

ACTA GEOGRAPHICA LODZIENSIA

NR 94

Małgorzata Stolarska

Sezonowe zmiany
zasobów
i podstawowych
właściwości
fizykochemicznych
wód
w małej zlewni nizinnej



Łódź - 2008

Łódzkie Towarzystwo Naukowe

ŁÓDZKIE TOWARZYSTWO NAUKOWE
90-505 Łódź, ul. M. Skłodowskiej-Curie 11
Tel. (042) 66 55 459, fax (042) 66 55 464
Sprzedaż wydawnictw (042) 66 55 448
<http://www.ltn.lodz.pl/> e-mail: ltn@ltn.lodz.pl

NACZELNA RADA WYDAWNICZA ŁTN
Adam S. Gala, Wanda M. Krajewska, Edward Karasiński, Jan Szymczak

REDAKTOR SERII
Krystyna Turkowska

RECENZENT TOMU
Elżbieta Bajkiewicz-Grabowska, Stanisław W. Czaja

KOLEGIUM REDAKCYJNE
Paweł Jokiel, Kazimierz Kłysik, Krzysztof Kozuchowski

SEKRETARZ REDAKCJI
Danuta Dzieduszyńska

Wydano z pomocą finansową Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego

© Copyright by Łódzkie Towarzystwo Naukowe – Łódź 2008

ISSN 0065-1249

Projekt okładki: Agnieszka Roman
Druk: „Triada”, ul. Limanowskiego 147/149, Łódź
Nakład: 200 egz.

TREŚĆ

Wstęp	7
Przegląd literatury przedmiotu	8
Charakterystyka fizycznogeograficzna zlewni Dzierżąskiej	14
Polożenie obszaru	14
Zarys budowy geologicznej i geomorfologii obszaru	16
Wody zlewni Dzierżąskiej	19
Użytkowanie gruntów i wód	24
Podstawowe założenia monitoringu	26
Podstawowe cechy zmian zasobów i właściwości fizykochemicznych wód	31
Tło pogodowe	31
Przepływ rzeczny i wydajność źródeł	35
Głębokość do zwierciadła wód podziemnych	37
Temperatura wód	39
Przewodność elektrolityczna	42
Odczyn wód	47
Zawartość tlenu rozpuszczonego w wodach	50
Sezonowe zmiany zasobów i właściwości fizykochemicznych wód	53
Trendy	53
Tempo zmian	56
Analiza funkcji autokorelacyjnych	57
Indeks sezonowości i pora koncentracji	60
Względna miara sezonowości	67
Wahania sezonowe w kontekście obowiązujących norm jakości wody	69
Wnioski	75

ZARYS TREŚCI

Problematyka sezonowości procesów i zjawisk hydrologicznych od dawna jest zagadnieniem wielce nurtującym. Niemniej jednak zagadnienia sezonowości zmian ilości zasobów wodnych i chemizmu wód najczęściej były analizowane przy użyciu odmiennych metod a ich wyniki publikowano oddzielnie. W niniejszym opracowaniu zaproponowano nowe podejście metodyczne do analizy sezonowości zjawisk hydrologicznych. Zasadniczym celem pracy była identyfikacja i ocena poziomu sezonowości zmian ilości zasobów wodnych oraz podstawowych cech fizykochemicznych wód (temperatura, przewodność elektrolityczna właściwa, odczyn oraz zawartość tlenu rozpuszczonego) w małej zlewni nizinnej. Poligonem badawczym uczyniono zlokalizowaną na północ od Łodzi zlewnię Dzierżąnej o powierzchni niespełna 43 km². W ciągu dwóch lat kalendarzowych 2004 i 2005, na specjalnie wyznaczonej i przystosowanej sieci 14 posterunków pomiarowych monitorowano wymienione powyżej cechy wód powierzchniowych i podziemnych a także gromadzono dane dotyczące warunków termiczno-wilgotnościowych powietrza atmosferycznego. Wszystkie pomiary na każdym z posterunków wykonywano in situ w odstępach 14-dniowych. Zebrane dane poddano dogłębnej analizie statystycznej, w pierwszym etapie zastosowano proste miary statystyczne służące ocenie dyspersji (średnia, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności, diagramy częstości). W kolejnym, zasadniczym etapie analizy sezonowości sięgnięto m.in. po metody nieużywane dotychczas w stosunku do zmiennych stanowiących o fizykochemicznych własnościach wody. Przeprowadzono analizę kształtu funkcji autokorelacyjnych, wyznaczono wskaźniki Markhama (porę koncentracji i indeks sezonowości) oraz wskaźnik tempa zmian. Poszukiwaniu siły i charakteru sezonowych zmian ilości zasobów i cech fizykochemicznych wód służyła również względna miara sezonowości.

Uzyskane wyniki dowiodły, iż większość typów wód cechowała się sezonowym rytmem zmian zasobów oraz cech fizykochemicznych. Przebieg zmian ilości wód w różnych ogniwach jej obiegu w zlewni Dzierżąnej był najczęściej roczny i cechował się wysokim poziomem sezonowości. Sezonowe zmiany temperatury wód zlewni, z wyjątkiem wód pojedynczych wypływów, zachodziły według „klasycznego” rytmu zmian pór roku. Natomiast wody pojedynczych wypływów w obrębie nisz źródłiskowych odznaczały się brakiem sezonowości temperatury. Ich temperatura oraz przewodność elektrolityczna właściwa, w całym okresie badawczym, była quasi-stała. Pozostałe wody cechowały się czytelnym, rocznym rytmem zmian przewodności. Zaobserwowane zmiany odczynu wód zlewni miały, w ogólnych zarysach, przebieg zgodny z opisywanym w literaturze. Korespondowały ze zmianami natężenia przepływu, temperatury i przewodności elektrolitycznej. W rytmie zmian odczynu i przewodności wód podziemnych (poziomu wierzchówkowego i międzymorenowego) uchwyciono oddziaływanie czynników antropogenicznych. Przeciętnie, poziom natlenienia wód wynosił około 7mg·dm⁻³. Najmniej zmienne warunki tlenowe występowały w wodach nisz źródłiskowych.

Z przeprowadzonych analiz wynika także, iż w badanym okresie, wody zlewni stawały się, coraz bardziej kwaśne, a dodatkowo w zmniejszającej się objętości wód powierzchniowych malała zawartość tlenu rozpuszczonego. Równocześnie, wody podziemne w ujęciach gospodarskich stawały się coraz cieplejsze, a zasoby drenowanych w zlewni poziomów wodonośnych dość wyraźnie malały.

WSTĘP

W generalnym ujęciu, wszystkie zjawiska przyrodnicze zachodzą w warunkach ciągłego i przewidywalnego następstwa dni i nocy oraz zmian pór roku. Klimatyczne pory roku są najpowszechniejszym skojarzeniem, jakie nasuwa się w kontekście przymiotnika „sezonowy”. Ten przyrodniczy zegar biologiczny, będąc nam tak bardzo bliskim, jest częstym kryterium podziałów doświadczanego horyzontu czasowego na rozmaite sezony i okresy. Według niego „porządkujemy” rzeczywistość. Nie tylko w życiu codziennym, ale

również w badaniach naukowych tematyka sezonowości zjawisk jest częstym przedmiotem analiz. Dla przykładu, na płaszczyźnie ekonomii i socjologii analizowane są m.in. sezonowe zachowania gospodarcze i społeczne. W naukach rolniczych wyodrębnia się sezony upraw, sezony nawodnień oraz bada się przebieg rozwoju roślin w czasie sezonu wegetacyjnego.

Powyższe przykłady dowodzą, że człowiek „rozpisuje swoje życie na sezony”. Należy jednak pamiętać, iż procesy i zjawiska przyrodnicze cha-

rakteryzują się zwykle własnymi, niezależnymi od człowieka i jego kalendarza: zmiennością i rytmem. Obieg wody w przyrodzie stanowi niemal idealny model sezonowości, będącej wypadkową wielu składowych cechujących się swoistym rytmem zmian. Identyfikacja tych rytmów, ich genezy i wzajemnych powiązań należy do najtrudniejszych, ale jednocześnie najbardziej frapujących zadań współczesnej hydrologii.

Zmienność sezonowa zjawisk przyrodniczych, w tym hydrologicznych, była przedmiotem wielu badań i publikacji naukowych. Jednak w istniejących opracowaniach, sezonowość zmian stanu zasobów wodnych, a w szczególności dynamika zmian własności fizykochemicznych wody, przedstawiana była najczęściej w formie statycznej prezentacji (swoistej „fotografii”), bez wnikania w uwarunkowania i wzajemne powiązania. W efekcie zagadnienia dotyczące chemii wody oraz stanu zasobów wodnych były zwykle analizowane i publikowane oddzielnie. Niniejsze opracowanie wychodzi naprzeciw wymienionym sposobom analizy sezonowości i proponuje całkowicie odmienne podejście metodyczne.

Poligonem badawczym dla studiów nad rozpoznaniem sezonowej zmienności charakterystyk fizykochemicznych wód w małej zlewni nizinnej, na tle dynamiki procesów hydrologicznych

uczyniono położoną w okolicach Łodzi zlewnię Dzierżąnej. Przeprowadzono analizy polegające min. na rozpoznaniu przebiegu, intensywności i charakteru zmian zasobów oraz podstawowych właściwości fizykochemicznych wód powierzchniowych i podziemnych zlewni. Ważnym zadaniem była także identyfikacja i ocena rodzaju oraz poziomu sezonowości tych zmian a także rozpoznanie ewentualnych związków przyczynowo-skutkowych między procesami zachodzącymi w zlewni i zmiennymi określającymi zmiany ilości i jakości wód w ciągu dwóch lat kalendarzowych (2004–2005).

Praktyczne wykorzystanie zebranego materiału badawczego skierowane jest na spożytkowanie danych oraz wyników analiz w szczegółowych opracowaniach wykonywanych na potrzeby władz lokalnych oraz instytucji zajmujących się ochroną środowiska. Rezultaty przeprowadzonych analiz będą również cennym źródłem informacji w prowadzonym przez ZHiGW Uniwersytetu Łódzkiego, programie badań nad oddziaływaniem autostrady A2 na środowisko przyrodnicze zlewni Dzierżąnej. Niniejsza publikacja ma na celu również przyczynienie się do poszerzenia wiedzy z zakresu hydrochemii obszarów podmiejskich i nizinnych oraz by stanowiły punkt odniesienia dla różnego rodzaju analiz porównawczych.

PRZEGLĄD LITERATURY PRZEDMIOTU

W definicjach podawanych w słownikach języka polskiego „sezonowość” kojarzona jest z następowaniem po sobie pór roku bądź okresów intensyfikacji danego zjawiska (Karłowicz *et al.* 1915; Szymczak 1985; Dunaj 1996).

Literatura naukowa dostarcza nieco innych definicji sezonowości. Z punktu widzenia statystyki, sezonowość istnieje, gdy dane zjawisko cechuje się wahaniami powtarzającymi się periodycznie, w określonych porach każdego roku lub miesiąca (Kudrycka, Radziukiewicz 2004). Sezonowość w ujęciu statystycznym jest zatem szczególnym przypadkiem wahań okresowych.

Zgodnie z powyższym sezonowość to cecha zjawisk, to pewien rytm, w którym wyróżnia się okresy o własnościach (amplituda, faza) formowanych przez samą istotę danego zjawiska i przez zmienność czynników je kształtujących. W tym miejscu warto również wskazać na relację między

pojęciami: sezonowe zmiany i sezonowość. Jeżeli zmiany badanego zjawiska (serii pomiarowej) są sezonowe to zjawisko charakteryzuje się sezonowością. Inaczej mówiąc, o sezonowości zjawiska świadczą zmiany sezonowe jego przebiegu, rozumiane jako regularne i powtarzalne okresy (sezony) jego określonego natężenia.

Rodowód badań nad sezonowością zjawisk hydrologicznych wywodzi się przede wszystkim z opracowań poświęconych typologii reżimów rzecznych. Typologie te prowadzone w skali całego globu, opierają się głównie na przebiegu zmian elementów klimatu, które obok czynników lokalnych (np. litologia, hipsometria) determinują zmiany zasobów wodnych cieków. Do najważniejszych prac na temat reżimu rzek w skali globalnej należą opracowania francuskie m.in. Pardé'go (1957), rosyjskie m.in. Lwowicza (1979), a także amerykańskie np. Hadleya (1974/1979 za Gutry-Korycką i Binh Trong'iem 2001).

Pierwsze badania nad reżimem hydrologicznym polskich rzek, a zatem nad zagadnieniem sezonowych zmian odpływu, przeprowadzili Dębski (1961) i Mikulski (1963). W późniejszym okresie tą tematyką zajmowali się również Stachy, Fal (1967), Fal (1971, 1993). Jednakże autorem pierwszego kompleksowego opracowania reżimów rzecznych w Polsce była Dynowska (1972). W tej pracy reżim rozpatrywany był na drodze analizy czterech kryteriów: charakteru przebiegu przepływów dobowych, terminów występowania wezbrań, współczynnika nieregularności przepływów miesięcznych oraz typów alimentacji rzeki.

Wyżej wymienione badania nad sezonowością odpływu wyprowadziły i ugruntowały fundamentalną, w hydrologii, tezę o bezpośredniej zależności dynamiki zmian ilości wód rzecznych od zmian warunków termiczno-wilgotnościowych atmosfery. Nurt ten kontynuowany jest również współcześnie, a przedmiotem badań jest m.in. odpowiedź na pytanie na ile rzeki są dziś dziećmi klimatu, a na ile odpływ i jego dynamika zależą od czynników antropogenicznych (Jokiel 2002).

Nowatorskie podejście do typologii reżimów rzecznych, a jednocześnie nowe ujęcie zagadnienia sezonowości, zaproponowała Rotnicka (1977, 1988). Badania te dały początek rozważaniom nad możliwościami adaptacji nowych metod statystycznych do delimitacji sezonów hydrologicznych oraz prac nad oceną stopnia sezonowości odpływu rzecznoego w Polsce (np. Jokiel, Kożuchowski 1989; Rzepa 1992; Tomaszewski 2001; Bartnik 2005; Bartczak 2007).

W skali regionalnej, zmiany odpływu na obszarze środkowej Polski były przedmiotem wielu badań naukowych. Do najważniejszych należą prace Maksymiuka (1970, 1980) i Jokiel (2004) oraz publikacje poznańskiego ośrodka naukowego (Kaniecki 1982; Wrzesiński 1999).

W literaturze przedmiotu, znacznie mniej miejsca, niż dynamice odpływu, poświęcono zagadnieniu sezonowych zmian retencji zbiornikowej. Należy podać dwie ważne publikacje poświęcone analizie sezonowej i wieloletnich wahań poziomu wody w jeziorach (Mikulski, Mikulska 1972; Paślawski 1996). W obu pracach zaprezentowano ciekawe metody wykrywania okresowości zmian retencji jeziornej.

Analizą wieloletniej tendencji zmian stanów wód jeziornych zajmowali się również Janiczak i Choiński (1988) oraz w analizach bilansowych Bajkiewicz-Grabowska (2002).

Z nowszych opracowań limnologicznych na wyróżnienie zasługuje praca zbiorowa pod redakcją Radwana (2003), a w szczególności zamieszczone w niej opracowanie autorstwa Michalczyka *et al.* (2003). Wymienieni autorzy udokumentowali m.in. synchroniczność przebiegu zmian retencji zbiornikowej i retencji wód podziemnych.

Na przywołanie zasługują również prace poruszające problem antropogenicznych oddziaływań na wielkość i sezonowy przebieg zmian retencji zbiornikowej (Babiński 1988; Churski 1988; Czamara, Janda 2002). Natomiast Konoplancew i Siemoniów (1979) w swoich rozważaniach oddzielają badania nad reżimem wieloletnich zmian położenia zwierciadła wód podziemnych od analiz nad wahaniami sezonowymi. Również opracowanie „*Environmental Hydrology*” poświęca wiele miejsca opisowi prawidłowości wahań zwierciadła wód odkrytych poziomów wodonośnych (Ward, Trimble 2004).

W Polsce, w starszych publikacjach do analiz sezonowych zmian zasobów wód podziemnych, wykorzystywano często proste miary statystyczne, takie jak analiza odchyłeń standardowych, porównanie zmienności rocznej z wieloletnią (Paszczczyk 1973; Janiec 1984). W latach późniejszych, zagadnieniem reżimu płytkich wód podziemnych w skali Polski kompleksowo zajmował się Chełmicki (1991).

Analizy czasowej zmienności położenia zwierciadła wód podziemnych nabrały w środkowej części kraju szczególnego znaczenia wraz z powstaniem i eksploatacją złoża węgla brunatnego w okolicach Bełchatowa (Jokiel *et al.* 1985; Jokiel, Maksymiuk 1988). Zróżnicowanie przestrzenne i zmienność czasową wahań zwierciadła wód podziemnych dla całego regionu łódzkiego analizowali także Jeż (1986) oraz Jokiel i Tomalski (2007a). Z innych badań prowadzonych na Niżu Polskim warto też przytoczyć ciekawe analizy zmian retencji podziemnej przeprowadzone w nizinnej zlewni górnej Wilgi i Łasicy przez Jaworskiego i Skutnickiego (1999, 2001) i Somorowską (2006).

Sezonowe zmiany wydajności źródeł oraz innych typów wypływów, nie były częstym przedmiotem analiz. Badania w tym zakresie należą do rzadkości i stanowią najczęściej fragment większych opracowań. Z uwagi na walory metodyczne, warto wspomnieć tu o pracach Jokiel (1994, 1997), w których do analiz sezonowości wydajności źródeł wykorzystano metodę autokorelacji oraz indeks sezonowości Markhama. Z in-

nych procedur badawczych, najczęściej stosowany jest współczynnik zmienności, analiza odchylenia od średniej wieloletniej oraz współczynnik zmienności wieloletniej Mailleta (Pazdro 1977; Bartczak 2007).

Z badań przeprowadzonych w różnych regionach Polski wynika, iż wydajność źródeł jest przeważnie mało zmienna i cechuje się słabą sezonowością (Nowakowski 1976; Dynowska 1983, 1986; Janiec 1984; Michalczyk 1993; Maksymiuk, Mela 1995; Burlikowska *et al.* 1996; Moniewski 2004; Staśko 2007). Z dociekań krenologicznych spoza Polski, która również przychyliła się do powyższego wniosku, warto przytoczyć pracę Fettera (1994) podającą rezultaty badań prowadzonych w Wielkim Basenie w stanie Newada.

Z literatury wiadomo, iż oprócz źródeł o bardzo stabilnym wydatku, istnieją także wypływy o dużych wahaniami wydajności. Zaliczają się do nich np. źródła okresowe i wywierzyńska krasowe (np. Ziemońska 1966; Czarnicka 1973; Dynowska 1978; Małecka 1997).

Spośród wielu charakterystyk, pozwalających opisać stan zasobów wodnych w środowisku, do szczegółowych analiz wybrano trzy zmienne: natężenie przepływu rzeczno, wydajność źródeł oraz głębokość do zwierciadła wód podziemnych. Analizowane w pracy serie natężenia przepływu (Q) informują o stanie zasobów wód podziemnych i ich dynamice (Bajkiewicz-Grabowska *et al.* 1993). Wydajność źródła rozumiana jako ilość wody wypływającej z niego w jednostkach objętości na jednostkę czasu (Słownik Hydrogeologiczny 1997) jest estymatorem zmian zasobów wód podziemnych. O zmianach retencji podziemnej informują również wahania miąższości strefy aeracji lub inaczej, wyrażone w cm p.p.t., głębokości (h) do zwierciadła wód podziemnych. Warto tu podkreślić, że wahania wydajności źródła informują o zmianach retencji w skali całego drenowanego zbiornika wód podziemnych. Natomiast dynamika zwierciadła w poszczególnych piezometrach jest zwykle odzwierciedleniem zmian zasobów punktowych, niekiedy lokalnych (Jokiel 2002).

Wymienione charakterystyki stanu zasobów wodnych w poszczególnych ogniwach obiegu stanowią jedynie fragment wyznaczonego zakresu badań. Równie ważne są analizy szeroko pojmowanej jakości zasobów wodnych, a w szczególności pomiary i badania cech fizykochemicznych wody.

Właściwości określające jakość wody można podzielić na dwie zasadnicze grupy: fizyczne

oraz chemiczne (Melioris *et al.* 1986; Macioszczyk 1987; Rózdżyński 1998). Do pierwszej zaliczane są najczęściej: temperatura, przewodność elektrolityczna właściwa, odczyn, przezroczystość, zmętnienie, barwa, zawartość substancji organicznej. Do drugiej grupy należy zaś szeroki wachlarz cech określających ilość oraz stężenia pierwiastków i związków rozpuszczonych w wodzie – skład chemiczny roztworu (Rózdżyński 1998; Rozp. Min. Środ. 2004). Jednocześnie Macioszczyk (1987) proponuje, by oddzielnie traktować skład jonowy wody, a jako jej właściwości chemiczne uznawać np.: mineralizację ogólną, odczyn, twardość oraz potencjał utleniająco-redukcyjny.

W wielu opracowaniach natrafimy na wyrażenie fizyczno-chemiczne lub też fizykochemiczne cechy wody. Ten relatywnie nowy termin, wobec kompleksowości prowadzonych obecnie badań nad jakością wód, uzyskał jednak w literaturze mocną i uzasadnioną pozycję (np. Hermanowicz *et al.* 1976; Dojlido 1987, 1995; Burchard *et al.* 1990; Rzepa 1992; Ostrowska 2005; Walna *et al.* 2005; Żelazny 2005; Migaszewski, Gałuszka 2007). Należy dodać, iż właściwości fizykochemiczne wody często używane są jako identyfikatory „zdrowia” cieków i całych zlewni, gdyż reagują one na zmiany zachodzące w dynamice zasobów wodnych i użytkowaniu terenów (Gordon *et al.* 2004).

W niniejszym opracowaniu za podstawowe właściwości fizykochemiczne wody uznano: temperaturę (T), przewodność elektrolityczną właściwą (SEC), odczyn (pH) oraz zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie (DO). Wymienione cechy otrzymały status „podstawowych” zarówno z uwagi na łatwość ich pomiaru (miernictwo elektryczne), jaki i ze względu na kompleksowy charakter. Łatwo bowiem wykazać, że znajomość temperatury wody informuje między innymi, o tempie procesów biologicznych i chemicznych w wodzie (prawo Henrygo oraz reguła van't Hoffa). Natomiast, na podstawie pomiarów SEC możemy wnosić o mineralizacji ogólnej wody, a także o stopniu jej zanieczyszczenia (Dojlido 1995; Macioszczyk, Dobrzyński 2002). Także odczyn wody daje pogląd na rodzaj i charakter procesów biochemicznych, które w niej zachodzą. Zawartość tlenu w wodach informuje o ich stanie tlenowym, rozumianym jako stosunek procesów zwiększających i zmniejszających zawartość tego gazu w wodzie. Procesy te natomiast istotnie kształtują warunki życia biologicznego w wodach oraz wpływają na jakość i rodzaj zachodzących tam procesów chemicznych.

Temperatura to jedyna własność fizyczna wody niezależna od jej chemizmu, aczkolwiek mająca nadrzędne znaczenie w kształtowaniu jej składu chemicznego, m.in. decyduje o rozpuszczaniu i wytrącaniu minerałów (Macioszczyk 1987; Macioszczyk, Dobrzyński 2002). Głównymi czynnikami kształtującymi temperaturę wód powierzchniowych są: cyrkulacja powietrza atmosferycznego, alimentacja wodami opadowymi na drodze bezpośredniego opadu oraz przez szybkie formy odpływu, wielkość zasilania podziemnego, promieniowanie słoneczne (w tym stopień zacielenia koryta), prędkość płynięcia wody w korycie, tempo wymiany wód w zbiorniku, stopień przezroczystości wody, przebieg procesów biochemicznych, a także oddziaływania antropogeniczne (Dojlido 1995; Allan 1998; Herschy, Fairbridge 1998; Skowron 1999; Gordon *et al.* 2004). Przyciąga uwagę również fakt, iż reżim termiczny rzek kształtowany jest, w znacznej mierze, przez zlokalizowane w ich biegu zbiorniki przepływowe (Cyberska 1984; Pasternak 1984; Punzet 1991; Allan 1998; Ward 2000; Żelazo, Popek 2002; Stolarska, Frątczak 2005). Allan (1998) oraz Lampert i Sommer (2001) wskazują również, na prawidłowość zmian temperatury wód wraz z biegiem cieku.

Publikacje krenologiczne dostarczają licznych przykładów wskazujących na małą zmienność temperatury wód źródeł oraz pojedynczych źródeł (Czarnecka 1973; Janiec 1984; Dynowska 1986; Michalczyk 1993; Chełmiński 2001). Autorzy tych prac dowodzą, iż roczne amplitudy temperatur wód źródłanych są na ogół bardzo małe a rozkład temperatur wód źródeł jest istotnie zależny od okresu, w którym następuje alimentacja poziomu wodonośnego.

Do czynników kształtujących temperaturę wód podziemnych, w szczególności wód płytkich poziomów wodonośnych, należą: ilość ciepła dostarczanego wraz z opadami, temperatura powietrza, głębokość do zwierciadła wody i jego dynamika, prędkość filtracji wody, przewodnictwo cieplne i wilgotność osadów strefy aeracji, a także pokrycie terenu (Castany 1972; Pazdro 1983; Glazik 1986; Dojlido 1995; Lampert, Sommer 2001; Macioszczyk 2006; Jokiel, Tomalski 2007a).

Przedział zmienności temperatury wód podziemnych jest bardzo szeroki, od 0 °C do 100 °C. Jednakże, górne ograniczenie tego zakresu jest zwykle znacznie niższe. W obszarach klimatu umiarkowanego, średnia temperatura wód podziemnych strefy aktywnej wymiany jest zbliżona

zwykle do przeciętnej temperatury powietrza atmosferycznego danego miejsca (Fetter 1994; Jokiel, Tomalski 2007a). Wywołane czynnikiem solarnym, roczne zmiany temperatury wód podziemnych, (jeśli nie uwzględnimy oziębiającego wpływu wód infiltracyjnych), sięgają w Polsce do ok. 20 m p.p.t. (Janiec 1984 za Schoellerem 1962). Zmiany temperatury wód, przy głębszym położeniu poziomu wodonośnego, zachodzą zgodnie z lokalnym stopniem geotermicznym. Przy położeniu zwierciadła na głębokości do 10 m p.p.t. wahania temperatury wód mają zwykle charakter sezonowy. Dobowy rytm zmian temperatury wykazują natomiast bardzo płytkie wody podziemne, których zwierciadło znajduje się w przedziale od 0 m p.p.t. do 2 m p.p.t.

Przewodność elektrolityczna właściwa jest własnością charakteryzującą wodę z punktu widzenia jej zdolności do przewodzenia prądu elektrycznego. Zależy ona od ilości oraz ładunków jonów rozpuszczonych w wodzie (Macioszczyk 2006; Migaszewski, Gałuszka 2007). W literaturze, synonimami przewodności elektrolitycznej właściwej są również: konduktywność elektrolityczna, konduktancja oraz przewodnictwo elektrolityczne właściwe (Słownik Chemii Analitycznej 1984).

Przewodność elektrolityczna właściwa jest odwrotnością oporu właściwego, czyli oporu słupa cieczy zawartego między dwiema równoległymi elektrodami (każda o powierzchni 1cm^2), rozstawionymi w odległości 1 cm (Różdżyński 1998). Jednostką przewodności jest $\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$. Przewodność wód najczęściej wyraża się w $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ lub $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Cytowani już wcześniej Macioszczyk i Dobrzyński (2002) podają, iż przewodność wyrażona w $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ jest równa mineralizacji wody (TDS), podanej w $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Natomiast inni autorzy uznają, iż przewodność podana w $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i zmierzona w warunkach kompensacji temperatury do 25 °C, jest przybliżoną wartością TDS dopiero po przemnożeniu jej przez mnożnik z przedziału od 0,55 do 0,75 (Allan 1998; Migaszewski, Gałuszka 2007). Niemniej, omawiana cecha wody jest dobrym wskaźnikiem całkowitej koncentracji rozpuszczonych składników stałych (mineralizacji ogólnej) lub inaczej poziomu ogólnego zasolenia wód. Im więcej jonów rozpuszczonych, tym przewodność elektrolityczna wody jest większa.

Pomiary przewodności elektrolitycznej właściwej (SEC) wykorzystywane są m.in. do oceny stabilności składu chemicznego wód w badaniach monitoringowych oraz w celu lokalizacji ognisk zanieczyszczeń i kierunków migracji substancji

zanieczyszczających. Problemy pojawiają się przy wykorzystywaniu wyników pomiarów przewodności elektrolitycznej do oceny mineralnego zanieczyszczenia wód, gdyż wysoko zmineralizowane wody podziemne oraz zasilane nimi wody powierzchniowe cechują się często wysoką przewodnością wynikającą z ich naturalnego chemizmu, nie zaś z dopływu zanieczyszczeń (Dojlido 1995; Macioszczyk, Dobrzyński 2002; Janiec 2005b). Pewne jest natomiast, że przewodność zależy od rodzaju i stężenia rozpuszczonych związków oraz, co najistotniejsze, od temperatury roztworu. Stąd też ważne jest by wraz z pomiarem przewodności wykonywany był pomiar temperatury wody, a wynik winien być podawany jako wartość skompensowana do ustalonego poziomu temperatury (najczęściej 20 °C bądź 25 °C).

Przewodność elektrolityczna waha się od około 50 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ w wodach opadowych do około 50 000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ w wodach oceanicznych (Macioszczyk, Dobrzyński 2002). Przeciętne zmiany przewodności wód powierzchniowych zachodzą w przedziale 50 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ –1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, a wód podziemnych od 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ do 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Dojlido 1995; Macioszczyk, Dobrzyński 2002; Migaszewski, Gałuszka 2007). Oczywiście podane przedziały są jedynie obrazem przeciętnym, od którego jest wiele wyjątków.

W badaniach nad rytmem przewodności wód poszukiwano również prawidłowości zmian w zależności od typu użytkowania zlewni (Jóźwiak, Kozłowski 2001; Żelazny 2005). Analizowano także przebieg zmian SEC w wodach rzecznych w zależności od intensywności alimentacji i faz odpływu. Autorzy zwracają uwagę także na inne czynniki, które w istotny sposób mogą kształtować SEC wód rzecznych. Zaliczono do nich: intensywność procesów intercepcji i ewapotranspiracji oraz oddziaływań biologicznych i geochemicznych (Chełmicki *et al.* 1992; Gierszewski 2000; Chmiel 2005; Jokiel, Tomalski 2005). Ważne są również warunki występujące w zlewni przed wystąpieniem opadu – wilgotność gruntu, czy długość okresu bezopadowego (Gierszewski 2000; Mazurek 2000).

Warto wspomnieć, iż czynnikiem, który istotnie modyfikuje naturalny rytm zmian przewodności wód rzecznych jest antropogeniczny dopływ związków soli wraz z wodami odprowadzanymi z dróg (Foos 2003; Gordon *et al.* 2004; Ward, Trimble 2004).

W Polsce, przewodność elektrolityczna właściwa wód stojących jest mocno zróżnicowana

przestrzennie. Zróżnicowanie to przejawia się zarówno w odniesieniu do przewodności przeciętnej, jak i chwilowej (Rzętała 2000; Pełchaty 2002; Konopczyński, Lewicki 2005; Stawecki *et al.* 2005; Bajkiewicz-Grabowska *et al.* 2007).

Warto podać wymieniane w literaturze najważniejsze czynniki kształtujące właściwości fizykochemiczne wód podziemnych, w tym ich SEC. Do najważniejszych zaliczono m.in. rodzaj i wielkość alimentacji, warunki krążenia, dynamika zwierciadła, kontakty hydrauliczne z wodami powierzchniowymi oraz z wodami głębszych poziomów wodonośnych (Mochoń 1991; Mazurek 2000; Magnuszewski 2002; Smolarek 2007).

W badaniach krenologicznych zagadnienie stanu i zmienności SEC, dla przykładu, podejmowali Michalczyk (1993), Hibszer, Krawczyk (2002), Siwek (2004), Jekatierynczuk-Rudczyk (2005), Bartnik (2007), Stolarska, Moniewski (2007), Żelazna-Wieczorek, Ziułkiewicz (2007). Autorzy często dowodzili małej zmienności przewodności wód źródłanych.

W badaniach hydrochemicznych, znajomość stężeń jonów kwaśnych i zasadowych, rozpuszczonych w wodzie, stanowi bardzo cenną informację. Kwasowo-zasadowe własności roztworów odzwierciedla odczyn (Modrzejewski 1971). Cząsteczka wody dysocjuje na jon wodorowy (H^+) oraz jon wodorotlenowy (OH^-). Jednakże, jon wodoru nie występuje jako jon prosty tylko natychmiast łączy się z cząsteczką wody i powstaje jon hydroniowy (H_3O^+). Na początku XX wieku, Sørensen, twórca powszechnie znanej skali odczynu przyjął, iż miarą kwasowo-zasadowych własności roztworów będzie wykładnik wodorowy, oznaczany symbolem pH. Wykładnik ten jest ujemnym logarytmem stężenia jonów wodorowych, a dokładniej jonów hydroniowych H_3O^+ [$\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$]: $\text{pH} = -\log(\text{H}_3\text{O}^+)$. Warto w tym miejscu wyraźnie podkreślić, że odczyn wyrażany jest w skali logarytmicznej. Zatem wzrost lub spadek pH o 1 jednostkę oznacza dziesięciokrotną zmianę stężenia jonów hydroniowych.

Wody powierzchniowe posiadają najczęściej odczyn: od lekko kwaśnego (6,5 pH) do lekko zasadowego (8,5 pH). Przeciętny odczyn wód powierzchniowych jest zbliżony do obojętnego lub jest lekko zasadowy. Odstępstwem są wody cieków odwadniających tereny podmokłe lub leśne, które cechują się kwaśnym odczynem (Dojlido 1995; Jóźwiak, Kozłowski 2001; Migaszewski, Gałuszka 2007). Z drugiej

strony, dużą koncentracją jonów zasadowych cechują się wody powierzchniowe m.in. na obszarach węglanowych, a także wody pojawiające się na terenach suchych i pustynnych oraz silnie antropogennizowanych (Dojlido 1995; Molenda 2005; Migaszewski, Gałuszka 2007).

Odczyn wód rzek nizinnych badali m.in. Gorączko, Żytelewska (2005), Marszelewski (2005), Jekatierynczuk-Rudczyk (2005), Jokiel, Tomalski (2007b), Moniewski, Stolarska (2007); Walisch *et al.* (2007). Dla przykładu zaś, pH wód potoków górskich zmierzili i opisali Grodzińska i Szarek-Łukaszewska (1999), Rajda *et al.* (2002), Raczak (2005).

Z licznych opracowań wiadomo, że zasoby wód retencjonowanych w zbiornikach wykazują przeważnie większą alkalizację niż wody cieków. Zjawisko alkalizacji wód stojących było często opisywane na przykładzie zbiorników przepływowych. Dość powszechnie notowano przy tym alkalizujący wpływ zbiorników przepływowych na wody cieków (Gołdyn, Ziętkowiak 1995; Piličzewski 1996; Hillbricht-Ilkowska 1997; Gierszewski 2000; Rzętała 2000; Ward 2000; Czylok *et al.* 2004; Stolarska, Frątczak 2005; Górniak 2006).

Poszukiwania czynników kształtujących zmienność odczynu wód podziemnych, w tym wód źródłanych, doprowadziły autorów do wniosku wskazującego na decydującą rolę sezonowego rozkładu alimentacji atmosferycznej oraz związanej z warunkami pluwalnymi migracji zanieczyszczeń i tempa infiltracji (Janiec 1984, 1995; Mochoń 1991; Absalon, Matysik 1999; Waligóra 2002; Moniewski 2004; Mazurek 2007; Ziutkiewicz 2007). Na kartach innych publikacji jako czynniki decydujące o istnieniu różnic między odczynem wód mierzonym bezpośrednio w miejscu wypływu, a pH zmierzonym w strudze odpływającej ze źródła wskazano: obniżenie ciśnienia parcjalego CO₂ w wodach powierzchniowych oraz intensywną dostawę i rozkład materii organicznej w niszy (Michalczyk 1993; Moniewski 2004; Jekatierynczuk-Rudczyk 2005; Stolarska, Moniewski 2007).

Interesujący wniosek o odmienności przebiegu zmian odczynu w studniach i źródłach wypracował Mochoń (1991). Zjawisko to polegające na lokalnej modyfikacji odczynu wód podziemnych w obrębie ujęcia (studni) nazywane jest niekiedy „efektem podwórka” (Jokiel inf. ustna).

Procesy natleniania i odtleniania wód rzecznych interesowały badaczy już na początku XX

wieku. Badano wówczas zjawisko zużywania tlenu w procesach tlenowego rozkładu materii organicznej i analizowano ekstremalne sytuacje całkowitego zużycia tego gazu przez bakterie tlenowe oraz powstałe na tej drodze warunki anaerobowe (Gordon *et al.* 2004). Zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie wyrażana jest w miligramach gazu na jeden dm³ wody. W temperaturze 20 °C, czysta woda jest nasycona tlenem w ilości 9,09 mg·dm⁻³ (100 %). Wzrost temperatury o 2 °C powoduje zmniejszenie zawartości tlenu o 0,35 mg·dm⁻³, a wysycenie wody tym gazem wzrasta do 104 % (Lampert, Sommer 2001). O ilości tlenu w wodzie decydują przede wszystkim: jej temperatura, prędkość przepływu, tempo wymiany w zbiorniku, ciśnienie atmosferyczne, a także produktywność biologiczna i morfometria zbiornika wodnego. Jak podaje Magnuszewski (2002), oprócz czynników biotycznych, ważnym zjawiskiem oddziałującym na zmniejszenie ilości tlenu w wodach rzek i zbiorników wodnych jest uruchamianie biogenów i metali ciężkich z osadów tzw. *internal loading*.

Publikacje z zakresu przebiegu zmian natleniania wód źródłanych są nieliczne. Istniejące opracowania wskazują na bardzo niską zawartość tlenu rozpuszczonego w wodach pojedynczych wypływów oraz dowodzą jego bardzo wąskiego zakresu zmian (Mazurek 2007; Stolarska, Moniewski 2007; Ziutkiewicz 2007). Na odwrotnie proporcjonalny stosunek natlenienia wód podziemnych do ich głębokości p.p.t. zwróciły również uwagę Porowska (2004) i Macioszczykowa (2006).

Z literatury tematu wiadomo, iż natlenienie wód powierzchniowych zmienia się w szerokich granicach. Od deficytu tlenowego stwierdzanego, gdy DO ≤ 3 mg·dm⁻³, po przesylenie wody tlenem: DO ≥ 9 mg·dm⁻³ (Magnuszewski 2002). Zawartość tlenu w wodach powierzchniowych odznacza się wyraźnym dobowym i sezonowym rytmem zmian (Dojlido, Wojciechowska 1974; Cydzik, Soszka 1988; Dojlido 1995; Gołdyn, Ziętkowiak 1995; Spieker 1998; Wojda 2003; Liberacki 2004; Gorączko, Żytelewska 2005; Konopczyński, Lewicki 2005). Autorzy opracowań limnologicznych podkreślają, iż w warunkach silnej antropopresji, w wodach stojących wykształca się bardzo niekorzystna pionowa stratyfikacja tlenowa, która prowadzi do deficytów tlenowych (Kajak 1998; Starmach *et al.* 1978; Kowalczyk *et al.* 2007). Zwraca uwagę również często stwierdzany fakt szybszego, niż w wyniku procesu wymiany z atmosferą, biologicznego

zużycia i produkcji tlenu w wodach stojących (Herschy, Fairbridge 1998; Lampert, Sommer 2001).

Na wyraźny sezonowy przebieg zmian natleniania wód powierzchniowych zwrócili uwagę i opisali go m.in. Starmach *et al.* (1978), Gołdyn, Ziętkowiak (1995), Spieker (1998), Nordvarg (2001), Liberacki (2004) oraz Górniak (2006). Wymienieni autorzy podają, iż deficyty tlenowe, notowane w miesiącach letnich, swoją genezę czerpią ze wzrostu temperatury wody i dużej intensywności procesów biochemicznych zachodzących w wodach rzek i zbiorników. Natomiast niedobory tlenu mogą występować również w okresie zimowym, w czasie trwania zjawisk lodowych.

Powyższe akapity dowodzą, iż własności fizykochemiczne wód powierzchniowych i podziemnych kształtowane są przez procesy zachodzące równocześnie i wywołujące często odmienne skutki. Jak podaje Dobrzyński (2006) procesy te można podzielić na: fizyczne, chemiczne i biologiczne oraz procesy fizyczno-chemiczne, biologiczno-chemiczne, biogeochemiczne. Do powyższej listy należy również dodać jeszcze procesy i zjawiska związane z antropopresją. Wobec wielości nakładających się czynników, analizy oraz próby wyodrębnienia procesów wiodących w kształtowaniu zmienności sezonowej danej cechy wody są bardzo trudne i prowadzą często tylko do formułowania nie w pełni dowiedzionych hipotez, pozostawiając tym samym szerokie pole do dalszych badań naukowych.

CHARAKTERYSTYKA FIZYCZNOGEOGRAFICZNA ZLEWNI DZIERŻĄNEJ

POŁOŻENIE OBSZARU

Postawione w prezentowanej pracy cele badawcze realizowane były na podstawie materiał liczbowego zebranego w toku badań terenowych prowadzonych w zlewni Dzierżanej (dorzecze Moszczenicy). Wybrany poligon badawczy położony jest około 5 km na północ od granic administracyjnych Łodzi (rys. 1). Zlewnia swymi południowymi rubieżami obejmuje mieszkaniową dzielnicę Zgierza – Rudunki, gdzie znajdują się źródła głównego ciek – Dzierżanej.

Niewielka powierzchnia zlewni badawczej (niespełna 43 km²) pozwala, zgodnie z ogólnie przyjętymi kryteriami hydrologicznymi, na użycie wobec niej przymiotnika „mała”. Umożliwia również prowadzenie tam wnikliwych badań terenowych, jak i szczegółowych analiz procesów oraz zjawisk, które na rozległym obszarze mogłyby stracić swoją wyrazistość, przez co wgląd w charakter ich zmienności byłby utrudniony.

Zgodnie z regionalizacją fizycznogeograficzną Kondrackiego (2002), obszar badań usytuowany jest w pasie Nizin Środkowopolskich. Większa część zlewni Dzierżanej przynależy do makroregionu Wzniesień Południowomazowieckich – mezoregionu Wzniesień Łódzkich (318.82). Południowo-zachodni, niewielki jej fragment, należy zaś do mezoregionu Wysoczyzny Łaskiej

(318.19) wchodzącej w skład makroregionu Nizin Wielkopolsko-Śląskich. Natomiast do Równiny Łowicko-Błońskiej (318.72), należącej do Niziny Środkowomazowieckiej, zaliczyć trzeba tereny wysunięte najbardziej na północ.

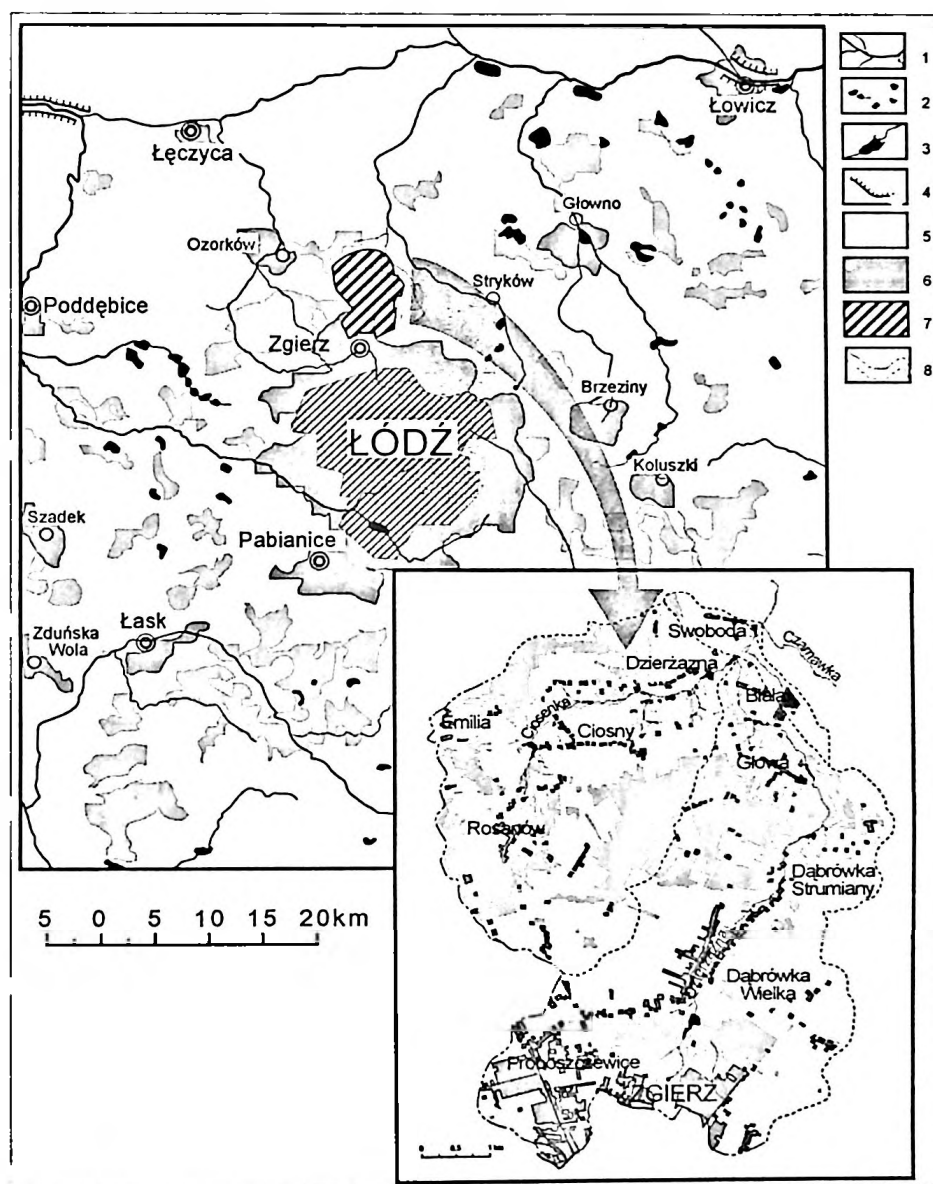
Prezentowany obszar jest w pełni reprezentatywny dla środkowej Polski, nie tylko pod względem genezy rzeźby, litologii i historii powstania sieci rzecznej, ale również z uwagi na sposób kształtowania się całego krajobrazu naturalnego. Analogicznie jak w całej środkowej Polsce, fizycznogeograficzne warunki środowiska w zlewni Dzierżanej są urozmaicone, wręcz mozaikowe. Niespokojna rzeźba terenu, zaburzenia w budowie geologicznej utworów powierzchniowych, wielość typów gleb i wynikające z powyższych uwarunkowań zróżnicowanie form użytkowania terenu, to typowe cechy charakterystyczne dla krajobrazu naturalnego tej zlewni.

Według przeprowadzonej przez Soczyńską (1977) regionalizacji hydrologiczno-fizjograficznej, obszar odwadniany przez Dzierżaną znajduje się w regionie Równin Południowomazowieckich. Natomiast zgodnie z klasyfikacją reżimów rzecznych Dynowskiej (1972) w zlewni winien dominować typ reżimu umiarkowanego z zasilaniem gruntowo-deszczowo-śnieżnym. Jeśli spojrzymy zaś na zlewnię Dzierżanej z punktu widzenia charakteru wód podziemnych to zalicza się ona do obszarów, na których dominują wody zdenudowanych wysoczyzn, a ich zwierciadło

znajduje się w równowadze infiltracyjnej (Więckowska 1961).

W ujęciu regionalizacji klimatycznych, na obszarze środkowej Polski istnieje duża, wewnętrzna jednorodność przeciętnych warunków termicznych, radiacyjnych i wilgotnościowych. Jednakże bardziej wnikliwe delimitacje przestrzenne

klimatu Polski nakazują by Łódź i okolice wydzielać jako osobny region klimatyczny (Okołowicz, Martyn 1979). Klimatyczny region łódzki, do którego przynależy zlewnia Dzierżąskiej, stanowi południkowo usytuowaną strefę przejściową między klimatem nizin oraz wyżyn polskich.



Rys. 1. Lokalizacja zlewni badawczej

1 – sieć rzeczna; 2 – stawy; 3 – zbiorniki przepływowe; 4 – obwałowania i groble; 5 – lasy; 6 – miasta a w zlewni zabudowania wiejskie; 7 – zlewnia Dzierżąskiej; 8 – działy wodne

Localization of the Dzierżązna catchment

1 – rivers; 2 – small water reservoirs; 3 – reservoirs on rivers; 4 – river dams; 5 – forests; 6 – cities and villages in the catchment; 7 – the Dzierżązna catchment; 8 –watersheds

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I GEOMORFOLOGII OBSZARU

Zlewnia Dzierżanej znajduje się w całości w obrębie synklinorium łódzkiego, jednej z trzech głównych jednostek tektonicznych środkowej Polski (Pożaryski 1969; Brzeziński 1992; Klatkowska *et al.* 1995). Geologia oraz morfologia tego obszaru są wypadkową wielu procesów, zachodzących w mezozoiku i kenozoiku. Poligenny rozwój całego regionu zaowocował ukształtowaniem, wyraźnie odmiennej od sąsiednich terenów, niemal wyżynnej krainy fizycznogeograficznej, zwanej niegdyś Wyżyną Łódzką, której północna część o najbardziej urozmaiconej rzeźbie wyróżniana jest w podziałach fizycznogeograficznych jako Wzniesienia Łódzkie (Turkowska 2006).

