeczu Oławy stwierdzono największą liczbę jętek z przewagą rodzin Heptageniidae oraz Megaloptera i Chironomidae. Zgodnie z analizą fizyczno-chemiczną woda w starorzeczu Oławy charakteryzowała się także mniejszą zawartością związków azotowych i fosforanów.

Wnioski

◆ Na podstawie przeprowadzonej biologicznej klasyfikacji i wszystkich wykorzystanych wskaźników, wodę na badanym terenie sklasyfikowano jako zadowalającej i niezadowalającej jakości. O złej kondycji wody na badanym obszarze może świadczyć również dominacja gatunków odpornych na zanieczyszczenia, np. *Polypedium* sp. (Chironomidae). Wody o najmniejszej bioróżnorodności (z wyjątkiem ASPT i EPT_{TAX}) stwierdzono w stawach 1 i 5, natomiast o najwyższej jakości i bioróżnorodności w starorzeczu Oławy i stawie 3. Jednakże gatunki, jakie tam stwierdzono to taksony mniej wrażliwe na zanieczyszczenia.

◆ Wyniki analiz chemicznych wody były zbieżne z wynikami uzyskanymi za pomocą większości wskaźników biotycznych. Szczególnie przydatne okazały się wskaźniki CBS i BMWP-PL, co uzasadnia najczęstsze stosowanie tej drugiej metody w Polsce.

◆ Wyniki uzyskane przy zastosowaniu wskaźników ASPT-PL i EPT_{TAX} nie odzwierciedlały obiektywnie jakości wody, ze względu na specyfikę kryteriów przyjętych przez oba systemy. W przypadku EPT_{TAX} należałoby uwzględnić także Chironomidae, takson bardzo tolerancyjny na zanieczyszczenia, częsty w rzekach nizinnych.

◆ W bardziej kompleksowych badaniach wskazane byłoby stosowanie kilku wskaźników biotycznych jednocześnie. Analiza jakości wody z uwzględnieniem fauny makrobezkręgowcowej powinna znaleźć szersze zastosowanie do oceny stanu czystości wód powierzchniowych w Polsce, ponieważ umożliwia ona zarówno ocenę krótko-, jak i długoterminowych zaburzeń w funkcjonowaniu ekosystemu wodnego i może być doskonałym uzupełnieniem wyników badań fizyczno-chemicznych.

LITERATURA

1. J. RYBAK, B. UMIŃSKA-WASILUK: Wykorzystanie makrobezkręgowców bentosowych do oceny jakości wód powierzchniowych na przykładzie rzeki Piławy. *Ochrona Środowiska* 2007, vol. 28, nr 2, ss. 55–60.
2. K. OBOLEWSKI: Wykorzystanie makrozoobentosu do oceny stanu ekologicznego jeziora Jamno. *Ochrona Środowiska* 2009, vol. 31, nr 2, ss. 17–24.
3. M. GORZEL, R. KORNIJÓW: Biologiczne metody oceny jakości wód rzecznych. *Kosmos* 2004, vol. 53, nr 2, ss. 183–191.
4. N. DE PAUW, H.A. HOWKES: Biological monitoring of river water quality. In: S. JUDD [Ed.]: *River Water Quality Monitoring and Control*. W.J. Walley, Aston University, Birmingham 1993.
5. A. BIŁYK, A.L. KOWAL: Ocena stopnia zagrożenia terenów wodonośnych we Wrocławiu związkami chromu. *Ochrona Środowiska* 1993, vol. 15, nr 1–2, ss. 3–6.
6. Materiały niepublikowane MPWiK sp. z o.o. we Wrocławiu.
7. W. MATUSZKIEWICZ: Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
8. P.D. ARMITAGE: Downstream changes in the composition, numbers and biomass of bottom fauna in the Tees below Cow Green Reservoir and an unregulated tributary, Maize Beck, in the first five years after impoundment. *Hydrobiologia* 1978, Vol. 58, No. 1, pp. 145–56.
9. D.R. LENAT, D.L. PENROSE, K.W. EAGLESON: Variable effects of sediment addition on stream benthos. *Hydrobiologia* 1981, Vol. 79, No. 4, pp. 187–94.
10. A. KOŁODZIEJCZYK, P. KOPERSKI: *Bezkręgowce słodkowodne Polski. Klucz do oznaczania oraz podstawy biologii i ekologii makrofauny*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2000.
11. A. OBIDZIŃSKI, J. ŻELAZO: *Inwentaryzacja i waloryzacja przyrodnicza. Przewodnik do ćwiczeń terenowych*. SGGW, Warszawa 2004.
12. D.G. HUGGINS, M.F. MOFFETT: Proposed Biotic and Habitat Indices for Use in Kansas Streams. Open File Report No. 35, Kansas Biological Survey Lawrence, KS 1988.
13. D.M. ROSENBERG, V.H. RESH: *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman and Hall, London 1993.
14. D.R. LENAT, D.L. PENROSE: History of the EPT taxa richness metric. *Bulletin of the North American Benthological Society* 1996, Vol. 13, No. 2, pp. 12–14.