Podłożem procesów zachodzących w trzeciorzędzie i czwartorzędzie było synklinorium kredowe zwane niecką łódzką. Stanowi ono podrzędną jednostkę mezozoicznego ciągu obniżenia szczecińsko-łódzko-miechowskiego (Pożaryski 1969). Zlewnia położona jest na północnym skłonie, ciągnących się z SE na NW, kulminacji inwersyjnie ukształtowanego podłoża mezozoicznego (Klatkowska 1972). Silnie wyniesiona, mezozoiczna powierzchnia została przykryta w trzeciorzędzie nieciągłym płaszczem luźnych skał osadowych. Utwory te, w granicach zlewni, reprezentowane są przez różnej grubości osady neogeńskie: piaski, iły, mułki oraz czasem węgiel brunatny (Klatkowska 1972, 1993; Klatkowska *et al.* 1995). Mimo trzeciorzędowego „nadbudowania” powierzchni, wysokie na około 100 m, wzniesienia mezozoiczne nadal wyraźnie rysowały się w przedplejstoceniowej morfologii regionu. Implikacją istnienia ostro zarysowanej rzeźby mezozoicznej powierzchni odniesienia jest ukształtowany w plejstocenie krawędziowy system pięciu poziomów morfologicznych, rozdzielonych krótkimi strefami dużych spadków (Klatkowska 1972).

W obszarze zamkniętym działem wodnym Dzierżanej występują trzy z pięciu, wyróżnionych przez Klatkowską, poziomów strefy krawędziowej Wyżyny Łódzkiej (rys. 2). Najwyższy w zlewni, poziom smardzewski jest reprezentowany, w południowej części obszaru, przez wniesienia działu wodnego położone między Zgierzem a Maciejowem (kulminacja wododziału – 215,5 m n.p.m.). W kierunku pradoliny warszawsko-berlińskiej powierzchnia zlewni opada kolejno poziomami: strykowskim (185–160 m n.p.m.) i katarzynowskim (160–135 m n.p.m.).

Wodnolodowcowe osady wycofującego się lądolodu warciańskiego w północno-zachodniej części zlewni, utworzyły rozległą równinę sandrową, zwaną sandrem grotnicko-lućmierskim. Miąższość piaszczysto-zwirowej serii sandrowej wynosi tutaj ponad 15 m. Charakter osadów powoduje, iż występują tu dogodne warunki infiltracyjne, sprzyjające jednocześnie przenikaniu zanieczyszczeń do wód podziemnych – rys. 3 (Jokiel 2002).

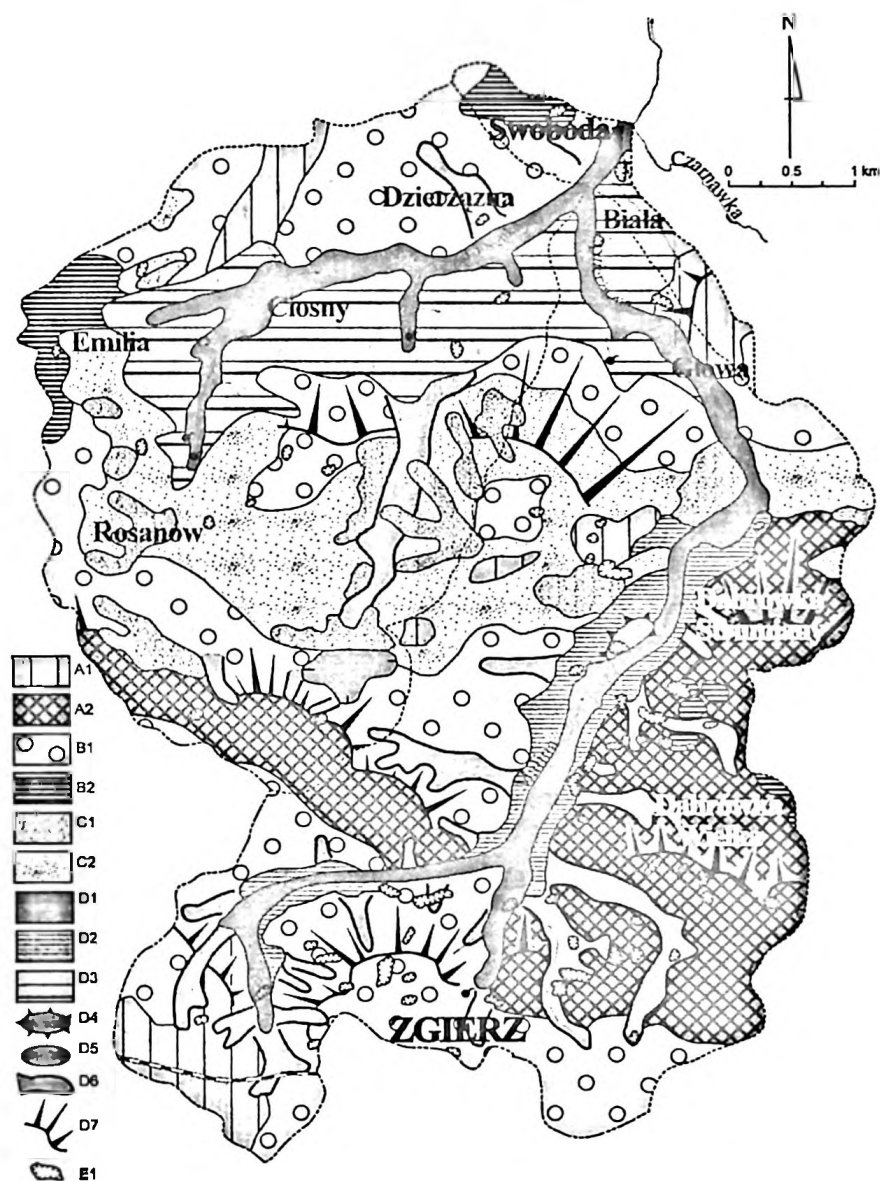
W strefie styku lobów, wschodniego (Rawki) i południowo-zachodniego (Widawki) na linii Dąbrówka Wielka – Ozorków, powstały liczne, szczelinowe formy morfologiczne (rys. 2). Ciągi kemowych pagórów znajdują się w Dąbrówce Wielkiej i Dąbrówce Strumiany oraz w okolicach Emilii i Rosanowa (Klatkowska 1972).

Regresja lądolodu w fazie kataglacjalnej uruchomiła procesy kształtowania się sieci rzecznej obszaru. Żywa rzeźba strefy krawędziowej wymusiła silną erozję w obrębie formujących się dolin. Stąd też ciekły odwadniające te tereny charakteryzują się dużymi spadkami podłużnymi: Dzierżana 7,13 ‰, Struga Dobieszkowska 5,9 ‰, Moszczenica 10,9 ‰ (Jokiel 2002; Walisch 2003).

Dalszy rozwój morfologii dolin zawdzięczamy vistuliańskim procesom rzeźbotwórczym. Dna dolin uległy wówczas pogłębieniu i wypełnieniu torfami i namułami organicznymi (Klatkowska 1972; Jastrzębska-Mamełka 1985). Procesy zachodzące we wczesnym vistulianie doprowadziły do powstania wysokich, na 4–8 m, teras rzecznych oraz rozległych równin rozlewiskowo-jeziornych wypełnionych przez 2–2,5 m serią różnofrakcyjnych piasków, z mułkami w spągu, o miąższości nawet do 0,5 m (rys. 2). Strefa takich osadów zastoiskowych rozciąga się w zlewni południkowo, szerokim pasem od Rosanowa na zachodzie, przez Ciosny oraz Białą i Swobodę na wschodzie (Klatkowska *et al.* 1995).

Genezę peryglacjalną posiadają także, licznie reprezentowane w zlewni, niecki denudacyjne i suche doliny wykształcone głównie w obrębie smardzewskiego i strykowskiego poziomu morfologicznego. Na szczególne wyróżnienie zasługuje tutaj duża, sucha dolina ciągnąca się od Rosanowa Górnego po Ciosny (rys. 2). Zestaw peryglacjalnych form rzeźby występujących w zlewni dopełniają wydmy okolic Lućmierz, Rosanowa i Dąbrówki Wielkiej (Klatkowska *et al.* 1995).

Najmłodszymi formami morfologicznymi są współczesne doliny rzeczne, których dna i terasy zalewowe wypełnia około dwumetrowej miąższości warstwa holocenijskich piasków rzecznych i humusowych. Miąższość osadów organicznych, w tym



Rys. 2. Naturalne i antropogeniczne formy rzeźby

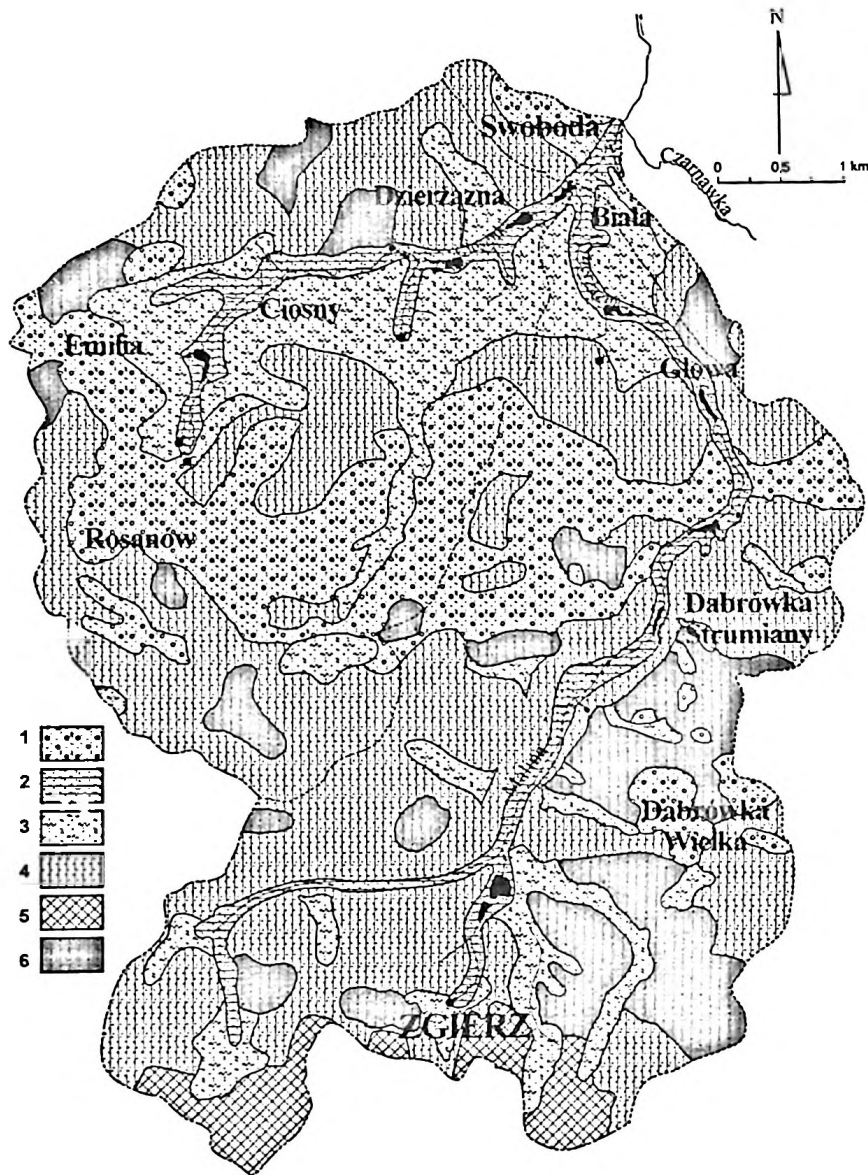
formy akumulacji lodowcowej: A1 – wysoczyzna morenowa płaska, A2 – wzniesienia moren spiętrzonych; formy akumulacji wodnolodowcowej: B1 – równiny sandrowe, B2 – kemy; formy akumulacji eolicznej: C1 – wydmy, C2 – równiny eoliczne; inne formy akumulacyjne i erozyjne: D1 – dna dolin rzecznych, D2 – rzeczne terasy akumulacyjne, D3 – równiny rozlewiskowo-jeziorne, D4 – ostańce erozyjne, D5 – zagłębienia po martwym lodzie, D6 – suche doliny i dolinki denudacyjne, D7 – krawędzie stokowe; formy antropogeniczne: E1 – wyrobiska (żwirownie, piaskownie, glinianki)

źródło: Jokieli (2002)

The natural and anthropogenic relief forms

forms of a glacial accumulation: A1 – flat moraine plateaux, A2 – push moraine hills; forms of a fluvioglacial accumulation: B1 – outwash plains, B2 – kames; forms of an aeolian accumulation: C1 – dunes, C2 – aeolian plains; other accumulation and erosion forms: D1 – river valley floors, D2 – fluvial accumulation terraces, D3 – flood and lacustrine plains, D4 – erosion remnants, D5 – dead ice hollows, D6 – dry and denudation valleys, D7 – scarps and slopes; anthropogenic forms: E1 – pits (gravel pits, sand pits, clay pits)

source: Jokieli (2002)



Rys. 3. Wodoprzepuszczalność osadów powierzchniowych

1 – bardzo wysoka; 2 – wysoka; 3 – średnia; 4 – niska; 5 – bardzo niska antropogeniczna; 6 – bardzo niska
źródło: Jokieli, Maksymiuk (2000)

Water permeability of surface deposits

1 – very high; 2 – high; 3 – medium; 4 – low; 5 – low because of anthropogenic factors; 6 – very low
source: Jokieli, Maksymiuk (2000)

torfów, występujących głównie w obrębie mokradel teras zalewowych, dochodzi nawet do 1,3 m (Klatkowska 1972).

Wyżej opisany, naturalny układ morfologiczno-litologiczny ulegał i nadal podlega intensywnym przekształceniom w wyniku działalności człowieka. Osadnictwo paleolityczne oraz kolejne fazy rozwoju cywilizacyjnego zachodzące na tym

terenie generowały zmiany zarówno w obiegu wody, jak i w tempie oraz typach procesów erozji i akumulacji w dolinach rzecznych. Przekształcenia te były i nadal są wzmacniane przez dawną oraz istniejącą zabudowę hydrotechniczną cieków, w tym: piętrzenia, przepusty, młyny, folusze. Natomiast bogactwo surowców budowlanych przyczyniło się do powstania licznych, odkrywkowych

form ich pozyskiwania. Przykładem eksploatacji gliny oraz kruszywa są cegielnie w Zgierzu, Słowiku oraz w Dąbrówce Strumiany, a także zlokalizowane głównie w południowej i południowo-wschodniej części obszaru żwirownie, piaskownie oraz wyrobiska po glinie (rys. 2).

Współczesny rozwój osadnictwa, a w szczególności budowa dróg, prowadzi także do ogromnych przeobrażeń krajobrazu. Biegący równoleżnikowo przez obszar zlewni, odcinek autostrady A2 spowodował zniwelowanie wielu form terenu, w tym także obniżenie wzniesień wododziałowych (np. moreny spiętrzonej na północ od Dąbrówki Strumiany) oraz powstanie sztucznych, antropogenicznych form wypukłych (nasypów).

Położenie zlewni w strefie krawędziowej Wyżyny Łódzkiej sprawia, że średnie deniwelacje terenu sięgają około 10 m na 1 km (Jokiel 2002). Spadki terenu są tutaj duże w porównaniu z sąsiednimi jednostkami fizycznogeograficznymi (Równiną Kutnowską, Kotliną Warszawską czy Sieradzką), lecz są one typowe dla badanego fragmentu Wzniesień Łódzkich (Kondracki 2002). Średnia wysokość całego obszaru badawczego wynosi 166 m n.p.m. Należy dodać, iż przeciętna wysokość zlewni cząstkowej Ciosenki jest o około 20 m mniejsza niż zlewni Dzierżąznej, oraz charakteryzuje się mniejszymi deniwelacjami i lokalnymi spadkami terenu.

Różnice w ukształtowaniu terenu obu zlewni cząstkowych wynikają bezpośrednio z odmiennego charakteru ich rzeźby. W zlewni Ciosenki dominują równiny akumulacyjne, natomiast obszar odwadniany przez Dzierżązną cechuje żywa rzeźba erozyjna (Jokiel 2002). Morfologicznie dwudzielny charakter obszaru badań sprawia, iż bardziej monotonna rzeźba zlewni Ciosenki tworzy sprzyjające warunki do formowania się odpływu podziemnego oraz gromadzenia się dużych podziemnych zasobów wodnych (spadki lokalne 1,1–3 %). Świadczą o tym, między innymi, liczne i wydajne źródła w Rosanowie i Ciosnach (Moniewski 2004). Natomiast, duże spadki lokalne zlewni cząstkowej Dzierżąznej, osiągające w jej południowej części nawet 9 %, tworzą dogodne warunki do organizowania się szybkich form odpływu oraz intensyfikacji procesów erozji gleb i powierzchniowej migracji zanieczyszczeń (Jokiel 2002). Pewną osobliwością morfologii zlewni jest występowanie największych spadków lokalnych w najbliższym sąsiedztwie rzeki głównej, nie zaś w strefie wododziałowej.

Czwartorzędowe procesy morfogenetyczne doprowadziły do dużego, poziomego i pionowego, zróżnicowania litologicznego obszaru zlewni.

Przeciętna grubość czwartorzędowego płaszczu osadów waha się w przedziale od 15 m do 70 m (Płochniowski 1989). Ekstremalne miąższości serii czwartorzędowych związane są ze strefami zaburzeń glaciektonicznych. Dla przykładu, w okolicach Zgierza grubość płaszczu czwartorzędowych osadów wynosi około 150 m, natomiast w odkrywcę w Dąbrówce Strumiany zaledwie zbliża się do 1 m (Klatkowska 1993).

WODY ZLEWNI DZIERŻĄZNEJ

Geneza systemu rzecznoego badanego obszaru wywodzi się z fazy kataglacjalnej zlodowacenia warty. Początkowo chaotyczny układ strug wodnych stopniowo przekształcił się w stałą sieć odpływu liniowego, łączącą bezodpływowe zagłębienia glacialne. Wyraźna rzeźba krawędziowa północnego skłonu Wzniesień Łódzkich, wymuszała silną erozję wgłębną i wsteczną w obrębie dolin młodej sieci rzecznej. Wiele odcinków dolin zyskało dzięki temu swój przełomowy charakter, jak na przykład Mrożyca (Klatkowska 1972).

W istniejącym systemie rzeczonym regionu łódzkiego rozróżnia się dwa podstawowe kierunki odwadniania: południkowy (np. Moszczenica) i równoleżnikowy (np. Bzura). W zlewni Dzierżąznej odnajdujemy oba wymienione kierunki odpływu powierzchniowego, co daje podstawy do nazwania wykształconego systemu sieci rzecznej, polodowcowym układem strukturalnym o charakterze rusztowym (Klatkowska 1972). Równocześnie przyjmuje się często, że wykształcony w środkowej Polsce, w tym w zlewni Dzierżąznej, układ sieci rzecznej ma cechy decentrycznego (Maksymiuk 1992; Jokiel, Maksymiuk 1999). Wskazuje na to zwłaszcza ułożenie i kierunek płynięcia małych cieków, na przykład Sokółki, Bałutki, Jasienia, Mrożyca a także Dzierżąznej. Wszystkie one, biorąc początek na stokach Wzniesień Łódzkich i promieniście uchodzą do swych recypientów, czyli Warty, Pilicy i Bzury lub ich dopływów.

Odwodnienie obszaru badań odbywa się zgodnie z ogólnym nachyleniem terenu ku północy – w kierunku pradoliny warszawsko-berlińskiej. Osią systemu rzecznoego zlewni jest Dzierżązna, która zgodnie z przyjętym podziałem hydrograficznym kraju, jest ciekami piątego rzędu. Zlewnia badawcza należy do dorzecza Moszczenicy, która oddaje swoje wody do Bzury. Obszar odwadniany przez Dzierżązną przynależy zatem do dorzecza Wisły.

Dzierżązna rozpoczyna swój bieg ze źródeł bijących na północnym skraju dzielnicy Zgierz – Rudunki. Ogólny przebieg koryta rzeki jest zbliżony do południkowego, aczkolwiek w górnym i środkowym odcinku odchyła się on na północny wschód, a poniżej wsi Dąbrówka Strumiany gwałtownie zmienia się na północno-zachodni. Na 9 kilometrze biegu, Dzierżązna przyjmuje swój największy, lewobrzeżny dopływ – Ciosenkę. Pły nie ona niemal równoleżnikowo. Jedynie jej górny odcinek, wraz z ciekim źródłowym (Rosanów), mają przebieg południkowy. Analogiczny kierunek odpływu cechuje prawobrzeżny dopływ Ciosenki, biorący swój początek w niszy źródłowej we wsi Ciosny Sady (rys. 1).

Spadki podłużne dolin rzecznych w zlewni Dzierżąznej są duże i wynoszą przeciętnie 6,9 ‰. Spadki innych cieków środkowej Polski, np.: Wrześnicy, Grabówki czy Dobrzyńki wynoszą odpowiednio 0,8 ‰, 2,9 ‰ i 3,1 ‰ (Bartnik, Tomaszewski 2000; Walisch 2003). Średni spadek doliny Dzierżąznej, równy ponad 7 ‰, pozwala nawet na przyrównanie jej do rzek górskich (Jokiel 2002). Natomiast Ciosenka ze względu na wspomnianą już odmienną rzeźbę i budowy geologicznej wykazuje znacznie mniejszy spadek podłużny – 3,7 ‰.

Duży spadek podłużny dolin rzecznych bezpośrednio przekłada się na szybkość transportu mas wody, a zatem na przebieg i parametry fal wezbraniowych oraz wpływa na intensywność erozji. Stąd, zarówno Dzierżązna, jak i Ciosenka meandrują jedynie na krótkich odcinkach, a bieg dolin jest niemal prostoliniowy.

Dopełnieniem systemu rzecznej Dzierżąznej są liczne, lecz krótkie cieki, które prostopadle uchodzą do obu rzek głównych. Sieć rzeczna obszaru badań, zgodnie ze strahlerowską klasyfikacją cieków oraz w świetle tzw. praw Hortona, charakteryzuje się silną zależnością od geologii podłoża oraz małym stopniem zorganizowania – rys. 4 (Bartnik, Tomaszewski 2000). Zauważmy jednak, że przedstawiona przez wyżej wymienionych autorów gęstość sieci rzecznej, wyrażona wskaźnikiem Neumanna, równa się 0,85 km·km⁻² i jest dwukrotnie wyższa niż wartości przeciętne podawane dla środkowej Polski (0,2–0,4 km·km⁻²) (Maksymiuk 1992).

Średnio w roku, system rzeczny Dzierżąznej wyprowadza z obszaru zlewni 162 mm wody (Jokiel 2002). Wartość ta zbliżona jest do średniej dla środkowej Polski wynoszącej, w wieloletniu 1951–2000, 158 mm (Jokiel 2004). Analiza przepływów rzek zlewni wykazuje, iż w miejscu połączenia obu strug, Dzierżązną płynie przeciętnie

około 40 % mniej wody niż Ciosenką (Bartnik, Tomaszewski 2000). Procentowy udział wód podziemnych w odpływie całkowitym wyznaczony dla Ciosenki i Dzierżąznej, przed połączeniem obu cieków, jest wyraźnie wyższy w pierwszej rzece (83 %). Natomiast zasilanie podziemne Dzierżąznej przed przyjęciem Ciosenki niewiele przekracza 71 % (Jokiel, Tomalski 2005). Dla porównania warto podać, iż udział zasilania podziemnego w odpływie całkowitym, w środkowej Polsce, oscyluje wokół 53 % (Jokiel 2004).

Na badanym obszarze, w wyniku antropogenicznych oddziaływań na odpływ, dochodzi niekiedy do zaburzenia naturalnego reżimu cieków. Szczególną rolę pełni tu mała retencja zbiornikowa, w postaci licznych stawów przepływowych. Prowadzi ona do okresowego zmniejszania, a nawet zaniku przepływu w rzekach (szczególnie w odcinku Dzierżąznej poniżej dużego kompleksu zbiorników rekreacyjnych „Malinka”). Z drugiej strony, sezonowe opróżnianie tych zbiorników generuje często powstawanie antropogenicznych fal wezbraniowych (Jokiel 2002).

Blisko 98 % retencji powierzchniowej (korytowej i zbiornikowej) w zlewni Dzierżąznej przypada na zasoby wód zgromadzone w sztucznych zbiornikach wodnych. Większość stawów występujących na danym terenie ma charakter przepływowy i są one bezpośrednio włączone do sieci rzecznej (Bartnik, Tomaszewski 2000). Na Dzierżąznej zlokalizowano aż 7 zbiorników przepływowych, natomiast wody Ciosenki piętrzone są w 3 dużych kompleksach stawów, z których dwa pełnią funkcję łowisk komercyjnych.

Zbiorniki niezwiązane z siecią rzeczna są tutaj reprezentowane przez nieliczne śródpolne bądź wykopane w obrębie dolin sadzawki, stawy, oraz wyrobiska wypełnione wodą. Do ostatniego typu należy, największy w zlewni pod względem pojemności, zbiornik poeksploatacyjny w Dąbrówce Strumiany (Glinianka). Mimo względnej różnorodności występujących tu zbiorników wodnych, aż 90 % powierzchni zlewni pozbawione jest jakichkolwiek form retencji wód stojących. Niski wskaźnik jeziorności, wyrażony stosunkiem powierzchni lustra wody do arealu całej zlewni i równy 0,5 % (Polska 0,9 %) wskazuje na relatywnie bardzo niską retencję zbiornikową (Bartnik, Tomaszewski 2000).

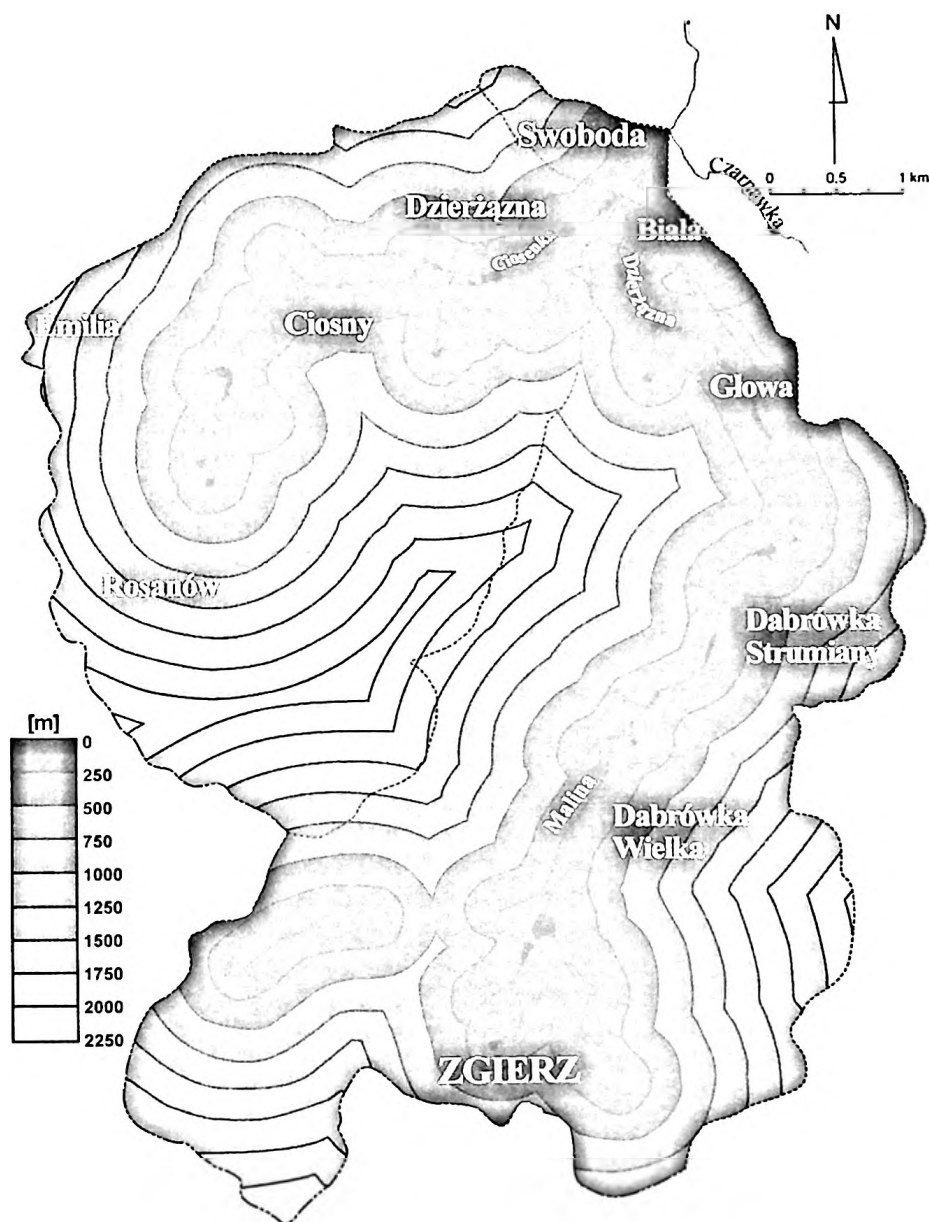
Rezultatem szeregu nakładających się na siebie plejstocenijskich i holocenijskich procesów geomorfologicznych jest, tworzący w całości strefę aktywnej wymiany, wielopoziomowy, czwartorzędowy zbiornik wód podziemnych. Znaczna miąż-

szłość piaszczystych i piaszczysto-żwirowych osadów czwartorzędowych, sięgająca 15 m w północnej części obszaru badań, i ponad 40 m na jego krańcach południowych, stworzyła bardzo korzystne warunki do gromadzenia dużych zasobów wód podziemnych.

Średnia głębokość do zwierciadła pierwszego poziomu wodonośnego w całej zlewni wynosi 9 m p.p.t., przy czym w zlewni Dzierżanej jest równa 10,8 m p.p.t., a w zlewni Ciosenki nieco

ponad 7 m p.p.t. Analiza rzędnych terenu, głębokości wcięcia dolin rzecznych oraz położenia zwierciadła wody podziemnej pierwszego poziomu pozwoliła obliczyć przeciętną miąższość strefy aktywnej wymiany (J o k i e l 2002). W całej zlewni Dzierżanej wynosi ona około 18 metrów.

Rozkład przestrzenny hydroizobat, pierwszego poziomu wodonośnego wykazuje dwie zasadnicze prawidłowości. Miąższość warstwy aeracji



Rys. 4. Ekwidystanty odległości od cieku

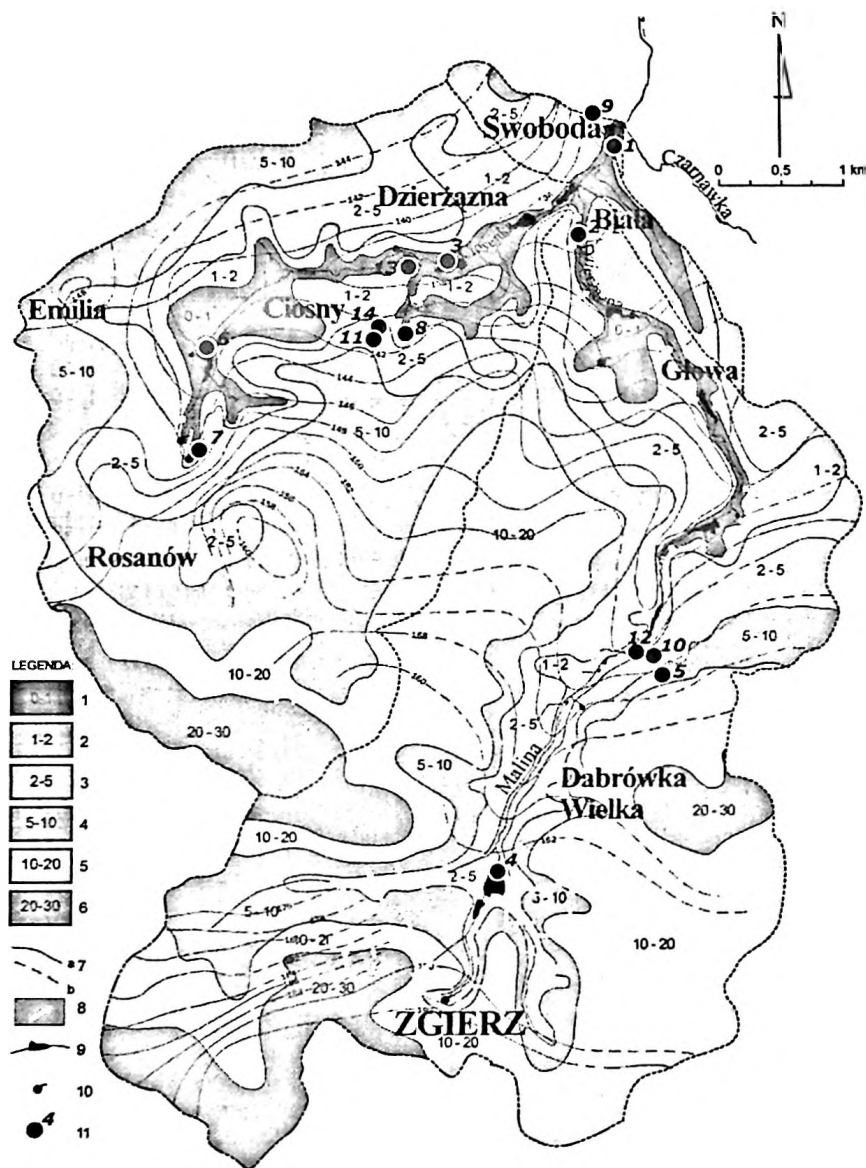
źródło: Bartnik, Tomaszewski (2000)

Isolines of distance from rivers

source: Bartnik, Tomaszewski (2000)

rośnie wraz ze wzrostem odległości od koryt rzecznych. Wyraźnie widoczna jest też odmienność hydrogeologiczna obu zlewni cząstkowych. Obszar odwadniany przez Ciosenkę, w przeciwieństwie do zlewni cząstkowej Dzierżaznej, charakteryzuje się

stosunkowo płytkim położeniem zwierciadła wód podziemnych (poniżej 10 m na 80 % powierzchni całej zlewni Ciosenki) oraz jego wyraźną współkształtnością z rzeźbą terenu (rys. 5).



Rys. 5. Miąższość strefy aeracji i ukształtowanie zwierciadła pierwszego poziomu wód podziemnych (lipiec 1998)

skala głębokości do pierwszego zwierciadła wód podziemnych [m p.p.t.]: 1 – 0–1; 2 – 1–2; 3 – 2–5; 4 – 5–10; 5 – 10–20; 6 – 20–30; 7 – hydroizohipsy pierwszego zwierciadła wód podziemnych: a – pewne, b – niepewne, 8 – kierunki spadków; 9 – sieć rzeczna i zbiorniki wodne, 10 – źródła; 11 – posterunki pomiarowe
źródło: Jokieli, Moniewski (2000); Mat. ZHiGW UŁ

The depth to the first aquifer horizon in the Dzierżazna catchment (July 1998)

scale of depth to the first aquifer horizon [m p.p.t.] [metres under ground surface]: 1 – 0–1; 2 – 1–2; 3 – 2–5; 4 – 5–10; 5 – 10–20; 6 – 20–30; 7 – isolines of depth to the first aquifer horizon: a – certain, b – uncertain; 8 – directions of slopes; 9 – rivers and water reservoirs; 10 – springs; 11 – measurement points
source: Jokieli, Moniewski (2000); Mat. ZHiGW UŁ

W strefie aktywnej wymiany badanej zlewni występują dwa płytkie poziomy wodonośne (wierzchówkowy i aluwialny) oraz dwa główne poziomy wód gruntowych (Jokiel, Maksymiuk 1993). Zwierciadła wód dwóch pierwszych poziomów charakteryzuje duża dynamika wahań oraz głębokość występowania od 0 m p.p.t. do 2 m p.p.t. Wody wierzchówkowe występują w obrębie wysoczyzn oraz wypukłych form rzeźby, tworząc tam niekiedy okresowe soczewki, zawieszane wśród osadów stokowych. Poziom aluwialny ogranicza zaś swoje występowanie do wąskich dolin rzecznych. Obszar, drenowanej przez Ciosenkę, równiny rozlewiskowo-jeziornej stanowi tu wyjątek. Poziom ten jest tutaj rozległy, co bezpośrednio przekłada się na wzrost powierzchni podmokłości. Warto podkreślić, że poziom aluwialny, w dolinie Ciosenki, znajduje się w bezpośrednim kontakcie hydraulicznym z wodami gruntowymi sandru grotnicko-luźmierskiego (Moniewski 1997, 2004).

Strop strefy saturacji, przeważnie odkrytego, ciągłego poziomu wód gruntowych, wykształconego w warciańskich piaszczysto-żwirowych osadach sandrowych znajduje się na głębokości od kilku do ponad 20 m p.p.t. Zwierciadło wody poziomu sandrowego wykazuje współkształtność z rzeźbą i jest zwykle swobodne. Tylko w obszarach gdzie strefę saturacji płatowo przykrywają osady deluwialne lub mułki zastoiskowe pojawiają się strefy zwierciadła napiętego. Zasoby wodne tego poziomu, podobnie jak występującego głębiej zbiornika międzymorenowego, odznaczają się małą dynamiką i trwałością wydatku (Jokiel 2002; Moniewski 2004).

Wodonoścem poziomu międzymorenowego są osady piaszczysto-żwirowe przykryte glinami warciańskimi. W obszarach, gdzie jego zwierciadło jest napięte wznios może osiągać nawet 35 m (Jokiel, Maksymiuk 1993). Głębokość do wód podglinowych w strefach wysoczyzn przekracza 30 m, natomiast na pozostałym obszarze zlewni od 8 m p.p.t. do 15 m p.p.t. W dolinach natomiast, jego zwierciadło znajduje się zaledwie na głębokości 1 m p.p.t. Zarówno poziom sandrowy, jak i międzymorenowy są bardzo zasobne i intensywnie drenowane przez źródła oraz płynące w zlewni cieki (Bartnik, Tomaszewski 2000; Jokiel 2002).

Miejsca występowania źródeł w zlewni Dzierżanej związane są z podcięciami erozyjnymi w obrębie sandru grotnicko-luźmierskiego oraz z żywą rzeźbą krawędziową południowej części zlewni i występującymi tam morenami spiętrzonymi. Rozmieszczenie wypływów wód podziem-

nych w zlewni potwierdza, stwierdzone przez Maksymiuka (1979) i Moniewskiego (1997) dla środkowej Polski, predyspozycje do pojawiania się źródeł na wysokości 200–160 oraz 150–140 m n.p.m.

Źródła Dzierżanej (rzędna – 187,5 m n.p.m.) zlokalizowane w północnej dzielnicy Zgierza (Rudunki), zasilane są z naglinowego i międzymorenowego poziomu wodonośnego, a ich przeciętna wydajność wynosi $6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Moniewski, Stolarska 2007). Pozostałe wypływy: w Głowie, Ciosnach i Rosanowie położone są w przedziale wysokości od 145 m n.p.m. do 150,5 m n.p.m. i wyprowadzają wody sandrowego poziomu wodonośnego. Przeprowadzona przez Maksymiuka i Moniewskiego (2000) klasyfikacja źródeł zlewni Dzierżanej, według wielkości ich wydatku, pozwala zaliczyć źródłiska w Rosanowie i Ciosnach do IV klasy w skali Mainzera, a pozostałe wypływy do klasy V. Występujące w zlewni źródła cechują się też stałym lub mało zmiennym wydatkiem (współczynnik Mailleta: 1,7–2,7). Największą wydajnością charakteryzuje się źródłisko w Rosanowie. Jego przeciętny wydatek, wynosi $41 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Wartość ta pozwala zaliczyć to źródłisko do najwydajniejszych w środkowej Polsce, tuż po Niebieskich Źródłach koło Tomaszowa Mazowieckiego (Maksymiuk, Moniewski 2000; Moniewski 2004).

Poza strefą aktywnej wymiany zlewni Dzierżanej, czyli w strefie retencji biernej, znajdują się wody piętra trzeciorzędowego oraz mezozoicznego. Głównym zbiornikiem użytkowym wód podziemnych, eksploatowanym na terenie zlewni, jest piętro mezozoiczne, a szczególnie poziom górnokredowy (Płochniowski 1989). Ujęcia, zasobów wód tego poziomu zlokalizowane są niemalże na dziale wodnym, a jego zwierciadło wody znajduje się na głębokości 70–77 m p.p.t. Natomiast, wykształcone w piaskach dolnej kredy oraz w utworach trzeciorzędowych, zasoby wód podziemnych nie mają istotnego znaczenia w obiegu wody oraz w gospodarce wodnej obszaru zlewni Dzierżanej (tylko jedno ujęcie głębinowe pozyskuje wody z trzeciorzędowego piętra wodonośnego).

Należy nadmienić, iż występujące w zlewni wody odkrytych poziomów wodonośnych (aluwialnego, wierzchówkowego i sandrowego) są bardzo podatne na zanieczyszczenie. Szczególnie niekorzystny jest brak naturalnej izolacji w przypadku zasobów poziomu wierzchówkowego i sandrowego, powszechnie wykorzystywanych w indywidualnych gospodarstwach. Występowania

nie licznych okien hydrogeologicznych, oraz częste kontakty hydrauliczne poszczególnych poziomów wodonosnych sprawiają, iż istnieje nawet możliwość zanieczyszczenia zdepresjonowanych zasobów piętra górnokredowego. Stąd też, omawiany fragment środkowej Polski Kleczkowski (1990) włączył nie tylko w ramy Głównego Zbiornika Wód Podziemnych (GZWP) łódzkiej niecki kredowej, ale wyznaczył tu także strefy wymagające najwyższej (ONO) i wysokiej ochrony (OWO) podziemnych zasobów wodnych. Zlewnia Dzierżąnej należy zatem do obszarów kluczowych pod względem formowania się regionalnych, użytkowych zasobów wód podziemnych.

UŻYTKOWANIE GRUNTÓW I WÓD

Położenie zlewni Dzierżąnej w strefie podmiejskiej Łodzi przyczyniło się do znacznego zróżnicowania przestrzennego i typologicznego kierunków użytkowania jej terenu. Można tu zaobserwować, charakterystyczne dla obszarów okalających duże miasta, przenikanie się miejskich i rolniczych form użytkowania, z coraz silniej zaznaczającymi się funkcjami: rekreacyjną i mieszkaniową (Jakóbczyk-Gryszkiewicz 1988; Matczak 1988).

Zaobserwowany w zlewni Dzierżąnej duży odsetek odłogów i ugorów (16,1%) świadczy o wyraźnym wygasaniu rolniczego wykorzystania terenów (Krysiak 2000). Mimo to, udział pól uprawnych jest nadal duży i stanowi niemal jedną trzecią całego obszaru. Użytkowanie rolnicze dominuje na terenach o korzystnych, w skali zlewni, warunkach glebowych i rozciąga się w pasie od Rosanowa Górnego przez Dąbrówkę Wielką, Dąbrówkę Strumiany i Mariankę po Kolonię Szczawin. Pola uprawne rozpościerają się również wzdłuż doliny Ciosenki.

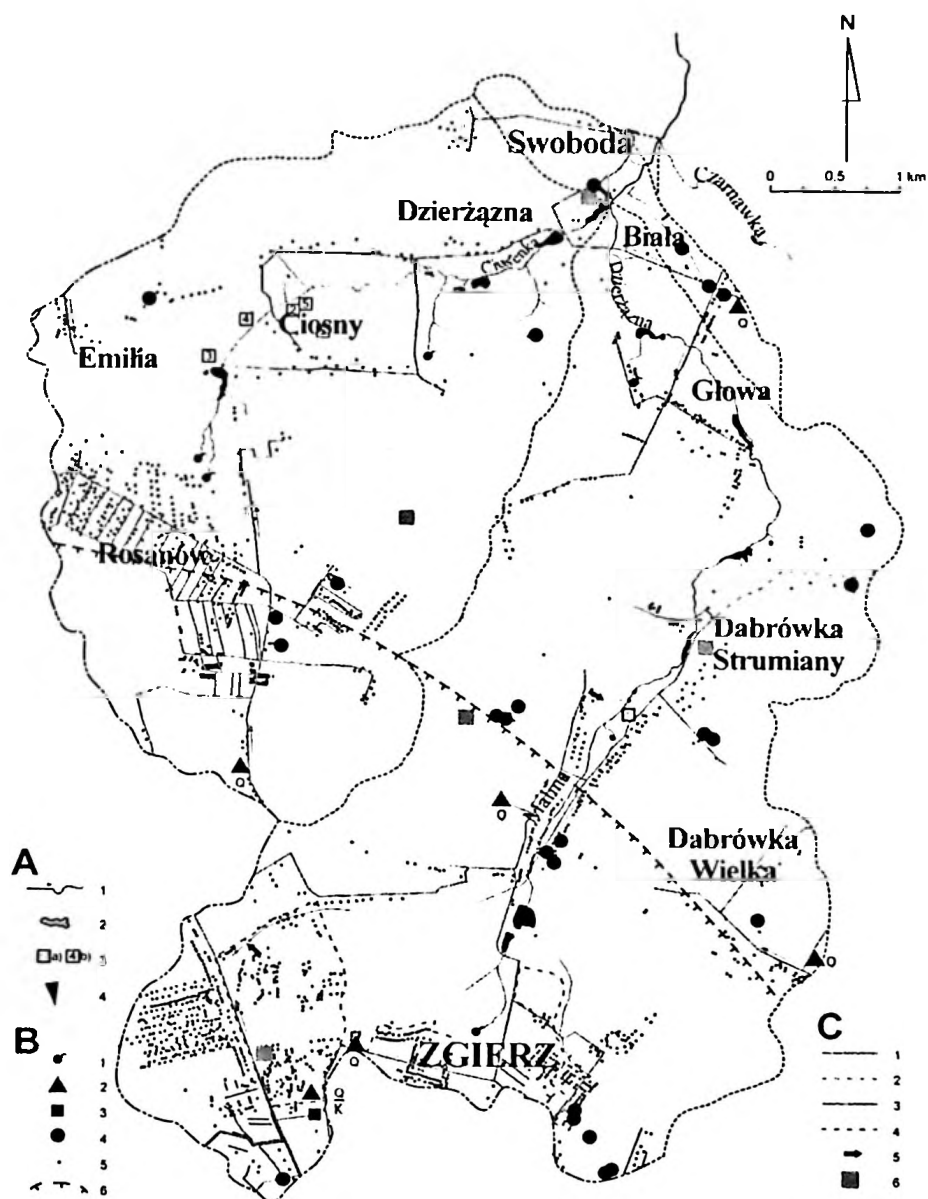
W stosunku do użytków zielonych, o połowę mniejszą powierzchnię zajmują sady i plantacje (3,4%). Ten typ użytkowania występuje w południowo-zachodniej części zlewni. Natomiast lasy pokrywają blisko 31% obszaru. Największe kompleksy tworzą bory sosnowe rosnące w okolicach Rosanowa, Ciosen i Jeżewa (rys. 1). Lasy porastające obszar sandru grotnicko-lućmierskiego podlegają intensywnym przekształceniom związanymi z osadnictwem rekreacyjnym.

Do największych skupisk leśnych działek rekreacyjnych należą w okolice Rosanowa, Jeżowa, a także tereny przyległe do ośrodka wypoczynkowego w Białej (Krysiak 2000).

Gospodarka wodno-ściekowa w zlewni Dzierżąnej opiera się na dobrze rozwiniętej sieci wodociągowej, zasilanej z lokalnych ujęć wód podziemnych oraz na studniach i prywatnych ujęciach gospodarskich. Niestety, problem odbioru wód zużytych i nieczystości pozostawiono w gestii konsumentów i użytkowników wody. Na całym obszarze badań funkcjonuje tylko 5 małych, biologicznych oczyszczalni ścieków. W związku z silnym niedorozwojem kanalizacji sanitarnej, zaledwie 9,3% rocznej masy ścieków trafia do miejskiej oczyszczalni w Zgierzu (Bojanowska 2000). Pozostałe nieczystości z gospodarstw indywidualnych oraz działek rekreacyjnych odprowadzane są niestety do nieszczelnych szamb przydomowych oraz bezpośrednio do dolów chłonnych i rowów odprowadzających (Jokiel 2002). Zjawiskiem wysoce niekorzystnym jest fakt, iż obszary o dużym zagęszczeniu ognisk zanieczyszczeń (ponad 320 szamb na km²) są terenami o dużej podatności na zanieczyszczenie wód podziemnych (Jokiel 2002). Brak efektywnych rozwiązań kanalizacyjnych na obszarze zlewni daje również skutek w postaci licznych miejsc bezpośredniego zrzutów ścieków do cieków (rys. 6).

Warto również zwrócić uwagę na stan zabudowy hydrotechnicznej rzek. Budowle piętrzące wody cieków w liczne zbiorniki wodne są najczęściej dobrze utrzymane i prawidłowo funkcjonują (np. jazy, mnichy i małe tamy). Natomiast wszelkiego rodzaju zastawki oraz umocnienia brzegów (głównie faszyna) są w bardzo złym stanie technicznym. Zasługującym na uwagę obiektem hydrotechnicznym, jest niegdyś napędzany przez rzekę młyn nad Ciosenką.

Prowadzona w zlewni, nierozważna gospodarka wodno-kanalizacyjna jest bezpośrednią przyczyną istotnego pogarszania się jakości jej wód powierzchniowych i podziemnych. Niemniej jednak, opublikowane dotąd wyniki badań wskazują zwykle na dobrą lub zadowalającą jakość wód gruntowych (I–III klasa wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z 2004 r.). Równocześnie, wody rzek i zbiorników w zlewni były znacznie gorszej jakości i osiągały nawet V klasę jakości wód powierzchniowych (Burchard *et al.* 2003; Moniewski, Stolarska 2007).