15. H.A. HAWKES: Origin and development of the Biological Monitoring Working Party Score System, *Water Research* 1997, Vol. 32, No. 3, pp. 964–968.
16. S. CZACHOROWSKI: Opisywanie biocenozy – zoocenologia. Skrypt elektroniczny dla magistrantów, Olsztyn 2006. www.uwm.edu.pl/czachor/publik/pdf-inne/zoocenozy.pdf.
17. A. KOWNACKI, H. SOSZKA, D. KUDELSKA, T. FLEITUCH: Bioassessment of Polish rivers based on macroinvertebrates. In: W. GELLER *et al.* [Eds.], proc. of 11th Magdeburg Seminar on Waters in Central and Eastern Europe: Assessment, Protection, Management. UFZ Centre for Environmental Research, Leipzig–Halle 2004.
18. W. HERMANOWICZ, J. DOJLIDO, W. DOŻAŃSKA, B. KOZIOROWSKI, J. ZERBE: Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Arkady, Warszawa 1999.
19. T. SIERADZKI: Wpływ wieloletniego nawożenia gnojówką bydlęcą pastwiska na jakość wody gruntowej. *Woda-Srodowisko-Obszary Wiejskie* 2005, vol. 5, nr 1, ss.77–85.
20. I. CZERNIAWSKA-KUSZA, K. SZOSZKIEWICZ: Biologiczna i hydromorfologiczna ocena systemów wodnych na przykładzie rzeki Mała Panew. Wyd. Uniwersytetu Opolskiego, Opole 2007.
21. F. SCHÖLL, J. BŁACHUTA, F. SONENBURG, H. SONN-TAG, P. SOLDÁN: Makrozoobentos Odry 1998–2001. Międzynarodowa Komisja Ochrony Odry przed Zanieczyszczeniami, Wrocław 2003.
22. Z. GŁOWACIŃSKI, J. NOWACKI: Polska czerwona księga zwierząt. Bezkręgowce. Instytut Ochrony Przyrody PAN w Krakowie, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Kraków 2004.

Rybak, J., Pasternak, G. Analysis of Water Quality in the Area of Wrocław's Aquiferous Layers with Macroinvertebrates as Bioindicators. *Ochrona Srodowiska* 2010, Vol. 32, No. 2, pp. 27–34.

Abstract: For the purpose of this study, seven biotic systems were chosen to assess the quality of wet pond water within the aquifer of Wrocław and in the bordering old Olawa river basin: BMWP-PL, ASPT, BBI, FBI, TBI, CBS and EPT. They all entail zoobenthic communities, whose composition changes with increasing pollution of the aquatic environment. The results obtained were compared with the values of some physicochemical parameters of the water, which enabled the applicability of the biotic systems to be evaluated. The water within the area under study was also analyzed for biodiversity. For this purpose calculations

were performed to determine the domination and frequency of particular species and families at the sampling sites, as well as to establish the values of the Hurlbert and Margalef biodiversity indices. Both physicochemical and biological parameters make it clear that water quality in the area of the aquiferous layers is generally poor: species of comparatively high resistance to water pollutants were found to occur even at sampling sites characterized by great biodiversity. Water quality in all of the wet ponds examined has been classified either as acceptable or in some instances even as unacceptable. The results obtained support the applicability of the BMWP-PL index and recommend its use on a larger scale in Poland.

Keywords: Bioindication, macrozoobenthos, aquiferous layer, water pollution, biotic index, biodiversity.