Rys. 6. Wybrane obiekty gospodarki wodnej

A – wody powierzchniowe: 1 – ciek, 2 – stawy, 3 – zespoły zbiorników wodnych: a – stałe, b – okresowe, 4 – wodowskaz;
 B – wody podziemne: 1 – źródła, 2 – ujęcia wód podziemnych, 3 – stacje uzdatniania wody, 4 – studnie głębinowe,
 5 – szamba i doły chłonne, 6 – zasięg leja depresji w poziomie górnokredowym; C – gospodarka wodno-ściekowa:
 1 – wodociągi istniejące, 2 – wodociągi w budowie i planowane, 3 – kanalizacja istniejąca, 4 – kanalizacja planowana,
 5 – większe zrzuty ścieków, 6 – oczyszczalnie ścieków

źródło: J o k i e l (2002) zmienione

Chosen objects of water management

A – surface waters: 1 – rivers, 2 – ponds, 3 – groups of water reservoirs: a – perennial, b – temporal, 4 – water-level gauge;
 B – ground waters: 1 – springs, 2 – ground waters intakes, 3 – stations of water conditioning, 4 – deep wells, 5 – septic tanks
 and cesspits, 6 – range of depression cone in Upper Cretaceous ground waters level; C – water supply and sewage
 management: 1 – existing water supply systems, 2 – water supply systems engineered and in plans, 3 – existing water sewage
 systems, 4 – planned water sewage systems, 5 – bigger throws of sewage, 6 – sewage-treatment plants

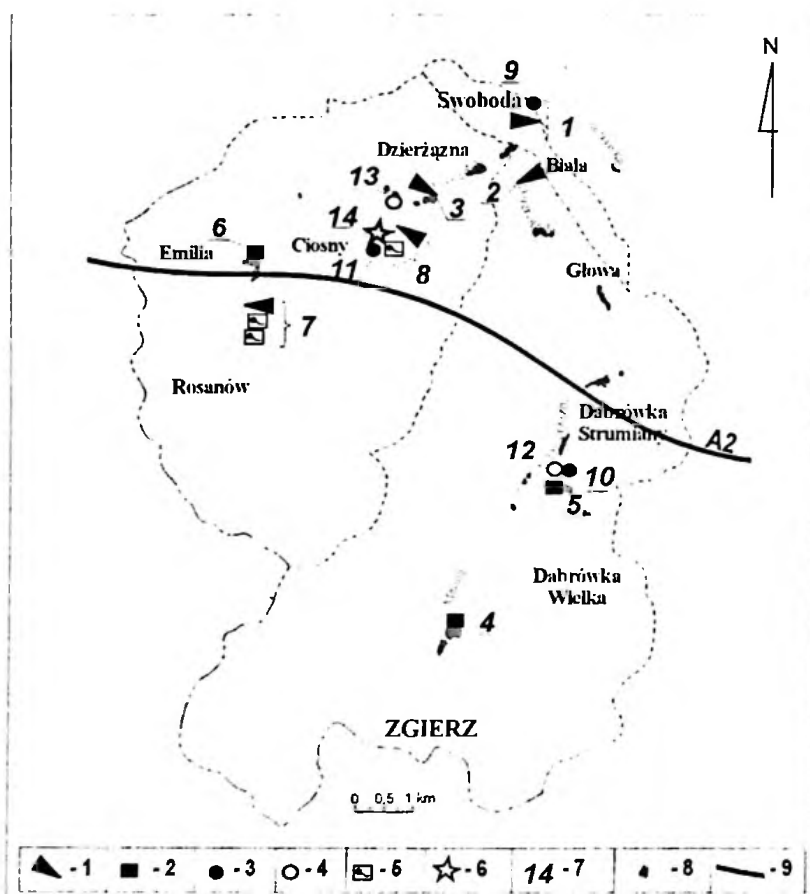
source: J o k i e l (2002) changed

PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA MONITORINGU

Serie danych, zebrane na drodze samodzielnie wykonanych pomiarów terenowych, były podstawą do realizacji podjętego tematu. Zgromadzony materiał liczbowy pochodzi z założonej, specjalnie na potrzeby niniejszego opracowania, sieci 14 posterunków pomiarowych. Wykorzystano także zbiory danych uzyskanych w toku funkcjonowania zlewni badawczej ZHiGW UŁ (rys. 7; tab. 1).

W doborze posterunków pomiarowych ważnym elementem było spełnienie przez nie kryterium reprezentatywności w stosunku do typów wód i obiektów hydrograficznych występujących

w zlewni. W ramach sieci znalazły się zatem zarówno punkty monitoringu wód powierzchniowych, jak też wód podziemnych, w stosownym podziale na podtypy. Zmiany ilości zasobów wodnych oraz cechy fizykochemiczne wód powierzchniowych monitorowano na 6 posterunkach (w 3 ciekach i w 3 zbiornikach wodnych). Wody podziemne badano zaś na 7 posterunkach (w 3 studniach, 2 piezometrach i 2 źródłiskach). Pełne, dwuletnie serie danych meteorologicznych pochodzą z Automatycznej Stacji Hydrologiczno-Meteorologicznej – ASH-M (rys. 7, post. 14).



Rys. 7. Sieć posterunków pomiarowych

1 – wody płynące; 2 – wody stojące; 3 – wody podziemne ujmowane w studniach; 4 – wody podziemne w piezometrach; 5 – źródłiska; 6 – Automatyczna Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna (ASH-M); 7 – numery posterunków; 8 – sieć rzeczna; 9 – autostrada A2

The net of measurement points

1 – rivers; 2 – water reservoirs; 3 – ground waters in wells; 4 – ground waters in piezometers; 5 – springs; 6 – The Automatic Hydrological-Meteorological Station (ASH-M); 7 – numbers of measurement points; 8 – river system; 9 – motorway A2

Tabela 1

Wykaz posterunków pomiarowych
List of measurement points

Typ obiektu Type of object	Nr	Nazwa Name
RZEKI rivers	1	Dzierżązna – Swoboda
	2	Dzierżązna – Biała
	3	Ciosenka – Dzierżązna
ZBIORNIKI WODNE water reservoirs	4	kąpielisko „Malinka” swimming reservoir
	5	„Glinianka” w Dąbrowce post-eksploatacyjny zbiornik post-exploitation reservoir
	6	staw hodowlany „Rosanów” fish breeding reservoir
ŹRÓDLISKA springs	7	źródło „Rosanów” a – nisza, b – wypływ descenzyjny, c – wypływ ascenzyjny „Rosanów” large spring a – niche b – descending spring c – ascending spring
	8	źródło „Ciosny” a – nisza, b – wypływ ascenzyjny „Ciosny” large spring a – niche b – ascending spring
STUDNIE wells	9	Swoboda (wierzchówkowy poziom wodonośny) (shallow groundwater level)
	10	Dąbrowka Strumiany (międzymorenowy poziom wodonośny) (intermorainic groundwater level)
	11	Ciosny (sandrowy poziom wodonośny) (outwash groundwater level)
PIEZOMETRY piezometers	12	Dąbrowka Strumiany (aluwialny poziom doliny Dzierżąznej) (alluvial groundwater level of Dzierżązna valley)
	13	Ciosny (aluwialny poziom doliny Ciosenki) (alluvial groundwater level of Ciosenka valley)
AUTOMATYCZNA STACJA HYDROLOGICZNO- METEOROLOGICZNA	14	(ASH-M) The Automatic Hydro-Meteorological Station

Pomiary cech ilościowych i fizykochemicznych wód płynących prowadzono na posterunkach zlokalizowanych na Dzierżąznej i Ciosence. Zlewnie tych cieków zamknięte są posterunkami numer 2 i 3 (rys. 7). Cieki te różnią się od siebie podstawowymi cechami morfometrycznymi: długością,

spadkiem i charakterem koryt (Bartnik, Tomaszewski 2000). Różnice dotyczą także ich zlewni: morfologii, budowy geologicznej, pokrycia terenu oraz cech hydrogeologicznych podłoża (por. rys. 1–5). Rolę swoistego „repera”, służącego weryfikacji uzyskiwanych wyników, w odniesieniu

do dwóch wymienionych powyżej strug stanowi profil zamykający całą zlewnię, zlokalizowany na Dzierżanej we wsi Swoboda (rys. 7, post. 1).

Pierwszym z wytypowanych do badań zbiorników wodnych jest, założony na Dzierżanej, kompleks stawów przepływowych o funkcji rekreacyjnej i krajobrazowej – „Malinka” (post. 4). Kolejnym akwenem jest, bezodpływowy zbiornik poeksploacyjny – „Glinianka” (post. 5). Trzecim zbiornikiem jest przepływowy staw hodowlany, na Ciosence – „Rosanów” (post. 6). Należy nadmienić, iż stawy Malinka i Rosanów znajdują się w górnych, źródłowych odcinkach cieków i są intensywnie wykorzystywane (kapielisko i łowisko komercyjne).

Wybrane stawy należą do trzech typów sztucznych zbiorników wodnych, najczęściej spotykanych w zlewni i w okolicach Łodzi: zbiorników rekreacyjno-kapieliskowych, stawów hodowlanych oraz wypełnionych wodą zagłębień poeksploacyjnych. Wskazana odmiennność w aspekcie funkcji i genezy, winna istotnie wpływać na różnice właściwości fizykochemicznych wody i ich dynamiki. Zakres prowadzonych w zbiornikach pomiarów obejmował podstawowy zestaw właściwości fizykochemicznych wody: temperatury, odczynu, konduktywności i zawartości tlenu rozpuszczonego. Nie monitorowano natomiast wahań poziomu retencji i tempa wymiany wody w tych akwenach.

Dane dotyczące analizowanych podstawowych właściwości wód podziemnych pochodzą z 7 posterunków pomiarowych, zlokalizowanych na źródłiskach (post. 7, 8) oraz w studniach (post. 9, 10, 11) i piezometrach (post. 12, 13) (rys. 7; tab. 1).

Spośród czterech dużych źródliska występujących w zlewni, do badań wybrano dwie nisze: „Rosanów I” i „Ciosny” (rys. 7, post. 7, 8). Oba źródłiska są południkowo wydłużone i wyraźnie wcięte w podłoże (ok. 2–4 m). Wyfluty znajdują się w obrębie niszy Ciosny są skupione w jej górnej części, przez co źródłisko ma kształt półkolisty (amfiteatralny). Nisza źródłiskowa Rosanów jest natomiast mocno wydłużona, a rozmieszczenie wypływów w jej obrębie jest asymetryczne. Najliczniej biją one u podnóża wschodniego zbocza.

Głównym poziomem wodonośnym, drenowanym przez wypływy obu badanych źródlisk jest odkryty poziom sandrowy, wykształcony w utworach piaszczysto-żwirowych sandru grotnicko-luźmierskiego. Należy podać, iż źródłiska te były obserwowane od 1998 r. Wykonane na potrzeby niniejszej monografii pomiary wydajności są kontynuacją tych serii.

Posterunki pomiarowe, założone w obrębie wymienionych źródlisk miały dwojaki charakter.

Pomiary wydajności prowadzono w przekrojach zamykających nisze, zlokalizowanych w miejscu wyraźnie uformowanej strugi. W miejscu tym, mierzono także podstawowe właściwości fizykochemiczne wody. Podobny zestaw cech fizykochemicznych wody badano równolegle w wybranych wypływach położonych we wnętrzu każdej niszy: jeden wypływ w źródłisku Ciosny i dwa w niszy Rosanów. Pozwoliło to na wgląd w istniejący w obrębie nisz wewnętrzny układ warunków fizykochemicznych wód. Możliwe było również wieloaspektowe porównanie właściwości wody odpływającej z poszczególnych źródlisk z jej cechami w miejscu bezpośredniego wypływu.

Monitoring wahań zasobów i podstawowych cech fizykochemicznych wód podziemnych prowadzono także w trzech studniach i dwóch piezometrach. Wody ujmowane na tych posterunkach reprezentowały trzy najważniejsze, czwartorzędowe poziomy wodonośne występujące w zlewni Dzierżanej. W wymienionych otworach badawczych (studnie, piezometry) badano zarówno głębokość do zwierciadła wody podziemnej, jak i wykonywano pomiary trzech cech fizykochemicznych wody (temperatury, przewodności i odczynu).

Najgłębszy, najbardziej zasobny w wodę, sandrowy poziom wodonośny badano w studni zlokalizowanej we wsi Ciosny Sady (post. 11). Ujęcie gospodarskie położone we wsi Dąbrówka Strumiany umożliwiło śledzenie zmian właściwości wód, częściowo odkrytego poziomu międzymorenowego (post. 10). Natomiast płytkie wody wierzchówkowe, fragmentarycznie przykryte osadami deluwialnymi, badano w studni wykopanej w miejscowości Swoboda (post. 9).

Płytkie wody poziomów aluwialnych były natomiast przedmiotem pomiarów prowadzonych w specjalnie zainstalowanych piezometrach (rys. 7). Piaszki aluwialne wypełniające dość wąską dolinę Dzierżanej są wodonoścem dla wód badanych w piezometrze numer 12. Został on zainstalowany w obrębie mokradła stałego w Dąbrówce Strumiany. Drugi posterunek pomiarowy w obrębie wód aluwialnych założono na skraju mokradła stałego w szerokiej dolinie Ciosenki (post. 13).

Dopełnienie zaprezentowanej powyżej sieci posterunków pomiarowych stanowi Automatyczna Stacja Hydrologiczno-Meteorologiczna (post. 14). Swoim wyposażeniem i budową, nawiązuje do tradycyjnych ogródków meteorologicznych wykorzystywanych między innymi przez IMGW i inne służby zajmujące się ochroną środowiska. Zainstalowano tutaj przyrządy służące do pomiaru opadu atmosferycznego, natężenia promieniowania padającego oraz standardowa klatka meteorolo-

giczna, maszt wiatrowy oraz tak zwane „poletko glebowe” z przyrządami służącymi do pomiarów podstawowych cech termiczno-wilgotnościowych podłoża.

Z zakresu pomiarów meteorologicznych wykorzystano jedynie dane dotyczące warunków termiczno-wilgotnościowych atmosfery. W analizach uwzględniono trzy szeregi czasowe: temperatury i wilgotności względnej powietrza oraz serie

sum dobowych opadów atmosferycznych. Ogólną charakterystykę techniczną przyrządów i czujników wykorzystanych do oceny warunków pogodowych w okresie 2004–2005 zawiera tabela 2.

Dla potrzeb opracowania, na podstawie rejestrowanych na Stacji ASHM danych dziesięciominutowych, wyznaczono przeciętne dobowe wartości wilgotności i temperatury powietrza atmosferycznego (średnie arytmetyczne).

Tabela 2

Przyrządy i czujniki wykorzystane w pomiarach: warunków termiczno-wilgotnościowych atmosfery, właściwości hydrochemicznych wód

Instruments and sensors used in measurements of: meteorological conditions of atmosphere and hydrological and physicochemical characteristics of water.

Charakterystyka characteristics	Symbol symbol	Jednostka unit	Nazwa i typ przyrządu/czujnika name and type of instrument/sensor	Zakres pomiaru measurement range	Dokładność pomiaru accuracy figure
Temperatura powietrza temperature of air	T_{pow}	°C	zintegrowany czujnik temperatury i wilgotności powietrza HMP45D Vaisala Oyj	-5 °C – 8 °C	0,1 °C
Wilgotność względna Powietrza relative humidity of air	W_p	%	zintegrowany czujnik temperatury i wilgotności powietrza HMP45D Vaisala Oyj	0–100 %	0,1 %
Opad atmosferyczny atmospheric precipitation	P	mm	deszczomierz Hellmanna	60 mm	0,1 mm
Prędkość przepływu flow velocity	V	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	młynek hydrometryczny Valeport BMF	-	0,001 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Stan wody w rzece rivers water level	H	cm	wodowskaz ławowy	-	1,0 cm
Głębokość do zwierciadła wód podziemnych depth to the ground water level	h	cm p.p.t.	pływak konstrukcja ZHiGW	-	1,0 cm
Temperatura temperature	T	°C	czujnik temperatury CT2B-121 Elmetron	-70 °C–200 °C	0,1 °C
Przewodność elektrolityczna conductivity	SEC	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	czujnik konduktometryczny CD-2 Elmetron	1 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ – 100000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	1 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
Odczyn pH level	pH	pH	zespolona elektroda pH EPP-1M Elmetron	0 pH–14 pH	0,01 pH
Zawartość tlenu rozpuszczonego capacity of dissolved oxygen	DO	$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$	sonda tlenowa CO-411 Elmetron	0 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ – 19,9 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$	0,1 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$

źródło: Instrukcje poszczególnych przyrządów – TRAX Elektronik; ZHiGW UL

source: The usage instructions of the measurement instruments – TRAX Elektronik; ZHiGW UL

Pomiary dobowych sum opadów na ASH-M w Ciosnach prowadzono z wykorzystaniem standardowego deszczomierza Hellmanna (tab. 2). Natomiast wszelkie, przeprowadzone w pracy analizy danych opadowych opierają się na sumach skorygowanych. Korektę dobowych sum opadu zmierzono przeprowadzono z zastosowaniem miesięcznych poprawek zaproponowanych przez Kowalczyka i Ujdy (B y c z k o w s k i 1996). Dopelnieniem zbioru danych meteorologicznych jest, wyznaczony na podstawie zebranych wyników pomiarów temperatury i wilgotności względnej powietrza atmosferycznego, szereg dobowych sum parowania terenowego. W obliczeniach wykorzystano formułę Konstantinowa opartą na teorii dyfuzji turbulencyjnej (B y c z k o w s k i 1996; J a w o r s k i 2004).

Ramy czasowe okresu badawczego wyznaczają dwa lata kalendarzowe: 2004 i 2005. Pierwszą sekwencję pomiarów terenowych wykonano 29 grudnia 2003 r., a ostatni wyjazd badawczy odbył się 9 stycznia 2006 r. Przyjęta długość okresu badawczego zdecydowanie nie zapewnia jego reprezentatywności w odniesieniu do zmienności badanych zjawisk w wieloleciu oraz stwarza pewne niebezpieczeństwo wnioskowania w oparciu o zjawiska przypadkowe. Wydaje się jednak, że dwa lata kalendarzowe stanowią wystarczająco długi przedział czasowy dla badań nad zmiennością sezonową zasobów i właściwości fizykochemicznych wód. Należy jednak pamiętać, iż wnioski z przeprowadzonych analiz dotyczą badanego dwulecia i panujących wówczas warunków hydrometeorologicznych. Nie powinny być one, zatem automatycznie ekstrapolowane na szerszy zakres czasowy, ani też interpretowane jako model sezonowych zmian warunków hydrochemicznych dla innych obszarów.

Kalendarz wykonywania pomiarów zakładał podstawowy, dwutygodniowy interwał czasowy. Wszystkie pomiary realizowano w ciągu jednego dnia. Dzięki temu uzyskano czasową jednorodność serii w odniesieniu do poszczególnych posterunków i panujących w danym dniu warunków pogodowych i hydrologicznych. Umożliwiło to przeprowadzenie analizy porównawczej między seriami pochodzącymi z różnych posterunków.

Wszystkie pomiary właściwości hydrologicznych i fizykochemicznych wód wykonano *in situ*, w toku badań ekspedycyjnych. Uzyskany bezpośrednio w terenie zestaw danych był zatem, dla danego terminu pomiarów, aktualnym obrazem stanu zasobów i warunków fizykochemicznych panujących w różnego rodzaju wodach oraz obiektach hydrograficznych badanego obszaru. Rezultatem prowadzonych co 14 dni pomiarów są zebrane,

dla każdego posterunku, 54-elementowe serie danych opisujących ilość zasobów, właściwości fizykochemiczne wód oraz informacje dotyczące warunków termiczno-wilgotnościowych atmosfery.

Pomiary przepływu rzeczno i wydajności źródeł wykonano przy użyciu młynka hydrometrycznego wyniki dostarczyły informacji o prędkości płynięcia wody w poszczególnych przekrojach hydrometrycznych (tab. 2). W celu wyznaczenia natężenia przepływu zastosowano metodę rachunkową (B a j k i e w i c z - G r a b o w s k a *et al.* 1993).

W okresie 2004–2005 kontynuowano, prowadzone od 1998 roku przez zespół badawczy ZHiGW UŁ, obserwacje stanów wody Dzierżąznej na wodowskazach Swoboda i Biała. Na serię stanów wody z post. 1 składały się wyniki codziennych obserwacji wodowskazowych, zaś seria pomiarów na post. 3 obejmowała dane zebrane zgodnie z przyjętym dwutygodniowym krokiem badań terenowych (tab. 2).

Monitoring wahań zwierciadła wód podziemnych badanych poziomów wodonośnych wykonano przy użyciu specjalnie skonstruowanych pływaków (tab. 2). Zebrane serie danych obejmują pomiary głębokości do zwierciadła wody podawane w cm p.p.t.

Zasady wykonywania pomiarów fizykochemicznych właściwości wód wymagają nieco szerszego opisu niż standardowe pomiary hydrometryczne. Podstawowy problem wynika bowiem z braku ścisłych reguł prowadzenia tego typu badań *in situ*. Założono więc na wstępie, iż pomiary właściwości fizykochemicznych wód na każdym posterunku będą wykonywane dwukrotnie w ciągu jednej sesji terenowej. Miało to na celu zminimalizowanie błędów pomiarowych i wyeliminowanie wartości przypadkowych. Problem stanowiło również ustalenie względnie jednorodnego schematu wykonywania pomiarów. W piezometrach oraz w punktach monitoringu pojedynczych wypływów wód podziemnych (post. 7b, 7c, 8b) sondy umieszczano bezpośrednio w wodzie. W pozostałych przypadkach, wodę do pomiarów czerpano naczyniem. Służyło do tego wiadro o pojemności 5 litrów. Miejsca poboru próbek wody były ściśle określone w każdym z posterunków. W ciekach, wodę pobierano z nurtu, w linii przekroju hydrometrycznego. Pobór wody z przepływowych zbiorników wodnych wykonywano w miejscach jej wypływu. Wodę z bezodpływowej Glinianki czerpano z głębokości około 1m w punkcie oddalonym o około 3 m od linii brzegowej (post. 5).

Przyrządy jakimi posłużono się w badaniach należą do grupy automatycznych, przenośnych

urządzeń pomiarowych (R ó ź d z y ń s k i 1998). Głównymi zaletami wykorzystanych przyrządów są: duża dokładność i krótki czas trwania pomiarów, minimalne zużycie energii oraz możliwość wykonania pomiarów wielkości fizycznych za pomocą prostych przetworników (tab. 2).

Badania nad zmiennością podstawowych cech fizycznych wody (T, SEC, pH) przeprowadzono przy użyciu wodoszczelnego pH / konduktometru CPC-401 firmy Elmetron. Elementami składowymi przyrządu są rejestrator z wyświetlaczem ciekłokrystalicznym oraz wymienione w tabeli 2, czujniki temperatury i konduktywności wraz z elektrodą pH. Przewodność elektrolityczna właściwa wód mierzona była za pomocą czujnika, zwanego również naczyniem konduktometrycznym. Odczyn wody badano przy pomocy elektrody pH-metrycznej będącej miliwoltomierzem. Pomiar obu powyższych cech fizykochemicznych wody przebiegał w warunkach automatycznej kompensacji temperatury do 25 °C. Temperatury te mierzono przy użyciu rezystorowego, platynowego czujnika zanurzeniowego.

Zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie (DO) mierzono przyrządem składającym się z son-

dy tlenowej, która wraz z drugim rezystorowym czujnikiem temperatury była podłączona do stosownego rejestratora. Zastosowany czujnik tlenowy jest jonoselektywną elektrodą membranową określającą zależność między wartością potencjału elektrody i stężeniem jonów tlenu w wodzie. Pomiaru zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie wykonywane były, zgodnie z zaleceniami producenta, w warunkach automatycznej kompensacji temperatury i ręcznej kompensacji ciśnienia atmosferycznego. Zaniechano wykonywania ręcznej kompensacji zasolenia z uwagi na fakt, iż przewodność elektrolityczna badanych wód nie przekraczała $1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (instrukcja dołączona do przyrządu wskazuje, iż przy $\text{SEC} < 1000 \mu\text{S}\cdot\text{dm}^{-3}$ zasolenie jest mniejsze od $0,49 \text{ gNaCl}\cdot\text{dm}^{-3}$). Zatem na stałe wprowadzono do rejestratora wartość zasolenia równą $0,0 \text{ gNaCl}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Należy nadmienić, iż wszystkie sondy pomiarowe kalibrowano z częstotliwością raz na kwartał. Wymiana półprzepuszczalnej membrany czujnika tlenowego przeprowadzana była każdorazowo, gdy uległa ona uszkodzeniu.

PODSTAWOWE CECHY ZMIAN ZASOBÓW I WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNYCH WÓD

TŁO POGODOWE

Klimat strefy krawędziowej Wyżyny Łódzkiej, ze względu na podkreślane między innymi przez D u b a n i e w i c z a (1974) znaczne zróżnicowanie hipsometryczne, różni się istotnie od klimatu krain sąsiednich. Duże deniwelacje terenu przyczyniają się do wykształcenia dość wyraźnego zróżnicowania warunków pluwialnych.

Warunki pluwialne w zlewni, w okresie badawczym, można uznać za bliskie przeciętnym. Średnio w roku spadło 600 mm opadów (wartości skorygowane). Rok 2004 cechował się niższą alimentacją (573 mm) niż rok następny, w którym odnotowano 626 mm. W odniesieniu do wyników opublikowanych przez K ł y s i k a i M a k s y m i u k a (1999), w zbadanym dwuleciu, przeciętna, roczna liczba dni z opadem była mniejsza o 43 (tab. 3). W roku 2004, miesiącami w których odnotowano najwyższe sumy opadów były: styczeń, kwiecień i listopad. W każdym z wymienio-

nych miesięcy spadło ponad 70 mm wody. W drugim roku badań, nieco ponad 110 mm opadów zanotowano w maju. Natomiast, absolutnie najwyższymi sumami wykazał się grudzień 2005 r. – ponad 130 mm (rys. 8). Najwyższe, dobowe sumy opadów stwierdzono: 8 kwietnia, 5 maja 2004 r. (25 mm) oraz 30 lipca 2005 r. (ok. 38 mm).

Wgląd w rozchodową stronę bilansu wodnego umożliwiły wyznaczone metodą Konstantinowa sumy parowania terenowego. W ciągu roku, z obszaru zlewni, wyparowało średnio około 526 mm wody (tab. 3). Największą intensywnością parowania cechował się okres od maja do sierpnia. Parowało wówczas około 58 % sumy rocznej (299 mm). W miesiącach zimowych notowano najmniejsze natężenie parowania terenowego (rys. 8).

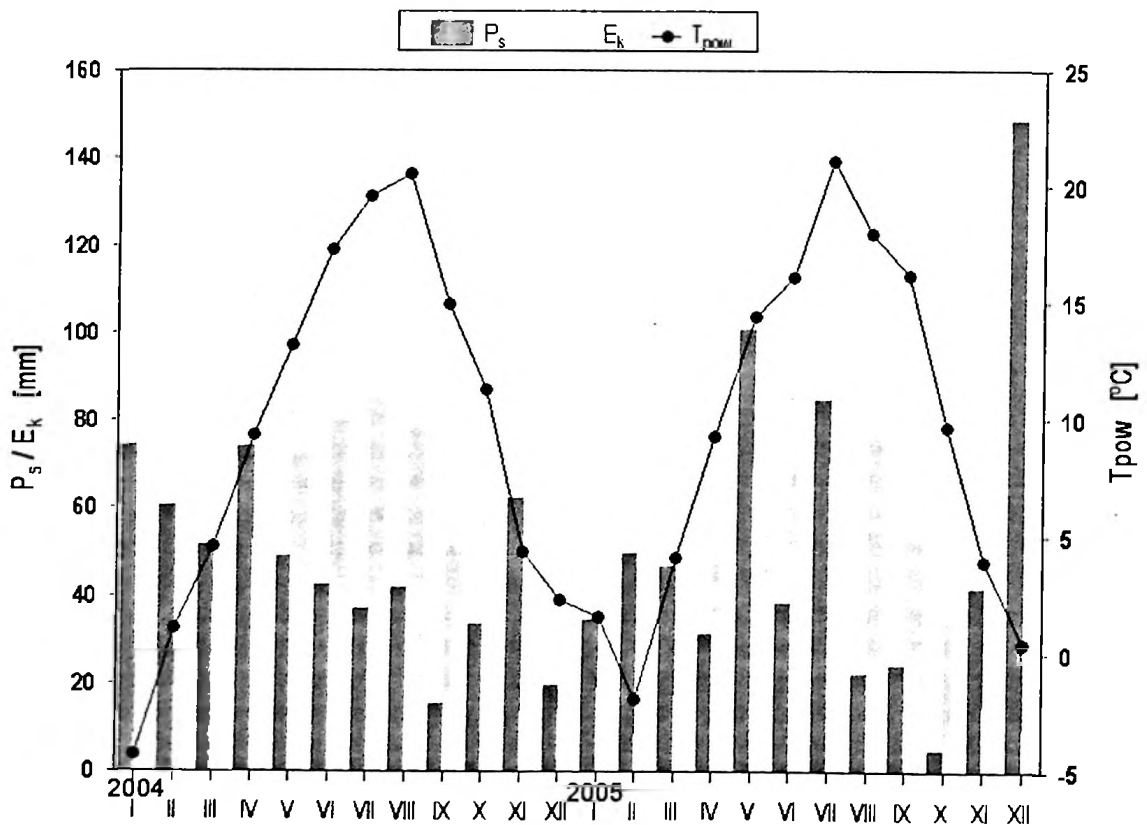
Zastosowany w pracy, klimatyczny wskaźnik suchości (S_u) wyraża się stosunkiem sumy opadów z danego okresu do sumy parowania w tym samym czasie (Molga 1970; Przedpełska 1971; Jaworski, Paszyński 1978; Jaworski 2004). Zamieszczone w tabeli 4 wartości S_u wskazują, iż okres badań należał do dostatecznie,

Warunki meteorologiczne zlewni
 Meteorological conditions in catchment

	T_{pow} [°C]		P_{zm} [mm]		P_s [mm]		E_k [mm]		nP [d]	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
\bar{x} / Σ	9,5	8,8	510	566	573	626	551	500	124	100
δ	8,4	8,6	4,0	6,2	3,7	4,9	1,0	0,9		
C_v	88,7	98,0	0,8	1,1	0,6	0,7	0,2	0,2		
Min	-13,0	-12,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0		
Max	27,0	26,9	20,5	33,5	25,2	38,2	4,0	3,3		

T_{pow} – temperatura powietrza, P_{zm} – opad zmierzony, P_s – opad skorygowany, wg poprawek Kowalczyka i Ujdy (Byczkowski 1996), E_k – parowanie terenowe (wg Konstantinowa), nP – liczba dni z opadem, \bar{x} – średnia, Σ – suma, δ – odchylenie standardowe, C_v – współczynnik zmienności, Min – minimum, Max – maksimum

T_{pow} – air temperature, P_{zm} – measured values of precipitation, P_s – corrected values of precipitation, corrections by method of Kowalczyk and Ujda (Byczkowski 1996), E_k – evaporation (method of Konstantinow), nP – number of days with precipitation, \bar{x} – average, Σ – sum, δ – standard deviation, C_v – variability coefficient, Min – minimum, Max – maximum



Rys. 8. Miesięczne zmiany warunków meteorologicznych zlewni – ASH-M Ciosny (post.14)

sumy/średnie miesięczne: T_{pow} – temperatura powietrza, P_{zm} – opad zmierzony, P_s – opad skorygowany, wg poprawek Kowalczyka i Ujdy (Byczkowski 1996), E_k – parowanie terenowe (metoda Konstantinowa)

Monthly changes of meteorological conditions in the Dzierżazna catchment

monthly sums/averages of: T_{pow} – air temperature, P_{zm} – measured precipitation, P_s – corrected precipitation, with use of Kowalczyk i Ujda corrections (Byczkowski 1996), E_k – terrain evaporation (Konstantinow method)

normalnie wilgotnych. Największym stopniem uwilgotnienia cechowały się miesiące półrocza zimowego, na co wpływały wysokie sumy opadów, zwłaszcza śniegu, przy jednocześnie małej intensywności parowania (por. rys. 8; tab. 4). Najniższe wartości klimatycznego wskaźnika suchości, które świadczą o skrajnie dużych i dużych niedoborach

wilgoci atmosferycznej, otrzymano w okresie od lipca do września 2004 r. oraz od sierpnia do października roku następnego. Należy też zauważyć, iż klimatyczny wskaźnik suchości został wskazany przez Somorowskiego jako identyfikator warunków sprzyjających migracji kwasów humusowych w głąb profilu glebowego (1998).

Tabela 4

Miesięczne wskaźniki hydrometeorologiczne
Monthly coefficients of hydro-meteorological characteristics

S_u	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1998–2001*	3,1	3,7	3,1	1,7	0,9	1,6	1,5	0,8	1,2	1,1	2,9	4,9
2004	11,8	4,2	1,9	1,9	0,9	0,7	0,5	0,7	0,4	1,2	6,3	2,0
2005	2,8	6,3	2,5	0,9	1,9	0,7	1,5	0,4	0,6	0,2	3,7	17,8

KBW	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1998–2001*	27,7	38,6	39,3	26,1	-3,4	44,7	42,7	-13,4	8,6	4,1	32,6	43,5
2004	92	62	33	45	-7,9	-27	-40	-27	-31	6,9	72	14
2005	33	62	41	-3,7	65	-21	34	-48	-21	-28	39	157

1998–2001* – wartości wyznaczone na podstawie opracowania Jokiel 2002, values based on datas from Jokiel 2002.

S_u – klimatyczny wskaźnik suchości,
the climatic estimator of drought

KBW – klimatyczny bilans wodny,
climatic water bilanse

S_u (wg/ by Przedpełska 1971)	
>1,25	miesiąc bardzo wilgotny very humid month
1,25–0,75	normalnie, dostatecznie wilgotny normally, sufficiently humid
0,75–0,5	suchy dry
0,5–0,25	bardzo suchy very dry
<0,25	skrajnie suchy extremely dry

KBW (przedziały wg opracowania własnego) (extents by the author concept)	
> 0	wilgotny - duża alimentacja pluwianna humid, large rains alimentation
≈ 0	zrównoważony pod względem przychodu i rozchodu wilgoci atmosferycznej balanced incom and expenditure of atmospheric humidity
< 0	miesiące pluwiannie deficytowe, z przewagą parowania months with insufficiency of precipitation. majority role of evaporation

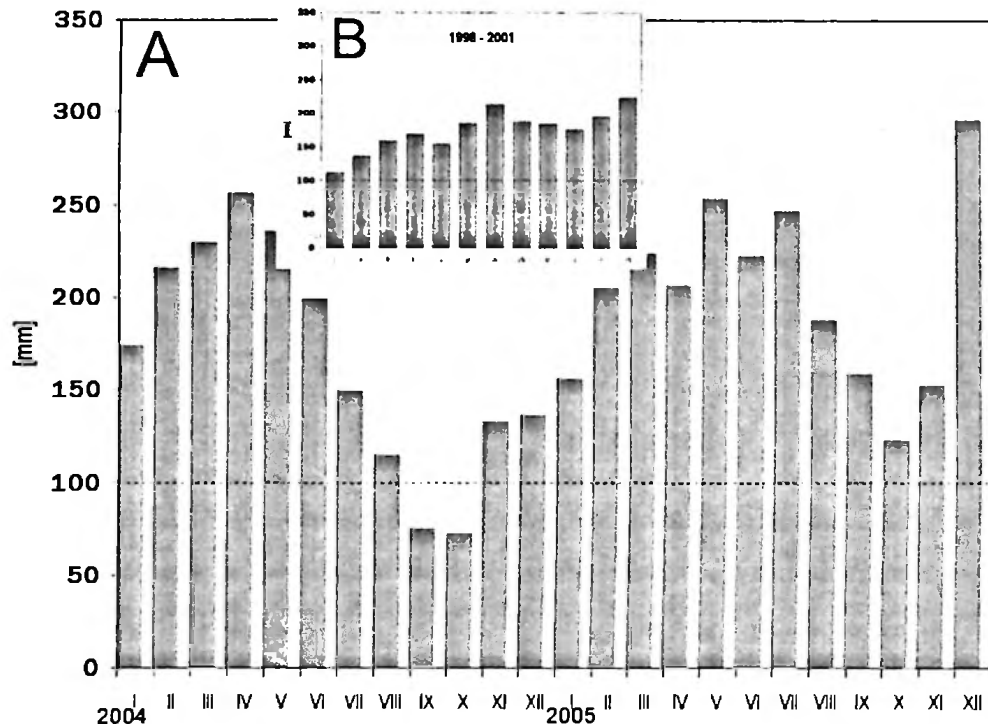
Dynamika różnicy opadu skorygowanego i parowania terenowego, zwana klimatycznym bilansem wodnym (KBW), korespondowała z przedstawionym powyżej przebiegiem zmian wskaźnika suchości. Największym deficytem opadu cechowały się miesiące letnie, o najwyższych sumach opadów i parowania terenowego. Zimowa retencja śnieżna oraz jesienne opady kształtowały dodatni bilans wilgoci atmosferycznej. W obydwu latach, okres od listopada do marca był wilgotny (tab. 4). W pozost

stałej części okresu badawczego przeważał deficyt opadów lub klimatyczny bilans wodny można było uznać za zrównoważony.

Dobrym miernikiem oceny redystrybucji wilgoci atmosferycznej w zlewni jest analiza zmian retencji, obliczona przy użyciu uproszczonego równania bilansu wodnego. Na podstawie codziennych obserwacji stanów wody Dzierżanej w Swobodzie (post. 1), oraz w oparciu o serię pomiarów natężenia przepływu i równanie krzywej konsumpcyjnej, wy-

znaczono dobowe i miesięczne warstwy odpływu całkowitego ze zlewni. Następnie, metodą bilansu „krok po kroku” (Jokiel *et al.* 1985 za Thornthwite, Mather 1957) wyznaczono retencję na koniec każdego miesiąca – ΔR (rys. 9). Za początkowy stan retencji, na koniec grudnia 2003 r., przyjęto umownie 100 mm. Do tej wartości dodano sumę miesięczną opadu stycznia 2004 r. oraz odjęto styczniową sumę parowania terenowego

i warstwy odpływu. Stan retencji na koniec stycznia przyjmowano jako retencję początkową lutego. Procedurę tę stosowano analogicznie w odniesieniu do kolejnych miesięcy. Otrzymane w ten sposób wielkości retencji mają charakter umowny. Pokazują bowiem nie wartości rzeczywistej retencji, a jedynie zrelatywizowane kierunki jej zmian i skalę deficytów oraz nadwyżek względem punktu odniesienia (retencja początkowa = 100 mm).



Rys. 9. Miesięczne zmiany retencji

A – 2004–2005; B – 1998–2001 (wartości przeciętne na podstawie Jokiel 2002)

Monthly changes of retention

A – 2004–2005; B – 1998–2001 (average values based on Jokiel 2002)

W pierwszym roku, stan retencji zlewni Dzierżanej istotnie malał od kwietniowego maksimum (rys. 9). W sierpniu, stosunek przychodów i rozchodów wilgoci w zlewni był niemal wyrównany. Zaś wrzesień i październik cechowały się blisko 25 % spadkiem retencji w stosunku do stanu początkowego. Retencja na koniec pierwszego roku badań (31 grudzień 2004) była jednak wyższa o 36 mm od przyjętego umownie stanu początkowego.

W drugim roku, stwierdzony stan retencji wskazywał na istotną poprawę warunków wilgotnościowych w zlewni. Od stycznia do lipca bilans wodny był dodatni. Natomiast, od sierpnia do li-

stopada, rozchodowa strona bilansu wodnego przewyższała przychód. Największy przyrost retencji pojawił się w ostatnim miesiącu okresu badawczego. W grudniu 2005 r., odnotowano niemal trzykrotny wzrost retencji w stosunku do umownego poziomu odniesienia (296 mm). W kształtowaniu grudniowej retencji, istotną rolę odegrały intensywne opady śniegu (suma opadu 166 mm) (por. rys. 8, 9). Należy również zwrócić uwagę na fakt, iż rok 2005 cechował się bardzo zbliżonym rozkładem retencji do przeciętnego przebiegu zmian ΔR w okresie 1998–2001 (rys. 9). Na podstawie różnicy między stanem retencji w styczniu 2004 r. a retencją w grudniu roku na-

stępnego, stwierdzono bardzo silny jej przyrost. Przeciętna, miesięczna retencja w okresie badawczym wyniosła 184,5 mm. Zatem, mimo iż opady w okresie 2004–2005 były na poziomie przeciętnym, retencja w zlewni wyraźnie wzrosła – bilans wodny zlewni był dodatni.

Średnia temperatura powietrza okresu badawczego nie odbiegała znacząco od normy wieloletniej podawanej dla środkowej Polski. Przeciętna temperatura na Stacji w Ciosnach, w latach 2004–2005, wyniosła 9,2 °C i w odniesieniu do warunków termicznych powietrza w zlewni, w latach ubiegłych, była jednak wyższa o 1,5 °C (tab. 3). Najcieplejszymi miesiącami był sierpień pierwszego roku badań oraz lipiec roku następnego ($T_{\text{pow}} > 20$ °C). Najniższą średnią temperaturę miesięczną odnotowano w styczniu 2004 r. (-4,3 °C) i w lutym 2005 r. (-1,3 °C).

Panujący układ warunków termicznych doprowadził, w północnej części Wyżyny Łódzkiej, do istotnego wydłużenia okresu wegetacyjnego w stosunku do obszarów przyległych. Przeciętny czas trwania dogodnych warunków termicznych dla rozwoju i wzrostu roślin wynosi tutaj około 210 dni (Dubaniewicz 1974; Jokić 2002).

PRZEPIY W RZECZNY I WYDAJNOŚĆ ŹRÓDLISK

Dzierżązna, na posterunku w Białej (post. 2), prowadziła przeciętnie $0,062 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wody, czyli o $0,035 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ mniej niż w sześciolciu poprzedzającym okres badawczy (tab. 5). Przeciętne natężenie przepływu Ciosenki (post. 3) było natomiast tylko o $0,008 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ mniejsze od zarejestrowanego w latach ubiegłych. Średnia warstwa odpływu ze zlewni zamkniętej wodowskazem w Swobodzie (post. 1), wynosiła 158 mm i była niższa o 3 % od wartości uzyskanej dla okresu 1998–2003 (por. Jokić 2002).

Otrzymane wyniki (tab. 5) potwierdziły, sformułowaną w początkowych rozdziałach, tezę o większej zasobności wodnej zlewni Ciosenki (post. 3) niż zlewni Dzierżąznej (post. 2). Odpływ z tej części badanego obszaru, w latach 2004–2005, był o 91 % większy niż z terenu odwadnianego przez Dzierżąznę, gdzie wyniósł 104 mm (post. 2). Odpływy jednostkowe były równe: zlewnia Ciosenki – $6,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ i zlewnia Dzierżąznej $3,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Odpływ jednostkowy z całej zlewni był o $0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ niższy od średniej dla środkowej Polski (por. Jokić 2004).

Tabela 5

Miary rozkładu przepływu i wydajności źródeł

Measures of rivers flow and springs discharge distribution

	Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]				
	1	2	3	7a	8a
\bar{x}	0,222	0,062	0,112	0,046	0,022
δ	0,065	0,026	0,029	0,005	0,004
C_v	31,7	36,1	28,0	10,5	17,5
MAX	0,392	0,165	0,197	0,057	0,036
MIN	0,113	0,036	0,031	0,039	0,016
R_{a1}	0,440	0,301	0,270	0,517	0,487
n_α	3	1	2	2	2

1–3, 7a, 8a – numery posterunków pomiarowych; \bar{x} – średnia, δ – odchylenie standardowe, C_v – współczynnik zmienności [%], MAX – maksimum, MIN – minimum, R_{a1} – wartość współczynnika autokorelacji $k = 1$, n_α – liczba istotnych współczynników autokorelacji ($k = 1, 2, \dots, 25$; $\alpha = 0,05$)

1–3, 7a, 8a – numbers of measurement points; \bar{x} – average, δ – standard deviation, C_v – variation coefficient [%], MIN – minimum, MAX – maximum, R_{a1} – autocorrelation coefficient $k = 1$, n_α – numbers of significant values of autocorrelation coefficient ($k = 1, 2, \dots, 25$; $\alpha = 0,05$)

Wyniki rozdziału hydrogramu przepływu przeprowadzonego za pomocą algorytmu „ET” (Tomaszewski 2001) dowiodły, że aż 83 % całkowitego odpływu rzeczny stanowiły wody podziemne. W układzie zlewni cząstkowych, stwierdzono niewielką dysproporcję w odniesieniu do zasilania podziemnego. W zlewni Ciosenki, 85 % odpływu pochodziło z drenażu wód podziemnych. Natomiast, w przekroju hydrometrycznym Biała na Dzierżanej, podziemna składowa odpływu stanowiła 78 %.

O mniejszej zmienności natężenia przepływu i jednocześnie o dużej zasobności wodnej Ciosenki, w porównaniu do jej recypienta, zdecydował przede wszystkim duży udział zasilania podziemnego w jej odpływie (tab. 5). Natomiast w Dzierżanej (post. 2), na podwyższoną zmienność przepływu, obok mniejszej intensywności drenażu podziemnego, wpłynął czynnik antropogeniczny związany z gospodarką prowadzoną na tutejszych zbiornikach wodnych. Zauważmy też, że współczynnik zmienności przepływu na zamknięciu zlewni (post. 1) był wypadkową wyników uzyskanych na posterunkach 2 i 3. Jest jednak ciekawe, że pomimo dużych zdolności retencyjnych zlewni Ciosenki, odnotowane na tej rzece ekstrema zakreślały nieco szerszy przedział zmienności niż amplituda przepływu Dzierżanej (post. 2). Uznano, iż za ekstrema te w dużym stopniu odpowiadał czynnik antropogeniczny. W dolinie Ciosenki, przeprowadzono bowiem szereg prac hydrotechnicznych, które istotnie przekształciły naturalne warunki formowania się odpływu (utworzenie kolejnego zbiornika w górnym odcinku, przekształcenia mokradła na lewej terasie zalewowej przy post. 3).

W dalszym etapie analiz przeprowadzono ocenę poziomu bezwładności przepływu rzeczny i wydajności źródeł. W tym celu posłużono się współczynnikiem autokorelacji z przesunięciem $k = 1$ (R_{a1}). Istotność R_{a1} zbadano testem Boxa-Ljunga, przy poziomie ufności $\alpha = 0,05$. Zanotowano także liczbę kolejnych, istotnych statystycznie współczynników autokorelacji ($\alpha = 0,05$) – n_{α} . Obliczenia te wykonano dla k_{max} równego 25.

Najwyższą bezwładnością oraz sześciotygodniową „pamięcią” cechował się ciąg przepływów Dzierżanej na posterunku zamykającym zlewnię (post. 1, tab. 5). Dzierżana w Białej miała natomiast, relatywnie niski poziom bezwładności przepływów (2 tygodnie). Ciosenka zaś cechowała się o dwa tygodnie dłuższą „pamięcią” przepływu niż jej recypient.

Diagramy na rysunku 10 przedstawiają rozkłady częstości przepływów i wydatków źródeł

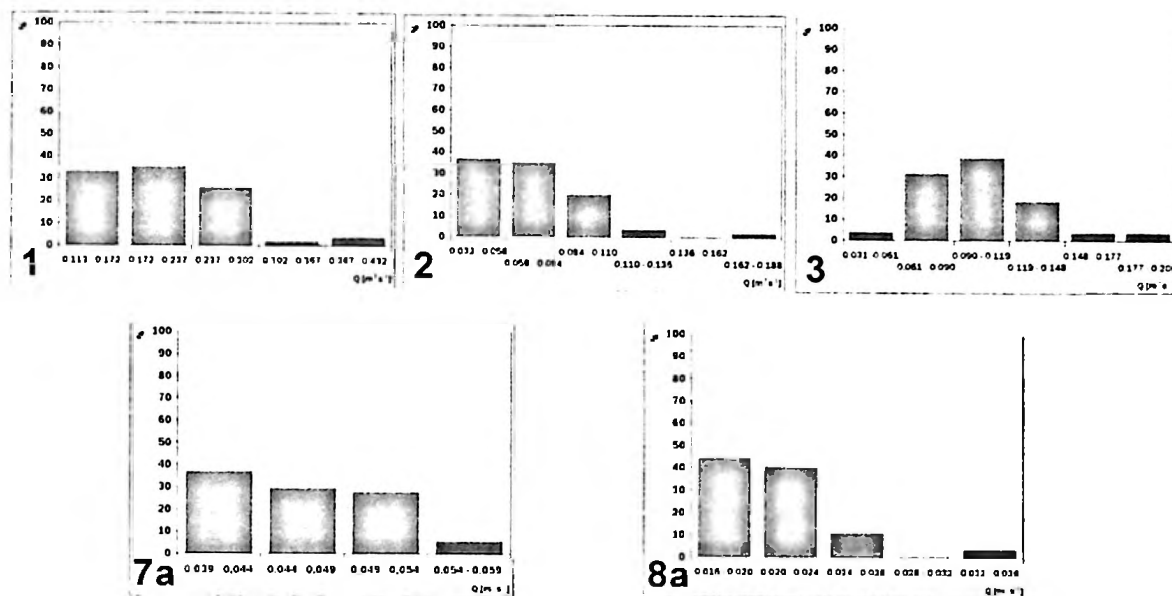
w badanym okresie. Szerokość przedziałów jest równa odchyleniu standardowemu, a przedział średniej wyznaczają wartości: $\bar{x} \pm \frac{1}{2}\delta$. Rozkład przepływów Ciosenki jest bardziej zbliżony do normalnego niż dwa pozostałe, które cechują się dużą prawostronną skośnością i względnym podobieństwem.

Przeciętna wydajność monitorowanych źródeł, w Rosanowie i w Ciosnach, była porównywalna z wynikami pochodzącymi z lat poprzedzających okres badawczy (tab. 5). Minima i maksima były jednakże, w obu przypadkach, wyższe niż w latach 1998–2001 (por. Moniewski 2004). Szeregi wydajności źródeł wykazały jednocześnie zdecydowanie mniejszą zmienność niż serie przepływów rzecznych. Warto też zauważyć, iż w okresie badawczym, zmienność wydajności obu nisz była różna, choć podobna do podanej w opracowaniu Moniewskiego (2004).

Różnice w dynamice wydajności obu źródeł wynikają z odmiennych cech fizjograficznych obu nisz oraz z różnych warunków drenażu wód podziemnych. Mniejsza zmienność wydajności źródła Rosanów, jest przede wszystkim rezultatem istnienia, w obrębie wydłużonej niszy, dużej liczby wypływów oraz intensywnego drenażu liniowego zachodzącego niemal na całej jej długości. W źródle Ciosny, skupiony układ wypływów oraz mniejsza niż w Rosanowie głębokość wcięcia niszy zaowocowały nieco wyższą zmiennością wydajności.

Bezwładność wydajności obu źródeł była umiarkowana. Tylko dwa pierwsze współczynniki autokorelacji wydatku obu źródeł wykazały istotność statystyczną (tab. 5). Stwierdzono również pewne podobieństwo, gdy idzie o liczbę istotnych współczynników autokorelacji, między szeregiem przepływów Ciosenki i seriami wydajności zasilających ją źródeł w Rosanowie i Ciosnach. Warto też zauważyć, że współczynniki R_{a1} są w przypadku obu źródeł niemal identyczne (drenaż tego samego, sandrowego poziomu wodonośnego).

Seria wydajności źródła Rosanów charakteryzowała się bardzo podobną liczebnością trzech pierwszych przedziałów częstości (rys. 10). Natomiast, największe wydajności stanowiły zaledwie 6 % liczebności szeregu. W przypadku źródła Ciosny, wyniki pomiarów wydajności miały rozkład prawostronnie skośny. W prawie 45 % terminów, wydajność tego źródła nie przekraczała $0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Warto podkreślić, iż rozkład wydajności źródła Ciosny był wyraźnie podobny do rozkładu częstości przepływu rzeczny na post. 2.



Rys. 10. Rozkłady częstości przepływu rzeczny i wydajności źródeł

1, 2, 3, 7a, 8a – posterunki pomiarowe

Frequency distributions of rivers flow and springs discharge

1, 2, 3, 7a, 8a – measurement points

GLĘBOKOŚĆ DO ZWIERCIADŁA WÓD PODZIEMNYCH

Głębokość do zwierciadła wód wierzchówkowych, ujmowanych w studni Swoboda (post. 9), wzrosła przeciętnie o 15 cm w stosunku do średniej z lat 1998–2003. Amplituda wahań zwierciadła tych wód wyniosła blisko 150 cm i była największa w omawianej grupie posterunków (tab. 6).

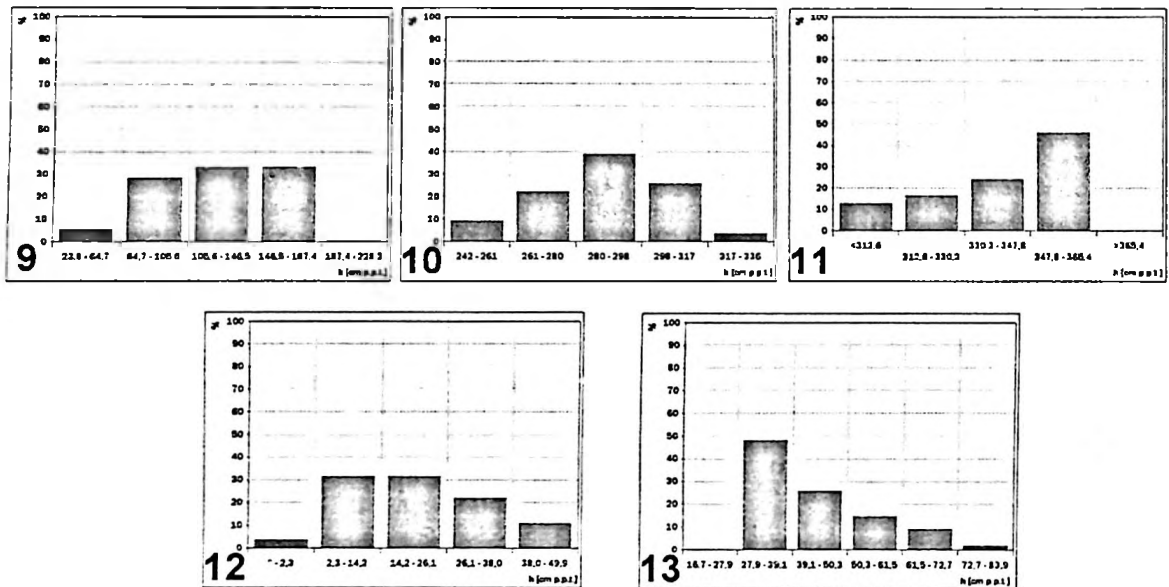
Zwierciadło wody poziomu sandrowego, obserwowanego w studni Ciosny, znajdowało się natomiast o 14 cm głębiej, niż w okresie wcześniejszym. Jednocześnie, w studni tej odnotowano najmniejszą rozpiętość wahań zwierciadła równą 61 cm (tab. 6, post. 11). Zaledwie o 1 cm większą amplitudą cechował się poziom międzymorenowy w studni Dąbrówka. Jego zwierciadło znajdowało się przeciętnie na głębokości 289 cm p.p.t. (post. 10). Zdecydowanie najpłytszym, średnim położeniem zwierciadła wody charakteryzowały się poziomy aluwialne – poniżej 50 cm p.p.t. (post. 12, 13). Głębokości do wody, zmierzone w piezometrach, cechowała też mała amplituda – bliska 40 cm (tab. 6).

Najwyższe współczynniki zmienności otrzymano w szeregach pomiarów głębokości do zwierciadła najpłytszych poziomów wodonośnych (post. 9, 12, 13). Warto jednak dostrzec, że zwierciadło wody poziomu aluwialnego w dolinie Ciosenki (post. 13), z uwagi na istniejący kontakt hydrauliczny z wodami poziomu sandrowego, cechowało się relatywnie małą zmiennością (ok. 25 %). Jednocześnie, współczynnik zmienności wahań zwierciadła drugiego z badanych poziomów aluwialnych był ponad dwukrotnie większy (tab. 6). Zmienność zarejestrowanych wahań położenia zwierciadła wód sandrowych i międzymorenowych była dużo mniejsza niż płytkich wód podziemnych ($C_v < 6,5\%$). Poziomy wodonośne na post. 10 i 11 cechowała też wysoka bezwładność zasobów – $R_{a1} > 0,9$. Stosunkowo niskimi współczynnikami autokorelacji R_{a1} charakteryzowały się serie stanów wód poziomów aluwialnych i wierzchówkowego. Za wyjątkiem poziomu sandrowego (post. 11), wszystkie pozostałe horyzonty wodonośne charakteryzowały się bezwładnością zasobów sięgającą 6 tygodni. Rozległy i zasobny poziom sandrowy cechował się zaś największą inercją równą aż 2 miesiące (tab. 6).

Miary rozkładu głębokości do zwierciadła wód podziemnych
Measures of distribution of depth to the groundwaters level

	h [cm p.p.t.]				
	9	10	11	12	13
\bar{x}	126	289	339	20	45
δ	40,9	18,6	17,6	11,9	11,2
C_v	32,4	6,4	5,2	59,2	25,1
MAX	187	319	360	42	75
MIN	40	257	299	0	30
R_{a1}	0,866	0,933	0,936	0,721	0,716
n_a	3	3	4	3	3

objaśnienia jak przy tab. 5
for explanation see tab. 5



Rys. 11. Rozkłady częstości głębokości do zwierciadła wód podziemnych

9–13 – posterunki wód podziemnych

Frequency distributions of depth to ground waters levels

9–13 – measurement points of ground waters

Do analizy rozkładów serii głębokości do wód podziemnych zastosowano analogiczną procedurę jak w przypadku przepływu rzeczno-ego. Wśród zestawionych na rysunku 11 diagramów liczebności, wyraźne podobieństwo kształtu wykazały szeregi pochodzące z posterunków w Dąbrówce Strumiany (post. 10, 12). Oba rozkłady były względnie symetryczne. W ciągu 40 % czasu trwania okresu badawczego, głębokość do

zwierciadła wód poziomu międzymorenowego oscylowała wokół średniej (między 280 a 298 cm p.p.t.). Głębokości notowane w sąsiednim piezometrze, w przeważającej części zbadanego dwulecia mieściły się w przedziale od 2 do 26 cm p.p.t. (post. 12).

Szeregi pomiarów położenia zwierciadła wody w studni i w piezometrze Ciosny, mimo istniejącego kontaktu hydraulicznego między wo-

dami obu poziomów, posiadały zupełnie inne kształty rozkładów częstości (rys. 11, post. 11, 13). Rozkład głębokości do wody w piezometrze był prawostronnie skośny. Niemal 50 % wystąpień nie przekraczało górnego ograniczenia przedziału przeciętnej (ok. 40 cm p.p.t.). Czas, w którym występowały niskie stany wód aluwialnych w dolinie Ciosenki stanowił około 26 % badanego dwulecia (50,3–83,9 cm. p.p.t.) (rys. 11). Seria głębokości do zwierciadła wód sandrowych odnotowana w studni Ciosny, posiadała natomiast rozkład lewostronnie skośny (rys. 11, post. 11). Prawie 54 % pomiarów wykonanych w tej studni oscylowało wokół średniej lub było od niej niższych. W pozostałej części okresu badawczego, głębokości do wody przekraczały zwykle 339 cm p.p.t., osiągając maksimum równe 360 cm p.p.t. Należy zaznaczyć, iż w całym dwuleciu, zwierciadło wód sandrowych nie obniżyło się poniżej przeciętnej więcej niż o 1,5 odchylenia standardowego. Z analizy diagramów posterunków 11 i 13 wynika, iż na kształtowanie się reżimu wód aluwialnych doliny Ciosenki większy wpływ mają ich związki z wodami powierzchniowymi (stan wody w korycie Ciosenki), niż powiązania z zasobnym poziomem sandrowym.

Głębokości do zwierciadła wód wierzchówkowych, zmierzone w studni Swoboda, mają rozkład lewostronnie skośny. W ponad 60 % terminów pomiarowych zwierciadło tych wód znajdowało się na głębokości z przedziału średniej lub głębiej. Bardzo płytkie położenie stropu strefy saturacji, związane z alimentacją wodami roztopowymi, obejmowało tylko około 7 % liczebności szeregu (rys. 11, post. 9).

TEMPERATURA WÓD

Średnie temperatury, wód podziemnych i powierzchniowych oscylowały wokół przeciętnej temperatury powietrza atmosferycznego (tab. 7). Najchłodniejsze wody prowadziła Ciosenka, przy czym ich temperatura istotnie wpływała na kształtowanie warunków termicznych wód recypienta. Latem, dopływ chłodniejszych wód Ciosenki wywoływał lekkie obniżenie temperatury w Dzierżąnej. Natomiast w okresie zimowym, z uwagi na intensywny drenaż wód podziemnych, Ciosenka prowadziła wody cieplejsze niż recypient. Powodowało to lekkie podwyższenie temperatury wody przepływającej przez przekrój w Swobodzie (tab. 7, zał. 1D). Z uwagi na istniejące na obu ciekach tuż przed ich połączeniem zbiorniki przepływowe wody na posterunku zamykającym zlewnię charakteryzowały się średnią temperaturą wyższą o około 1 °C od przeciętnej dla wód Ciosenki (tab. 7).

Zmienność temperatury wód płynących na wszystkich posterunkach była wysoka; $C_v \approx 60$ –70 %. Jednocześnie, wody rzeczne wykazały bardzo wysoką i istotną statystycznie bezwładność termiczną (tab. 7). Zjawisko to jest m.in. rezultatem bardzo intensywnej, podziemnej alimentacji cieków systemu Dzierżąnej.

Spośród badanych zbiorników wodnych, staw Rosanów retencjonował wody o najniższej, średniej temperaturze (10 °C). Należy podkreślić, iż akwen ten cechował się również najwęższym

Tabela 7

Miary rozkładu temperatury wody
Measures of distribution of waters temperature

	T [°C]													12	13	
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	8a	8b	9	10			11
\bar{x}	10,1	9,8	9,2	11,0	11,0	10,0	10,0	9,1	9,2	9,6	9,2	9,0	8,7	9,3	8,2	8,6
δ	6,8	6,8	5,7	8,1	8,1	6,6	2,3	0,1	0,4	2,6	0,2	4,8	2,8	1,9	3,9	4,0
C_v	67,6	69,2	62,0	76,4	74,6	63,8	23,3	1,5	4,7	27,4	2,7	53,6	32,1	20,7	47,8	46,8
MAX	21,7	23,0	20,6	24,4	23,5	22,6	14,4	9,7	9,8	14,5	9,8	16,0	12,7	12,3	14,3	14,4
MIN	0,5	0,2	0,5	0,5	0,5	1,2	4,9	8,9	6,8	3,7	8,8	0,0	3,8	6,2	2,0	2,3
R_{al}	0,871	0,864	0,849	0,895	0,901	0,863	0,725	-0,069	0,325	0,732	0,513	0,907	0,931	0,934	0,921	0,914
n_a	3	3	3	3	3	3	3	0	1	2	3	3	3	3	3	3

objaśnienia jak przy tab. 5
for explanations see tab. 5

przedziałem zmienności temperatury wody, a współczynnik tej zmienności był bliski 64 %. Zdecydowała o tym bezpośrednio alimentacja stawu wodami źródłiska Rosanów, których temperatura nie przekraczała 10 °C. W tym miejscu należy przytoczyć wyniki badań z czerwca 2004 r. Na odcinku między źródłiskiem Rosanów, a miejscem wypływu wód ze stawu Rosanów, odnotowano wzrost temperatury o 8 °C. W analogicznym okresie, wody przepływające przez stawy Malinka, ogrzały się o około 11 °C (Moniewski, Stolarska 2007). Odnotowana różnica w stopniu nagrzewania się wód przepływających przez oba akweny wynikała, przede wszystkim, z tempa wymiany ich zasobów. Szybka wymiana wody w zbiorniku hodowlanym (ok. 6 dni) gwarantowała stosunkowo wolny wzrost temperatury. O silnym nagrzewaniu się wód kąpieliska Malinka zdecydowały trzy czynniki: wolne tempo wymiany (blisko 28 dni), brak zacienienia akwenu oraz utrzymywany w okresie letnim wysoki poziom retencji.

Średnia temperatura wód zbiorników Malinka wyniosła w zbadanym okresie 11 °C. Taki sam, wynik odnotowano w bezodpływowej Glińiance. Wody na obu posterunkach cechowały się też wysokim poziomem zmienności temperatur i amplitudami przekraczającymi 20 °C. O stosunkowo niskich minimach temperatur wód w Glińiance i w stawach Malinka zdecydowała, pojawiająca się corocznie, długotrwała i gruba pokrywa lodowa. Warto jednocześnie podkreślić, że zlodzenie stawu Rosanów trwało krótko i najczęściej nie obejmowało całego lustra wody.

Na wszystkich posterunkach wód stojących, stwierdzono bardzo wysoki poziom inercji w szeregach temperatury. „Pamięć” systemu, w obrębie wszystkich serii temperatur wód zbiorników, sięgała 6 tygodni – istotne trzy kolejne współczynniki autokorelacji (tab. 7).

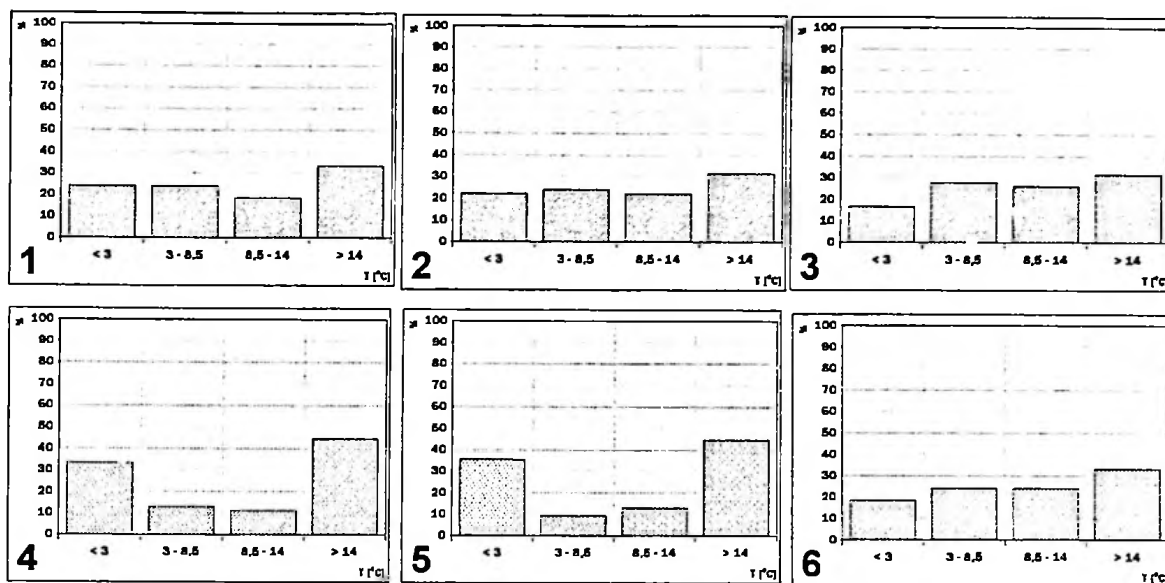
Wyznaczenie przedziałów częstości temperatur wód, oparto na przeciętnych charakterystykach temperatury powietrza. Uwzględniono, udokumentowany na tym terenie, związek między temperaturą powietrza a temperaturą wód płynących (Jokiel, Tomalski 2005). W okresie badawczym, średnia temperatura półrocza letniego na ASH-M w Ciosnach wyniosła 14 °C, zaś przeciętna półrocza zimowego była równa 3 °C. Podane wartości uznano za granice przedziałów częstości. Pierwszy przedział grupował wyniki pomiarów wody o temperaturze poniżej 3 °C – wody zimne. Natomiast wody cieplejsze od średniej temperatury powietrza półrocza letniego zaklasyfikowano do wód ciepłych (> 14 °C). Rozstęp między 3 °C

a 14 °C podzielono na dwa przedziały o takiej samej szerokości (5,5 °C). Utworzono tym samym: przedział wód chłodnych, grupujący temperatury z zakresu od 3 do 8,5 °C oraz przedział wód zwykłych o temperaturze od 8,5 °C do 14 °C. Należy wspomnieć, iż wartość 8,5 °C jest bliska średniej temperaturze powietrza z okresu badawczego oraz normie wieloletniej dla badanego obszaru. Ustalone kryteria delimitacji przedziałów przyjęto zarówno w analizie dyspersji serii temperatur wód powierzchniowych, jak i wód podziemnych.

Rozkłady częstości temperatury wód płynących były zbliżone do jednostajnego – podobne liczebności przedziałów (rys. 12). Jedynie przedziały grupujące wody ciepłe były i to w odniesieniu do wszystkich rzek, nieco bardziej liczne. Wody cieplejsze od średniej temperatury powietrza półrocza letniego płynęły oboma ciekami w czasie 34 % okresu badawczego. Podobny rozkład częstości posiadała seria pomiarów temperatury wód zbiornika Rosanów. Podobieństwo to wynika ze wspomnianego wcześniej szybkiego tempa wymiany wody w omawianym stawie (ok. 6 dni).

Szeregi temperatur wód dwóch pozostałych akwenów, cechowały nieco inne rozkłady – zbliżone do dwumodalnego (post. 4, 5). Przez ponad 75 % czasu trwania okresu badawczego wody w stawach były albo ciepłe (> 14 °C), albo zimne (< 3 °C). Charakter tych rozkładów wynikał bezpośrednio z fizycznych własności wód stojących. W okresie letnim, z uwagi na wolne tempo wymiany wód i brak zacienienia kompleksu kąpielowego Malinka oraz w wyniku bardzo małej poziomej wymiany wody w bezodpływowej Glińiance, wody tych zbiorników nagrzewały się bardzo mocno, osiągając wysokie temperatury w całym profilu pionowym. Natomiast zimą, zlodzenie obu zbiorników było stosunkowo trwałe, co sprzyjało inercji termicznej akwenów i utrzymywaniu się przez długi czas niskich temperatur wody.

Różnica między przeciętnymi temperaturami wód monitorowanych źródeł a średnią temperaturą powietrza, w tym okresie, nie przekraczała 1 °C (tab. 7). Bardzo małe amplitudy temperatur wód bijących w poszczególnych wypływach zlokalizowanych w obrębie nisz źródłiskowych (post. 7b, 7c, 8b), a także ich niskie współczynniki zmienności, dowiodły quasi-stałego stanu termicznego wód źródłanych. W porównaniu do przebiegu zmian temperatury wód pojedynczych wypływów, wyniki pomiarów na zamknięciu nisz źródłiskowych wykazały względnie wysoki poziom zmienności (C_v ok. 25 %).

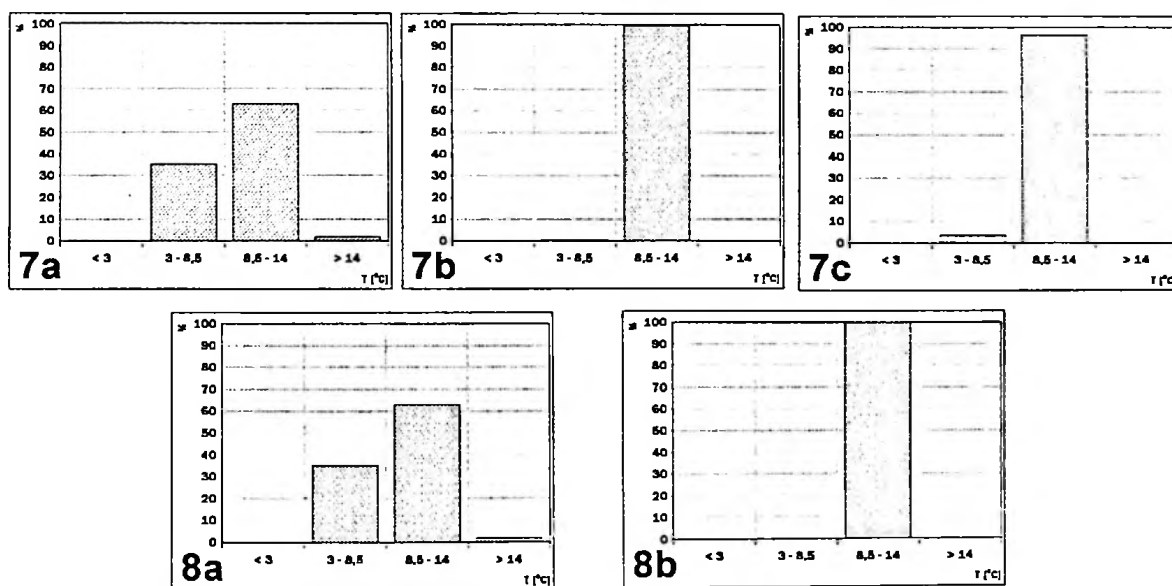


Rys. 12. Rozkłady częstości temperatury – wody powierzchniowe

1–6 – numery posterunków pomiarowych wód powierzchniowych

Frequency distributions of temperatures – surface waters

1–6 – numbers of measurement points of surface waters



Rys. 13. Rozkłady częstości temperatury – wody źródeł i wypływów

7a–8b – numery posterunków pomiarowych

Frequency distributions of temperatures – springs

7a–8b – numbers of measurement points

Stwierdzono również wysoki poziom bezwładności temperatur wód w szeregach obu źródlisk, któremu towarzyszyła miesięczna (8a) lub sześciotygodniowa (7a), istotna statystycznie inercja (tab. 7). Dość zaskakujące wyniki otrzymano zaś w odniesieniu do serii pomiarów temperatury wód bijących w pojedynczych wypływach. W ich szeregach, małej zmienności nie towarzyszyła, jak można się było spodziewać, wysoka inercja wyrażona dużym współczynnikiem R_{a1} i wysoką liczbą istotnych współczynników autokorelacji – n_a (tab. 7, post. 7b, 7c, 8b). Warto podkreślić, iż stwierdzona słaba „pamięć” temperatury wód wypływów zlokalizowanych w obrębie niszy Rosanów może świadczyć o stosunkowo długim (dłuższym niż rok) tempie odnawiania zasobów drenowanego zbiornika wód podziemnych. Tym samym fakt ten potwierdza wnioski przedstawione przez J o k i e l a (2002). Na podstawie krzywych wysychania źródlisk autor ocenił tempo odnawiania zasobów wód podziemnych sandru grotnicko-luźmierskiego na 1,2–1,5 roku.

Inaczej przedstawiała się sytuacja w niszy Ciosny. Obserwowany tutaj wypływ ascenzyjny cechował się bezwładnością temperatury wody na poziomie umiarkowanym oraz statystyczną istotnością aż trzech, kolejnych współczynników autokorelacji (tab. 7, post. 8b).

Zgodnie z wcześniej przyjętym kryterium delimitacji przedziałów, wody wszystkich trzech pojedynczych wypływów należy zaliczyć do wód zwykłych. Wody źródlisk, w przeważającej części okresu badawczego, miały również temperaturę wód zwykłych (rys. 13). W ciągu 34 % czasu trwania tego okresu, temperatura wód nisz Rosanów i Ciosny kwalifikowała je zaś do przedziału wód chłodnych. W obu przekrojach zamykających nisze, zarejestrowano też jednorazowy epizod nagrzania wód do temperatury powyżej 14 °C.

Pośród monitorowanych poziomów wodonośnych, najmniejszą amplitudą oraz zmiennością temperatury wody charakteryzował się poziom sandrowy (studnia Ciosny – post. 11). Wody ujmowane w dwu pozostałych studniach wykazały większą podatność na zmiany temperatury powietrza atmosferycznego. Amplitudy oraz współczynniki zmienności temperatury wód międzymorenowych były jednak o połowę niższe niż w przypadku wód wierzchówkowych (tab. 7). Zaobserwowano też, iż poziom zmienności temperatury wód płytkich poziomów wodonośnych był podobny do zanotowanego w wodach powierzchniowych. W porównaniu z wodami sandrowymi i międzymorenowym, przedział zmian temperatury wód aluwialnych i wierzchówkowych był dwukrotnie szerszy. Po-

wyższe różnice wynikają z faktu, że zwierciadło, badanych tu, płytkich wód podziemnych znajduje się w zasięgu strefy sezonowych wahań temperatury (J o k i e l, T o m a l s k i 2007a).

Wszystkie serie temperatur wód podziemnych wykazały się statystycznie istotną inercją (tab. 7, post. 9–13). Warto przy tym dostrzec, iż współczynniki autokorelacji R_{a1} były tu najwyższe w relacji do pozostałych serii temperatur. Jednakże liczba istotnych współczynników autokorelacji, była porównywalna z pozostałymi wodami w zlewni – 6 tygodni.

Względne podobieństwo rozkładów wykazały temperatury wód płytkich poziomów wodonośnych (rys. 14, post. 9, 12, 13). Przyjmowały one najczęściej wartości z przedziału wód zwykłych (33–52 %). W przypadku płytkich poziomów wodonośnych, przedział wód zimnych obejmował tylko 15 % długości okresu badawczego (rys. 14). Wody aluwialne, częściej ulegały też wychłodzeniu (< 3 °C), niż silnemu nagraniu (> 14 °C). Jest ciekawe, że temperatura wód wierzchówkowych częściej przekraczała 14 °C niż temperatury bardzo płytkich wód aluwialnych (post. 12, 13). Stanowi to pośredni dowód na stosunkowo szybki ruch wód w aluwacjach dolinnych i na ich powiązania ze zbiornikiem sandru grotnicko-luźmierskiego (Ciosny) i poziomem międzymorenowym (Dąbrówka).

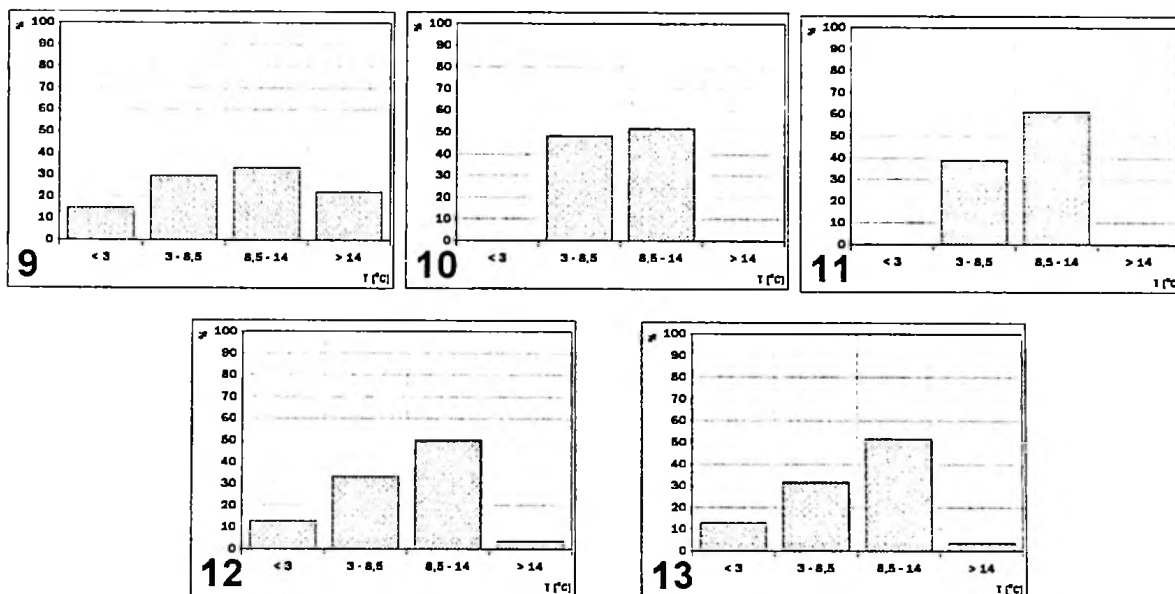
Wody głębszych poziomów wodonośnych (sandrowego i międzymorenowego) cechowały się natomiast zmiennością temperatur tylko w zakresie dwóch przedziałów: wód zwykłych i chłodnych (tab. 7, post. 10, 11).

PRZEWODNOŚĆ ELEKTROLITYCZNA

Ekstrema absolutne przewodności elektrolitycznej właściwej, stwierdzone w różnych rodzajach wód zlewni, wynosiły 119 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ i 1158 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (tab. 8). W szeregach reprezentujących wody powierzchniowe, przeciętna przewodność elektrolityczna zawierała się w stosunkowo wąskim przedziale, od 374 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ do 476 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Średnia przewodność wód rzecznych była zaś bliska 400 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Warto zauważyć, iż przeciętne SEC wód Dzierżanej i Ciosenki (post. 1, 2, 3) były bliskie wartościom uzyskanym dla wód źródłanych. Zmienność przewodności elektrolitycznej wód płynących nie przekroczyła w okresie badawczym 13,5 %, przy czym najniższy współczynnik zmienności wykazały wody Ciosenki. Z analiz wynika również, iż w badanym okresie, poziom średniej i dynamika SEC wody na posterunku zamykającym

zlewnię (post. 1) kształtowane były głównie przez zmienność przewodności elektrolitycznej wody jej głównego dopływu – Ciosenki. Wody Dzierżanej przed przyjęciem Ciosenki cechowała wyraźnie wyższa, średnia przewodność oraz wyższy poziom zmienności i inercji szeregu niż wody płynące w jej

dolnym biegu. Zatem, bardziej zasobna w wodę Ciosenka, decydowała nie tylko o natężeniu przepływu w przekroju Swoboda, ale również istotnie kształtowała mineralizację ogólną wód płynących w tym przekroju (tab. 8).



Rys. 14. Rozkłady częstości temperatury – wody podziemne
9–13 – numery posterunków pomiarowych wód podziemnych
Frequency distributions of temperatures – ground waters
9–13 – numbers of measurement points

Tabela 8

Miary rozkładu przewodności elektrolitycznej wody
Measures of distribution of waters conductivity

	SEC [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]															
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	8a	8b	9	10	11	12	13
\bar{x}	387	406	386	470	476	374	412	404	326	364	317	862	745	516	593	484
δ	45,6	53,3	34,4	82,3	56,2	48,3	21,8	9,8	10,6	33,8	13,4	153,9	163,6	63,0	186,0	46,9
C_v	11,8	13,1	8,9	17,5	11,8	12,9	5,3	2,4	3,3	9,3	4,2	17,9	22,0	12,2	31,5	9,6
MAX	471	497	470	645	553	443	478	428	393	478	342	1158	1110	686	999	668
MIN	290	314	324	321	119	271	311	386	312	195	263	458	578	445	138	397
R_{s1}	0,632	0,807	0,770	0,901	0,087	0,825	0,290	0,587	-0,052	0,070	0,331	0,778	0,931	0,90	0,494	0,706
n_a	2	2	3	3	0	3	1	3	0	0	1	3	3	3	1	2

objaśnienia jak przy tab. 5

for explanation see tab. 5

Absolutne maksimum i minimum konduktywności wód powierzchniowych wystąpiło w szeregach wód stojących. Najwyższą SEC odnotowano w wodach kompleksu zbiorników rekreacyjnych Malinka. Minimalną zawartość jonów rozpuszczonych stwierdzono zaś w wodach Glinianki ($119 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

Przewodność elektrolityczna właściwa wód zbiornika poeksploatacyjnego Glinianka charakteryzowała się najszerszym przedziałem zmienności spośród badanych akwenów. Względnie dużą amplitudę zmian przewodności jej wód ukształtował intensywny, okresowy dopływ wód ze spływu powierzchniowego oraz bezpośrednio zasilanie opadowe. Staw hodowlany w Rosanowie retencjonował zaś wody o stosunkowo niskiej SEC (tab. 8, post. 6). Przewodność elektrolityczną wód tego akwenu kształtował przede wszystkim dopływ nisko zmineralizowanych wód ze źródła Rosanów (por. post. 6, 7a, 7b, 7c). Warto tu dodać, że z opublikowanych analiz (Moniewski, Stolarz 2007) wynika, iż wody przepływające przez ten staw obniżały swoją przewodność średnio o około $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Analogiczny proces zaobserwowano także w wodach górnej Dzierżanej przepływających przez zbiorniki Malinka. Potwierdza to regułę, iż zbiorniki przepływowe, na skutek oddziaływania procesów biochemicznych zachodzących w ich wodach, istotnie zmniejszają przewodność elektrolityczną właściwą wód cieków (Pasternak 1984; Dojlido 1995; Szymańska 1997; Rzętała 2000; Ward 2000; Bajkiewicz-Grabowska 2002).

Z wyjątkiem serii pochodzącej z post. 4, zmienność przewodności elektrolitycznej właściwej wód stojących była dość mała (ok. 13 %). Szeregi pomiarowe, w wodach zbiorników przepływowych, wykazały też istotną bezwładność w zakresie kolejnych 3 terminów. W pełni losową zmienność SEC stwierdzono zaś w wodach poeksploatacyjnego zbiornika w Dąbrówce Strumiany (tab. 8). Wskazuje to jasno, iż dopływ substancji mineralnych do Glinianki zachodzi w wyniku krótkotrwałego zasilania opadami atmosferycznymi i epizodycznie pojawiającego się spływu powierzchniowego.

W badanym dwuleciu, najniższą zmienność przewodności elektrolitycznej właściwej wykazały szeregi wód źródłanych. Maksyma absolutne konduktywności tych wód (ok. $480 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) wystąpiły w wodach obu nisz źródłowych. W źródle Ciosny, odnotowano też absolutne minimum SEC wód źródłanych, związane z powierzchniowym dopływem wód roztopowych (wiosna 2005 r. – $195 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

Najmniejszymi amplitudami oraz bardzo niskimi współczynnikami zmienności przewodności elektrolitycznej cechowały się szeregi pojedynczych wypływów (tab. 8). Charakteryzowała je również bardzo mała bezwładność. Jedynie wypływ descenzyjny, monitorowany w niszy Rosanów (7b), wykazał umiarkowanie wysoką i statystycznie istotną inercję przewodności. W pozostałych seriach, mimo małej zmienności, bezwładność przewodności była też mała, a jej „pamięć” bardzo krótka – najwyżej 2 tygodnie.

Przewodność wód podziemnych, charakteryzowała się dużym zróżnicowaniem, od $148 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ do około $120 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (tab. 8, post. 9–13). W odniesieniu do przeciętnych, najwyższą SEC posiadały wody wierzchówkowe i aluwialne oraz wody poziomu międzymorenowego (post. 9, 10, 12). Kolejno: piezometr i studnia w Dąbrówce Strumiany oraz ujęcie w Swobodzie wykazały także najwyższą zmienność przewodności wód podziemnych. Czynniki determinującymi wysoki poziom zmienności tej właściwości w odniesieniu do wód aluwialnych i wierzchówkowych była przede wszystkim, intensywna, okresowa alimentacja wodami opadowymi i roztopowymi oraz napływ zanieczyszczeń z okolicznych osiedli wiejskich.

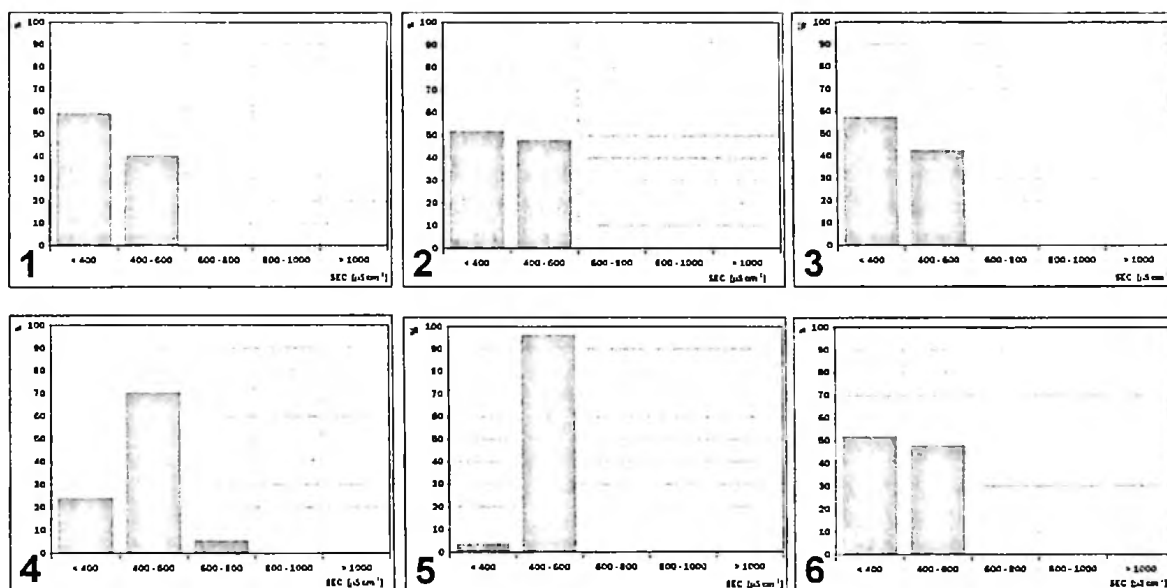
Względne podobieństwo wykazały też serie przewodności wód poziomu sandrowego oraz aluwialnego doliny Ciosenki (post. 11, 13). Ich przeciętna konduktywność oscylowała wokół $500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, a zmienność w obu seriach nie przekraczała 13 %. Wody poziomu sandrowego, wykazały jednak o około 3 % wyższą zmienność SEC, niż wody płytkiego poziomu aluwialnego Ciosenki. Fakt ten należy wiązać z epizodycznym dopływem zanieczyszczeń gospodarskich do wód ujmowanych w studni. Dodatkowo, relatywnie niska przewodność wód aluwialnych na post. 13 była też zapewne skutkiem oddziaływania uboższego, w rozpuszczalne związki mineralne, ekosystemu mokradła terasy zalewowej.

Analiza autokorelacji w szeregach przewodności wód podziemnych wykazała wysoki, choć dość zróżnicowany, poziom bezwładności. Wszystkie serie przewodności elektrolitycznej właściwej wód podziemnych ujmowanych w studniach, miały statystycznie istotne współczynniki autokorelacji obliczone dla trzech kolejnych przesunięć. „Pamięć” przewodności wód aluwialnych Ciosenki wyniosła jeden miesiąc, zaś 2 tygodnie dla wód piezometru w Dąbrówce Strumiany (tab. 8).

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z 2004 r. przewodność elektrolityczna właściwa wód podziemnych, zaliczanych do pierwszej klasy jakości, nie może przekraczać 400

$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (wód powierzchniowych – $500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Wobec powyższego, za górne ograniczenie przedziału grupującego wyniki wskazujące na bardzo dobrą jakość wód pod względem SEC, przyjęto ostrzejsze kryterium normatywne równe $400 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Zalecana przez WHO, maksymalna i dopuszczalna w wodach do picia, wartość $1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ została zaś przyjęta za dolne ograniczenie przedziału wód o złej jakości (Dojlido 1995). Rozstęp między podanymi wartościami podzielono na trzy równe przedziały, każdy o szerokości $200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Uzyskano zatem przedziały częstości, klasyfikujące zbadane wody jako: czyste, bardzo dobrej jakości ($< 400 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), dobrej jakości ($400\text{--}600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), lekko zanieczyszczone ($600\text{--}800 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), zanieczyszczone ($800\text{--}1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) oraz bardzo złej jakości, silnie antropogemizowane ($> 1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) (rys. 15).

W całym okresie badawczym, przewodność elektrolityczna właściwa wód powierzchniowych w zlewni nie przekroczyła $600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Wyższą SEC uzyskano jedynie dla wód kompleksu przepływowych zbiorników rekreacyjnych Malinka. Ich przewodność trzykrotnie, w ciągu analizowanego dwulecia, przyjęła wartości z przedziału wód lekko zanieczyszczonych. Natomiast SEC wód Glinianki i stawu Rosanów wskazuje, że wody te są bardzo dobrej i dobrej jakości (post. 5, 6). Należy zaznaczyć, iż rozkład częstości wyników pomiarów przewodności wód zbiornika hodowlanego w Rosanowie był taki sam jak notowany w rzekach. Dzierżazna i Ciosenka, w całym dwuleciu, prowadziły wody o niskiej przewodności elektrolitycznej, świadczącej o ich bardzo dobrej i dobrej jakości (rys. 15).



Rys. 15. Rozkłady częstości przewodności elektrolitycznej wód powierzchniowych

1–6 – posterunki pomiarowe

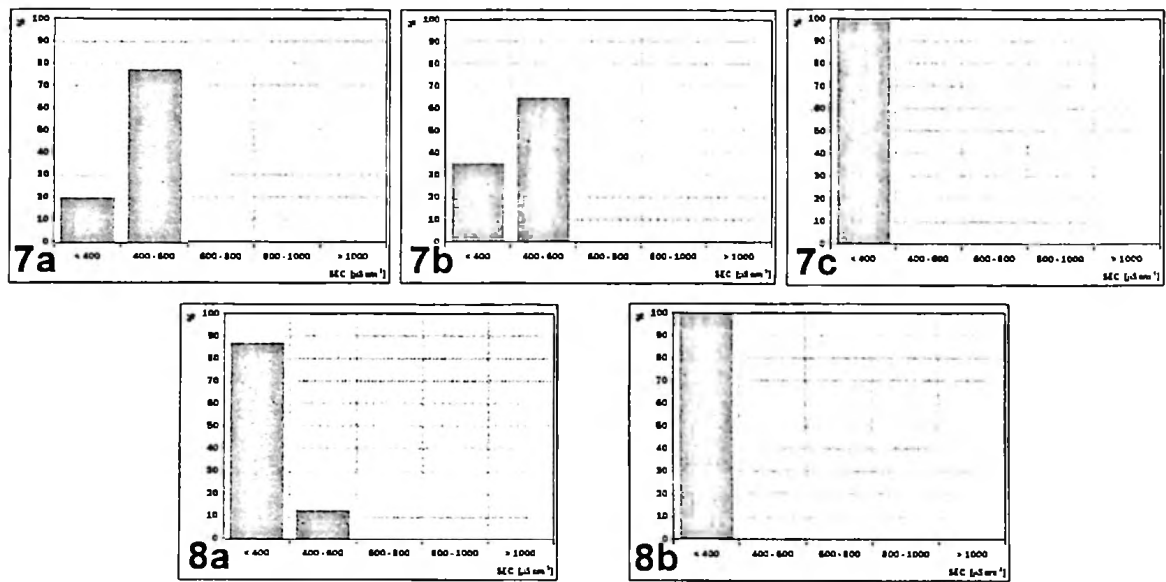
Frequency distributions of conductivity – surface waters

1–6 – measurement points

Spośród wszystkich posterunków, serie przewodności elektrolitycznej wód wypływów ascenzyjnych bardzo wyróżniały się swoim rozkładem częstości. Wody bijące w tych wypływach w całym dwuleciu były bardzo dobrej jakości (rys. 16, post. 7c, 8b).

Wody monitorowane w wypływie descenzyjnym oraz na zamknięciu źródła Rosanów

charakteryzowały się zbliżonym kształtem rozkładu wyników przewodności (rys. 16, post. 7a, 7b). Przez większą część okresu, wody te mieściły się w zakresie przewodności elektrolitycznej wskazującej na ich dobrą jakość ($400\text{--}600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Reszta odnotowanych tu wyników, klasyfikowała je do przedziału wód bardzo dobrej jakości. Odwrotnie układały się wartości pomiarów przewodności wód

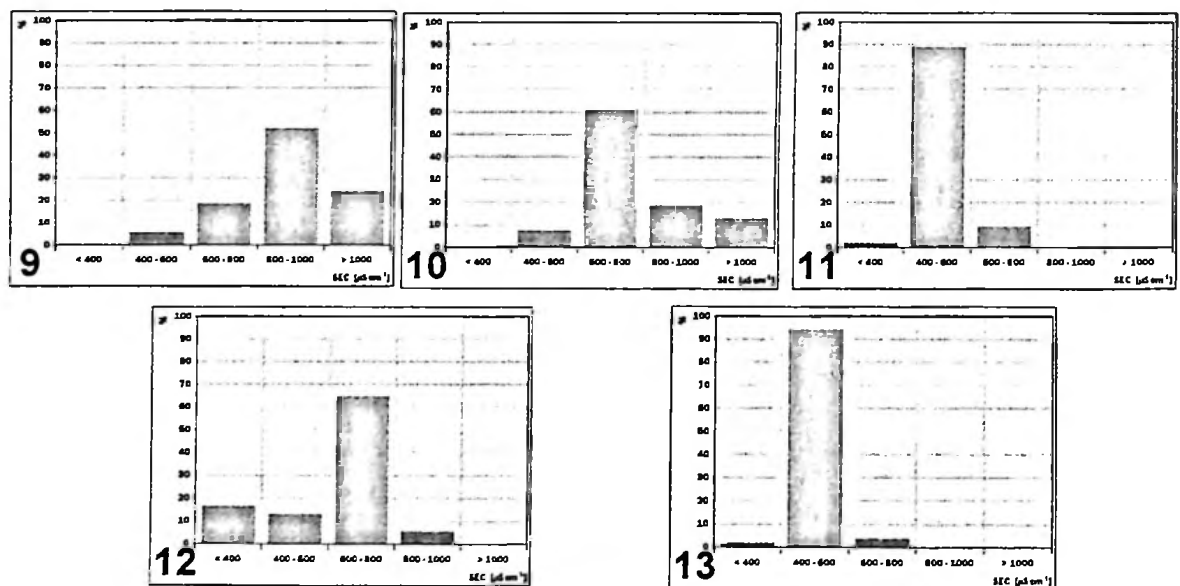


Rys. 16. Rozkłady częstości przewodności elektrolitycznej wód źródłanych

7a-8b – posterunki pomiarowe

Fig. 16. Frequency distributions of conductivity of spring's waters

7a-8b – measurement points



Rys. 17. Rozkłady częstości przewodności elektrolitycznej wód podziemnych

9-13 – posterunki pomiarowe

Frequency distributions of conductivity of ground waters

9-13 – measurement points

źródlika Ciosny (post. 8a). Blisko 90 % wyników SEC mieściło się w przedziale wód bardzo czystych, zaś pozostałe (ok. 10 %) w przedziale wód dobrej jakości.

Zdecydowanie większą, niż w źródłiskach, różnorodność rozkładów przewodności elektrolitycznej właściwej stwierdzono w wodach podziemnych. Najwyższy stopień wzajemnego podobieństwa liczebności poszczególnych przedziałów SEC wykazały wody poziomu sandrowego i aluwialnego Ciosenki (rys. 17, post. 11, 13). W ich szeregach przewodności, około 90 % pomiarów wskazywało na dobrą jakość ich wód.

Zebrane na posterunkach w Dąbrówce Strumiany, serie przewodność elektrolitycznej wód podziemnych cechowały się różnym kształtem rozkładów (rys. 17, post. 10, 12). W obu otworach badawczych najczęściej notowano wody lekko zanieczyszczone. Jednakże, aż 32 % pomiarów wskazało na złą i bardzo złą jakość zasobów wodnych poziomu międzymorenowego (studnia Dąbrówka). Wody aluwialne doliny Dzierżanej 16 razy, w ciągu całego okresu, cechowały się zaś przewodnością niższą od $600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Relatywnie dobra jakość wód aluwialnych, w stosunku do ujmowanych w studni w Dąbrówce, wynikała po pierwsze z dopływu do piezometru nisko zmineralizowanych wód opadowych (w tym roztopowych) oraz z częstego „przemycania” aluwii przez podziemne wody wysoczyznowe. Wody poziomu międzymorenowego, monitorowane w Dąbrówce oraz wody wierzchówkowe w studni Swoboda, cechowały się najgorszą jakością spośród wszystkich posterunków. Aż 75 % odczytów SEC wód wierzchówkowych wykazało złą i bardzo złą ich jakość. Tylko trzy razy stwierdzono w tej studni wody czyste (rys. 17, post. 9). Warto w tym miejscu zwrócić też uwagę na pewne podobieństwo rozkładów przewodności wód podziemnych poziomu wierzchówkowego (post. 9) i międzymorenowego (post. 10). W obu studniach, stosunkowo często pojawiały się wyniki wskazujące na złą jakość wody, przy czym w Swobodzie, przedział dominanty był przesunięty w kierunku wysokich przewodności. Nie sposób tego nie powiązać z faktem, iż poziom w Swobodzie jest odkryty i występuje płycej niż wody w studni Dąbrówka.

ODCZYN WÓD

W analizie odczynu wód posłużono się klasyfikacją zaproponowaną przez J ań c a (2005a). Autor wydzielił 7 przedziałów odczynu wody,

czyli o dwa więcej niż w powszechnie stosowanej klasyfikacji przytoczonej m.in. przez P a z d r ę (1983). Należy też podkreślić, iż omawiana klasyfikacja uwzględnia również ewentualny wpływ antropogenicznych oddziaływań na kształtowanie odczynu wód (rys. 18).

W myśl zastosowanej klasyfikacji, średni odczyn większości badanych rodzajów wód należy uznać za obojętny (tab. 9). Wyjątek stanowią odczyn wód aluwialnych i międzymorenowych, gdzie średnie pH wskazuje, iż są to wody słabo kwaśne (post. 10, 12, 13). Natomiast, wody zbiorników przepływowych miały średni odczyn bardzo słabo zasadowy (tab. 9, post. 4, 6).

Należy podkreślić, że w odniesieniu do serii odczynu wód zastosowano świadome uproszczenie w formie obliczenia średniej arytmetycznej, mimo iż ze statystycznego punktu widzenia, lepiej byłoby zastosować średnią geometryczną. Zabieg ten umożliwił jednak zachowanie pełnej analogii miar, a przez to porównywalności wyników wszystkich analizowanych zmiennych.

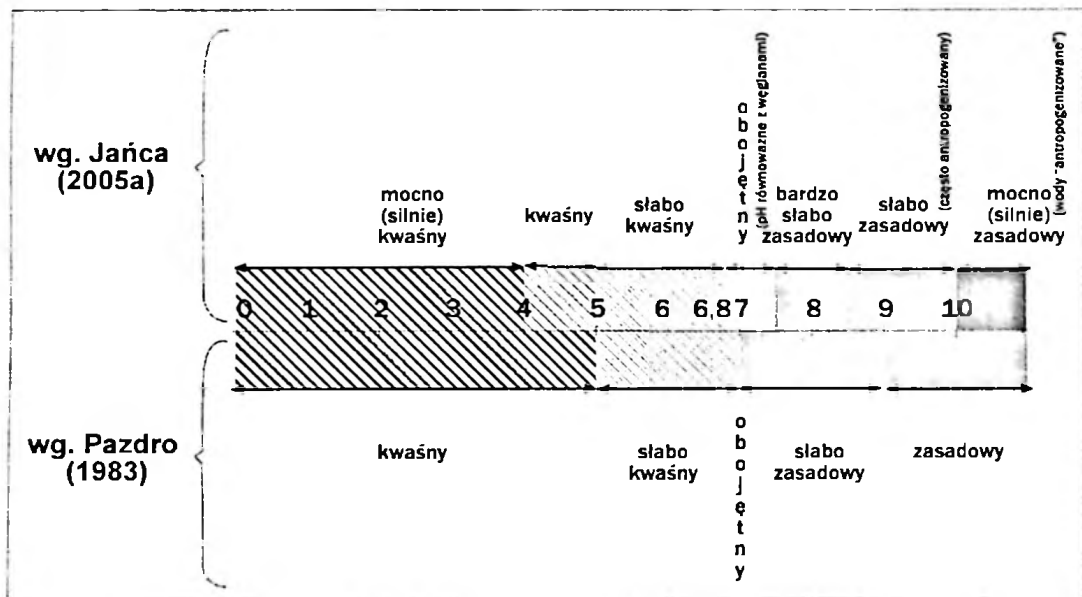
Ekstremalne odczynu wód powierzchniowych były równe 5,3 pH i 9,8 pH. Przekraczały zatem, podany przez D o j l i d o, zakres pH typowy dla wód powierzchniowych (1995). Najszerszy zakres zmienności odnotowano w wodach stojących. Szczególnie wysoką amplitudą i najwyższym współczynnikiem zmienności charakteryzowały się szeregi odczynu wód: stawu Malinka oraz stawu hodowlanego Rosanów (post. 4, 6). Należy zaznaczyć, iż w wodach tych zbiorników, odczyn słabo zasadowy notowano w okresie letnim. Równocześnie, wczesną wiosną ich wody cechowały się odczynem słabo kwaśnym (zał. 1M). Wody bezodpływowej Glinianki wykazywały natomiast odczyn: od słabo kwaśnego do bardzo słabo zasadowego. Jednocześnie, w wodach tych stwierdzono najniższy poziom zmienności pH, spośród zbędnych zbiorników wodnych (tab. 9).

Maksymalne i minimalne pH wód rzecznych były odpowiednio niższe i wyższe od notowanych w stawach. Zarejestrowany w Dzierżanej, latem 2004 r., najbardziej zasadowy odczyn wód płynących, został w głównej mierze ukształtowany przez alkalizujący wpływ, włączonych do sieci rzecznej, zbiorników wodnych. Również w czerwcu 2004 r., wody Ciosenki przepływające przez zbiornik Rosanów zmieniły swój odczyn z bardzo słabo zasadowego (7,9 pH) na słabo zasadowy (8,8 pH) (Moniewski, Stolarska 2007). Należy też dodać, iż wody Dzierżanej, które zasilają aż 7 stawów przepływowych, cechowały się wyższą zmiennością odczynu niż wody Ciosenki (tab. 9).

Wody źródeł oraz wody podziemne wykazały mniejszą, niż wody powierzchniowe rozpiętość przedziału zmienności odczynu: od 5,2 pH do 8,5 pH (tab. 9). Pierwszą z podanych wartości zmierzono w październiku 2004 r., w wodach poziomu aluwialnego Dzierżanej (zał. 10). Drugie ekstremum pH wód podziemnych dotyczyło również wód aluwialnych – piezometr Ciośny (maj 2004). W zbadanym okresie, wody płytkich poziomów wodonośnych cechowały się zbliżonym i dość szerokim przedziałem zmienności

odczynu. Wskazuje to na ich dużą podatność na oddziaływanie czynników zewnętrznych, tj. opadów, temperatury, napływu zanieczyszczeń jak też czynników i procesów związanych z lokalnym ekosystemem (np. zakwaszające oddziaływanie podmokłości).

Odczyn wód źródeł cechował się bardzo małą amplitudą wahań. Ich wody miały przeważnie odczyn obojętny. W wodach wypływu ascensyjnego źródła Rosanów tylko raz odnotowano pH równe 8,4. Było to zapewne rezultatem intensywnego



Rys. 18. Klasyfikacje odczynu wody
źródło: Pazdro (1983), Janiec (2005a)

Classifications of water pH-level.
source: Pazdro (1983), Janiec (2005a)

Tabela 9

Miary rozkładów odczynu wody
Measures of distribution of waters pH-level

	pH															
	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	8a	8b	9	10	11	12	13
\bar{x}	7,4	7,3	7,2	7,8	7,2	7,6	7,3	6,9	7,0	7,3	7,1	7,3	6,7	7,2	6,6	6,6
δ	0,6	0,5	0,5	0,8	0,5	0,8	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,6	0,3	0,3	0,4	0,4
C_v	8,2	7,5	6,5	9,7	7,1	10,5	5,4	5,0	5,0	5,6	5,3	8,1	4,2	4,9	6,3	5,4
MAX	8,8	8,6	8,2	9,8	8,1	9,1	7,9	7,5	8,4	7,9	7,6	8,3	7,1	8,1	8,2	8,5
MIN	6,1	5,7	5,8	5,8	5,3	5,5	6,1	6,2	6,2	5,9	6,2	5,7	5,8	6,0	5,2	5,9
R_{a1}	0,845	0,855	0,779	0,799	0,683	0,872	0,577	0,298	0,408	0,481	0,473	0,827	0,755	0,719	0,306	0,423
n_a	3	3	3	3	3	3	2	2	1	2	2	3	3	2	1	1

objaśnienia jak przy tab. 5

for explanation see tab. 5

nego udziału zasilania opadowego, dopływu zanieczyszczeń z pobliskich działek rekreacyjnych (tab. 9, post. 7c). Dobrym przykładem są także wody wierzchówkowe ujmowane w studni Swoboda. Zmiany odczynu wody są tu niemal dwukrotnie większe niż w studni Ciosny (poziom sandrowy). Wydaje się przy tym, iż wody sandrowego poziomu wodonośnego mają najbardziej stabilne pH i są najmniej zantropogenizowane (post. 7, 8, 11).

Zmienność odczynu wody była bardzo mała na wszystkich 13 posterunkach. Najniższe współczynniki zmienności otrzymano w seriach pH wód sandrowych (źródłisko i studnia Ciosny) oraz międzymorenowych (tab. 9). Nie przekraczały one 5,5%. Podobne współczynniki wyznaczone dla wód wierzchówkowych oraz wód rzecznych sięgały 8%. Spośród szeregów odczynu wód stojących, najniższym poziomem zmienności, cechowała się seria pomiarów ze stawu Glinianka. Natomiast, wody zbiorników przepływowych charakteryzowały się największą zmiennością odczynu (ok. 10%).

Bardzo słabą bezwładność ($R_{a1} \leq 0,45$) serii odczynu wykazały wody aluwialne oraz źródlane (wypływy w niszy Rosanów). Niskim R_{a1} towarzyszyła też zwykle krótka „pamięć” systemu (2 tygodnie). Nieco większą bezwładność odczynu stwierdzono w wodach źródłiska Ciosny (post. 8). Wyższa niż w niszy Rosanów inercja pH wód tego źródłiska wynika zapewne z lokalnych warunków litologicznych. Warstwa mułków zastoiskowojeziornych utrudnia tu bowiem infiltrację wód opadowych i tym samym migrację zanieczyszczeń z powierzchni.

W odniesieniu do wód podziemnych (poza aluwialnymi), poziom inercji był dość wysoki i mało zróżnicowany ($0,7 < R_{a1} < 0,9$). Analiza liczby, statystycznie istotnych, współczynników autokorelacji dowiodła, iż najdłuższą „pamięcią” pH cechowały się wód płynących i wód retencjonowanych w zbiornikach wodnych, a także wody podziemne w studniach Swoboda i Dąbrówka (tab. 9). W szeregach odczynu wód źródlisk, istotny związek statystyczny pH z kolejnych pomiarów sięgał tylko jednego miesiąca.

Analiza dyspersji w szeregach pH wód powierzchniowych dowiodła znacznego zróżnicowania jakości wód w okresie badawczym. Na każdym z posterunków wód powierzchniowych odnotowano zmienność odczynu obejmującą więcej niż dwa przedziały klasowe częstości (rys. 19). W przypadku posterunków zlokalizowanych na Dzierżanej, rozkłady częstości odczynu wód były bardzo podobne. Wody tej rzeki były najczęściej słabo kwa-

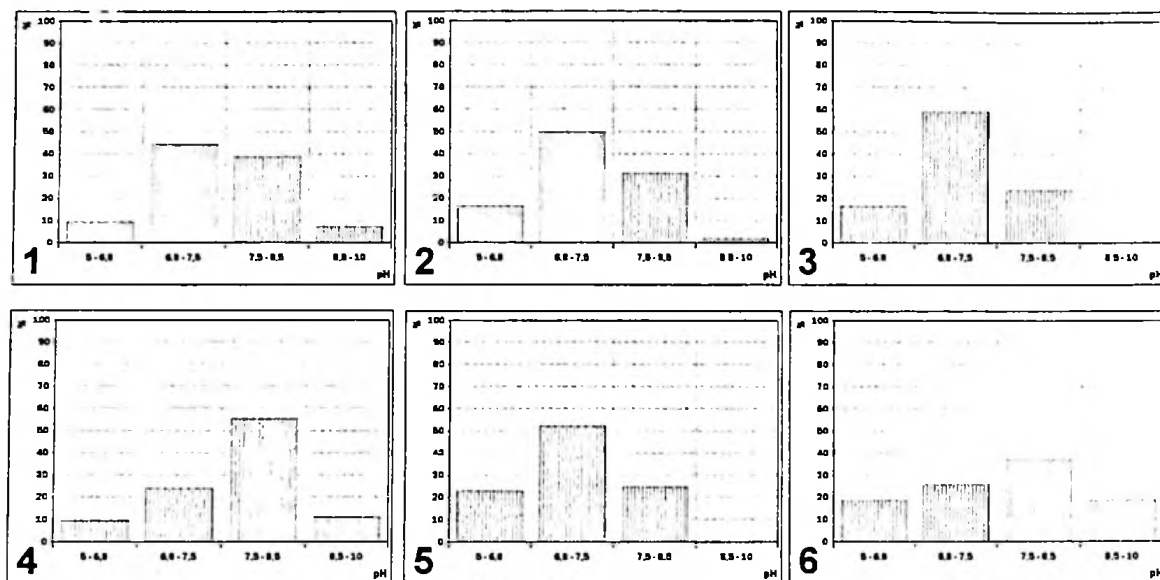
śne lub obojętne. Odczyn wód Ciosenki był zaś zwykle obojętny (ok. 60%). Pozostałe 40% wyników rozkładało się na przedziały wód bardzo słabo zasadowych oraz słabo kwaśnych (rys. 19). Zgodnie z powyższym, wody Ciosenki należy uznać za mniej zantropogenizowane niż wody Dzierżanej. Równocześnie jednak, z punktu widzenia pH, wody na posterunku zamykającym zlewnię były bardziej podobne do wód górnej Dzierżanej niż do wód Ciosenki.

Kształty rozkładów częstości pH wód stojących i płynących były podobne, zarówno w odniesieniu do amplitudy, jak i liczebności przedziałów (rys. 19). Istotna różnica między obiema grupami wód powierzchniowych polega na tym, iż w wodach stawów przepływowych, częściej niż w wodach rzecznych, notowano odczyn bardzo słabo zasadowy (post. 4, 6). To przesunięcie dominanty w kierunku wartości wyższych wskazuje na istotną antropogenezę wód w tych obiektach.

Odczyn wód sandrowych (źródłiska Rosanów i Ciosny oraz studnia Ciosny), zarówno w odniesieniu do charakteru zmienności, jak i rozkładu częstości, był zbliżony do uzyskanego dla Ciosenki (rys. 20, 21). Także monitorowane w obrębie obu źródlisk, pojedyncze wypływy wykazały względne podobieństwo rozkładów częstości pH (np. post. 7c, 8b). Należy też wyraźnie podkreślić, iż wody wszystkich trzech wypływów oraz obu źródlisk, cechowały się najczęściej odczynem obojętnym (rys. 20).

Analiza rozkładów odczynu wód wierzchówkowych dowiodła, że częstość pojawiania się wód o pH obojętnym i bardzo słabo zasadowym była podobna (rys. 21, post. 9). Wody poziomu międzymorenowego cechowały się zaś odczynem słabo kwaśnym albo obojętnym (post. 10). Wody sandrowe, ujmowane w studni Ciosny, miały natomiast przeważnie (ok. 70%) odczyn obojętny, a stosunkowo rzadko – słabo zasadowy lub słabo kwaśny (post. 11).

Zupełnie inny obraz dyspersji pH wystąpił na posterunkach wód aluwialnych. Wody te, w analizowanym okresie, charakteryzowały się najczęściej odczynem słabo kwaśnym, rzadziej obojętnym (rys. 21, post. 12, 13). Odczyny słabo zasadowe lub zasadowe występowały sporadycznie. Wynikało to bezpośrednio z warunków siedliskowych, w jakich działały piezometry. Jak pamiętamy, założono je w obszarze łąki lub mokradła stałego, a zatem w środowisku intensywnie zakwaszonym. Świadczą o tym chociażby bardzo niskie wartości średnie pH (por. tab. 9).



Rys. 19. Rozkłady częstości odczynu wód powierzchniowych

1–6 – posterunki pomiarowe

Frequency distributions of pH-level of surface waters

1–6 – measurement points

ZAWARTOŚĆ TLENU ROZPUSZCZONEGO W WODACH

Wyniki pomiarów zawartości tlenu w wodach zlewni Dzierżanej zawierały się w dość szerokim przedziale, od $0,8 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ do około $13 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (tab. 10). Przeciętna zawartość tlenu w wodach płynących i wodach nisz źródłkowych była zbliżona do $7 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Wody przepływowych zbiorników wodnych charakteryzowały się średnią zawartością tlenu na poziomie około $8 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Jednocześnie, w wodach tych stawów, odnotowano absolutne maksima zawartości tego gazu (ok. $13 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$). Stosunkowo wysoki poziom natlenienia wód zbiorników przepływowych był zapewne efektem ich burzliwego sposobu wypływu – wysokość piętrzenia w miejscu poboru próbek wynosiła od 2 m do 3 m (Dojlido 1995; Moniewski, Stolarska 2007). Przeciętna zawartość tlenu w wodach bezodpływowej Glinianki była dużo niższa i wyniosła $5,4 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Należy podkreślić, iż w wodach tego zbiornika, w okresach zlodzenia, notowano nieraz niemal zerową zawartość tlenu (tab. 10).

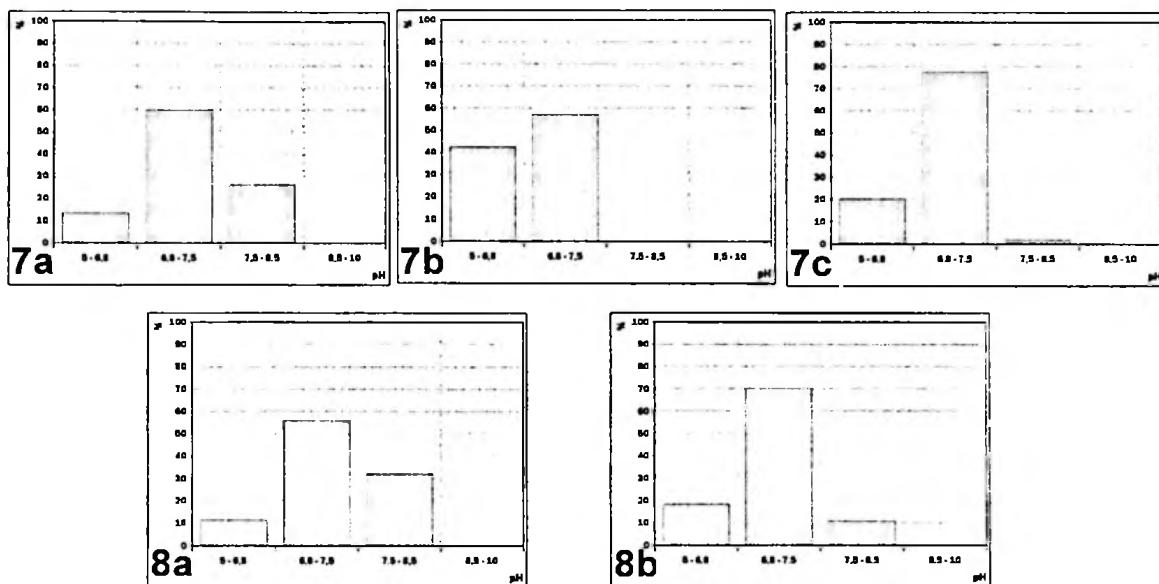
Zebrane wyniki pomiarów poziomu natlenienia wód wykazały umiarkowaną skalę zmienności: 20–30 % (tab. 10). Najwyższy współczyn-

nik zmienności odnotowano na post. 5 – (Glinianka). Stosunkowo najmniej zmienne warunki tlenowe dotyczyły wód źródeł Rosanów i Ciosny. Wyznaczone współczynniki autokorelacji wskazały też na statystycznie istotny i wysoki poziom inercji w szeregach zawartości tlenu w wodach badanych nisz źródłkowych. Warunki tlenowe wód były tu zatem najbardziej stabilne.

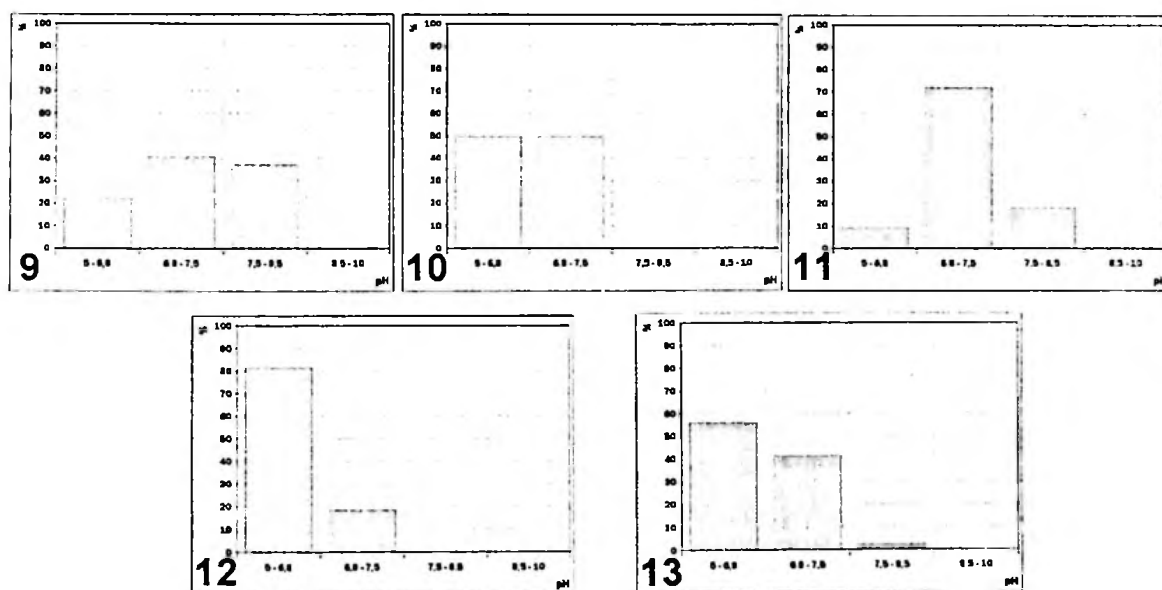
Wysoka bezwładność poziomu natlenienia wód charakteryzowała też Dzierżaną w przekroju Biała. Było to zapewne rezultatem natlenienia wód w licznych i względnie równomiernie rozmieszczonych wzdłuż cieku zbiornikach wodnych. W pozostałych posterunkach, współczynniki autokorelacji były niższe i wskazywały na umiarkowany poziom bezwładności szeregów.

Inercja zawartości tlenu w wodzie rzeki głównej i jej dopływu a także w wodach zbiorników Malinka i Glinianka sięgała jednego miesiąca. Tylko zawartość tlenu rozpuszczonego w wodach źródeł charakteryzowała się „pamięcią” nieco dłuższą (6 tygodni). Natlenienie wód stawu hodowlanego, z uwagi na bardzo szybkie tempo wymiany jego wód, cechowało się natomiast słabą inercją – 2 tygodnie (tab. 10).

Delimitację przedziałów częstości poziomu zawartości tlenu w wodzie oparto o różne wartości graniczne, w tym zakresy tolerancji wymagań bytowych ryb. Deficyt tlenowy w wodzie występuje



Rys. 20. Rozkłady częstości odczynu wód źródlisk
 7a-8b – posterunki pomiarowe
 Frequency distributions of pH-level of spring's waters
 7a-8b – measurement points

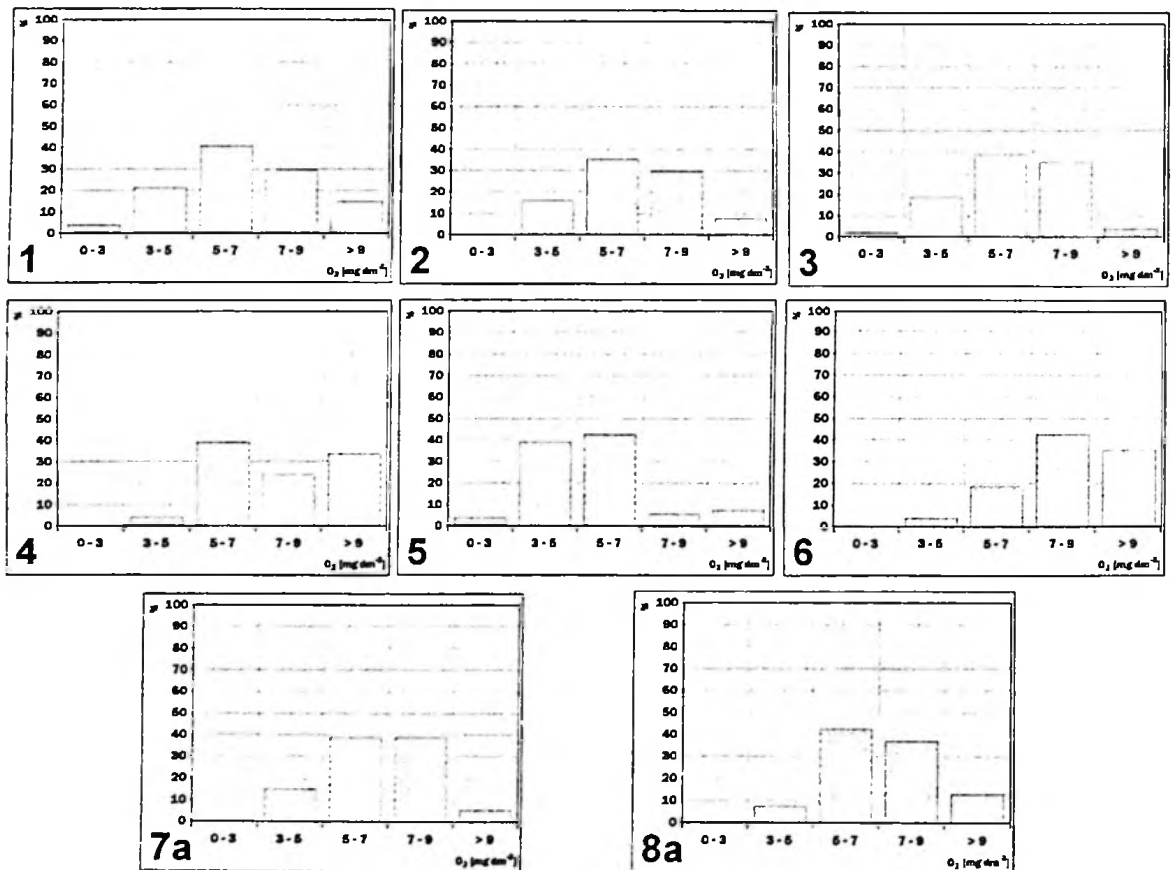


Rys. 21. Rozkłady częstości odczynu wód podziemnych
 9-13 – posterunki pomiarowe
 Frequency distributions of pH-level of ground waters
 9-13 – measurement points

Miary rozkładu zawartości tlenu rozpuszczonego
Measures of distribution of dissolved oxygens capacity

	DO [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]							
	1	2	3	4	5	6	7a	8a
\bar{x}	7,0	6,5	6,6	7,8	5,4	8,4	6,5	6,9
δ	2,1	1,9	1,7	2,1	2,0	1,8	1,4	1,4
C_v	29,4	28,9	25,9	26,7	37,4	21,2	22,1	20,6
MAX	11,9	11,4	10,6	13,0	11,9	13,2	9,4	9,5
MIN	1,0	3,3	1,6	3,7	0,8	3,2	3,3	4,1
R_{a1}	0,333	0,625	0,496	0,571	0,412	0,402	0,791	0,775
n_a	2	2	2	2	2	1	3	3

objaśnienia jak przy tab. 5
for explanation see tab. 5



Rys. 22. Rozkłady częstości zawartości tlenu w wodach

1-8a – posterunki pomiarowe

Frequency distributions of oxygen dissolved in waters

1-8a – measurement points

wówczas, gdy zawartość tego gazu jest niższa od $2-3 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Dojlido 1995). Zatem, przedział częstości skupiający wyniki o wartościach poniżej $3 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ nazwano przedziałem wód o bardzo złych (deficytowych) warunkach tlenowych. Wytyczne zawarte w Rozporządzeniu Ministra Ochrony Środowiska z 2004 r. wskazują równocześnie, iż zawartość tlenu nieprzekraczająca $5 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ nakazuje uznać dane wody za niezadowolające pod względem ich jakości. Natomiast natlenienie w przedziale $5-7 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ uznaje się za zadowalające. W takich warunkach tlenowych, życie ihtiofauny jest możliwe i względnie dla niej nieszkodliwe. Cytowane przez Dojlidę przepisy EWG (UE), określające warunki natleniania wód, potrzebne do bytowania ryb karpiowatych (1995), pozwoliły też na wyznaczenie przedziału optymalnego natlenienia – $7-9 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Zaś natlenienie przekraczające $9 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ jest nadmierne, a zatem warunki dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemów wodnych są wówczas niekorzystne.

Zawartość tlenu w wodach Dzierżanej w Swobodzie (post. 1) cechowała się rozkładem zbliżonym do normalnego (rys. 22). W ponad 40 % przypadków, panowały tam zadowalające warunki tlenowe. Optymalny poziom natlenienia odnotowano tu w 30 % wystąpień. Zaledwie dwukrotnie zarejestrowano obniżenie zawartości tlenu poniżej $3 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (w okresie zlodzenia). Przesycenie wód tlenem, na tym posterunku, dotyczyło zaś około 15 % wykonanych pomiarów.

Zbliżonym rozkładem częstości DO charakteryzowały się wody na pozostałych posterunkach wód płynących, a także wody obu źródeł

(rys. 22, post. 2, 3, 7a, 8a). Warto podkreślić, iż wody źródeł, mimo krótkiego kontaktu z powietrzem atmosferycznym, były stosunkowo dobrze natlenione (brak wartości $< 3 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$). W wodach Ciosenki, odnotowano tylko jeden przypadek skrajnie niskiej zawartości tlenu. Słabe natlenienie wystąpiło w końcu okresu badawczego i było związane z długotrwałym zlodzeniem tego cieku.

Rozkłady częstości zawartości tlenu w wodach zbiorników przepływowych cechowały duże liczebności przedziałów nadmiernego natlenienia wód – rozkłady lewostronnie skośne (rys. 22, post. 4, 6). Jest to skutek wspomnianego już wcześniej burzliwego sposobu wypływu wód w miejscu poboru próbek (tab. 10, zał. 1S). Zarówno w kąpielisku Malinka, jak i w stawie hodowlanym Rosanów przez ponad 60 % czasu obserwacji, warunki tlenowe wód należy uznać za zadowalające lub optymalne ($5-9 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$). Tylko wyjątkowo stwierdzano natlenienie na poziomie niezadowolającym.

Proporcje w obrazie rozkładu częstości natlenienia wód zbiornika poeksploatacyjnego w Dąbrówce Strumiany były odmienne od opisanych powyżej. Blisko 40 % wykonanych tu pomiarów wskazywało na bardzo niekorzystne warunki tlenowe wód. Równocześnie, podobna część wyników dowodziła zadowalającego poziomu natlenienia (rys. 22, post. 5). W zbadanym okresie zbiornik ten charakteryzował się więc często zarówno deficytem, jak i nadmiernym przesyceniem wód tlenem. Warunki tlenowe w wodach Glinianki, były więc bezpośrednim rezultatem wspomnianych już uprzednio czynników: specyficznego reżimu zasilania oraz okresowych zjawisk modyfikujących cechy fizykochemiczne wód (zarastanie i zlodzenie).

SEZONOWE ZMIANY ZASOBÓW I WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNYCH WÓD

TRENDY

Jednym z podstawowych zadań statystycznej analizy szeregów czasowych jest wykrywanie i wyrażanie w sposób liczbowy zmian i zmienności zjawisk. Dla każdego ciągu danych, oprócz wyznaczenia jego podstawowych elementów, np. miar pozycyjnych i przeciętnych, można przeprowadzić szereg analiz statystycznych służących identyfikacji charakteru oraz siły zmian, a także obliczeń wskazujących kierunek dalszego rozwoju zjawiska.

Większość tych procedur opiera się na metodach dekompozycji szeregów czasowych. Każdy szereg chronologiczny można bowiem przedstawić jako sumę (zależności addytywne) lub iloczyn (zależności multiplikatywne) następujących składników: trendu, sezonowości, okresowości oraz składowej stochastycznej (losowej) (Mitosek 2003; Kudrycka, Radziukiewicz 2004). Z wymienionych czterech elementów „pearsonowskiej” dekompozycji, zwanej badaniami harwardzkimi, w niniejszym opracowaniu zastosowano dwie procedury: analizę trendu oraz służącą wykrywaniu składnika sezonowego – analizę autokorelacji.

Trend, zwany również tendencją rozwojową, charakteryzuje ogólny kierunek zmian zjawiska w dłuższym czasie (Mitosek 2003; Kudrycka, Radziukiewicz 2004). Wyodrębnienie trendu z szeregu czasowego polega na eliminacji wahań przypadkowych i okresowych. Służy temu m.in. analityczna metoda aproksymacji parametrów funkcji trendu – metoda najmniejszych kwadratów. Statystyczną istotność trendów zbadano każdorazowo testem t-Studenta na poziomie $\alpha = 0,05$.

W okresie badawczym, zaobserwowano bardzo słabą tendencję spadkową w odniesieniu do charakterystyk opisujących stan zasobów wodnych zlewni. **Natężenie przepływu** Ciosenki i Dzierżanej w Swobodzie bardzo powoli się zmniejszało (tab. 11). Wody podziemne ujmowane w studniach gospodarskich charakteryzowały się również wyraźnym trendem spadkowym w odniesieniu do **głębokości zwierciadła**. Najwyraźniejszą tendencją wzrostu miąższości strefy aeracji stwierdzono w poziomach wód gruntowych w Ciosnach i Dąbrówce Strumiany ($R^2 > 0,25$). Średnio, poziom wody w obu studniach spadał o około 1,2 cm na miesiąc. Odstępstwo od generalnej tendencji zmniejszania się ilości zasobów wodnych w zlewni wykazały: seria przepływu Dzierżanej na posterunku w Białej oraz szeregi **wydajności źródlisk** w Ciosnach i Rosanowie (post. 2, 7a, 8a). Zanotowano w nich brak istotnego trendu.

Na uwagę zasługują rozbieżności istniejące w odniesieniu do kierunków trendów zasobów wód sandrowych monitorowanych na różnych posterunkach. Obniżaniu się poziomu wody w sandrze grotnicko-luźmierskim (studnia Ciosny) nie towarzyszył bowiem spadek wydajności drenujących go źródeł. Dowodzi to, iż stany wody w studni Ciosny nie w pełni oddają warunki panujące w obrębie całego zbiornika wód sandrowych. Też, iż reżim źródeł „zbierających” wodę ze znacznego obszaru zbiornika wód podziemnych lepiej oddaje zmiany jego zasobów niż dynamika stanu wody zanotowana w pojedynczym ujęciu, odnoszącą się do innych źródeł, piezometrów i zbiorników wód podziemnych, można znaleźć w pracy Moniewskiego (2004).

Tempo statystycznie istotnej tendencji wzrostu głębokości zwierciadła wód wierzchówkowych w studni Swoboda, wyniosło około 2 cm na miesiąc (tab. 11). Również płytkie poziomy aluwialne charakteryzowała tendencja do wzrostu miąższości strefy aeracji, ale była ona słaba i nieistotna statystycznie. **Zmiany temperatury** wód powierzchniowych nie wykazały statystycznie istotnej tendencji. Z wyjątkiem źródła Ciosny,

temperatura wód podziemnych odznaczała się słabym i przeważnie statystycznie nieistotnym trendem rosnącym. Tylko wody ujęć gospodarskich charakteryzowały się istotnym wzrostem temperatury, przy równoczesnej tendencji do obniżania się ich zwierciadła. Analogiczny układ kierunków trendów temperatury i dynamiki zasobów wodnych stwierdzono w szeregach wód rzecznych i aluwialnych (post. 1, 2, 3, 12, 13). Zauważmy jednak, że dla wód cieków, tendencja ubożenia zasobów była zwykle statystycznie istotna, zaś trend wzrostu temperatury był nieistotny przy $\alpha = 0,05$.

Rozpoznana tendencja „ogrzewania się” wód podziemnych w studniach mogła być konsekwencją oddziaływania trzech czynników. Po pierwsze, temperatura powietrza lata i jesieni 2004 była nieco niższa niż analogiczne temperatury dla 2005 r. (por. rys. 8). Po drugie, obniżanie się zasobności poziomów wodonośnych, wyrażone zmniejszeniem objętości słupa wody w studni, sprzyjało szybszemu ogrzewaniu się tych wód (mniejsza objętość wody do ogrzania). Trzeci z wyodrębnionych czynników wynika bezpośrednio ze statystycznych własności serii danych. Posiadane szeregi charakteryzują się bowiem „niepełnym”, ostatnim cyklem rocznym – kończą się na początku okresu zimowego 2005/2006. Wywołuje to relatywny wzrost współczynników trendu.

Przewodność elektrolityczna właściwa wód powierzchniowych nie wykazała żadnych, statystycznie istotnych tendencji zmian (tab. 11, post. 1–6). Równocześnie, kierunek trendów SEC wód podziemnych i źródeł był zwykle ujemny (czasem istotny statystycznie – 7a, 10, 11, 12). Wyjątek stanowiły serie przewodności wód ujmowanych w piezometrze Ciosny i w studni Swoboda, gdzie odnotowano tendencję wzrostową (w studni Swoboda statystycznie istotną – tab. 11). Przewodność elektrolityczna wód wierzchówkowego poziomu wodonośnego (Swoboda) wzrastała średnio o około $14 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na miesiąc. Natomiast, wody ujmowane w pozostałych dwóch studniach cechował istotny statystycznie spadek przewodności. Przeciętne tempo spadku SEC wód międzymorenowych było przy tym dwukrotnie większe niż wód sandrowych w studni Ciosny (post. 10, 11). Odpowiednio, na wymienionych posterunkach, tempo spadku przewodności wyniosło $8 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ oraz $4 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na miesiąc.

Przewodność elektrolityczna wód źródłanych wolno malała, w tempie około $1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na miesiąc (post. 7a, 8a). Należy jednak zwrócić uwagę, iż wody sandrowego poziomu wodonośnego wypływające w źródłiskach Rosanów i Ciosny, tak jak wody w studni w Ciosnach, cechowały się

Tabela 11

Macierz współczynników kierunkowych trendu (b) i współczynników determinacji (R^2)

The matrix of trend direction coefficients and determination coefficients

Nr post.	Q / h		T		SEC		pH		DO	
	B	R^2	b	R^2	b	R^2	b	R^2	b	R^2
1	-0,001	0,11	0,014	0,00	0,329	0,01	-0,017	0,20	-0,040	0,09
2	0,000	0,06	0,036	0,01	-0,610	0,03	-0,017	0,23	-0,048	0,16
3	-0,001	0,08	0,025	0,01	0,541	0,06	-0,014	0,21	-0,058	0,28
4	-	-	0,048	0,01	-1,065	0,04	-0,021	0,19	-0,055	0,17
5	-	-	0,058	0,01	0,599	0,03	-0,013	0,16	-0,031	0,06
6	-	-	0,037	0,01	0,409	0,02	-0,020	0,16	-0,037	0,11
7a	0,000	0,05	0,001	0,00	-0,480	0,12	-0,011	0,18	0,055	0,35
8a	0,000	0,06	-0,003	0,00	-0,537	0,06	-0,011	0,17	-0,053	0,33
9	1,000	0,15	0,086	0,08	6,980	0,50	-0,013	0,12	-	-
10	0,617	0,27	0,056	0,10	-4,060	0,15	-0,006	0,12	-	-
11	0,603	0,29	0,042	0,11	-1,653	0,17	-0,007	0,09	-	-
12	0,194	0,06	0,050	0,04	-1,460	0,02	-0,001	0,00	-	-
13	0,117	0,03	0,050	0,04	0,380	0,02	-0,005	0,04	-	-

1–13 – numery posterunków, Q – natężenie przepływu i wydajność źródeł, h – głębokość do zwierciadła wód podziemnych, T – temperatura wody, SEC – przewodność elektrolityczna wody, pH – odczyn wody, DO – zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie, -- brak pomiarów danej cechy wody, b – współczynnik kierunkowy trendu, R^2 – współczynnik determinacji, **pogrubione** – trendy istotne statystycznie przy $\alpha = 0,05$

1–13 – numbers of measurement points, Q – river flow and spring discharge, h – depth to the ground water level, T – waters temperature, SEC – waters conductivity, pH – waters pH-level, DO – capacity of oxygen dissolved in water, - – lack of measurements, b – trend direction coefficient, R^2 – determination coefficient $k = 1$, **bolded values** – trends statistically significant when $\alpha = 0,05$

istotnym trendem malejącym SEC. Z faktów tych wynika, iż w ciągu dwóch lat badań dość systematycznie ulegała poprawie jakość wód w analizowanym wycinku zbiornika sandru grotnicko-luźmierskiego (mała mineralizacja ogólna wód).

W zbadanym dwuleciu 2004–2005 odnotowano dość wyraźną tendencję do lekkiego zakwaszania wód zlewni. Jedynie trendy **odczynu** wód aluwialnych (post. 12, 13) były statystycznie nieistotne, choć ich kierunek był także zbieżny z pozostałymi (tab. 11). Spośród wód podziemnych, najlepsze dopasowanie prostoliniowej funkcji trendu stwierdzono w wodach ujmowanych w studniach (post. 9, 10, 11). W seriach pomiarów odczynu wód powierzchniowych oraz źródłanych, poziom dopasowania był jeszcze lepszy.

W ogólności można stwierdzić, że obserwowane zmiany pH wód zlewni w 10–20 % można wyjaśnić upływem czasu. W skrajnym przypadku, stwierdzonym w wodach zbiorników przepływowych, odczyn wód malał w tempie 0,02 pH

miesięcznie. Powyższych faktów nie sposób nie skojarzyć z szeroko omawianym w literaturze wpływem „kwaśnych deszczy” oraz z zakwaszaniem wód w wyniku depozycji pyłów na obszarach miast i w ich bezpośrednim sąsiedztwie (Kulisz 1988; Kożuchowski 1998; Twarowski *et al.* 2005). Na podkreślenie zasługuje fakt, że zjawisko to jest szczególnie wyraźne w przypadku wód powierzchniowych (por. zał. 1L i 1M).

Ujemną i przeważnie istotną tendencję zmian odnotowano także w przypadku 8 serii pomiarów **zawartości tlenu rozpuszczonego** w wodzie (tab. 11). Wyjątek stanowiły wody wypływające ze źródła Rosanów, w których stwierdzono bardzo słaby, choć statystycznie istotny, wzrost zawartości tlenu (o 1 mg·dm⁻³ w ciągu 10 miesięcy). Mimo odmiennego, w przypadku obu nisz źródłkowych, kierunku zmian natlenienia, serie te charakteryzował względnie wysoki poziom dopasowania funkcji trendu ($R^2 \approx 0,35$). Zaobserwowana tendencja obniżania się zawartości tlenu w wo-

dach zlewni korespondowała z odnotowanym równocześnie spadkiem odpływu i wydatku źródlisk oraz z obserwowanym wzrostem temperatury ich wód.

Z przeprowadzonych analiz wynika, iż w ujęciu ogólnym w badanym okresie, wody zlewni stawały się, coraz bardziej kwaśne, a dodatkowo w zmniejszającej się objętości wód powierzchniowych malała zawartość tlenu rozpuszczonego. Równocześnie wody podziemne w ujęciach gospodarskich stawały się coraz cieplejsze, a zasoby drenowanych w zlewni poziomów wodonośnych dość wyraźnie malały.

TEMPO ZMIAN

Cennych informacji o dynamice zjawisk dostarcza analiza wskaźnika względnego tempa zmian (P_w). Miara ta oparta jest na sumie absolutnych przyrostów łańcuchowych (p_{jt}) i wskazuje, jaki procent średniej stanowią przeciętne zmiany wielkości danego zjawiska w kolejnych krokach czasowych.

$$p_{jt} = |y_t - y_{t+1}| \quad [1]$$

$$P_j = \frac{\sum_{t=1}^n p_{jt}}{n-1} \quad [2]$$

$$P_w = \frac{P_j}{\bar{y}} \cdot 100\% \quad [3]$$

gdzie:

p_{jt} – przyrosty (ubytki) w kolejnych krokach czasowych, increases and decreases in time steps;

y_t – wartość danej cechy wody w danym terminie, values of analysed water characteristic in given time period;

y_{t+1} – wartości danej cechy wody w terminie następnym, values of analysed water characteristic in next time period;

\bar{y} – średnia, average;

$n = 54$;

P_j – średnie tempo zmian, average rate of change;

P_w – względne tempo zmian, relative rate of change.

Natężenie przepływu zmieniało się w tempie od około 21 % do 37 % średniej. Najwyższe P_w przepływu dotyczyło Dzierżąznej na post. 2 (tab. 12). W porównaniu z Ciosenką, Dzierżązna wyka-

zała więc prawie dwukrotnie wyższy wskaźnik tempa zmian przepływu. W efekcie, w przekroju zamykającym zlewnię (Dzierżązna – Swoboda), wysokość wskaźnika P_w kształtowana była głównie przez wolne tempo zmian przepływu Ciosenki.

Zmiany **wydajności źródeł** Rosanów i Ciosny, w kolejnych terminach pomiarowych, były dużo niższe i sięgały tylko około 10 % ich średniej. Zbliżony wskaźnik względnego tempa zmian osiągnęły także **wahania zwierciadła wód podziemnych** na posterunkach w Swobodzie w dolinie Ciosenki (post. 9, 13). Względne tempo zmian położenia zwierciadła wód aluwialnych doliny Dzierżąznej było zbliżone do tempa zmian natężenia przepływu rzeczno- (post. 1–3 i 12). Warto zauważyć, iż wskaźniki P_w , tak jak i analizowane wcześniej współczynniki zmienności C_w , uzyskane dla badanych poziomów wodonośnych, malały wraz ze wzrostem przeciętnej głębokości do wody. Względne tempo wahań zwierciadła wody poziomów sandrowego i międzymorenowego było najniższe spośród wszystkich badanych charakterystyk i wynosiło około 1,5 % (post. 10, 11).

Ze wszystkich serii **temperatur**, najszybszym względnym tempem zmian charakteryzowały się szeregi wód powierzchniowych (tab. 12). Wskaźniki P_w temperatury były tu podobne do obliczonych w przypadku przepływu cieków. Względne tempo zmian temperatury wód źródeł oraz płytkich poziomów wodonośnych stanowiło zaś blisko 15 % ich średniej. Omawiany wskaźnik wyznaczony dla temperatury wód bijących w poszczególnych wypływach oraz uzyskany dla wód sandrowego i międzymorenowego poziomu wodonośnego przyjmował, analogicznie jak współczynnik zmienności, bardzo niskie wartości (post. 7b, 7c, 8b, 10, 11).

Spośród wszystkich wód zlewni, jedynie wody aluwialne doliny Dzierżąznej wykazały wysokie względne tempo zmian **przewodności elektrolitycznej** (tab. 12). Z pomiaru na pomiar, przeciętna zmiana przewodności tych wód wyniosła 124,5 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Na pozostałych posterunkach, względne tempo zmian SEC było powolne i przyjmowało wartości od 2,0 % do 7,1 % średniej.

Wskaźniki względnego tempa zmian **odczynu** wszystkich wód zlewni były bardzo niskie (tab. 12). Na uwagę zasługują wskaźniki P_w odczynu wód poziomów: sandrowego i międzymorenowego. W obu przypadkach, względna zmiana pH z pomiaru na pomiar nie przekraczała 3 % średniej. Była zatem najniższa we wszystkich seriach.

Biorąc pod uwagę uzyskane wartości P_w , serie **natlenienia wód** zlewni można podzielić na

Tabela 12

Wskaźniki względnego tempa zmian – P_w [%]
Coefficients of relative rate of changes – P_w [%]

	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	8a	8b	9	10	11	12	13
Q	23,7	36,9	21,0	-	-	-	8,4	-	-	12,2	-					
h												11,8	1,8	1,4	33,7	13,8
T	24,7	24,9	23,9	23,4	21,7	24,4	12,3	1,5	3,0	15,1	1,8	15,7	8,8	5,7	12,9	12,7
SEC	6,5	5,8	4,2	5,4	6,4	5,3	4,0	1,6	2,0	7,1	3,0	6,5	5,4	3,3	21,0	4,3
pH	3,4	3,1	3,2	4,2	3,6	3,8	3,4	4,5	3,5	4,1	3,9	3,5	2,3	2,8	4,8	3,4
DO	21,3	16,6	17,4	17,8	28,1	13,9	9,5	-	-	9,6	-	-	-	-	-	-

1–13 – numery posterunków, Q – natężenie przepływu i wydajność źródeł, h – głębokość do zwierciadła wód podziemnych, T – temperatura wody, SEC – przewodność wody, pH – odczyn wody, DO – zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie

1–13 – numbers of measurement points, Q – river flow and spring discharge, h – depth to the ground water level, T – waters temperature, SEC – waters conductivity, pH – waters pH level, DO – capacity of oxygen dissolved in water

trzy grupy. W pierwszej znajdują się wody źródeł Rosanów i Ciosny, w których względne tempo zmian zawartości tlenu było dwukrotnie wolniejsze niż w ciekach. Do drugiej grupy, należeć będą serie natlenienia wód Dzierżanej w Swobodzie i wód Glinianki. Względne tempo zmian ich natleniania było bowiem najwyższe ($> 20\%$). Co 2 tygodnie, zawartość tlenu zmieniała się tu przeciętnie o około $1,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Trzecią grupę tworzyły pozostałe wody powierzchniowe zlewni (post. 3, 4, 6). Zawartość tlenu rozpuszczonego w wodach Ciosenki i w zbiornikach przepływowych zmieniała się w tempie 14–18 %.

ANALIZA FUNKCJI AUTOKORELACYJNYCH

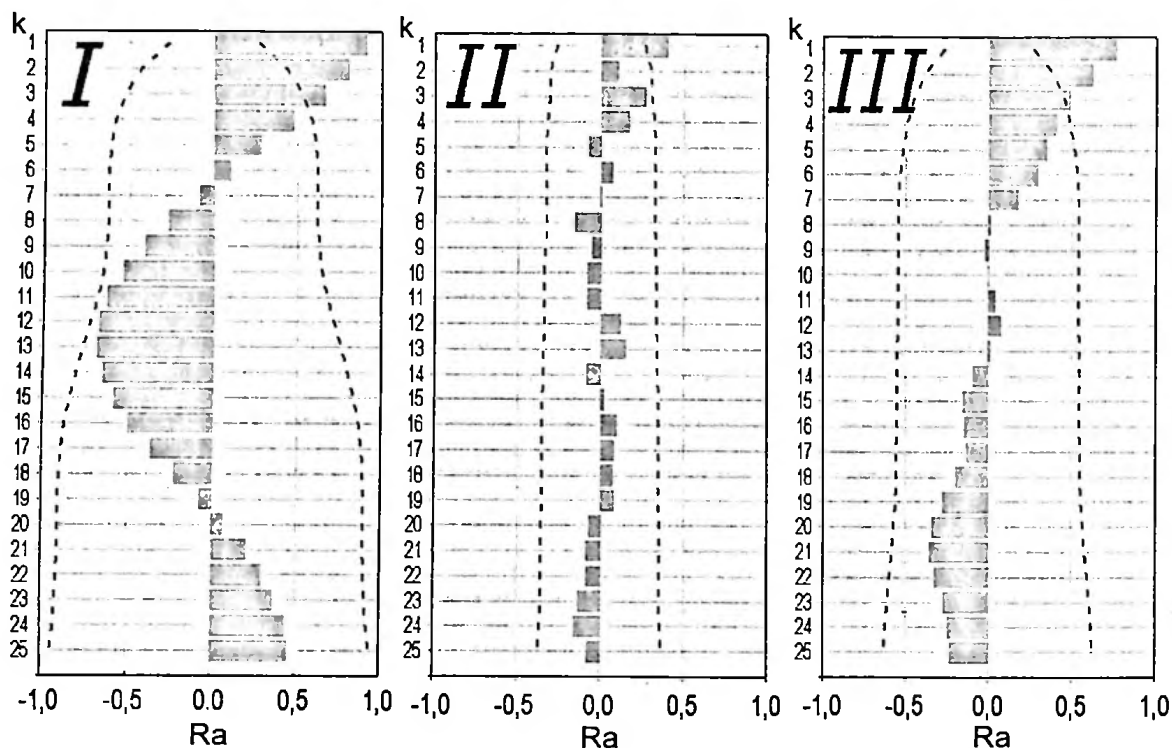
Zmiennością sezonową szeregu czasowego (sezonowością) nazywamy: „...zależność korelacyjną rzędu k między i -tym elementem szeregu a $i+k$ -tym elementem.” (StatSoft 2006 za Kendalllem 1975). Pomiar tej własności odbywa się najczęściej przy pomocy analizy autokorelacji. Ważnym narzędziem są tu wykresy funkcji autokorelacyjnej, tzw. autokorelogramy. W trakcie wizualnej analizy przebiegu funkcji autokorelacyjnej sezonowość ujawnia się jako cykl zmian współczynnika R_n , powtarzający się co k elementów. Zatem na drodze oglądu autokorelogramu można wnioskować o istnieniu lub braku sezonowości w szeregu, a także ocenić w przybliżeniu charakter i podstawowe cechy ewentualnego rytmu sezonowego. W zastosowanej procedurze oblicze-

niowej autokorelacji przyjęto następujące założenia: współczynnik autokorelacji (R_n) wyznaczono dla kolejnych przesunięć, aż do $k_{\max} = 25$, istotność współczynników zweryfikowano testem Boxa-Ljunga, przy poziomie ufności $\alpha = 0,05$.

Na podstawie kształtów autokorelogramów pogrupowano badane szeregi, wyróżniając trzy typy (rys. 23). Pierwszy (I), charakteryzował się sinusoidalnym biegiem funkcji autokorelacyjnej: od dodatniego maksimum R_{a1} , przez bliskie zeru współczynniki R_{a6} , R_{a7} , aż do minimum w okolicy R_{a12} lub R_{a13} (czasem nawet statystycznie istotnego). Dalej, funkcja autokorelacyjna znowu rosła do maksimum przy $k \approx 25$. Ciągi cechujące się takim kształtem funkcji autokorelacyjnej mają tendencję do formowania się mniej lub bardziej wyraźnego quasi-rocznego rytmu zmian (np. serie temperatury wód, tab. 13).

Drugi typ kształtu funkcji autokorelacyjnej (II), odznaczał się brakiem statystycznie istotnych współczynników autokorelacji w całym przedziale od $k = 1$ do $k = 25$ (rys. 23). Szeregi o takim kształcie funkcji autokorelacyjnej nie wykazują żadnych cech sezonowości (np. SEC na post. 5, 7a).

Ostatni z wyróżnionych typów kształtu funkcji autokorelacyjnej (III) wskazuje na istnienie w szeregu istotnej bezwładności, ale tylko dla przesunięć rzędu 2 miesięcy. Przy małych przesunięciach, współczynniki autokorelacji były więc dodatnie i statystycznie istotne. Później sukcesywnie malały, by przy $k \approx 7$ –11 zmienić znak na ujemny. Przy większych przesunięciach, znak współczynników R_n nie ulegał zwykle zmianie, aż do $k = 25$. Serie o tym typie kształtu funkcji autokorelacyjnej charakteryzowały się rytmem



Rys. 23. Przykłady wyróżnionych typów funkcji autokorelacyjnej

----- – poziom ufności; k – liczba opóźnień; R_a – współczynniki autokorelacji

Examples of types of autocorrelation function

----- – trust range; k – numbers of steps; R_a – autocorrelation coefficients

dłuższym niż jeden rok (> 50 tygodni) lub istotnym statystycznie trendem (np. SEC na post. 13, pH na post. 1, 10, DO na post. 8a).

Spośród 66 autokorelogramów, 37 cechowało się pierwszym typem kształtu funkcji, 16 – drugim, a 13 – trzecim (tab. 13). Rocznym rytmem zmian (typ I) charakteryzowały się wszystkie serie natężenia przepływu, wydajności źródeł oraz głębokości do zwierciadła wód podziemnych, a także prawie wszystkie serie **temperatury wody**. Brak sezonowości temperatury stwierdzono tylko w seriach reprezentujących poszczególne wypływy źródła Rosanów (post. 7b, 7c) – wody o quasi-stałej temperaturze. W rytmie rocznym, zmieniała się również zawartość jonów rozpuszczonych w wodzie, wyrażona przewodnością **elektrolityczną właściwą**. Dotyczyło to wód cieków i zbiorników przepływowych. Sinusoidalny przebieg funkcji autokorelacyjnej dotyczył także przewodności elektrolitycznej wód bijących w wypływie descenzyjnym niszy Rosanów oraz wód ujmowanych w studni Dąbrówka. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż serie przewodności i odczynu wód międzymorenowego poziomu wodonośnego miały taki sam kształt funkcji autokorelacyjnej, jak

serie wód powierzchniowych. Zmiany przewodności, temperatury i dynamiki zasobów zachodziły w nich w rytmie rocznym, zaś ich odczyn cechował się rytmem o okresie dłuższym niż 1 rok (typ III) (post. 1–4, 6, 10).

Spośród wód źródłanych, jedynie wody wypływu descenzyjnego w niszy Rosanów cechował roczny rytm zmian przewodności elektrolitycznej właściwej. Wody wypływu ascenzyjnych oraz wody wypływające z nisz źródłkowych nie wykazały sezonowego rytmu zmian SEC (typ II). Ten sam typ kształtu funkcji autokorelacyjnej charakteryzował również przewodność wód Glinianki oraz wód aluwialnych w piezometrze Dąbrówka. Natomiast wody podziemne na pozostałych posterunkach odznaczały się zmiennością przewodności o rytmie dłuższym niż rok (post. 9, 11, 13). W ogólności, przewodność elektrolityczna wód w zlewni równie często zmieniała się w rytmie rocznym (głównie wody powierzchniowe), jak i nie posiadała żadnego wyraźnego rytmu sezonowego (wody wypływające ze źródeł). Trzeci typ funkcji autokorelacyjnej wskazujący na istnienie okresów dłuższych niż 1 rok notowano rzadko i tylko w odniesieniu do wód podziemnych.

Tabela 13

Typy kształtu funkcji autokorelacyjnej
Types of shape of autocorrelation function

	Q h	T	SEC	pH	DO	I	II	III
1	I	I	I	III	II	3	1	1
2	I	I	I	III	I	4	-	1
3	I	I	I	III	II	3	1	1
4	-	I	I	III	I	3	-	1
5	-	I	II	III	II	1	2	1
6	-	I	I	III	II	2	1	1
7a	I	I	II	I	III	3	1	1
7b	-	II	I	II	-	1	2	-
7c	-	II	II	II	-	-	3	-
8a	I	I	II	I	III	3	1	1
8b	-	I	II	III	-	1	1	1
9	I	I	III	I	-	3	-	1
10	I	I	I	III	-	3	-	1
11	I	I	III	I	-	3	-	1
12	II	II	III	III	-	2	2	-
13	II	II	III	III	-	2	1	1
RAZEM	I	8	14	7	4	2	37	
	II	-	2	6	4	4		16
	III	-	-	3	8	2		13

I, II, III – typy kształtu funkcji autokorelacyjnej, - - brak pomiarów, Q – przepływ rzeczny, wydajność źródeł, h – głębokość do zwierciadła wód podziemnych, T – temperatura wody, SEC – przewodność elektrolityczna, pH – odczyn, DO – zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie

I, II, III – types of shape of autocorrelation function, - - lack of measurements, Q – river flow and spring discharge, h – depth to the ground water level, T – waters temperature, SEC – waters conductivity, pH – waters pH level, DO – capacity of oxygen dissolved in water

Wody podziemne i źródlane cechowała większa, niż wody powierzchniowe, różnorodność kształtu funkcji autokorelacyjnych uzyskanych dla odczynu (tab. 13). Roczny rytm zmian pH wykazały wody nisz źródłkowych oraz wody wierzchówkowe i sandrowe (post. 7a, 8a, 9, 11). Wody aluwialne, jak i bijące z wypływów w nisy Rosanów, cechował brak sezonowych zmian odczynu. Tylko w wodach ascenzyjnego wypływu w nisy Ciosny oraz ujmowanych w studni Dąbrówka stwierdzono dłuższy niż rok rytm zmian pH (post. 8b, 10). Podsumowując, łatwo dostrzec, że autokorelogramy uzyskane dla odczynu miały przeważnie kształt III (8 przypadków). Typ ten wskazuje na lekką tendencję do formowania się sezonowości zmian pH, ale jednocześnie podkreśla istnienie w zlewni wskazanej wcześniej, tendencji do quasi-ciągłej acydyfikacji wód, zwłaszcza powierzchniowych.

Zmiany zawartości tlenu w wodach powierzchniowych zlewni cechowały się przeważnie brakiem rytmu sezonowego. Jedynie wody Dzierżanej oraz wody wypływające ze stawów Malinka wykazywały roczny rytm zmian natlenienia (tab. 13, post. 2, 4). Natomiast zasilające Ciosenkę źródła w Rosanowie i w Ciosnach charakteryzowały się dłuższym niż rok rytmem zmian natlenienia (post. 7a, 8a). W przypadku szeregów DO, trudno doszukać się wyraźnych prawidłowości. Zawartość tlenu w wodach powierzchniowych zdaje się zmieniać „losowo” i warunki pogodowe oraz roczny rytm hydrologiczny nie oddziałują tu w istotny sposób.

Właściwości fizykochemiczne i cechy ilościowe wód powierzchniowych, wód odpływających ze źródeł oraz wód podziemnych badanych w studniach zmieniały się najczęściej w rytmie rocznym, rzadziej cechował je rytm dłuższy niż

rok (trend). Spośród wszystkich wód zlewni, tylko wody bijące z pojedynczych wypływów w źródli-sku Rosanów wykazały brak sezonowej zmienności niemal wszystkich właściwości fizykochemicznych. Taki sam kształt funkcji autokorelacyjnej, a zatem taki sam charakter zmienności, stwierdzono w odniesieniu do głębokości zwierciadła, temperatury (typ I) oraz odczynu (typ II) wód aluwialnych. Przewodność wód aluwialnych wykazała, w każdym z piezometrów, odmienny kształt funkcji autokorelacyjnej. Wody w piezometrze zainstalowanym w dolinie Ciosenki cechowały się, analogicznie jak wody sandrowe studni w Ciosnach, dłuższym niż rok rytmem zmian przewodności. Zaś wody aluwialne doliny Dzierżącej wykazały brak takiego rytmu (tab. 13).

INDEKS SEZONOWOŚCI I PORA KONCENTRACJI

Spośród statystycznych procedur służących do analizy sezonowości zjawisk przyrodniczych, do najciekawszych należą miary skonstruowane przez Markhama: indeks sezonowości (*IS*) i wskaźnik pory koncentracji (*PK*). Statystyki Markhama wymagają jednak by szereg czasowy spełniał kilka postulatów. Po pierwsze, podstawowym założeniem i wymogiem zastosowania omawianej procedury jest, by szereg odzwierciedlał roczny przebieg zmian zjawiska. Postulat ten jest speł-

niony, gdyż zebrane dane pomiarowe reprezentują dwa lata kalendarzowe. Kolejnym wymogiem jest, by zmienne miały charakter ilościowy. Oba wskaźniki były bowiem skonstruowane do analizy szeregów miesięcznych sum opadów (Kozuchowski, Wibig 1988; Dingman 2002). Dopiero później zaczęto je stosować do ciągów danych hydrologicznych, np. odpływu (Jokiel, Kozuchowski 1989; Tomaszewski 2001) i przepływów niżówkowych (Bartnik 2005). Ten postulat również zdaje się być spełniony, gdyż analizowane w niniejszej pracy właściwości wody wyrażają ilość: zasobów wodnych (*Q* i *h*) i substancji rozpuszczonych w wodzie (*SEC*, *pH*, *DO*). Także temperatura wody odzwierciedla ilość energii cieplnej zakumulowanej w wodzie. W tym miejscu, wart podkreślenia jest fakt, iż niniejsze opracowanie jest pionierskie, gdyż jako pierwsze wykorzystało wskaźniki Markhama w analizach sezonowości zmiennych opisujących fizykochemiczne właściwości wody.

Zebrane szeregi danych wymagały wstępnego przygotowania. W celu zachowania rocznego układu zmiennych, okres badawczy podzielono na dwa lata kalendarzowe: 2004 i 2005. W każdym roku wyznaczono średnie miesięczne danej cechy i przypisano je do 15. dnia danego miesiąca. W ten sposób uzyskano, dla każdego posterunku, po dwa 12-elementowe szeregi miesięcznych wartości danej zmiennej. Dalsze obliczenia prowadzono zatem osobno dla każdego roku.

Tabela 14

Numery dni w poszczególnych miesiącach roku kalendarzowego.

Numbers of days in months in calendar year

Mies.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
dni	1–31	32–59	60–89	90–120	121–151	152–181	182–212	213–243	244–273	274–304	305–334	335–365

Procedura obliczania indeksu sezonowości oparta jest na podstawach geometrii analitycznej. Każdej średniej miesięcznej wartości zmiennej przypisano wektor (\vec{r}_i) o długości do niej proporcjonalnej. Kąt nachylenia wektora uzależniony jest od położenia danego miesiąca względem początku roku. Indeks sezonowości jest procentowo wyrażony iloraz wartości bezwzględnej (modułu) długości wektora wypadkowego ($|\vec{R}|$) i sumy modułów długości wektorów cząstkowych ($\sum |\vec{r}_i|$). Wskaźnikiem pory koncentracji nazywamy zaś kąt nachylenia wektora wypadkowego,

wyrażony w dobach względem początku roku (Kozuchowski, Wibig 1988; Tomaszewski 2001; Dingman 2002; Bartnik 2005).

$$IS = \frac{|\vec{R}|}{\sum |\vec{r}_i|} \cdot 100\% \quad [4]$$

Niskie indeksy Markhama świadczą o bardzo małej skali zmian sezonowych w danym szeregu. Brak sezonowości wystąpi wówczas, gdy długości wszystkich wektorów są takie same ($IS = 0\%$). Warto jednak pamiętać, że wskaźnik bliski

zeru może również wystąpić wtedy, gdy zjawisko osiąga duże wartości w dwóch przeciwstawnych sobie terminach, np. w styczniu i w lipcu. Równocześnie, IS równe 100 % uzyskamy dla szeregu, w którym cała „masa” danego zjawiska skupi się w jednym miesiącu.

Na potrzeby niniejszego opracowania, dokonano waloryzacji wskaźnika sezonowości IS . Przyjęto, iż o braku sezonowości zjawiska świadczy indeks mniejszy od 5 %. Na tendencję do formownia się rytmu sezonowego wskazują wyniki z przedziału: $5\% < IS < 10\%$. Natomiast, lekko zaznaczony rytm zmian sezonowych (niewyraźna sezonowość) występuje wtedy, gdy indeks Markhama zawiera się między 10 % a 15 %. Umiarkowaną sezonowością cechują się szeregi o IS od 15 % do 25 %. O wyraźnym i bardzo wyraźnym rytmie sezonowym będzie zaś mowa wówczas, gdy indeksy osiągną wartości równe odpowiednio: 25 %–50 % i $IS > 50\%$.

Wskaźnik pory koncentracji (PK) wyrażany jest natomiast w dniach i wskazuje na termin koncentracji „masy” danego zjawiska. Jest to więc kierunek wektora wypadkowego, którego długość

jest, jak pamiętamy, estymatorem indeksu sezonowości. Dla ułatwienia analiz, w tabeli 14 zestawiono numery dni składających się na poszczególne miesiące.

Pierwszy rok badań charakteryzował się wyższym poziomem sezonowości **natężenia przepływu rzecznego i wydajności źródeł**, niż rok następny (tab. 15). W poszczególnych latach, w seriach wód płynących, różnica wyników IS sięgała 7 %. W obu latach okresu badawczego, zasobna w wodę Ciosenka wyróżniała się nieco innym, niż jej recypient (Dzierżanej), charakterem sezonowych zmian przepływu. Wskazanej, w poprzednich rozdziałach, małej zmienności natężenia przepływu Ciosenki, towarzyszył umiarkowanie niski poziom sezonowości (post. 3). Rzeka ta, z uwagi na bardzo dużą i stabilną alimentację podziemną, cechowała się o około 4 % mniejszym indeksem sezonowości niż Dzierżazna. Drenujące sandrowy poziom wodonośny i zasilające Ciosenkę, źródłiska w Rosanowie i Ciosnach charakteryzowały się zaś jedynie tendencją lub lekko zaznaczonym sezonowym rytmem zmian wydajności.

Tabela 15

Indeksy sezonowości i wskaźniki pory koncentracji przepływu oraz głębokości do zwierciadła wód podziemnych

Seasonality index and time concentration index of river flow, spring discharge and depth to the ground water level

		1	2	3	7a	8a	9	10	11	12	13
2004	IS	20,2	20,8	16,3	5,6	11,5	23,0	4,0	3,6	35,6	15,1
	PK	52	55	58	87	64	266	286	284	252	224
2005	IS	13,2	13,3	10,6	5,5	6,4	17,2	3,4	1,8	30,8	18,4
	PK	63	59	75	53	67	280	305	301	259	218

IS – indeks sezonowości [%], PK – wskaźnik pory koncentracji [dni], 1–13 – numery posterunków
 IS – seasonality index [%], PK – time concentration index [days], 1–13 – numbers of measurement points

Spośród serii **stanów wód podziemnych**, brak rytmu sezonowego wykazały szeregi głębokości do zwierciadła wód międzymorenowych i sandrowych (tab. 15, post. 10, 11). Indeks sezonowości nie przekraczał tutaj 4 %. Stosunkowo małą sezonowością zmian położenia zwierciadła wody cechował się też aluwialny poziom doliny Ciosenki (post. 13). Jest to kolejne potwierdzenie wcześniejszej tezy, iż dynamikę zasobów tego poziomu znacząco kształtuje kontakt hydrauliczny z wodami sandrowymi. Najwyraźniejszy, w omawianej grupie

posterunków, rytm zmian głębokości do zwierciadła wody stwierdzono w piezometrze Dąbrówka ($30\% < IS < 36\%$). Wahania zwierciadła wód wierzchówkowych cechowały się zaś umiarkowanie zarysowaną zmiennością sezonową (post. 9).

Koniec lutego i marzec to okres, w którym notowano największe natężenia przepływu rzecznego (roztopy). Był to również sezon największej wydajności monitorowanych źródeł. W 2004 r., koncentracja odpływu wód z nisz źródłiskowych wystąpiła z około miesięcznym opóźnieniem

w stosunku do maksymalnych przepływów rzek (tab. 15). Natomiast rok później, PK wydajności źródła Rosanów wyprzedziła o 20 dni termin koncentracji przepływu Ciosenki. Pory koncentracji: wydajności źródła Ciosny i przepływów rzecznych w trzech kontrolowanych przekrojach, były równocześnie bardzo zbliżone.

Wskaźniki pory koncentracji, serii pomiarów głębokości do zwierciadła wód podziemnych, są dobrymi estymatorami fazy niżówek wód podziemnych (tab. 15). Wektor wypadkowy zmian położenia zwierciadła wód wszystkich poziomów wodonośnych wskazywał na miesiące jesienne – okres o największej miąższości strefy aeracji. Najwcześniej, niżówki wystąpiły w poziomach wód aluwialnych i wierzchówkowych (sierpień i wrze-

sień). W październiku i na początku listopada najgłębiej opadło zwierciadło wody dwu pozostałych poziomów wodonośnych.

W poprzednich rozdziałach, wskazano na wyraźne podobieństwo przebiegu zmian temperatury wód, szczególnie powierzchniowych, do zmienności temperatury powietrza atmosferycznego. Dla weryfikacji tej tezy, jak również w celu identyfikacji poziomu odniesienia, serię średnich miesięcznych temperatur powietrza poddano również analizie Markhama (tab. 16). W każdym z kolejnych lat, poziom sezonowości warunków termicznych atmosfery był bardzo wysoki ($IS = 55\%$). Wektor pory koncentracji temperatury powietrza wskazywał na lipiec – miesiąc o najwyższych średnich temperaturach dobowych.

Tabela 16

Indeksy sezonowości i wskaźniki pory koncentracji temperatury powietrza i wody
Seasonality index and time concentration index of temperature of air and water

		T_{pow}	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	8a	8b	9	10	11	12	13
2004	IS	55	41,2	44,4	37,8	49,8	51,9	39,5	11,5	0,5	1,4	13,7	1,2	32,7	11,2	6,4	25,4	23,8
	PK	201	197	203	201	204	205	203	186	35	194	187	21	225	183	183	183	183
2005	IS	55	47,2	46,0	42,0	51,7	50,3	43,4	14,5	0,5	1,4	16,6	1,8	39,3	12,2	6,9	25,4	26,8
	PK	200	194	193	192	196	197	194	185	79	194	187	364	225	183	183	183	183

objaśnienia jak przy tab. 15
for explanation see tab. 15

Indeks IS dowiódł istnienia wyraźnego lub nawet bardzo wyraźnego sezonowego rytmu zmian temperatury wód powierzchniowych ($37,8\% \leq IS \leq 51,7\%$). Dla temperatury wód płynących, wskaźnik ten wykazywał przy tym węższy, niż w przypadku wód stojących, zakres zmienności. Poziom sezonowości temperatury wód Ciosenki był równocześnie o około 7 % (2004) i 4 % (2005) niższy od obliczonego dla jej recipienta.

Spośród serii temperatur wód stojących, na uwagę zasługuje szereg zestawiony dla zbiornika hodowlanego Rosanów (tab. 16, post. 6). Poziom sezonowości zmian temperatury wód tego stawu był bowiem najniższy w opisywanej grupie post-runków. Fakt ten należy wiązać z bezpośrednią alimentacją tego zbiornika chłodnymi wodami źródła Rosanów, charakteryzującymi się dodatkowo wysoką bezwładnością termiczną. Brak poziomej wymiany wód Glinianki oraz całkowity brak zacienienia powierzchni stawów Malinka

zaowocowały najwyższymi indeksami sezonowości temperatury wody (ok. 50–51 %). Poziom sezonowości był tu bliski zanotowanemu w przypadku powietrza atmosferycznego.

Brakiem sezonowych zmian temperatury charakteryzowały się zaś wody wypływów zlokalizowanych w obrębie źródeł (tab. 16). Wyznaczone tu indeksy były najniższe wśród wszystkich serii ($IS < 2\%$). W przypadku serii temperatury wód podziemnych sandru grotnicko-luźmierskiego (post.11), stwierdzono jedynie słabą tendencję do formowania się sezonowego rytmu zmian. Natomiast, przebieg zmian temperatury wód odpływających ze źródeł wykazywał małą sezonowość. Fakt ten stanowi dowód na modyfikację różnych cech fizykochemicznych wód źródeł zachodzącą, na krótkim odcinku – od miejsca wypływu do miejsca uformowania się strugi.

Analogicznie, jak w przypadku wód odpływających ze źródeł, małą sezonowością tempe-

ratury charakteryzowały się wody międzymorenowe – studnia Dąbrówka (ok. 11 %–12 %). Natomiast, zarejestrowane zmiany temperatury wód płytkich poziomów wodonośnych wykazały wyraźny rytm sezonowy. Należy przy tym podkreślić, iż wody wierzchówkowe, ujmowane w studni Swoboda, cechował poziom sezonowości zmian temperatury zbliżony do wód rzecznych. Różnice te są oczywistą konsekwencją naturalnej podatności różnych typów wód podziemnych na oddziaływanie warunków termiczno-wilgotnościowych atmosfery. Im większa miąższość strefy aeracji, tym większa bezwładność temperatury wód podziemnych. Uzyskane wyniki wykazały pełną zgodność z wnioskami przedstawionymi przez Jokiela i Tomalskiego (2007a). Autorzy dowiedli, iż wody sandru grotnicko-luśmierskiego oraz wody międzymorenowe znajdują się poza zasięgiem sezonowych wahań temperatury powietrza.

Największe zasoby energii cieplnej w wodach zlewni gromadziły się w lipcu (tab. 16). Jest ciekawe, że temperatura wód podziemnych bijących w wypływie descenzyjnym, w niszy Rosanów oraz w ascenzyjnym, w niszy Ciosny (post. 7b, 8b), charakteryzowały się porą koncentracji przypadającą na miesiące zimowe. Wobec bardzo niskich *IS*, świadczących o braku zmian sezonowych, uzyskane wskaźniki *PK* należy tu uznać jednak za przypadkowe i nieistotne z punktu widzenia genetycznego opisu zjawiska.

Ilość jonów rozpuszczonych w wodach zlewni Dzierżanej, wyrażona przewodnością elektrolityczną właściwą, charakteryzowała się znacznie niższym, niż szeregi temperatur, poziomem sezonowości. Indeksy sezonowości SEC wszystkich rodzajów wód zlewni zawierały się między 0,3 % a 13,1 %. Wskazywały zatem, w większości przypadków, na brak zmian sezonowych. Jedynie w kilku seriach stwierdzono niewielki udział wahań sezonowych w ogólnej zmienności (tab. 17).

Tabela 17

Indeksy sezonowości i wskaźniki pory koncentracji przewodności elektrolitycznej wody

Seasonality index and time concentration index of waters conductivity

		1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	8a	8b	9	10	11	12	13
2004	<i>IS</i>	6,8	8,2	5,8	10,4	0,6	9,3	0,6	0,3	1,3	1,7	0,4	6,8	1,6	5,2	3,5	3,6
	<i>PK</i>	364	16	11	356	324	13	13	263	51	19	113	271	183	183	183	365
2005	<i>IS</i>	6,1	7,6	4,3	13,1	3,5	6,6	0,5	0,7	0,4	1,8	2,1	8,3	7,5	4,9	9,7	3,8
	<i>PK</i>	6	20	349	43	290	358	322	226	118	291	170	278	183	183	183	183

objaśnienia jak przy tab. 15

for explanation see tab. 15

Wody Dzierżanej i jej głównego dopływu – Ciosenki, różniły się od siebie poziomem sezonowości przewodności elektrolitycznej właściwej. Przewodność wód Ciosenki wykazała o około 2,5 % niższy poziom sezonowości niż wody jej recipienta, wpływając tym samym na złagodzenie sezonowego przebiegu zmian omawianej cechy wody na posterunku w Swobodzie (tab. 17, post. 1–3). Należy podkreślić, iż odnotowane zmiany SEC wszystkich wód płynących wykazały jedynie tendencję do kształtowania się rytmu sezonowego.

Różne funkcje pełnione przez monitorowane zbiorniki wodne wyraźnie odbiły się na charakterze sezonowych zmian SEC ich wód (tab. 17, post. 4–6). Stawy, których wody poddawane były silnej antropopresji (kąpielisko i zbiornik hodowlany) cechowały się wyraźnie wyższym poziomem

sezonowości zmian przewodności wody (6,6 % < *IS* < 13,1 %), niż nieużytkowana Glinianka (*IS* < 4 %). Zbiornik ten swój brak rytmu sezonowego przewodności elektrolitycznej wody zawdzięcza względnie stabilnemu, zasilaniu wodami podziemnymi.

Przewodność elektrolityczna wód badanych źródeł, w całym okresie badawczym, nie wykazywała zmienności o charakterze sezonowym. W innych seriach przewodności wód podziemnych, wyznaczone indeksy sezonowości były także bardzo niskie (tab. 17). Warto zauważyć, że poziom aluwialny doliny Ciosenki cechował się (tak jak wody sandrowe) brakiem sezonowych zmian przewodności elektrolitycznej. W przypadku wód aluwialnych doliny Dzierżanej, w 2004 r., indeks sezonowości wskazał na brak tego rodzaju rytmu

zmian SEC. Natomiast w kolejnym roku pojawiła się niewielka sezonowość. Jest ciekawe, że indeksy Markhama, obliczone dla SEC wód podziemnych, były zwykle wyższe w 2005 niż w 2004 r.

Terminy koncentracji (*PK*) przewodności elektrolitycznej wód powierzchniowych wypadają najczęściej w miesiącach zimowych (grudzień, styczeń) (tab. 17). Wyniki te potwierdzają tezę o zimowo-jesiennym wzroście substancji rozpuszczonych w wodach cieków i zbiorników wodnych – niski poziom wegetacji i związane z nim małe zapotrzebowanie na substancje odżywcze (Kajak 1994; Dojlido 1995; Gierszewski 2000). Z uwagi na brak sezonowego rytmu zmian w szeregach przewodności wód podziemnych i źródeł, wyznaczone wskaźniki pory koncentracji nie były analizowane, gdyż są zapewne wartościami przypadkowymi.

Także odczyn wód zlewni Dzierżąskiej nie podlegał zmianom o charakterze sezonowym (tab. 18). Podwyższone nieco indeksy uzyskano jedynie dla ciągów z 2005 r., odnoszących się do wód wierzchówkowych (post. 9) oraz wód stawów przepływowych (post. 4, 6) – $4,4\% \leq IS \leq 5,0\%$.

Mimo braku sezonowego rytmu zmian odczynu, wskaźniki pory koncentracji uzyskane dla wód powierzchniowych i płytkich wód podziemnych cechowało zróżnicowanie wyników warte bliższej analizy (tab. 18). Wody te wykazywały bowiem koncentrację odczynu w miesiącach, w których ich temperatura przekraczała 18 °C dla rzek i stawów oraz 13 °C dla płytkich wód podziemnych (lipiec–sierpień). W tym okresie przepływ rzeczny był stosunkowo niski, a zwierciadło płytkich wód podziemnych znajdowało się głęboko. Co ważne, wymienione miesiące cechowały się także intensywnymi procesami biochemicznymi w wodach, związanymi z wegetacją. Wszystko to istotnie sprzyjało wzrostowi zawartości jonów zasadowych – alkalizacji wód.

Zmiany warunków tlenowych w wodach powierzchniowych zlewni, w pierwszym roku okresu badawczego, odznaczały się mniejszym poziomem sezonowości niż w roku następnym. Wody monitorowanych źródeł cechował brak sezonowego rytmu zmian natlenienia (tab. 19). Lekko zaznaczone zmiany sezonowe stwierdzono natomiast w szeregach DO wód Dzierżąskiej (post. 2) oraz wód stawów Malinka.

Tabela 18

Indeksy sezonowości i wskaźniki pory koncentracji odczynu wody
Seasonality index and time concentration index of waters pH level

		1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	8a	8b	9	10	11	12	13
2004	<i>IS</i>	3,8	3,1	2,5	3,2	2,2	4,7	1,1	1,7	1,1	1,2	1,6	2,4	0,2	0,3	0,7	1,2
	<i>PK</i>	143	150	134	127	193	180	193	97	112	177	117	225	183	365	183	183
2005	<i>IS</i>	3,4	3,1	2,6	4,4	2,8	5,0	1,9	1,6	1,2	2,1	2,2	4,5	0,1	0,9	0,9	1,7
	<i>PK</i>	215	198	203	255	240	215	187	312	209	207	236	243	183	183	365	183

objaśnienia jak przy tab. 15

for explanation see tab. 15

Tabela 19

Indeksy sezonowości i wskaźniki pory koncentracji zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie
Seasonality index and time concentration index of capacity of oxygen dissolved in water

		1	2	3	4	5	6	7a	8a
2004	<i>IS</i>	7,6	12,9	6,3	12,7	2,5	1,4	2,4	2,2
	<i>PK</i>	25	24	37	25	310	174	172	263
2005	<i>IS</i>	12,2	16,4	15,2	16,2	12,5	7,4	15,1	12,6
	<i>PK</i>	59	45	80	45	74	142	80	73

objaśnienia jak przy tab. 15

for explanation see tab. 15

Zmiany natlenienia na pozostałych posterunkach wód powierzchniowych, w kolejnych latach, znacząco różniły się poziomem sezonowości. W porównaniu z rokiem pierwszym, w 2005 r., sezonowość natlenienia była wyraźniej zaznaczona.

W przypadku większości posterunków, pora koncentracji zawartości tlenu w wodzie przypadła na miesiące zimowo-wiosenne, czyli na okres znacznego wychłodzenia wód i bardzo ograniczonej wegetacji (tab. 19). Odstępstwem od tej reguły są wskaźniki *PK* wyznaczone dla serii z posterunków 5, 6, 8a w pierwszym roku badań (tab. 19).

W celu usystematyzowania i zilustrowania wniosków płynących z analizy wskaźników Markhama skonstruowano diagramy średnich *IS* i *PK* obliczonych dla całego okresu badawczego (rys. 24). Spośród wszystkich wykonanych diagramów, do prezentacji wybrano te, które są najbardziej reprezentatywne dla danego rodzaju wód.

Serię pomiarów z posterunku na Dzierżąznej w Swobodzie (posterunek zmykający zlewnię) wytypowano jako reprezentującą wody płynące. Wody stojące reprezentuje seria pomiarów wykonanych w bezodpływowej Gliniance. Na podstawie średnich *IS* i *PK* uzyskanych dla serii źródłiska Rosanów zobrazowano charakter zmian sezonowych w wodach źródłanych. Z uwagi na różnice reżimu badanych poziomów wodonośnych, do analizy wytypowano dwa posterunki płytkich wód podziemnych: wierzchówkowy i aluwialny (doliny Dzierżąznej). Natomiast charakter sezonowości w odniesieniu do gruntowych wód podziemnych, prześledzono na podstawie wyników uzyskanych dla posterunku w Ciosnach – poziom sandrowy.

Średnie terminy pory koncentracji **natężenia przepływu rzecznego i wydajności źródeł** przypadają odpowiednio na luty i marzec (rys. 24). Położenie przeciętnego wskaźnika *PK* korespondowało zatem z okresem wezbrań roztopowych, choć poziom sezonowości na obu posterunkach był różny. Odpływ z nisz Rosanów i Ciosny wykazał jedynie bardzo słabą tendencję do kształtowania się rytmu sezonowego. Rzeki, cechowała natomiast umiarkowana zmienność sezonowa przepływu. Warto też dodać, że indeks sezonowości przepływu Dzierżąznej był niższy o około 5 % od swego odpowiednika wyznaczonego dla rzek Polski środkowej przez Bartnika i Tomaszewskiego (2006).

Przeciętna pora koncentracji obliczona dla serii **głębokości do wód podziemnych** przypadła na miesiące jesienne – niżówki wód podziemnych (rys. 24, post. 9, 11, 12). Wody płytkich poziomów wodonośnych charakteryzowały się przy tym

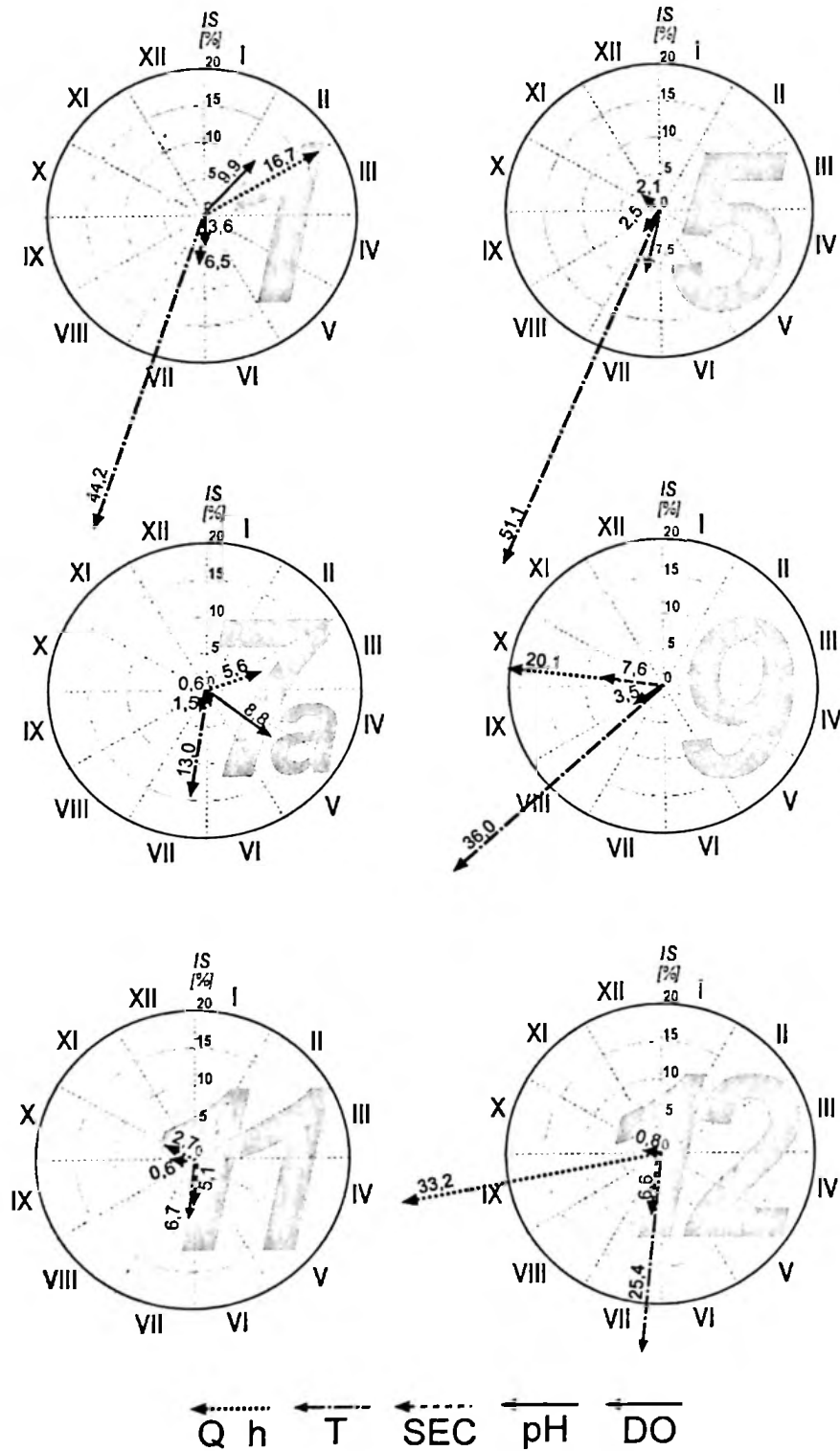
umiarkowanie lub wyraźnie zaznaczoną sezonowością zmian położenia zwierciadła. W świetle zastosowanych miar, nie stwierdzono rytmu sezonowego w serii reprezentującej horyzont wód sandrowych (post. 11).

Pory koncentracji **temperatury wód** powierzchniowych i płytkich wód podziemnych, były położone blisko siebie (lipiec–sierpień). Wody te cechowały się również bardzo wyraźnym sezonowym rytmem zmian temperatury ($25,4 \% \leq IS \leq 51,1 \%$). Temperaturę wód sandrowych, drenowanych zarówno w źródłiskach, jak i ujmowanych w studni Ciosny, charakteryzował zaś niski poziom sezonowości. Zauważmy jednak, że wody sandrowe źródłiska Rosanów były bardziej podatne na oddziaływanie ciepła atmosferycznego, niż te same wody badane w studni Ciosny.

Przewodność elektrolityczna właściwa wód zlewni nie wykazała, w badanym okresie, wyraźnej zmienności sezonowej ($0,6 \% \leq IS \leq 7,6 \%$). Lekko zaznaczoną tendencją do kształtowania się sezonowego rytmu zmian cechowały się jedynie serie pomiarów SEC wód rzecznych i płytkich wód podziemnych. W pozostałych typach wód powierzchniowych i podziemnych ilość jonów rozpuszczonych nie zmieniała się sezonowo (rys. 6.2). Z uwagi na to, analiza wskaźników pory koncentracji nie była możliwa ze względów formalnych.

Indeksy sezonowości wyznaczone dla badanych serii **odczynu wód zlewni**, były także bardzo niskie (rys. 24). Wskazywały więc na brak wyraźnych zmian o charakterze sezonowym. Wyznaczone terminy koncentracji stężeń jonów hydrodnych (odczynu) nie mogą być zatem analizowane i interpretowane, gdyż wyznaczone wektory są słabo uwarunkowane.

Zmiany zawartości tlenu w wodach powierzchniowych i źródłanych charakteryzują się słabą sezonowością ($7,5 \% \leq IS \leq 10,0 \%$) – rys. 24. Koncentracja poziomu natlenienia tych wód przypadła także w różnych terminach. W wodach rzecznych, termin *PK* korespondował z okresem wezbrań roztopowych i sezonem niskich temperatur wody (luty). Natomiast w wodach źródłisk, wskaźnik ten wskazał na wiosnę (przełom kwietnia i maja). Letni termin koncentracji tlenu w wodach stojących (lipiec) korespondował z okresem ich silnego nagrzania oraz intensywnego oddziaływania procesów biochemicznych związanych z wegetacją. Jednakże, *IS* obliczony dla serii zawartości tlenu w wodach Glinianki był tak niski, iż uzyskany wskaźnik *PK* należy interpretować bardzo ostrożnie.



Rys. 24. Przykłady wskaźników pory koncentracji i indeksu sezonowości

1, 5, 7a, 9, 11, 12 – numery posterunków; Q – natężenie przepływu, wydajność źródeł; h – głębokość do zwierciadła wód podziemnych; T – temperatura wody; SEC – przewodność; pH – odczyn; DO – zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie

Examples of the time concentration index and the seasonality index

1, 5, 7a, 9, 11, 12 – numbers of measurement points; Q – river's flow, spring's discharge; h – depth to ground water's level; T – water's temperature; SEC – conductivity; pH – pH-level; DO – amount of oxygen dissolved in water

WZGLĘDNA MIARA SEZONOWOŚCI

Z klimatologicznego punktu widzenia wyznaczenie sezonów – pór roku jest zadaniem stosunkowo prostym. Można je bowiem wyznaczać, w oparciu o przebieg średnich dobowych temperatur – otrzymujemy wówczas termiczne pory roku (Wiszniewski 1960; Pruchnicki 1987; Woś 1999). Gdy uwzględnimy kryteria agrometeorologiczne, czynnikami rządzącymi delimitacją sezonów (pór roku) będą m.in. warunki termiczne i wilgotnościowe okresu wegetacyjnego (Romer 1950; Bac, Rojek 1999; Tomaszewska, Rutkowski 1999). W obu przykładach, najważniejszym czynnikiem decydującym o delimitacji sezonów jest ilość energii słonecznej, wyrażana przez średnią dobową temperaturę powietrza atmosferycznego. Waga temperatury powietrza, jako głównego kryterium sezonowości, wynika nie tylko z faktu, iż energia cieplna steruje przebiegiem procesów życiowych świata biologicznego, ale wiąże się również z pośrednim oddziaływaniem temperatury na redystrybucję wilgoci w ramach bilansu wodnego, a zatem z jej wpływem na bieg szeregu procesów hydrologicznych.

Przeprowadzone wyżej analizy sezonowości zmian ilości zasobów i właściwości fizykochemicznych wód zlewni wskazały na istnienie różnego typu i zróżnicowanej siły powiązań między badanymi cechami wody a stanem termicznym atmosfery. Stało się to przesłanką do zbadania poziomu sezonowości metodą zaproponowaną przez Jokiela i Tomalskiego (2005). Autorzy tego rozwiązania przyjmują, iż noszący wyraźne cechy rozkładu sezonowego, przebieg zmian temperatury powietrza może stanowić wzorzec odniesienia dla innych szeregów. W celu ustalenia stopnia podobieństwa do tego wzorca, czyli poziomu sezonowości danej zmiennej przeprowadza się analizę siły i istotności (test t-Studenta) związku korelacyjnego między ciągiem temperatury powietrza i serią odpowiadającej mu cechy, której sezonowość badamy. Odrzucenie hipotezy zerowej testu świadczy o istnieniu w szeregu rytmu innego niż charakterystyczny dla temperatury powietrza lub o całkowitym braku rytmicznych zmian danej charakterystyki. Zdaniem autorów metody, współczynniki korelacji istotne na poziomie $\alpha = 0,01$ świadczą o dużej zbieżności (synchroniczności) zmian danej cechy wody ze zmianami temperatury powietrza, a co za tym idzie dowodzą istnienia sezonowości w danym szeregu. Istotność związku korelacyjnego potwierdzona na poziomie $\alpha = 0,05$

wskazuje zaś tylko na tendencję do formowania się tego rodzaju rytmu sezonowego. Dodajmy również, że ujemny współczynnik korelacji informuje o odwrotnie proporcjonalnym przebiegu zmian temperatury powietrza i danej właściwości wody. Natomiast znak dodatni, o powiązaniu wprost proporcjonalnym (tab. 20).

W świetle przeprowadzonych analiz, zmiany temperatury i odczynu wód powierzchniowych były mocno zsynchronizowane z przebiegiem temperatury powietrza. Wyraźnie zaznaczoną sezonowością charakteryzowała się również przewodność elektrolityczna tych wód, przy czym związek między warunkami termicznymi atmosfery i przewodnością wód powierzchniowych był odwrotnie proporcjonalny. Sezonowe wzrosty temperatury i alkalizacji wody współgrały też często z obniżaniem się zawartości jonów rozpuszczonych oraz ze spadkiem przepływu rzecznego (tab. 20). Jednocześnie, w wodach Dzierżącej i stawów Malinka (post. 2, 4), dochodziło do zmniejszania się zawartości tlenu rozpuszczonego. Powyższy układ warunków fizykochemicznych wód powierzchniowych był właściwy dla okresów letnich charakteryzujących się dużym udziałem w odpływie nisko zmineralizowanych wód podziemnych (niżówki letnie – faza reżimu własnego) oraz alkalizacją wód wynikającą z intensywnych procesów biochemicznych związanych z wegetacją i z obniżoną zdolnością do rozpuszczania gazów w ciepłych wodach powierzchniowych. W sezonach zimowych, kierunki powiązań ulegały odwróceniu. Identyczne wyniki uzyskano w toku badań przeprowadzonych dla cieków Gór Świętokrzyskich (Jóźwiak, Kozłowski 2001). W miesiącach od stycznia do marca, kwaśnemu odczynowi i niskim temperaturom wody potoków świętokrzyskich odpowiadała jej wysoka przewodność elektrolityczna.

Biorąc pod uwagę wyniki uzyskane przedstawioną wyżej metodą, można uznać, że w wodach powierzchniowych zlewni istniał bardzo wyraźnie, wręcz „klasycznie”, wykształcony sezonowy rytm większości właściwości fizykochemicznych i ilości zasobów. Jest przy tym ciekawe, że związek między poziomem natleniania wód zbiornika Rosanów i temperaturą powietrza był wprost proporcjonalny, a zatem odmienny od stwierdzonego w odniesieniu do innych wód powierzchniowych (tab. 20).

Znaki współczynników korelacji między temperaturą powietrza oraz temperaturą i odczynem wody, określone dla wód źródlisk (post. 7a, 8a), były w większości przypadków identyczne z uzyskanymi dla wód powierzchniowych (tab. 20).

Współczynniki korelacji temperatury powietrza z cechami hydrologicznymi i fizykochemicznymi wód
Correlation coefficients of temperature and hydrological and physiochemical characteristics of water

Nr post.	$r_{T_{pow}}$				
	$Q = f(T_{pow}) / h = f(T_{pow})$	$T = f(T_{pow})$	$SEC = f(T_{pow})$	$pH = f(T_{pow})$	$DO = f(T_{pow})$
1	-0,40	0,92	-0,75	0,64	-0,09
2	<u>-0,29</u>	0,90	-0,78	0,67	-0,40
3	<u>-0,32</u>	0,91	-0,72	0,65	-0,03
4	-	0,87	-0,71	0,38	-0,53
5	-	0,87	0,00	0,53	0,03
6	-	0,88	-0,78	0,77	<u>0,33</u>
7a	-0,24	0,91	-0,03	0,65	-0,02
7b	-	0,13	<u>0,30</u>	0,09	-
7c	-	0,53	-0,01	<u>0,34</u>	-
8a	<u>-0,33</u>	0,89	-0,10	0,64	-0,04
8b	-	-0,47	0,60	0,41	-
9	0,19	0,81	0,01	0,55	-
10	-0,11	0,67	0,23	<u>0,28</u>	-
11	0,01	0,59	0,42	0,36	-
12	<u>0,31</u>	<u>0,79</u>	<u>0,43</u>	<u>-0,05</u>	-
13	<u>0,62</u>	<u>0,83</u>	<u>-0,07</u>	<u>0,51</u>	-

1–13 – numery posterunków, Q – natężenie przepływu, wydajność źródeł, h – głębokość do zwierciadła wód podziemnych, T – temperatura wody, SEC – przewodność elektrolityczna właściwa wody, DO – zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie, $r_{T_{pow}}$ – współczynnik korelacji z temperaturą powietrza atmosferycznego, R^2 – współczynnik determinacji, **wyniki wytłuszczone** – istotne na poziomie $\alpha = 0,01$, wyniki podkreślone – istotne na poziomie $\alpha = 0,05$

1–13 – numbers of measurement points, Q – river flow and spring discharge, h – depth to the ground water level, T – waters temperature, SEC – waters conductivity, pH – waters pH-level, DO – capacity of oxygen dissolved in water, $r_{T_{pow}}$ – coefficient of correlation with air temperature, R^2 – determination coefficient, **bolded values** – statistically significant when $\alpha = 0,01$, underlined values – statistically significant when $\alpha = 0,05$

Oczywiście, siła tych związków, a tym samym poziom sezonowości były wyraźnie słabsze. Wyniki te zdają się potwierdzać wcześniejsze wnioski wskazujące na duże podobieństwo reżimów hydrochemicznych źródeł i rzek (Stolarska, Moniewski 2007). Wzrostowi temperatury powietrza towarzyszy w nich zwykle wzrost temperatury i alkalizacji wody.

Biorąc pod uwagę zmiany wydajności monitorowanych źródeł, tylko odpływ z niszy Ciosny cechował się tendencją do zmienności sezonowej. W półroczu chłodnym, przy niskich temperaturach powietrza i wody, wydajność źródła była stosunkowo wysoka. W półroczu ciepłym, odpływały zaś zwykle niewielkie ilości wód, ale za to wyraźnie cieplejszych.

Siła i kierunki współzmienności temperatury powietrza i właściwości fizykochemicznych wód bijących w poszczególnych wypływach (post.

7b, 7c, 8b) były zróżnicowane. Wody wypływu ascenzyjnego w niszy Ciosny charakteryzowały się sezonowym rytmem zmian trzech cech fizykochemicznych (tab. 20, post. 8b). Zadziwiająca była dość wysoka, ujemna korelacja temperatury powietrza i wody tego wypływu ($r_{T_{pow}} = -0,47$). Przy uwzględnieniu faktu, że amplituda zmian temperatury wody była tu bardzo niska (≈ 1 °C), a bezwładność szeregu wysoka, należy zwrócić uwagę na rozmieszczenie ekstremów w kolejnych latach. Najwyższe temperatury wód bijących w tym wypływie notowano w miesiącach zimowych, zaś najniższe latem. Prawie półroczne przesunięcie ekstremów temperatury, może wynikać z drenażu bardzo dużej zlewni podziemnej, o dość długim tempie wymiany wody i relatywnie głębokim systemie krążenia. Prowadzone wcześniej badania wskazują na przebiegającą ze wschodu na zachód suchą dolinę, która najprawdopodobniej zbiera

wody z dużego obszaru sandrowego zbiornika wodonośnego i tym samym zwiększa powierzchnię zlewni podziemnej źródłiska w Ciosnach (Jokiel 2002; Moniewski 2004). Tempo odnawiania zasobów wód zbiornika sandrowego wynosi nieco mniej niż rok, zaś tempo wymiany wód z zlewni podziemnej źródłiska Ciosny około 1,3 roku (Jokiel 2002). Ujemny związek korelacyjny wynika zatem z faktu, iż latem w wypływie biją stosunkowo chłodne wody pochodzące z infiltracji w okresie zimowym, a zimą wypływają „cieple” wody pochodzące z alimentacji letniej.

W świetle obliczonych współczynników korelacji, drugi z monitorowanych wypływów ascenzyjnych (post. 7c), cechował się dość wyraźnym rocznym rytmem zmian temperatury wody oraz lekko zaznaczoną tendencją do formowania się zmienności sezonowej odczynu. Natomiast dynamika większości cech fizykochemicznych wód bijących w wypływie descenzyjnym niszy Rosanów nie wykazała podobieństwa do zmian temperatury, a więc wahania te trudno uznać za sezonowe lub zbliżone do sezonowych (tab. 20, post. 7b).

Przeprowadzone analizy potwierdziły też, cytowane już wcześniej, wyniki badań innych autorów wskazujących na zależność temperatury wód podziemnych od głębokości ich występowania w zlewni Dzierżanej (Jokiel, Tomalski 2007). W świetle zastosowanej metody można uznać, że wszystkie poziomy wodonośne cechował sezonowy przebieg zmian temperatury wody (tab. 20). Najwyraźniejszy rytm stwierdzono w seriach płytkich wód podziemnych. Także wody poziomu sandrowego cechowały się wyraźną sezonowością zmian temperatury. Należy jednak zwrócić uwagę na charakterystyczny dla tych wód wąski zakres jej zmienności – amplituda 6,1 °C. Wody sandru grotnicko-luźmierskiego, ujmowane w studni Ciosny, charakteryzował również słabo zaznaczony, aczkolwiek istotny, sezonowy rytm zmian przewodności elektrolitycznej oraz odczynu (tab. 20, post. 11). Zatem wraz z ogrzewaniem się tych wód wzrastała zawartość jonów rozpuszczonych oraz podnosił się poziom ich alkalizacji. Podobne zjawisko, nawet wyraźniej zaznaczone, dotyczy wód sandrowych drenowanych przez źródłisko w Ciosnach (post. 8a, 8b), przy czym związek między SEC i temperaturą powietrza jest nieistotny w przypadku wód wypływających z niszy źródłiskowej (post. 8a).

Prezentowane wyniki wskazują, że wody poziomu sandrowego, w miarę wzrostu przewodności elektrolitycznej, zyskują bardziej zasadowy odczyn. Z załączonych wykresów (zał. 1) wynika również, iż opisana powyżej prawidłowość doty-

czy głównie okresu letniego, czyli miesięcy, w których alimentacja głębokich poziomów wodonośnych nisko zmineralizowanymi i stosunkowo kwaśnymi wodami opadowymi jest bardzo słaba.

Wody międzymorenowego poziomu wodonośnego, poza wyraźnym sezonowym rytmem zmian temperatury, charakteryzowały się słabą tendencją do kształtowania się podobnej cykliczności w odniesieniu do odczynu. Należy też podkreślić, iż wahania poziomów wodonośnych wód gruntowych (post. 10, 11) nie wykazywały istotnej korelacji z temperaturą powietrza. Natomiast, wody aluwialne dolin Dzierżanej i Ciosenki, cechowały się mniej lub bardziej wyraźnie zaznaczonym sezonowym rytmem zmian położenia zwierciadła. Wraz ze wzrostem temperatury, notowano obniżanie zwierciadła obu poziomów wodonośnych. Wody podziemne ujmowane w obu piezometrach różniły się jednak od siebie charakterem zmienności SEC i pH (tab. 20, post. 12, 13).

W ogólności warto podkreślić, że wody aluwialne doliny Ciosenki, zapewne z uwagi na kontakt hydrauliczny z poziomem sandrowym, cechowały się wzrostem alkalizacji w miarę przyrostu temperatury powietrza i głębokości do zwierciadła. W przypadku wód aluwialnych doliny Dzierżanej, sezonowo zmieniała się tylko ich temperatura oraz przewodność elektrolityczna.

WAHANIA SEZONOWE W KONTEKŚCIE OBOWIĄZUJĄCYCH NORM JAKOŚCI WODY

Kolejnym i ostatnim etapem analiz była konfrontacja uzyskanych wyników z obowiązującymi normami jakości wody (wg Rozp. Min. Ochr. Środ. 2004). W tym celu wykorzystano zamieszczone w załączniku 1 (A–S) wykresy zmienności czasowej wszystkich zbadanych właściwości wód. Diagramy te wzbogacono o normatywne przedziały klas jakości wody oraz wprowadzono granice, proponowanych w poprzednim rozdziale, zakresów przedziałów częstości.

Zmiany natężenia przepływu w korytach Dzierżanej i Ciosenki miały charakter wyraźnie sezonowy (zał. 1A). Oba ciekły wykazały też bardzo podobny przebieg wahań przepływu. W ciągu badanego dwulecia wystąpiły: dwa okresy wysokich przepływów związanych z roztopami zimowo-wiosennymi (wezbrania roztopowe), dwa okresy niżówek letnio-jesiennych oraz faza letnich wezbrań deszczowych (2005 r.). Zgodnie z klasyfikacją Dynowskiej (1972) ciekły zlewni po-

siadały reżim umiarkowany z wezbraniem wiosennym i letnim oraz gruntowo-deszczowo-śnieżnym zasilaniem (II–2). Przepływy wyższe od przeciętnej notowano w okresach zimowo-wiosennych. Z wyjątkiem krótkich faz jesiennego wzrostu ilości wód płynących w ciekach, w pozostałej części roku, natężenie przepływu Dzierżanej i Ciosenki było zwykle niższe od średniej.

W porównaniu z przepływem rzeczonym, **wydajność źródeł** była bardziej wyrównana. Okresy, w których wydatek nisz był większy od średniej były krótsze niż sezony wezbrań rzecznych (por. zał. 1A, B). Jednocześnie, zmiany wydajności źródła Ciosny były mniej dynamiczne, niż zmiany wydajności niszy Rosanów. Z porównania terminów ekstremów przepływów rzecznych i wydajności źródeł wynika, iż wiosenne (roztopowe) maksima przepływów występowały o półtora do dwóch miesięcy wcześniej, niż najwyższe wydajności źródeł Rosanów i Ciosny (zał. 1A, B). Letnie, deszczowe wezbranie rzek z 2005 r. nie miało natomiast swojego odpowiednika we wzroście wydajności źródeł. Warto jednak podkreślić, że okresy najniższych przepływów występowały równoległe z fazami najniższych wydatków nisz źródłiskowych (okresy letnio-jesienne).

Zmiany **głębokości do zwierciadła wód podziemnych** poszczególnych poziomów wodonośnych korespondowały z wahaniami wydajności źródeł i przepływu rzeczego. Wraz ze wzrostem inercji i zasobności poziomu wodonośnego dynamika zmian położenia zwierciadła wody była coraz mniejsza (zał. 1C). Należy zwrócić uwagę, iż w przypadku płytkich poziomów wodonośnych wielkość odchylenia od średniej, zarówno w okresach płytkiego, jak i głębokiego położenia zwierciadła, była bardzo podobna. Wody te szybko i wyraźnie reagowały na alimentację lub jej brak. Natomiast poziomy: sandrowy oraz międzymorenowy cechowały się większymi odchyleniami od średniej, w okresach wezbrań niż w sezonach niżówek. Świadczy to o szybkiej reakcji tych zbiorników na zasilanie, ale wskazuje jednocześnie, że szczytowanie ich zasobów było stosunkowo wolne. Wniosek ten jest zgodny z omówionymi wcześniej wynikami analiz wskaźnika względnego tempa wzrostu i spadku zasobności poziomów wodonośnych.

Najmniejsze głębokości do zwierciadła wód poziomów sandrowego i międzymorenowego notowano na przełomie marca i kwietnia, a sporadycznie w maju. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż czas trwania okresów o płytkim położeniu zwierciadła, w przypadku wód wierzchówkowych i aluwialnych był dłuższy, niż w przypadku głęb-

szych poziomów wodonośnych. Obie grupy wód podziemnych zachowywały się zupełnie inaczej w okresach niżówkowych. Niżówki wód sandrowych i międzymorenowych trwały zdecydowanie dłużej niż zanotowane np. w wodach ujmowanych w studni Swoboda.

Z wyjątkiem serii uzyskanych dla pojedynczych wypływów w źródłiskach (post. 7b, 7c, 8b), wszystkie szeregi **temperatur** cechowały się bardzo wyraźną sezonowością. Krzywe zmian temperatury miały przebieg zbliżony do sinusoidalnego (zał. 1D–G). Zebrane wyniki potwierdzają tezę Lamperta i Sommera (2001), iż przebieg zmian temperatur wód w różnych obiektach hydrograficznych, w strefie klimatu umiarkowanego, ma kształt zbliżony do sinusoidalnego i wysoce koreluje ze zmianami temperatur powietrza atmosferycznego.

Wody płynące w korytach badanych rzek, z punktu widzenia temperatury, mieściły się w przedziale I klasy jakości (tab. 21). Tylko w końcu 2005 roku, zanotowano w Dzierżanej (post. 2) wody nieco cieplejsze (II klasa jakości).

W wodach stawów Malinka i Glinianka, przekroczenie górnej granicy temperatur dla I klasy odnotowano pięciokrotnie (zał. 1E). Równocześnie, tylko raz w ciągu całego okresu badań, wody zbiornika Rosanów osiągnęły temperaturę wskazującą na II klasę jakości (post. 5). Natomiast w wodach stawów Malinka jeden raz odnotowano temperaturę wyższą od 24 °C – III klasa jakości (Rozp. Min. Ochr. Środ. 2004).

Wody powierzchniowe wykazały zmienność temperatury w obrębie wszystkich, czterech klas termicznych (wody zimne, chłodne, zwykle i ciepłe, zał. 1D, E). Wychłodzenie do poziomu wód zimnych, któremu towarzyszyły zjawiska lodowe, korespondowało z bardzo niskimi temperaturami powietrza atmosferycznego w grudniu, styczniu i lutym (por. rys. 8, zał. 1D, E). Od maja do października, wody powierzchniowe nagrzewały się do poziomu wód zwykłych i ciepłych (maksimum w lipcu). W pozostałych miesiącach (wiosna, jesień) wody cieków i zbiorników wodnych przyjmowały temperatury z przedziału wód chłodnych.

W ciągu połowy okresu badawczego, temperatura wód źródeł Rosanów i Ciosny, pozwala zaklasyfikować je do wód bardzo dobrej jakości (wg norm jakości wód podziemnych, Rozp. Min. Ochr. Środ. 2004). Obniżenie tej jakości do poziomu II i III klasy (ok. 45 % pomiarów) miało miejsce w okresach od marca do października. Wówczas, wody źródeł zaliczały się do klasy wód ciepłych ($T > 14$ °C). W pozostałej części dwulecia 2004–2005, wody te cechowały się

Tabela 21

Częstości (w procentach) występowania wód I klasy jakości
(wg Rozp. Min. Ochr. Środ. 11.02.2004 r.)

Frequency of days with I class of water quality;
(acc. to law disposals of Min. Ochr. Środ. 11.02.2004)

	1	2	3	4	5	6	7a	7b	7c	8a	8b	9	10	11	12	13
T	100	98	100	91	91	98	44	100	100	48	100	56	59	57	61	57
SEC	100	100	100	56	80	100	22	35	100	89	100	0	0	0	17	2
pH	85	91	93	89	93	74	91	78	91	94	91	87	80	94	67	85
DO	63	48	61	72	30	88	59	-	-	63	-	-	-	-	-	-

1–13 – numery posterunków, T – temperatura wody, SEC – przewodność elektrolityczna wody, pH – odczyn wody, DO – zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie

1–13 – numbers of measurement points, Q – river flow and spring discharge, h – depth to the ground water level. T – waters temperature, SEC – waters conductivity, pH – waters pH-level, DO – capacity of oxygen dissolved in water

temperaturą z zakresu chłodnych i zwykłych (zał. 1F). Natomiast temperatura wód bijących w wypływach w obrębie obu źródeł, kwalifikowała je do wód bardzo dobrej jakości (I klasa) (tab. 21). Zmieniały one swoją temperaturę w bardzo wąskim przedziale i nie przekraczały zakresu temperatur wód chłodnych i zwykłych.

Spośród wszystkich rodzajów wód, najczęstsze przekroczenia górnej granicy temperatur I klasy jakości, notowano w wodach podziemnych – studnie i piezometry (tab. 21). Największą liczbę przekroczeń temperatur górnego ograniczenia II klasy odnotowano w wodach płytkich poziomów wodonośnych. Wody należące do III klasy jakości, pod względem temperatury, odnotowano tutaj w około 25 %–33 % długości okresu badawczego (post. 9, 12, 13). Najcieplejsze wody aluwialne i wierzchówkowe notowano w sierpniu, a zatem z około miesięcznym opóźnieniem w stosunku do maksimum temperatury wód rzecznych. W okresie letnim, temperatura tych wód pozwalała zaliczyć je do zwykłych i ciepłych (zał. 1G). Największe obniżenie ich temperatury stwierdzono w miesiącach zimowych: styczeń, luty, marzec. W tym czasie, płytkie wody podziemne osiągały temperaturę poniżej 3 °C (wody zimne).

Wody ujmowane w studniach Dąbrówka i Ciosny, we wrześniu i październiku, miały temperaturę odpowiadającą III klasie jakości. Przez jedną trzecią badanego okresu, wody tych poziomów cechowały się zaś temperaturą z przedziału II klasy jakości. W stosunku do płytkich poziomów wodonośnych, maksima temperatury wód sandrowych i międzymorenowych zanotowano we wrze-

śniu, a zatem były opóźnione o około jeden miesiąc. Natomiast wszystkie wody podziemne wykazały zbieżność terminów minimów temperatur (zał. 1G). Zmiany temperatury wód sandrowego i międzymorenowego poziomu wodonośnego odbywały się w zakresie wód chłodnych i zwykłych.

Także zmiany przewodności wód rzecznych i zbiorników przepływowych cechowały się przebiegiem zbliżonym do sinusoidalnego, ale o odwrotnym niż temperatura układzie ekstremów (zał. 1H, I). Przewodność elektrolityczna wymienionych wód zmieniała się synchronicznie z przebiegiem zmian natężenia przepływu i asynchronicznie do zmian temperatury. Wzrostowi przewodności towarzyszył zatem wzrost przepływu rzeczno oraz spadek temperatury wody. Przy spadku przepływu notowano zaś spadek SEC i wzrost temperatury (zał. 1A, D, E, H). Prawidłowość, polegająca na wzroście przewodności wód rzecznych i wód w stawach przepływowych powodowanym przez wiosenne roztopy, w literaturze nosi nazwę *flushing effect* (Gierszewski 2000). Zjawisko to zauważyli również i opisali, m.in. Kostrzewski *et al.* (1993), Mazurek (2000); Bajkiewicz-Grabowska (2002), Rosa i Woroniecki (2005), Żelazny *et al.* (2005). Natomiast efekt letniego obniżenia przewodności wód powierzchniowych wywołany jest przez fotosyntezę oraz wysoki zwykle udział nisko zmineralizowanych wód podziemnych w odpływie rzeczno (Jokiel, Tomalski 2005).

W całym dwuleciu, przewodność elektrolityczna właściwa wód rzecznych i zbiornika prze-

plywowego na Ciosence wskazywała na I klasę jakości. Przewodność wód Glinianki sporadycznie i w niewielkim stopniu przekraczała dolną granicę normy dla wód II klasy. Natomiast, przez 44 % okresu badawczego, w półroczu chłodnym, przewodność elektrolityczna wód stawów Malinka osiągała poziom II klasy jakości (tab. 21). W odniesieniu do wyznaczonych wcześniej przedziałów przewodności elektrolitycznej, tylko wody zbiorników Malinka uznać należy za lekko zanieczyszczone (post. 4). Pozostałe wody powierzchniowe zlewni cechowały się dobrą i bardzo dobrą jakością (zał. 1H, I).

Przewodność elektrolityczna wód źródła Ciosny oraz monitorowanego w nim wypływu, pozwalała zaliczyć je również do I klasy jakości. Jedynie w sześciu terminach pomiarowych, w wodach odpływających z tej niszy stwierdzono przewodność na poziomie II klasy (tab. 21; zał. 1J). Nieco gorszą jakością cechowały się wody źródła Rosanów. Czynnikiem kształtującym niższą jakość wód tego źródła, był między innymi dopływ zanieczyszczeń z pobliskich terenów zabudowanych (Stolarska, Moniewski 2007). W 78 % okresu badawczego, wody tej niszy, pod względem przewodności, kwalifikowały się do wód dobrej jakości – II klasa (post. 7a). Wypływ descenzyjny, jedynie w ciągu jednej trzeciej okresu badań wyprowadzał wodę o przewodności wskazującej na I klasę jakości (post. 7b). W całym dwuleciu, jedynie SEC wód wypływu ascenzyjnego była na poziomie I klasy – woda bardzo dobrej jakości.

Spośród wszystkich poziomów wodonośnych, I klasa jakości pod względem SEC notowana była najczęściej w wodach aluwialnych doliny Dzierżanej (tab. 21, post. 12). Pozostałe poziomy wodonośne cechowały się przewodnością na poziomie II klasy jakości (zał. 1K). Jest to wynikiem zarówno naturalnej, podwyższonej, mineralizacji wód podziemnych, jak i skutkiem zanieczyszczenia w wyniku „efektu podwórka”. Dotyczy to szczególnie wód wierzchówkowych i międzymorenowych, gdzie notowane maksima przewodności przekraczały $1100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Wody tych poziomów charakteryzowały się także czytelnym rytmem zmian przewodności elektrolitycznej (zał. 1K, post. 10, 11). Wyższej przewodności towarzyszyła mała miąższość strefy aeracji (wysoki poziom zwierciadła). W efekcie, wraz z infiltracją wód roztopowych i opadowych do poziomu wodonośnego migrowały zanieczyszczenia powierzchniowe z podwórka oraz z okolicznych dołów chłonnych. Powodowało to szybki wzrost SEC wody podziemnej w studniach. Wody sandrowe

studni Ciosny w okresach podwyższonej przewodności były lekko zanieczyszczone, a wody międzymorenowe (Dąbrówka) – zanieczyszczone i bardzo złej jakości. W pozostałej części okresu badawczego, SEC wód sandrowych w Ciosnach kwalifikował je do wód o dobrej jakości. Ta sama przewodność w przypadku wód międzymorenowych, przez resztę okresu badawczego, pozwoliła zaliczyć je do lekko zanieczyszczonych (zał. 1K).

Odmiernym od powyższego przebiegiem zmian przewodności cechowały się płytkie poziomy wodonośne. Na posterunkach 9 i 12, małym głębokościom do zwierciadła wody towarzyszyła zwykle niska przewodność, zaś przy dużej miąższości strefy aeracji, SEC była wysoka (nawet $999 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) – zał. 1K. Zaobserwowane prawidłowości świadczą o zmniejszaniu się mineralizacji ogólnej wód wierzchówkowych i aluwialnych doliny Dzierżanej w wyniku napływu nisko zmineralizowanych wód roztopowych i opadowych. W tym okresie, wody na posterunkach 9 i 12 zaliczyć trzeba do wód o bardzo dobrej i dobrej jakości. Natomiast w okresach obniżonego zwierciadła wody przewodność wzrastała i w otworach pojawiały się wody złej i bardzo złej jakości.

Zmiany przewodności elektrolitycznej wód aluwialnych doliny Ciosenki wykazały najbardziej wyrównany przebieg ze wszystkich wód podziemnych (zał. 1K, post. 13). Z wyjątkiem dwóch pomiarów SEC, wskazujących na lekkie zanieczyszczenie, wody tego poziomu wodonośnego cechowały się dobrą jakością. Niska SEC wód aluwialnych doliny Ciosenki była wypadkową infiltracji słabo zmineralizowanych wód atmosferycznych i kontaktu hydraulicznego z wodami sandrowymi.

Pod względem odczynu, przez większą część okresu badawczego, wody powierzchniowe zlewni cechowały się I klasą jakości (tab. 21). Wody o odczynie na poziomie III klasy pojawiały się najczęściej w zbiornikach przepływowym (Malinka, staw Rosanów). Obniżenie jakości było tutaj spowodowane głównie wysokim stopniem alkaliczacji tych wód ($\text{pH} > 8,5$). Przekroczenia przedziału I klasy jakości, w przypadku wód rzecznych i Glinianki, wiązały się zaś przeważnie z ich zakwaszeniem ($\text{pH} < 6,5$) i były notowane w miesiącach zimowych.

Zmiany odczynu wód powierzchniowych korespondowały ze zmianami natężenia przepływu, temperatury i przewodności elektrolitycznej (zał. 1L, M). W okresach wezbrań roztopowych, notowano odczyn od obojętnego do słabo kwaśnego, przy stosunkowo niskich temperaturach i wysokiej przewodności elektrolitycznej wody. Zaobserwowana zmiana odczynu wody w czasie

wezbrań jest zgodna z wnioskami opublikowanymi w literaturze. Wody roztopowe zawierają dużą ilość kwaśnych związków rozpuszczonych, których pochodzenie jest zarówno atmosferyczne i wiąże się z suchą depozycją kwaśnych związków na pokrywie śnieżnej oraz mokrą depozycją pochodzącą z opadów śniegu lub deszczu. Zdaniem Dojlido (1995) odczyn deszczu czystego wynosi 5,65 pH. Pochodzenie kwaśnych związków może być również litologiczne i wiązać się z wypłukiwaniem kwasów humusowych (Janiec 1984; Somorowski 1998; Gierszewski 2000; Mazurek 2000; Jóźwiak, Kozłowski 2001; Żelazny *et al.* 2005).

Alkaliczając wód rzecznych zanotowano w okresach obniżonego natężenia przepływu, wysokich temperatur i niskiej przewodności wody (zał. 1L). Z licznych przykładów z literatury wiadomo jednak, iż vegetacja roślin wywołuje zubożenie wody w związki rozpuszczone (Kajak 1994; Dojlido 1995; Gierszewski 2000; Bajkiewicz-Grabowska 2002; Brańka 2005). Jednocześnie, zbiorniki wodne, w których vegetacja zachodzi bardzo intensywnie, przyczyniają się nie tylko do obniżania przewodności wody cieków, ale również na drodze tak zwanego biologicznego odwapniania wody oraz asymilacji azotu, determinują odczyn zasadowy (Kajak 1994; Gierszewski 2000).

Odczyn wód źródeł i pojedynczych wypływów, w prawie całym okresie badawczym, pozwalał je zaliczyć do I klasy jakości wód podziemnych (tab. 21). Jedynie pH wód wypływu descenzyjnego w niszy Rosanów, przez około 20 % okresu badawczego, wskazywało na IV klasę jakości. Zadecydowały o tym częste spadki odczynu do poziomu wód słabo kwaśnych. Wody źródeł i wypływów charakteryzowały się synchronicznym przebiegiem zmian pH (zał. 1N). Jedynie w okresie roztopów w 2005 r., słabo kwaśny odczyn wód odpływających z nisz wskazywał na IV klasę jakości.

Odczyn wód podziemnych na post. 9–13, podobnie jak odczyn wód źródłanych, przez większą część okresu, wskazywały na I klasę jakości (tab. 21). Najczęstsze obniżenia jakości wód dotyczyły poziomów: aluwialnego doliny Dzierżanej oraz międzymorenowego. Wymienione poziomy wodonośne zawierały często wody zakwaszone (IV klasa) – zał. 1O. Najbardziej wyrównany przebieg zmian odczynu wykazały wody międzymorenowe – studnia Dąbrówka (post. 10). W ciągu prawie całego okresu badawczego posiadały one odczyn obojętny. Jedynie wiosną 2005 r., duża alimentacja roztopowa przyczyniła się do

jego zmiany w kierunku pH kwaśnego i tym samym do obniżenia jakości wody.

Interesujące jest względne podobieństwo przebiegu zmian odczynu wód poziomu sandrowego i wierzchówkowego (zał. 1O, post. 9, 11). Podobnie jak w wodach powierzchniowych, zmiany te wyraźnie korespondowały z dynamiką temperatury wody i ze zmiennością jej zasobów. Względna alkaliczając, notowano w okresach silnego nagrzania tych wód podziemnych oraz głębokiego położenia ich zwierciadła. Kwaśny odczyn wód współwystępował z wiosennym wzniosem zwierciadła oraz temperaturą na poziomie wód chłodnych i zimnych (por. zał. 1D, G, O). Wody aluwialne wyróżniały się zaś licznymi epizodami skokowych zmian odczynu (zał. 1O, post. 12, 13). Cechował je również bardzo szeroki przedział zmienności pH: od kwaśnych do bardzo słabo zasadowych.

W świetle obowiązujących norm, **zawartość tlenu w wodach** zlewni Dzierżanej pozwala zaliczyć je zarówno do I klasy ($DO > 7 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), jak i V klasy jakości ($DO < 4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) – tab. 21, zał. 1P, R, S. Należy przy tym podkreślić, iż oficjalne normy nie uwzględniają niekorzystnego zjawiska przesylenia wody tlenem ($DO > 9 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$).

Pośród wszystkich wód, najniższą jakością, pod względem warunków tlenowych, odznaczały się wody rzeczne Dzierżanej (post. 2) i wody w Gliniance (post. 5). Wody o I klasie jakości odnotowano tutaj przez mniej niż połowę okresu badawczego (tab. 21). Zawartość tlenu wskazywała najczęściej na II lub V klasę jakości.

Przebieg zmian natleniania wód rzecznych był podobny we wszystkich trzech posterunkach (zał. 1P). Dwukrotnie, odnotowano w wodach Dzierżanej epizod zimowego deficytu zawartości tlenu, wynikający ze zlodzenia rzeki. Zauważono też, iż optymalne warunki tlenowe wód rzecznych korespondowały z okresami, w których temperatura wody nie przekraczała $14 \text{ }^\circ\text{C}$ (por. zał. 1A, P). Prawidłowości tej nie stwierdzono w miesiącach jesienno-zimowych końca okresu badawczego. Należy również dodać, że w sezonach o wysokim DO (I klasa jakości) występowały krótkie okresy przesylenia wody tlenem. Nadmierna zawartość tlenu w wodach rzecznych w zimie ściśle korespondowała z wysokimi przepływami. Natomiast wiosenne przesylenia występowały z dwutygodniowym opóźnieniem względem terminów wezbrań roztopowych. Równocześnie latem, przy silnym nagrzaniu wód i niskich przepływach, warunki tlenowe wód rzecznych były często niezadowalające (IV klasa).

Spośród monitorowanych stawów, jedynie w wodach Glinianki notowano deficytowe warunki tlenowe. Były one wynikiem intensywnych zjawisk lodowych (zał. 1R). Niekorzystny, niski poziom nasycenia tlenem wód Glinianki zaznaczał się również w miesiącach letnich (wegetacja). Natomiast przesylenie tych wód tlenem wystąpiło tylko trzykrotnie. Warto podkreślić, że obniżenie (poniżej 5 mg-dm^{-3}) poziomu zawartości tlenu rozpuszczonego w wodach pozostałych dwóch zbiorników było jednorazowe (post. 4, 6). Wspólną cechą przebiegu zmian DO wód zbiorników przepływowych było dość częste zjawisko przesylenia tlenem (zał. 1R, post. 4, 6). Wcześniej wskazano, iż efekt ten wiązać należy ze sposobem opróżniania stawów. Burzliwy wypływ wody w okresie jej jesienno-zimowego wychłodzenia sprzyjał silnemu natlenianiu.

W trakcie prowadzenia analiz warunków tlenowych napotkano pewne trudności w ocenie jakości wód źródłanych. Specyfika tych wód, znajdujących się na pograniczu podziemnego i powierzchniowego ognia obiegu wody, zmuszała do postawienia pytania: czy zaliczyć je do wód powierzchniowych, czy do podziemnych? W porównaniu z zawartością tlenu w wodach bijących bezpośrednio z wypływów, wody odpływające z obu nisz źródłowych cechowały się wyraźnie większą zawartością tlenu (Stolarska, Moniewski 2006). Zatem, w analizie jakości

wód odpływających ze źródeł uwzględniono normy natlenienia stosowane dla wód powierzchniowych (zał. 1S).

Przez większą część okresu badawczego, natlenienie wód obu źródeł było na poziomie I klasy jakości. Jedynie wody niszy Rosanów cechowały się niską zawartością tlenu (V klasa) – zał. 1S. Zawartość tlenu rozpuszczonego w wodach źródeł kwalifikuje je do przedziałów zadowalającego i optymalnego poziomu natlenienia (zał. 1S). Przesylenie ich tlenem miało charakter epizodyczny i wystąpiło kilka razy (w sierpniu i grudniu 2004 r. oraz w lutym i marcu 2005 r.). Stwierdzono również, iż długotrwałe obniżenie zawartości tlenu w wodach źródeł (listopad 2005 r.) poprzedzone było długim (ok. 3 miesiące) okresem o bardzo niskiej sumie opadów atmosferycznych (35 mm). Długotrwały brak dopływu natlenionych wód opadowych oraz oddziaływanie procesów wegetacyjnych w niszach, doprowadziły w efekcie do bardzo dużego ubytku tlenu w tych wodach.

Należy podkreślić, iż zidentyfikowane tendencje i prawidłowości zmian właściwości hydrochemicznych wód zlewni dotyczą tylko dwulecia 2004–2005. Uzyskane wyniki nie mogą być zatem przenoszone mechanicznie poza zakres zanotowanych zdarzeń empirycznych, a ewentualne ekstrapolacje, w czasie i w przestrzeni, powinny być prowadzone bardzo ostrożnie.

WNIOSKI

Problematyka sezonowości zmian ilości wód oraz ich właściwości fizykochemicznych jest zagadnieniem wymagającym interdyscyplinarnego charakteru analiz. W związku ze złożonością tego zagadnienia, pewne jego aspekty nadal wymagają badań. Wobec jeszcze wielu niewiadomych niniejsze opracowanie z pewnością przyczyni się do poszerzenia wiedzy zarówno na temat metod wykrywania sezonowości w zagadnieniach hydrologicznych, jaki i identyfikacji czynników rządzących rytmem zmian poszczególnych cech fizykochemicznych wody.

Za najważniejsze wnioski płynące z rozważań zaprezentowanych w poprzednich rozdziałach przyjęto te, które bezpośrednio odnoszą się do podstawionych na wstępie celów badawczych.

Ważnym wnioskiem jest wynik porównania zastosowanych metod oceny poziomu sezonowości. Mianowicie, użyte w pracy metody miały róż-

ną czułość i nie zawsze dawały wyniki w pełni zbieżne. Wiązać to należy z faktem, iż każda z metod wskazywała inny aspekt dyspersji. Powodowało to problemy interpretacyjne, ale jednocześnie rozszerzyło płynący z tych analiz zakres informacji. Spośród zastosowanych miar najmniejszą efektywnością w wykrywaniu i ocenie sezonowości cech ilościowych i fizykochemicznych wody, wykazały wskaźniki Markhama (indeks sezonowości, wskaźnik pory koncentracji). W odniesieniu do serii przewodności elektrolitycznej i odczynu wód wskaźniki te nie oddawały dobrze charakteru obserwowanej dynamiki. Analiza kształtu funkcji autokorelacyjnych pozwoliła wyróżnić trzy typy szeregów z: tendencją do formowania się mniej lub bardziej wyraźnego quasi-rocznego rytmu zmian (typ I), niewykazujących żadnych cech sezonowości (typ II) oraz charakteryzujących się rytmem dłuższym niż jeden rok (typ III). Obliczone,

względne miary sezonowości oraz analiza kształtu funkcji autokorelacyjnych w większości przypadków dały wyniki zbliżone. Szeregi o rocznym rytmie zmian (I typ) wykazywały zmiany synchroniczne z serią temperatury powietrza atmosferycznego (korelacja dodatnia bądź ujemna). Brak statystycznego związku między zmienną hydrochemiczną a warunkami termicznymi powietrza korespondował przeważnie z II typem autokorelogramu. Natomiast, szeregi odznaczające się rytmem dłuższym niż rok (III typ) najczęściej charakteryzowały się także statystycznie istotnym trendem.

Przebieg zmian ilości wód w różnych ogniwach jej obiegu w zlewni Dzierżąskiej był podobny. Rytm zmian był najczęściej roczny i cechował się wysokim poziomem sezonowości mimo, że różne typy wód wykazywały odmienną amplitudę i niewielkie przesunięcia fazy. Wahania natężenia przepływu Dzierżąskiej i Ciosenki były bardzo podobne i miały wyraźny rytm sezonowy. W cyklu rocznym wyróżniono tu okresy: wysokich przepływów związanych z roztopami zimowo-wiosennymi i niżówek letnio-jesiennych przedzielonych krótkim okresem letnich wezbrań deszczowych. Maksyma wydajności źródeł występowały z półtora-, dwumiesięcznym opóźnieniem względem największych przepływów w rzekach. Natomiast niżówki w ciekach i źródłiskach zachodziły równoległe. Podobieństwo reżimów przepływu cieków i wydatku źródeł w okresach niżówek to rezultat intensywnego, w tym czasie, drenażu wód tych samych poziomów wodonośnych.

Mimo podobieństwa przebiegu zmian położenia zwierciadła wód zbadanych poziomów wodonośnych, stwierdzono jednak istotne różnice w czasie trwania niżówek i wezbrań wód podziemnych. Okresy głębokiego występowania zwierciadła wód sandrowych i międzymorenowych trwały zdecydowanie dłużej niż podobne fazy zanotowane w wodach wierzchówkowych i aluwialnych. Analogiczna relacja wystąpiła w okresach wzrostu zasobności poziomów wodonośnych. Wezbrania wód podziemnych w najpłytszych poziomach trwały nieco krócej, niż w głębszych i rozległych. Zdecydowała o tym większa bezwładność i wolniejsze tempo zmian zasobów głębszych poziomów wodonośnych. Wahania zwierciadła najpłytszych wód podziemnych wykazywały ponadto sezonowość na poziomie zbliżonym do wahań przepływu cieków. Ich przebieg był także synchroniczny z wahaniami temperatury powietrza – im wyższa temperatura tym głębsze położenie zwierciadła.

Średnie temperatury wód podziemnych i powierzchniowych w zlewni Dzierżąskiej oscylowały wokół przeciętnej temperatury powietrza at-

mosferycznego. Sezonowe zmiany temperatury wód zlewni, z wyjątkiem wód pojedynczych wypływów, przebiegały zatem według „klasycznego” rytmu zmian pór roku. Poziom sezonowości wahań temperatury wód był zwykle bardzo wysoki. Natomiast brakiem sezonowości temperatury odznaczały się wody pojedynczych wypływów w obrębie nisz źródłiskowych. Ich temperatura, w całym okresie badawczym, była quasi-stała.

Przewodność elektrolityczna wód zlewni zmieniała się w zakresie od $119 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ do $645 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dla wód powierzchniowych oraz od $148 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ do $1158 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dla wód podziemnych. Z wyjątkiem wód źródłanych o bardzo małej zmienności SEC, pozostałe wody cechowały się czytelnym, rocznym rytmem zmian przewodności. Związek między warunkami termicznymi atmosfery i przewodnością wód powierzchniowych był quasi-synchroniczny (zmiany odwrotnie proporcjonalne). W odniesieniu do SEC wód podziemnych zastosowane miary wskazywały najczęściej na brak sezonowości lub niewyraźną tendencję do kształtowania się rytmu dłuższego niż rok. Stwierdzono też prawidłowości w przebiegu zmian: przewodności wód, ich temperatury i ilości zasobów wodnych. Wysokiej SEC wód powierzchniowych oraz wód głębszych poziomów wodonośnych (sandrowego i międzymorenowego) towarzyszyły zawsze wysoki stan zasobów wodnych oraz relatywnie niskie temperatury wody (zimowo-wiosenna alimentacja wodami roztopowymi). Obniżaniu się ilości wody odpowiadał zaś spadek SEC i wzrost jej temperatury (wody ciepłe). Inne relacje zaobserwowano w odniesieniu do wód wierzchówkowych i aluwialnych doliny Dzierżąskiej. Małym głębokościom do zwierciadła wody towarzyszyła zwykle niska przewodność i temperatura. Zaś przy dużej miąższości strefy aeracji i względnie cieplejszych wodach – SEC była wysoka. Zaobserwowane prawidłowości świadczą o zmniejszaniu się mineralizacji ogólnej tych wód w wyniku napływu nisko zmineralizowanych wód roztopowych i opadowych.

Odczyn wód zlewni Dzierżąskiej zmieniał się od słabo kwaśnego (5,2 pH) do słabo zasadowego (9,8 pH). Przeciętnie, wody wykazywały odczyn mniej lub bardziej zbliżony do obojętnego. Najmniejszą zmiennością odczynu cechowały się podziemne wody sandrowe, monitorowane w źródłiskach oraz wody międzymorenowe. Zaobserwowane zmiany odczynu wód powierzchniowych miały, w ogólnych zarysach, przebieg zgodny z opisywanym w literaturze. Korespondowały ze zmianami natężenia przepływu, temperatury i przewodności elektrolitycznej. W okresach wezbrań roztopowych, notowano obniżenie pH (od-

czyn od obojętnego do słabo kwaśnego), przy stosunkowo niskich temperaturach i wysokiej przewodności elektrolitycznej wody. Alkalizacja wód miała natomiast miejsce w okresach obniżonego natężenia przepływu, wysokich temperatur i niskiej przewodności. Analogiczne prawidłowości, co do przebiegu zmian odczynu, temperatury i zmian ilości zasobów wodnych, wykazały wody podziemne. Wzrost pH wód podziemnych występował w okresach względnie silnego ich nagrzania oraz głębokiego położenia zwierciadła. Zmiany odczynu wody, w kierunku kwaśnego, stwierdzano zaś wiosną, wraz ze wzniosem zwierciadła i niskimi temperaturami (infiltracja kwaśnych wód roztopowych i opadowych). Odczyn wód powierzchniowych wykazał tendencję do formowania się rytmu zmian dłuższego niż rok. Natomiast pH wód podziemnych cechował się zwykle, brakiem lub tendencją do kształtowania się rytmu rocznego. Jednocześnie, zmiany pH wszystkich wód zlewni były quasi-synchroniczne z szeregiem temperatury powietrza.

Zawartość tlenu rozpuszczonego w wodach zlewni zmieniała się w dość szerokim przedziale, od $0,8 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ do blisko $13 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Przeciętnie, poziom natlenienia wód wynosił około $7 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Najmniej zmienne warunki tlenowe występowały w wodach nisz źródłiskowych Rosanów i Ciosny. W odniesieniu do wód powierzchniowych, niskie zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie stwierdzano zarówno zimą, jak i latem. Zimowe deficyty tlenowe związane były bezpośrednio ze zjawiskami lodowymi. Letnie minima DO pokrywały się zaś z okresami silnego nagrzania wód powierzchniowych, fazami dominacji zasilania koryt słabo natlenionymi wodami podziemnymi oraz były rezultatem intensywnego zużycia tlenu w procesach biochemicznych (wegetacja). Rzadkie zjawisko przesylenia wody tlenem obserwowano w okresach wysokich przepływów rzecznych. Analizy zmian zawartości tlenu w wodach powierzchniowych i źródłanych wskazywały często na słaby rytm sezonowy, bądź na jego brak.

W zbadanym dwuleciu 2004–2005, ilość zasobów wodnych zlewni wykazywała bardzo słabą tendencję spadkową. Natężenie przepływu rzeczno-bardzo powoli się zmniejszało, a głębokości do zwierciadła zbadanych poziomów wodonośnych wzrastały. Jedynie serie wydajności źródeł wykazały brak trendu. Należy dodać, że analizowany okres badawczy należał, pod względem pluwialnym, do dostatecznie (normalnie) wilgotnych. W wodach powierzchniowych istniał bardzo wyraźnie, wręcz „klasycznie”, wykształcony sezo-

nowy rytm większości właściwości fizykochemicznych oraz cech ilościowych. Rytm ten związany był ze zmiennością warunków termiczno-wilgotnościowych atmosfery. Z przeprowadzonych analiz jasno wynika także, iż w badanym okresie, wody zlewni stawały się, coraz bardziej kwaśne, a dodatkowo w zmniejszającej się objętości wód powierzchniowych malała zawartość tlenu rozpuszczonego. Równocześnie, wody podziemne w ujęciach gospodarskich stawały się coraz cieplejsze, a zasoby drenowanych w zlewni poziomów wodonośnych dość wyraźnie malały.

Jakość wód zlewni pod względem badanych właściwości fizykochemicznych była przeważnie dobra. Najczęstsze przekroczenia granicy normy I klasy jakości dotyczyły przewodności elektrolitycznej właściwej i temperatury wód podziemnych a także warunków natlenienia wód powierzchniowych i źródłanych.

W świetle uzyskanych wyników trudno się zgodzić z często prezentowanym w literaturze podejściem do zagadnienia sezonowości, w którym analizy prowadzone są w oparciu o sporadyczne pomiary terenowe (np. raz na kwartał lub miesiąc). Wnioskowanie o jakości wody, czy wskazywanie jej przeciętnych właściwości fizykochemicznych, na podstawie jednorazowych, bądź rzadkich pomiarów, obarczone jest bowiem dużym błędem. Przyjęty 14-dniowy odstęp wykonywania pomiarów okazał się być wystarczający dla analiz sezonowości wahań zasobów i zmian podstawowych cech fizykochemicznych wód.

Uzyskane wyniki wskazują także, że dalsze badania powinny zmierzać w kilku kierunkach. Po pierwsze, należy przeprowadzić analogiczne badania na innych obszarach, w celu weryfikacji i uogólnienia postawionych wniosków. Istnieje również potrzeba wydłużenia okresu badawczego w celu prześledzenia, lepszego odczytania oraz oceny zmian i zmienności zanalizowanych właściwości w wieloleciu. W skali lokalnej, dalsze badania zmian ilości i jakości wód zlewni Dzierżanej powinny być skierowane na monitoring oddziaływań związanych z oddaniem do użytku w czerwcu 2006 r. odcinkiem autostrady A2 Emilia – Stryków. Niniejsza publikacja swą tematyką wpisuje się w merytoryczny zakres badań prowadzonych przez Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej Uniwersytetu Łódzkiego. Niewątpliwie będzie ona stanowiła cenne źródło informacji o szeroko pojętych warunkach hydrologicznych panujących w zlewni w okresie poprzedzającym powstanie drogi A2.

LITERATURA

- Absalon D., Matysik M., 1999 – Chemizm wód podziemnych i źródłanych w zlewni Rudy. XI Ogólnopol. Konf. Nauk. „Chemizm opadów atmosferycznych, wód powierzchniowych i podziemnych”, Łódź 17–19 XI 1999. Wyd. UŁ: 77-79.
- Allan J. D., 1998 – Ekologia wód płynących. PWN. Warszawa: 450 ss.
- Babiński Z., 1988 – Wpływ melioracji na zmiany zwierciadła i powierzchni wody jeziora Pniewie. W: Z. Churski (red.) Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior i mokradł w Polsce. UMK Rozprawy, Mat. Konf. Komisji Hydrograficznej PTG w Bachotku, Toruń: 101-104.
- Bac S., Rojek B., 1999 – Meteorologia i klimatologia w inżynierii środowiska. Wyd. AR. Wrocław: 314 ss.
- Bajkiewicz-Grabowska E., 2002 – Obieg materii w systemach rzeczno-jeziornych. UW, Wyd. Geogr. i St. Region. Warszawa: 274 ss.
- Bajkiewicz-Grabowska E., Borowiak D., Choiński A., Kilkus K., Lossow K., 2007 – Atlas jezior Kaszubskiego Parku Krajobrazowego. *Bad. Limnologiczne*, 4: 284 ss.
- Bajkiewicz-Grabowska E., Magnuszewski A., Mikulski Z., 1993 – Hydrometria. PWN. Warszawa: 312 ss.
- Bartczak A., 2007 – Wieloletnia zmienność odpływu rzeczno-jeziornego z dorzecza Zgłowiączki. *Pr. Geogr., IGiPZ PAN*, 209: 164 ss.
- Bartnik A., 2005 – Odpływ niski w Polsce. *Acta Geogr. Lodz.*, 91: 95 ss.
- Bartnik A., 2007 – Zróznicowanie przestrzenne wybranych cech fizykochemicznych wód źródeł zlewni Bystrzycy Dusznickiej. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziulkiewicz (red.) Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne. Wyd. NG UŁ. Łódź: 181-191.
- Bartnik A., Tomaszewski E., 2000 – Charakterystyka sieci rzecznej małej zlewni położonej w strefie krawędzowej Wyżyny Łódzkiej. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Physica*, 5: 49-66.
- Bartnik A., Tomaszewski E., 2006 – Zastosowanie indeksu pory koncentracji do oceny podatności reżimu rzeczno-jeziornego na formowanie przepływów ekstremalnych w zlewniach nizinnych. W: A. Kostrzewski, J. Czerniawska (red.) Przemiany środowiska geograficznego Polski północno-zachodniej. Wyd. Nauk Geogr. i Geolog. UAM, Poznań: 137-144.
- Bojanowska P., 2000 – Gospodarka wodno-ściekowa zlewni Ciosenki i Dzierżanej. Maszynopis. Praca magisterska. ZHiGW UŁ.
- Brańka A., 2005 – Wpływ zbiornika retencyjnego Turawa na jakość wód w dolnym odcinku rzeki Mała Panew. W: J. Burchard (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, t. III. Wyd. UŁ, Łódź: 141-149.
- Brzeziński H., 1992 – Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000, ark. Główny. PIG, Warszawa: 58 ss.
- Burchard J., Hereźniak-Ciotowa U., Kacza W., 1990 – Metody badań i ocena jakości wód powierzchniowych i podziemnych. Wyd. UŁ, Łódź: 273 ss.
- Burchard J., Hereźniak-Radecka U., Ziulkiewicz M., 2003 – Jakość wód rzecznych w zlewni Dzierżanej. *Prz. Geol.*, 51 (11): 956-987.
- Burchard J., Mela S., 1995 – Ilościowa i jakościowa charakterystyka wód źródłanych strefy krawędzowej Wyżyny Łódzkiej. VIII Konf. Nauk. „Chemizm opadów atmosferycznych, wód powierzchniowych i podziemnych”. Wyd. UŁ, Łódź: 59-61.
- Burlikowska I., Michalczyk Z., Zielińska B., 1996 – Źródła w dorzeczu Wolicy. *Ann. UMCS, sectio B*, 11, 7: 97-115.
- Byczkowski A., 1996 – Hydrologia, t. II. Wyd. SGGW, Warszawa: 333 ss.
- Castany G., 1972 – Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych. Wyd. Geol., Warszawa: 634 ss.
- Chełmicki A., 1991 – Reżim płytkich wód podziemnych w Polsce. *Rozpr. Habit. UJ*, 218: 136 ss.
- Chełmicki W., 2001 (red.) – Źródła Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej. Zmiany w latach 1973–2000. Inst. Geogr. i Gosp. Przestrz. UJ, Kraków: 127 ss.
- Chełmicki A., Kaszowski L., Święchowicz J., 1992 – Zróznicowanie i zmienność koncentracji materiału rozpuszczonego w zlewni Starej Rzeki. *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr.*, 88, *Pr. Inst. Geogr. UJ*, 110: 87-99.

- Chmiel S., 2005 – Zmiany cech fizykochemicznych wód rzeki Wieprz podczas wezbrań roztopowych w 1999 roku. W: E. Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki (red.) Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne. Seria Monografie IMGW, PTG IMGW, Warszawa: 264-271.
- Churski Z., 1988 – Wybrane zagadnienia dotyczące rozwoju jezior i mokradeł w Polsce. W: Z. Churski (red.) Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior i mokradeł w Polsce. UMK Rozprawy, Mat. Konf. Komisji Hydrograficznej PTG w Bachotku, Toruń: 9-31.
- Cyberska B., 1984 – Oddziaływanie zbiorników retencyjnych na reżim termiczny rzek. *Czas. Geogr.*, LV, 3: 345-354.
- Cydzik D., Soszka H., 1988 – Atlas stanu czystości jezior Polski badanych w latach 1979–1983. Inst. Ochr. Środ. Monitoring Środowiska. Wyd. Geol., Warszawa: 610 ss.
- Czamara A., Janda I., 2002 – Wpływ gospodarki stawowej na obieg wody w małej zlewni rolniczej. *Pr. Inst. Geogr. AK. Świętokrzyskiej w Kielcach*, 7: 113-132.
- Czarnecka H., 1973 – Rozmieszczenie źródeł na Wyżynie Małopolskiej. *Pr. St. IMGW, Geogr. Fiz.*, 25, 14: 5-65.
- Czyłok A., Fajer M., Machowski R., Szymczyk A., Waga J. M., 2004 – Naturalny zbiornik wodny w Jeziorze (zlewnia górnej Liswarty) – charakterystyka uwarunkowań środowiskowych. W: A. T. Jankowski, M. Rzętała (red.) Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne – funkcjonowanie, rewitalizacja i ochrona. Uniw. Śląski, Wydz. NoZ, PTG, Sosnowiec: 39-50.
- Dębski K., 1961 – Charakterystyka hydrologiczna Polski. PWN, Łódź: 159 ss.
- Dingman S. L., 2002 – Physical Hydrology. Univ. of New Hampshire Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey: 646 ss.
- Dobrzyński D., 2006 – Naturalne czynniki i procesy kształtujące skład chemiczny wód podziemnych. W: A. Macioszczyk (red.) Podstawy hydrogeologii stosowanej. PWN, Warszawa: 170-191.
- Dojlido J. R., 1987 – Chemia wody. Wyd. Arkady, Warszawa.
- Dojlido J. R., 1995 – Chemia wód powierzchniowych. Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok: 342 ss.
- Dojlido J. R., Wojciechowska J., 1974 – Zmiany fizyczno-chemicznych wskaźników zanieczyszczenia wód Wisły w przekroju Warszawy w latach 1945–1970. *Mat. Bad. IMGW, Ser.: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód*, 1: 35 ss.
- Dubaniewicz H., 1974 – Klimat województwa łódzkiego. *Acta Geogr. Lodz*, 34: 120 ss.
- Dunaj B., 1996 – Słownik Współczesnego Języka Polskiego. Wyd. Wilga, Warszawa: 1396 ss.
- Dynowska I., 1972 – Typy reżimów rzecznych w Polsce. *Zesz. Nauk. UJ, Pr. Geogr.*, 28, *Pr. Inst. Geogr.*, 50: 150 ss.
- Dynowska I., 1978 – Charakter krążenia wód podziemnych w obrębie Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej. *Folia Geogr. Ser. Geogr. Physica*, XI: 99-109.
- Dynowska I., 1983 – Źródła Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej i Miechowskiej. *St. Ośr. Dok. Fizjograf.*, 11: 243 ss.
- Dynowska I., 1986 – Regionalne zróżnicowanie źródeł w Polsce. *Folia Geogr. Ser. Geogr. Physica*, 18: 5-30.
- Fal B., 1971 – Sezonowy rozkład odpływu rzeczno. *Pr. PIHM*, 104.
- Fal B., 1993 – Zmienność odpływu z obszaru Polski w bieżącym stuleciu. *Wiad. IMGW*, 3: 3-19.
- Fetter C. W., 1994 – Applied Hydrogeology. Univ. of Wisconsin – Oshkosh: 691 ss.
- Foos A., 2003 – Spatial distribution of road salt contamination of natural springs and seeps, Cuyahoga Falls, Ohio, USA. *Environmental Geol.*, 44: 14-19.
- Gierszewski P., 2000 – Charakterystyka środowiska hydrochemicznego wód powierzchniowych zachodniej części Kotliny Płockiej. *Pr. Geogr. IGiPZ PAN*, 176: 136 ss.
- Głazik R., 1986 – Wpływ czynników lokalnych na dynamikę temperatury płytkich wód podziemnych w kotlinie Płockiej. *Mat. Konf. Ogólnopol. Konf. Hydrograf. „Hydrologia regionalna i procesy hydrologiczne w zlewniach”*. UAM, Poznań 15–17 września 1986: 101111.
- Gołdyn R., Ziętkowiak Z., 1995 – Ocena stanu i tendencji zmian czystości wód Cybiny. *Konf. Nauk. Wody powierzchniowe Poznania – Problemy wodne obszarów miejskich*. Poznań 6 listopada 1995, UAM: 259-288.
- Gorączko M., Żytelewska E., 2005 – Antropogeniczne zbiorniki wodne na obszarze Bydgoszczy – wprowadzenie do badań limnologicznych. W: A. T. Jankowski, M. Rzętała (red.) Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne, procesy przyrodnicze oraz znaczenie społeczno-gospodarcze. Sosnowiec: 73-78.
- Gordon A. D., McMahon, Finlayson B. L., Gippel Ch. J., Nathan R. J., 2004 – Stream Hydrology. An Introduction for Ecologists, Second Edition. England: 429 ss.
- Górniak A., 2006 – Ekosystem zbiornika Siemionówka w latach 1990–2004 i jego rekultywacja. UW

- w Białymstoku, Zakład Hydrologii, Białystok: 236 ss.
- Grodzińska K., Szarek-Łukaszewska G., 1999 – Badania biogeochemiczne w małych zlewniach leśnych. Ogólnopol. Konf. Hydrolog. „Interdyscyplinarność w badaniach dorzecza” Kraków – Dobczyce 21-23 maja 1999, Inst. Geogr. UJ, Kraków: 55-71.
- Gutry-Korycka M., Binh Trong T., 2001 – Metody oceny ustroju hydrologicznego rzek. W: M. Gutry-Korycka (red.) Geograficzne uwarunkowania ustroju rzek. UW Wydz. Geogr. i St. Reg., Warszawa: 13-20.
- Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Kosiorowski B., 1976 – Fizykochemiczne badania wody i ścieków. Wyd. Arkady, Warszawa: 555 ss.
- Herschy R. W., Fairbridge R. W., 1998 – Encyclopedia of Hydrology and Water Resources. Series of Kluwer Academic Encyclopedia of Earth Sciences, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London: 803 ss.
- Hibszler B., Krawczyk W. E., 2002 – Zanieczyszczenia chemiczne wybranych źródeł w dolinie Prądnika i Sępówki (Ojcowski Park Narodowy). W: A.T. Jankowski (red.) Jakość i podatność wód podziemnych na zanieczyszczenie. *Pr. Wydz. NoZ Univ. Śl.*, 22: 53-62.
- Hillbricht-Ilkowska A., 1997 – Ekologiczne problemy gospodarowania jakością wód powierzchniowych oraz ich siedliskiem i przyrodą. *PAN, Zesz. Nauk. „Człowiek i Środowisko”*, 17: 62-88.
- Jakóbczyk-Gryszkiewicz J., 1988 – Niektóre aspekty urbanizacji wsi w strefie podmiejskiej Łodzi. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr.*, 9: 35-52.
- Janiec B., 1984 – Wody podziemne w strefie południowo-zachodniej krawędzi Wyżyny Lubelskiej. Lubelskie Tow. Nauk., Prace Wydz. NoZiNG, Monografie, t.1, Wyd. Geol., Warszawa: 137 ss.
- Janiec B., 1995 – Zróżnicowanie warunków przenikania zanieczyszczeń do wód podziemnych na Roztoczu. *Prz. Geol.*, 43 (5): 393-398.
- Janiec B., 2005a – Problemy hydro/geo/chemii w opracowaniach geograficznych. Z treści referatu wygłoszonego na XIII Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce”, Łódź 2005.
- Janiec B., 2005b – Problemy hydro/geo/chemii w opracowaniach geograficznych. W: J. Burchardt (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, t. III. Wyd. UŁ, Łódź: 23-33.
- Jańczak J., Choiński A., 1988 – Wahania poziomów wody wybranych jezior Polski w latach 1956–1985. W: Z. Churski (red.) Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior i mokradeł w Polsce. UMK Rozprawy, Mat. Konf. Komisji Hydrograficznej PTG w Bachotku, Toruń: 79-87.
- Jastrzębska-Mamełka M., 1985 – Interglacja eemski i wczesny vistulian w Zgierzu-Rudunkach na Wyżynie Łódzkiej. *Acta Geogr. Lodz.*, 53: 75 ss.
- Jaworski J., 2004 – Parowanie w cyklu hydrologicznym zlewni rzecznych. PTG, Warszawa: 422 ss.
- Jaworski J., Paszyński J., 1978 – Straty ciepła w procesie parowania terenowego i potencjalnego na tle innych składników bilansu cieplnego powierzchni czynnej. *Prz. Geofiz.*, XXIII (XXXI), 3: 171-179.
- Jaworski J., Szkutnicki J., 1999 – Dynamika obiegu wody w zlewni górnej Wilgi. IMiGW, Seria: Atlasy i Monografie, Warszawa: 382 ss.
- Jaworski J., Szkutnicki J., 2001 – Procesy hydrologiczne w zlewni górnej Wilgi. W: J. Joworski, J. Szkutnicki (red.) Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych. IMiGW, Warszawa: 181 ss.
- Jekatierynczuk-Rudczyk E., 2005 – Transformacja składu chemicznego wody w strefie źródeł nizinnych. W: J. Burchardt (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, t. III: 259-268.
- Jeż G., 1986 – Próba oceny wieloletniej zmienności zwierciadła wód podziemnych w regionie łódzkim. Mat. Konf. „Hydrologia regionalna i procesy hydrologiczne w zlewniach”. UAM, Poznań: 131-136.
- Jokiel P., 1994 – Wieloletnie i sezonowe zmiany wydajności wybranych źródeł Polski. *Wiad. IMGW*, 4: 117-130.
- Jokiel P., 1997 – Podstawowe cechy reżimu wydajności wybranych źródeł karpackich. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Physica*, 2: 27-43.
- Jokiel P., 2002 – Woda na zapleczu wielkiego miasta. IMGW, Warszawa: 148 ss.
- Jokiel P., 2004 – Zasoby wodne środkowej Polski na progu XXI wieku. Wyd. UŁ, Łódź: 114 ss.
- Jokiel P., Bartnik A., 2001 – Zmiany w sezonowym rozkładzie odpływu w Polsce Środkowej w wieloleciu 1951–1998. *Wiad. IMGW*, X: 11-20.
- Jokiel P., Kożuchowski K., 1989 – Zmiany wybranych charakterystyk hydroklimatycznych Polski w bieżącym stuleciu. *Dok. Geogr. IG PAN*, 6: 94 ss.
- Jokiel P., Maksymiuk Z., Zawadzka A., 1985 – Obieg wody w małej zlewni regionu belchatowskiego na przykładzie dorzecza Kręcicy, cz. I i II. Opracowanie wykonane w Zakładzie Meteorologii, Klimatologii i Hydrologii Uniwersytetu Łódzkiego w ramach Problemu Węzłowego 10.2 problemu 0.5, grupy tematycznej 01., UŁ.

- Jokiel P., Maksymiuk Z., 1988 – Wpływ kopalni odkrywkowej „Bełchatów” na zmiany odpływu. W: I. Dynowska (red.) Antropogeniczne uwarunkowania zmian odpływu i reżimu rzek w różnych regionach Polski. *Dok. Geogr. IG PAN*, 4: 79-92.
- Jokiel P., Maksymiuk Z., 1993 – Komentarz do mapy hydrograficznej w skali 1:50 000, ark. Zgierz. Główny Geodeta Kraju. Warszawa.
- Jokiel P., Maksymiuk Z., 1999 – Woda w krajobrazie i gospodarce Łodzi i regionu. *Acta Univ. Nicolai Copernici, Geografia*, 103: 235-245.
- Jokiel P., Maksymiuk Z., 2000 – Morfologiczne i geologiczne tło procesu obiegu wody w małej zlewni położonej w północnej części Wyżyny Łódzkiej. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Physica*, 5: 9-28.
- Jokiel P., Moniewski P., 2000 – Warunki gromadzenia i drenażu oraz kierunki ochrony zasobów wód podziemnych w strefie podmiejskiej Łodzi, na przykładzie zlewni Dzierżanej. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Physica*, 5: 29-48.
- Jokiel P., Tomalski P., 2005 – Odpływ oraz fizykochemiczne właściwości wód płynących w sąsiedztwie węzła Autostrad A1 i A2 w okolicy Łodzi. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 4 (2): 3-20.
- Jokiel P., Tomalski P., 2007a – Temperatura i pH wód podziemnych zlewni Dzierżanej. W: M. Ziulkiewicz (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, t. I, Wyd. UŁ, Łódź: 373-385.
- Jokiel P., Tomalski P., 2007b – Sezonowe zmiany fizykochemicznych właściwości wód rzecznych w sąsiedztwie powstających autostrad A1 i A2 w okolicach Łodzi. W: M. Ziulkiewicz (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, t. I: 119-130.
- Jóźwiak M., Kozłowski R., 2001 – Sezonowa dynamika zmian chemizmu wód potoków na północnym stoku Łysej Góry. Konferencja „Wpływ użytkowania terenu i antropogenicznych przekształceń środowiska przyrodniczego na elementy obiegu wody w zlewni rzecznej”. Kielce.
- Kajak Z., 1994 – Hydrobiologia. Ekosystemy wód śródlądowych. Wyd. filii UW w Białymstoku: 359 ss.
- Kajak Z., 1998 – Hydrobiologia – Limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych. PWN, Warszawa: 355 ss.
- Kaniecki A., 1982 – Pojemność retencyjna i zmienność zasobów wodnych małej zlewni nizinnej na przykładzie dorzecza Wrześnicy. *Wyd. Nauk. UAM, Ser. Geogr.*, 26: 142 ss.
- Karłowicz J., Kryński A., Niedźwiedzki W., 1915 – Słownik Języka Polskiego, t. VI. Państw. Inst. Wyd., Warszawa: 794 ss.
- Kendall M. G., 1975 – Rank correlation methods (4th ed.). Griffin, London.
- Klatkowska H., 1972 – Paleogeografia Wyżyny Łódzkiej i obszarów sąsiednich podczas zlodowacenia warciańskiego. *Acta Geogr. Lodz.*, 28: 220 ss.
- Klatkowska H., 1993 – Objaśnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000, ark. Zgierz. PIG, Warszawa: 46 ss.
- Klatkowska H., Kamiński J., Szafrąńska D., 1995 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, ark. Zgierz. PIG, Warszawa.
- Kleczkowski A. (red.), 1990 – Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony. Wyd. Inst. Hydrogeol. i Geol. Inż. AGH, Kraków.
- Kłysik J., Maksymiuk Z., 1999 – Główne cechy środowiska przyrodniczego i gospodarki. W: Stan środowiska w województwie łódzkim. Woj. Insp. Ochr. Środ., Łódź: 11-26.
- Kondracki J., 2002 – Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa: 440 ss.
- Konopczyński W., Lewicki Z., 2005 – Jakość Jeziora Ślawnego poddanego zwiększonej antropopresji. W: A. T. Jankowski, M. Rzętała (red.) Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne, procesy przyrodnicze oraz znaczenie społeczno-gospodarcze. Sosnowiec: 97-106.
- Konoplancew A. A., Siemionow S. M., 1979 – Prognozowanie i kartograficzne odwzorowanie reżimu wód gruntowych. Wyd. Geol., Warszawa: 235 ss.
- Kostrzewski A., Mazurek M., Zwoliński Z., 1993 – Sezonowa zmienność składu chemicznego wód górnej Parsęty (Pomorze Zachodnie) jako odzwierciedlenie funkcjonowania systemu zlewni. W: A. Kostrzewski (red.) Geosystem obszarów nizinnych. *Człowiek i Środowisko*, 6: 79-99.
- Kowalczyk P., Krauze G., Siudak R., 2007 – Nowe metody pomiarów i analiz stosowane w badaniach limnologicznych na przykładzie Jeziora Ślawnego. *Mat. Badawcze IMGW, Hydrologia i Oceanografia*, 33: 60 ss.
- Koźuchowski K., 1998 – Atmosfera, klimat, ekoklimat. PWN, Warszawa: 243 ss.
- Koźuchowski K., Wibig J., 1988 – Kontynentalizm pluwialny w Polsce; zróżnicowanie geograficzne i zmiany wieloletnie. *Acta Geogr. Lodz.*, 55: 102 ss.
- Krysiak S., 2000 – Struktura użytkowania ziemi w dorzeczu Dzierżanej – charakterystyka i aspekty hydrologiczne zagospodarowania zlewni. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Physica*, 5: 29-48.

- Kudrycka I., Radziukiewicz M., 2004 – Metody dekompozycji szeregów czasowych i analiza stabilności wskaźników sezonowości. *St. i Pr., Z Prac Zakładu Badań Statystyczno-Ekonomicznych*, 301: 107 ss.
- Kulisz J., 1988 – Kwaśne opady i ich wpływ na środowisko. Wyd. Geol., Warszawa: 67 ss.
- Lambor J., 1971 – Hydrologia inżynierska. Warszawa: 362 ss.
- Lampert W., Sommer U., 2001 – Ekologia wód śródlądowych. PWN, Warszawa: 415 ss.
- Liberacki D., 2004 – Jakość wód powierzchniowych i gruntowych w małej zlewni leśnej. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 3 (1): 87–94.
- Lwowiec M.I., 1979 – Zasoby wodne świata. PWN, Warszawa: 438 ss.
- Macioszczyk A., 1987 – Hydrogeochemia. Wyd. Geol., Warszawa: 475 ss.
- Macioszczyk A., 2006 – Podstawy hydrogeologii stosowanej. PWN, Warszawa: 569 ss.
- Macioszczyk A., Dobrzyński D., 2002 – Hydrochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. PWN, Warszawa: 448 ss.
- Magnuszewski A., 2002 – Systemy geoinformacyjne w badaniach ekohydrologicznych. Przykład Wisły pod Płockiem. UW Wydz. Geogr. i St. Region., Warszawa: 113 ss.
- Maksymiuk Z., 1970 – Hydrografia dorzecza Grabii. *Acta Geogr. Lodz.*, 25: 102 ss.
- Maksymiuk Z., 1979 – Warunki występowania wód podziemnych i strefy ich kontaktu z wodami powierzchniowymi w regionie łódzkim. *Zesz. Nauk. UŁ*, II, 21: 123-129.
- Maksymiuk Z., 1980 – Formy alimentacji rzek i ich rola w bilansie wodnym na przykładzie dorzecza Widawki. *Acta Geogr. Lodz.*, 42: 116 ss.
- Maksymiuk Z., 1992 – Zależność między gęstością sieci rzecznej a przepuszczalnością podłoża w Polsce Środkowej. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr.*, 16: 7-17.
- Maksymiuk Z., Mela S., 1995 – Źródła Polski Środkowej. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr.*, 20: 109-117.
- Maksymiuk Z., Moniewski P., 2000 – Hydrologiczna i krajobrazowa rola źródeł małej zlewni w zachodniej części strefy krawędziowej Wzniesień Łódzkich. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Physica*, 5: 67-81.
- Małecka D., 1997 – Źródła Masywu Tatrzańkiego. *Acta Geogr. Lodz., Folia Geogr. Physica*, 2: 9-26.
- Marszelewski W., 2005 – The conditions of lasek located in the valley of the lower Vistula river. W: A. T. Jankowski, M. Rzętała (red.) Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne, procesy przyrodnicze oraz znaczenie społeczno-gospodarcze. Sosnowiec: 135-148.
- Matczak A., 1988 – Chłonność naturalna środowiska przyrodniczego w strefie podmiejskiej Łodzi. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr.*, 9: 143-152.
- Mazurek M., 2000 – Zmienność transportu materiału rozpuszczonego w zlewni Kłudy jako przejaw współczesnych procesów denudacji chemicznej (Pomorze Zachodnie). *UAM, Ser. Geogr.*, 62.
- Mazurek M., 2007 – Chemizm wpływów wód podziemnych w dorzeczu Parsęty (Pomorze Zachodnie). W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziulkiewicz (red.) Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne. Wyd. NG UŁ, Łódź: 242-252.
- Melioris L., Mucha I., Pospiшил P., 1986 – Podzemná Voda – metody výskumu a prieskumu. ALFA – vydavateľ'stvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava: 429 ss.
- Michalczyk Z., 1993 – Źródła zachodniej części Wyżyny Lubelskiej. W: Z. Michalczyk (red.) Badania hydrograficzne w poznawaniu środowiska, 2, UMCS, Lublin: 200 ss.
- Michalczyk Z., Chmiel S., Turczyński M., 2003 – Stosunki wodne w obszarze funkcjonalnym Poleskiego Parku Narodowego. W: S. Radwan (red.) Przyrodnicze podstawy ochrony i odnowy ekosystemów wodno-torfowiskowych w obszarze funkcjonalnym Poleskiego Parku Narodowego na tle antropogenicznych przekształceń środowiska przyrodniczego. *Acta Agrophysica. Rozprawy i Monografie*: 26-66.
- Migaszewski Z. M., Gałuszka A., 2007 – Podstawy geochemii środowiska. Wyd. Nauk.-Tech., Warszawa: 574 ss.
- Mikulski A., 1963 – Zarys hydrografii Polski. Warszawa: 287 ss.
- Mikulski J. S., 1982 – Biologia wód śródlądowych. PWN, Warszawa: 451 ss.
- Mikulski Z., Mikulska M., 1972 – Badania okresowości zjawisk hydrometeorologicznych metodą autokorelacyjną Fuhricha. *Prz. Geofiz.*, XVII(XXV), 3-4: 239-248.
- Mitosek H. T., 2003 – Problemy hydrologii stochastycznej. Problemy stochastyczne, pola losowe i momenty liniowe. Wyd. Akad. Świętokrzyskiej, Kielce: 182 ss.
- Mochoń A., 1991 – O niektórych aspektach zanieczyszczenia wód gruntowych w obszarach rolniczych na przykładzie niecki bodzentyńskiej w północnej części Gór Świętokrzyskich. Mat. I Sesji Hydrograf. „Wybrane zagadnienia gospodarki wodnej w systemie zlewni województwa kieleckiego,” Kielce, 23 października 1991: 113-124.

- Modrzejewski B., 1971 – Pomiar pH. Wyd. Nauk-Techn., Warszawa: 512 ss.
- Moniewski P., 1997 – Źródła strefy krawędziowej Wyżyny Łódzkiej. *Acta Univ. Lodz.*, 2: 153-169.
- Moniewski P., 2004 – Źródła okolic Łodzi. *Acta Geogr. Lodz.*, 87: 140 ss.
- Moniewski P., Stolarska M., 2007 – Wpływ naturalnych i antropogenicznych czynników na podstawowe charakterystyki fizykochemiczne wód w rejonie powstającej autostrady A2 w sąsiedztwie Łodzi. *IMUZ, Falenty*: 105-122.
- Molenda T., 2005 – O niektórych specyficznych właściwościach fizyko-chemicznych wód zbiorników antropogenicznych. W: A. T. Jankowski, M. Rzętała (red.) Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne, procesy przyrodnicze oraz znaczenie społeczno-gospodarcze. Sosnowiec: 161-168.
- Molga M., 1970 – Meteorologia rolnicza. PWRiL, Warszawa: 471 ss.
- Nordvang L., 2001 – Predictive Model of Eutrophication Effects of Fish Farms. *Acta Univ. Uppsaliensis*, 602: 44 ss.
- Nowakowski Cz., 1976 – Charakterystyka wydajności źródeł strefy czołowo-morenowej Pojezierza Suwalskiego. *Biul. Geol.*, 21: 177-189.
- Okołowicz W., Martyn D., 1979 – Atlas geograficzny Polski. Warszawa.
- Olechnowicz-Bobrowska B., 1994 – Mapa średnich sum parowania potencjalnego w Polsce. W: Atlas środowiska geograficznego Polski. PAN IGiPZ, Warszawa.
- Ostrowska M., 2005 – Analiza wyników badań fizyko-chemicznych i biologicznych wód rzeki Mała Panew. W: J. Burchard (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, t. III. Wyd. UŁ, Łódź: 131-140.
- Pardé M., 1957 – Rzeki (tłumaczenie K. Dębski). PWN Warszawa: 233 ss.
- Pasłowski Z., 1996 – Rola jezior w transformacji odpływu rzeczno-gosp. *Gosp. Wodna*, 1 (565): 7-10.
- Pasternak K., 1984 – Zmiany w chemicznych i biologicznych stosunkach środowiska wodnego rzeki jako rezultat oddziaływania zbiorników retencyjnych. *Czas. Geogr.*, LV, 3: 365-377.
- Paszczyk J. L., 1973 – Analiza wahań zwierciadła wód podziemnych w obszarze wschodnim Polski. *Prz. Geogr.*, 45, 3.
- Pazdro Z., 1977 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa: 506 ss.
- Pazdro Z., 1983 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa: 575 ss.
- Pełchaty M., 2002 – Przestrzenne zróżnicowanie wartości parametrów fizyko-chemicznych wody i podłoża w ekosystemach jeziornych o różnym nasileniu antropopresji. W: J. Burchard (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, t. II: Wyd. UŁ: 147-152.
- Piliczewski B., 1996 – Transformacja struktury chemicznej wody w wybranych jeziorach przepływowych Pojezierza Kaszubskiego. 45 Zjazd PTG „Polska w Europie Bałtyckiej” Słupsk-Ustka 18-21 września 1996: 137-142.
- Płochniewski Z., 1989 – Objaśnienia do mapy hydrogeologicznej Polski 1:200 000, ark. Łódź. Wyd. Geol., Warszawa.
- Porowska D., 2004 – Zawartość rozpuszczonego tlenu i dwutlenku węgla w wodach podziemnych wybranych środowisk hydrochemicznych. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, Warszawa: 142 ss.
- Pożaryski W., 1969 – Podział obszaru Polski na jednostki tektoniczne. *Prz. Geol.*, 2.
- Pruchnicki J., 1987 – Metody opracowań klimatologicznych. PWN, Warszawa: 203 ss.
- Przedpełska W., 1971 – Zagadnienie susz atmosferycznych w Polsce i metody ich określania. *Pr. PIHM*, 103.
- Punzet J., 1991 – Wpływ zespołu zbiorników Rożnów – Człuchów na reżim wodny Dunajca. *Gosp. Wodna*, 6 (510): 122-126.
- Raczak J., 2005 – Cechy fizykochemiczne wód powierzchniowych. W: M. Żelazny (red.) Dynamika związków biogenych w wodach opadowych, powierzchniowych i podziemnych w zlewniach o różnym użytkowaniu na Pogórzu Wiślickim. IGiPZ UJ, Kraków: 101-146.
- Radwan S., 2003 – Przyrodnicze podstawy ochrony i odnowy ekosystemów wodno-torfowiskowych w obszarze funkcjonalnym Poleskiego Parku Narodowego na tle antropogenicznych przekształceń środowiska przyrodniczego. *Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie*: 247 ss.
- Rajda W., Natkaniec J., Bogdał A., 2002 – Jakość wody opadowej i odpływającej ze zurbanizowanej mikrozełwni podmiejskiej o zróżnicowanym użytkowaniu. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 1-2 (1-2): 49-60.
- Romer E., 1950 – Rehabilitacja wartości średniej temperatury roku. *Prz. Geogr.*, XXII: 213-224.
- Rosa L., Woroniecki T., 2005 – Rodzaje i ładunki zanieczyszczeń w wodach deszczowych spływających z zabudowanych obszarów wiejskich. W: J. Burchard (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, t. III. Wyd. UŁ, Łódź: 83-93.

- Rotnicka J., 1977 – Teoretyczne podstawy wydzielenia okresów hydrologicznych i analizy reżimu rzecznoego na przykładzie rzeki Prozny. *Pr. Kom. Geogr.-Geolog., PTPN, XVIII*: 94 ss.
- Rotnicka J., 1988 – Taksonomiczne podstawy klasyfikacji reżimu rzecznoego. *UAM, Ser. Geogr.*, 40: 23-38.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 roku w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód, 2004 – *Dziennik Ustaw Nr 32, Poz. 283 i 284*.
- Różdżyński K., 1998 – Miernictwo hydrologiczne. IMGW, Warszawa: 264 ss.
- Rzepa Cz., 1992 – Wpływ denudacji na chemizm wód w zlewni Czarniej Nidy w Górach Świętokrzyskich. *Kieleckie Tow. Nauk.*, Kielce: 100 ss.
- Rzętała M., 2000 – Bilans wodny oraz dynamika zmian wybranych zanieczyszczeń zbiornika Dzierżno Duże w warunkach silnej antropopresji. *Wyd. UŚ, Katowice*: 175 ss.
- Siwiek J., 2004 – Źródła w zlewniach Prądnika, Dłubni i Szreniawy. Naturalne i antropogeniczne uwarunkowania jakości wód. *Inst. Geogr. i Gosp. Przem. UJ, Kraków*: 98 ss.
- Skowron R., 1999 – Termiczna sezonowość wody powierzchniowej w jeziorach polskich – jej fluktuacje i tendencje. W: A. Chojński, J. Jańczak (red.) *Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior. Konferencja Limnologiczna Radzyń k. Sławy, 20–22 września 1999*. *Wyd. IMGW, Warszawa*: 231–243.
- Słownik Chemii Analitycznej, 1984 – *Wyd. Nauk.-Tech., Warszawa*.
- Słownik Hydrogeologiczny, 1997 – *Wyd. Trio, Warszawa*: 238 ss.
- Smolarek W., 2007 – Charakterystyka hydrologiczna wywierzyska w Strzemieszycach Wielkich na Wyżynie Śląskiej oraz propozycja jego ochrony. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziulkiewicz (red.) *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. *Wyd. NG UŁ, Łódź*: 312-331.
- Soczyńska U., 1977 – Podstawy metodyczne regionalnego modelu zlewni w warunkach polskich. *Mat. Badawcze, Seria Hydrologia. IMGW, Warszawa*: 130 ss.
- Somorowska U., 2006 – Wpływ stanu retencji podziemnej na proces odpływu w zlewni nizinnej. *Disertationes*, 473, *Wyd. UW, Warszawa*: 151 ss.
- Somorowski Cz., 1998 – Wodno-bilansowe kryteria siedlisk w krajobrazie rolniczym. *Wyd. SGGW, Warszawa*.
- Spieker J., 1998 – Künstliche Sauerstoffanreicherung und ihre Auswirkung auf ein mischwasserbelastetes urbanes Gewässer. *Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades des Fachbereichs Biologie der Universität Hamburg, Hamburg*: 151 ss.
- Stachy J., Fal B., 1967 – Przepływy charakterystyczne rzek polskich w latach 1951–1960. *Mat. PIHM, Warszawa*.
- Starmach K., Wróbel S., Pasternak K., 1978 – *Hydrobiologia. Limnologia. PWN, Warszawa*: 620 ss.
- Staśko S., 2007 – Źródła w hydrogeologii; ich znaczenie, metodyka badań i wykorzystanie wyników. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziulkiewicz (red.) *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. *Wyd. NG UŁ, Łódź*: 48-54.
- StatSoft 2006 – *Elektroniczny Podręcznik Statystyki PL, Kraków, WEB*: <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html>.
- Stawecki K., Zdanowski B., Mieczkowski J., 2005 – Chemiczne wskaźniki trofii jeziora Hańcza. W: A. T. Jankowski, M. Rzętała (red.) *Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne, procesy przyrodnicze oraz znaczenie społeczno-gospodarcze*. *Sosnowiec*: 213-220.
- Stolarska M., 2006 – Sezonowe zmiany podstawowych właściwości hydrochemicznych wód podziemnych w małej zlewni nizinnej. *I Ogólnopol. Konf. Geografów-Doktorantów, Lublin 12–14 czerwca 2006*: 41-48.
- Stolarska M., Frątczak J., 2005 – Sezonowa zmienność podstawowych właściwości fizykochemicznych wód w wybranych łódzkich stawach. W: A. T. Jankowski, M. Rzętała (red.) *Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne, procesy przyrodnicze oraz znaczenie społeczno-gospodarcze*. *Sosnowiec*: 221-230.
- Stolarska M., Moniewski P., 2007 – Podstawowe właściwości fizykochemiczne wód w niszy źródłiskowej Rosanów I. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziulkiewicz (red.) *Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne*. *Wyd. NG UŁ, Łódź*: 213-224.
- Szymańska H., 1997 – Retencja wody a jej jakość. *Gosp. Wodna*, 3(578): 78-81.
- Szymczak M., 1985 – *Słownik Języka Polskiego. PWN, Warszawa*: 1103 ss.
- Tomaszewska T., Rutkowski Z., 1999 – Fenologiczne pory roku i ich zmienność w wieloleciu 1951–1990. *Mat. Bad. IMGW, ser. Meteorologia*, 28: 39 ss.
- Tomaszewski E., 2001 – Sezonowe zmiany odpływu podziemnego w Polsce w latach 1971–1990. *Acta Geogr. Lodz.*, 79: 149 ss.

- Turkowska K., 2006 – Geomorfologia regionu łódzkiego. Wyd. UŁ, Łódź: 238 ss.
- Twarowski R., Genolla T., Liana E., Woś A., 2005 – Kwaśne deszcze na obszarze Polski. W: J. Burchard (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, t. III. Wyd. UŁ, Łódź: 37-48.
- Waligóra J., 2002 – Reżim źródeł w zlewni Szarżanka. W: A. T. Jankowski (red.) Jakość i podatność wód podziemnych na zanieczyszczenie. *Pr. Wyd. NoZ Uniw. Śl.*: 201-208.
- Walisch M., 2003 – Wpływ warunków fizycznogeograficznych na obieg wody w małych zlewniach regionu łódzkiego. Maszynopis. Praca doktorska. ZHiGW UŁ: 233 ss.
- Walisch M., Dałkowski R., Fenyk A., Urbaniak P., 2007 – Chemizm wód rzeki Mroźnicy na tle zmian przepływu zlewni. W: Z. Michalczyk (red.) Obieg wody w środowisku naturalnym i przekształconym. Wyd. UMCS, Lublin: 565-573.
- Walna B., Kurzyca I., Siepak J., 2005 – Wpływ lokalnych źródeł emisji zanieczyszczeń na wybrane parametry fizyczno-chemiczne opadów atmosferycznych. W: J. Burchard (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, t. III. Wyd. UŁ, Łódź: 57-66.
- Ward R. C., 2000 – Principles of Hydrology. McGraw-Hill Publishing Company England, London: 449 ss.
- Ward A. D., Trimble S. W., 2004 – Environmental Hydrology. Lewis Publishers by CRC Press LLC United States of America: 475 ss.
- Więckowska H., 1961 – O diagnozie charakteru działów podziemnych. *Prz. Geogr.*, IV, 4.
- Wiszniewski W., 1960 – Kilka uwag o meteorologicznych porach roku w Polsce w świetle wieloletnich wartości temperatur powietrza. *Prz. Geofiz.*, 5, 1: 31-39.
- Wojda R., 2003 – Analiza wyników produkcyjnych chowu ryb na tle biotycznych i abiotycznych elementów ekosystemu. W: J. Pawlik-Dobrowolski, A. Łempicka (red.) Kształtowanie się elementów obiegu materii w systemach stawów o funkcji gospodarczej i ekologicznej. Wyd. MUZ, Falenty: 68-77.
- Woś A., 1999 – Klimat Polski. PWN, Warszawa: 302 ss.
- Wrzesiński D., 1999 – Sezonowa struktura odpływu w dorzeczu Warty i jej przyrodnicze uwarunkowania. *Pr. Kom. Geogr.-Geol. PTPN*, 25: 155 ss.
- Ziemońska Z., 1966 – Obieg wody w obszarze górskim na przykładzie górnej części dorzecza Czarnego Dunajca. *Pr. Geogr.*, 55: 111 ss.
- Ziulkiewicz M., 2007 – Zróżnicowanie hydrochemiczne wód podziemnych niszy źródłiskowej w Ciosnach. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziulkiewicz (red.) Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne. Wyd. NG UŁ, Łódź: 225-233.
- Żelazna-Wieczorek J., Ziulkiewicz M., 2007 – Okrzemki bentosowe źródła Dobieszków na tle warunków siedliskowych. W: P. Jokiel, P. Moniewski, M. Ziulkiewicz (red.) Źródła Polski. Wybrane problemy krenologiczne. Wyd. NG UŁ, Łódź: 265-279.
- Żelazo J., Popek Z., 2002 – Podstawy renaturyzacji rzek. Wyd. SGGW, Warszawa: 319 ss.
- Żelazny M. (red.), 2005 – Dynamika związków biogenych w wodach opadowych, powierzchniowych i podziemnych w zlewniach o różnym użytkowaniu na Pogórzu Wiślickim. IGI GP UJ, Kraków: 216 ss.
- Żelazny M., Raczak J., Szczęsny B., 2005 – Krótkoterminowe zmiany składu chemicznego wód powierzchniowych w małych zlewniach na progu Pogórza Wiślickiego. W: J. Burchard (red.) Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce, t. III. Wyd. UŁ, Łódź: 151-163.

SPIS ILUSTRACJI

Rysunki

1. Lokalizacja zlewni badawczej
2. Naturalne i antropogeniczne formy rzeźby
3. Wodopruszczalność osadów powierzchniowych
4. Ekwidystanty odległości od cieku
5. Miąższość strefy aeracji i ukształtowanie zwierciadła pierwszego poziomu wód podziemnych (lipiec 1998)
6. Wybrane obiekty gospodarki wodnej
7. Sieć posterunków pomiarowych
8. Miesięczne zmiany warunków meteorologicznych zlewni – ASH-M Ciosny
9. Miesięczne zmiany retencji
10. Rozkłady częstości przepływu rzeczne go i wydajności źródeł
11. Rozkłady częstości głębokości do zwierciadła wód podziemnych
12. Rozkłady częstości temperatury – wody powierzchniowe
13. Rozkłady częstości temperatury – wody źródeł i wypływów
14. Rozkłady częstości temperatury – wody podziemne
15. Rozkłady częstości przewodności elektrolitycznej wód powierzchniowych
16. Rozkłady częstości przewodności elektrolitycznej wód źródłanych
17. Rozkłady częstości przewodności elektrolitycznej wód podziemnych
18. Klasyfikacje odczynu wody
19. Rozkłady częstości odczynu wód powierzchniowych
20. Rozkłady częstości odczynu wód źródeł
21. Rozkłady częstości odczynu wód podziemnych
22. Rozkłady częstości zawartości tlenu w wodach
23. Przykłady wyróżnionych typów funkcji autokorelacyjnej
24. Przykłady wskaźników pory koncentracji i indeksu sezonowości

Tabele

1. Wykaz posterunków pomiarowych
2. Przyrządy i czujniki wykorzystane w pomiarach: warunków termiczno-wilgotnościowych atmosfery, właściwości hydrochemicznych wód
3. Warunki meteorologiczne zlewni
4. Miesięczne wskaźniki hydrometeorologiczne
5. Miary rozkładu przepływu i wydajności źródeł
6. Miary rozkładu głębokości do zwierciadła wód podziemnych
7. Miary rozkładu temperatury wody
8. Miary rozkładu przewodności elektrolitycznej wody
9. Miary rozkładów odczynu wody
10. Miary rozkładu zawartości tlenu rozpuszczonego
11. Macierz współczynników kierunkowych trendu (b) i współczynników determinacji (R^2)
12. Wskaźniki względnego tempa zmian – P_w (%)
13. Typy kształtu funkcji autokorelacyjnej
14. Numery dni w poszczególnych miesiącach roku kalendarzowego
15. Indeksy sezonowości i wskaźniki pory koncentracji przepływu oraz głębokości do zwierciadła wód podziemnych
16. Indeksy sezonowości i wskaźniki pory koncentracji temperatury powietrza i wody
17. Indeksy sezonowości i wskaźniki pory koncentracji przewodności elektrolitycznej wody
18. Indeksy sezonowości i wskaźniki pory koncentracji odczynu wody
19. Indeksy sezonowości i wskaźniki pory koncentracji zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie
20. Współczynniki korelacji temperatury powietrza z hydrologicznymi i fizykochemicznymi cechami wody
21. Częstości (w procentach) występowania wód I klasy jakości

Załącznik

1. Zmiany właściwości hydrochemicznych wód w latach 2004–2005

SEASONAL CHANGES OF WATER RESOURCES AND BASIC PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF WATERS IN SMALL LOWLAND CATCHMENT

LIST OF ILLUSTRATIONS

Figures

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Localisation of the Dzierżązna catchment 2. The natural and anthropogenic relief forms 3. Water permeability of surface deposits 4. Isolines of distance from rivers 5. The depth to the first aquifer horizon in the Dzierżązna catchment (July 1998) 6. Chosen objects of water management 7. The net of measurement points 8. Monthly changes of meteorological conditions in the Dzierżązna catchment 9. Monthly changes of retention 10. Frequency distributions of rivers flow and springs discharge 11. Frequency distributions of depth to ground waters levels 12. Frequency distributions of temperatures – surface waters 13. Frequency distributions of temperatures – springs 14. Frequency distributions of temperatures – ground waters 15. Frequency distributions of conductivity – surface waters 16. Frequency distributions of conductivity of spring's waters 17. Frequency distributions of conductivity of ground waters 18. Classifications of water pH-level. 19. Frequency distributions of pH-level of surface waters 20. Frequency distributions of pH-level of spring's waters 21. Frequency distributions of pH-level of ground waters 22. Frequency distributions of oxygen dissolved in waters 23. Examples of types of autocorrelation function 24. Examples of the time concentration index and the seasonality index | <ol style="list-style-type: none"> 3. Meteorological conditions in catchment. 4. Monthly coefficients of hydro-meteorological characteristics 5. Measures of rivers flow and springs discharge distribution 6. Measures of distribution of depth to the groundwaters level 7. Measures of distribution of waters temperature 8. Measures of distribution of waters conductivity 9. Measures of distribution of waters pH level 10. Measures of distribution of dissolved oxygen capacity 11. The matrix of trend direction coefficients and determination coefficients 12. Coefficients of relative rate of changes – P_w (%) 13. Types of shape of autocorrelation function 14. Numbers of days in months in calendar year 15. Seasonality index and time concentration index of river flow, spring discharge and depth to the ground water level 16. Seasonality index and time concentration index of temperature of air and water 17. Seasonality index and time concentration index of waters conductivity 18. Seasonality index and time concentration index of waters pH level 19. Seasonality index and time concentration index of capacity of oxygen dissolved in water 20. Correlation coefficients of air's temperature and hydrological physicochemical characteristic of water 21. Frequency of days with I class of water quality |
|---|--|

Appendix

1. Changes of hydrochemical properties of waters in 2004-2005

Tables

1. List of measurement points
2. Instruments and sensors used in measurements of: meteorological conditions of atmosphere and hydrological and physicochemical characteristics of water

SUMMARY

ABSTRACT

The question of seasonality of hydrological processes was and also at present is very smouldering. Nevertheless questions of seasonal changes of water resources quantity and chemistry of waters were often analysed with variant methods and were separately published. The presented paper proponed new methodical approach to analyses of seasonality of hydrological processes.

The principal aim of this paper was identification and valuation of level of seasonal variability of water resources and basic physico-chemical characteristics (temperature, conductivity, pH-level, amount of dissolved oxygen) of waters in small lowland catchment – the Dzierżazna catchment. The research area was almost 43km² and was located to the North from Łódź. The period of fields researches spans of two years 2004 and 2005. In order to gain the prime aim of the paper the special monitoring network was prepared. It consisted of 14 measurement points. The interval between the measurements was two weeks. The measurements were made in situ on every point of the network. Hydrometric and physico-chemical data were supplemented by meteorological materials which featured air's temperature, humidity and precipitation conditions.

Collected series were preliminary statistically analysed by use of basic statistic measures of dispersion (average, standard deviation, variability coefficient, diagrams of frequency). The next and fundamental stage of analyses was devoted to identification and estimation of seasonality of examined water characteristics. The statistic methods used at this stage of researches never before were used in analyses of physico-chemical characteristics of waters. Author used the analyses of: shape of autocorrelation function, the Markham indexes – (time concentration index and seasonality index) and coefficient of relative rate of changes.

Researches of seasonality and its level were also based on analyses of correlation coefficients of temperature and hydrochemical characteristic of water – called relative measure of seasonality.

The results shown that the majority of waters had seasonal rhythm of changes of resources quantity and physico-chemical features. In different elements of the Dzierżazna's water cycle the course of changes of water resources quantity was similar and mostly annual and clearly seasonal. Except springs waters the seasonality of other waters temperature had "classic" rhythm like well known climate seasons. Simultaneously, temperature of waters of every single groundwater outflow in the spring niches was not seasonal. The temperature on conductivity of this waters was quasi-constant during whole research period. The rest of examined waters characterised very clear and annual rhythm of conductivity changes. In general, fluctuations of waters pH-level had the same course as it is said in other publications. Observed in the catchment changes of waters pH-level was corresponding to fluctuations of water quantity, temperature and conductivity. The influence of anthropogenic factors was found referring to changes of pH-level and conductivity of ground waters (especially in shallow and intermorainic ground waters levels). On average, capacity of dissolved oxygen in rivers and springs waters was near to 7mg·dm⁻³. The lowest level of variability of oxygen conditions was in relation to springs waters.

Analyses proved that in period of 2004–2005 the Dzierżazna catchment's waters generally became more acidic. Contemporaneously, quantity of surface waters resources and amount of dissolved oxygen were slightly declining. Additionally, ground waters in wells became warmer and depth to ground water levels increased.

INTRODUCTION

With development of civilization people got used to systematization of all processes with calendar accuracy. Nevertheless natural processes have their own variability and rhythm. Water cycle is almost ideal pattern of seasonality which is resultant of different factors which also have its own rhythm of changes. Nowadays identification of those rhythms and examination of its origins and connections is one of the most difficult and the most interesting tasks of hydrology.

The most of publications are devoted to examination of seasonality of hydrological characteristics especially changes of quantity of water resources. Analyses of variability of water physico-chemical characteristics are not very popular and often are just the superficial presentation. Generally the scientific literature separately shows analysed matters of water's quantity and quality. According to this the crucial need is to start examine seasonality of those two matters together with engagement of the best statistic methods. The presented publication undertook the challenge of this type of studies. Author's researches comprise the small lowland catchment located in northern part of region called

Łódź Hills which is drained by Dzierżazna river and its main creek Ciosenka. The fact of the small area of the Dzierżazna's catchment (almost 43 square kilometers) is essential to Author's analyses. Opposite to vast areas gives opportunity to make very precise researches which take into account many factors impacting on hydrological and waters physico-chemical processes.

The research area is located only about 5 kilometers to the north of Łódź. Its southern borders reach to suburban zone of Zgierz called Rudunki. The typical for this region is mosaic scheme of terrain usage dominated by agricultural areas and quickly developing recreational settlements. From the physico-geographical point of view the catchment area is characterized by high diversity of geomorphological structures, differences of elevations reaching 85 m and slope of height almost 10 m per 1 km. Direction of drainage of research area is to the North what is consistent with general slope. The main ground water levels of active zone are outwash and intermorainic. The first is developed in sands of vast outwash named grotnicko-luźmierski and is the most important reservoir for rivers ground

waters drainage. The intermorainic ground water level is not so vast as outwash level. Apart from mentioned above in the active zone of the catchment there are two not deep ground waters

levels: alluvial and shallow. Except the alluvial level the rest of ground waters levels is essential to water supply of households located in the catchment.

AIM AND METHODOLOGY OF THE RESEARCH

The prime aim of presented publication was recognition and evaluation of the seasonality of basic water's characteristics as: temperature, conductivity, pH-level, amount of dissolved oxygen. Materials about changes of water resources were collected from measurements of rivers flow, springs discharge and depth to the ground waters levels. Mentioned characteristics were measured (in situ) as well as in surface and ground waters of the Dzierżazna catchment. For that reason Author prepared the monitoring network of 14 measurement points. The surface waters were measured in 6 points: 3 points located on rivers, 3 for monitoring waters of reservoirs (table 1, fig. 7). The network of ground waters points were combined of 7 measurement points (2 springs, 3 wells, 2 piezometers of alluvial waters).

Hydrometric and physico-chemical datas were supplemented by meteorological materials from The Automatic Hydro-Meteorological Station located in Ciosny (the 14th measurement point). The group of measurements which were taken from The Station was wide but for needs of analyses Author chose only: daily datas of air's temperature, humidity, pressure and sums of precipitation.

The period of fields researches spans of two years 2004 and 2005. The interval between the measurements was precisely two weeks. All

measurements took place during one day on all measurement points what provided the homogeneity of weather conditions during measuring and by means of this the homogeneity of data series. As the result of monitoring of the catchment's waters for every measurement point Author gathered series of each characteristic numbered 54 elements.

Collected series were preliminary statistically analysed by use of basic statistic measures like average, standard deviation, variability coefficient, maximum, minimum and autocorrelation coefficient. The next stage of analyses was devoted to identification and estimation of seasonality of examined water characteristics. The statistic methods used at this stage of researches never before were used in analyses of physico-chemical characteristics of waters. The group of used methods consists of: coefficient of relative rate of changes (P_w), analyses of types of shape of autocorrelation function, the Markham indexes – seasonality index (IS) and time concentration index (PK) and correlation coefficients of temperature and hydrochemical characteristic of water – called relative measure of seasonality ($r_{T_{pow}}$). Author also made an analysis of time variability graphs with taking into account the law standards of waters quality.

EFFICIENCY OF USED METHODS

Important conclusion from analyses is the result of confrontation and valuation of efficiency of used methods. From the whole group of statistic methods of identification and valuation of seasonality the lowest efficiency had Markham's indexes. These conclusion referred to data of water's conductivity and pH-level. The analyse of shape of autocorrelation function gave the opportunity to distinguish three types of data series: (type I) with tendency for forming less or more clear quasi-annual rhythm of changes, (type II) without any features of seasonality, (type III) characterized by rhythm of changes longer than

one year. Estimations of relative measure of seasonality in most cases gave convergent results with the results of autocorrelation functions. Series with annual type of changes (type I) usually characterized synchronous changes with rhythm of air temperature (proportional or inversely proportional correlation). The lack of statistic correlation between hydrological, physico-chemical characteristic and temperature of air was simultaneously observed with type II of shape of autocorrelation function. Series with rhythm longer than one year (type III) mostly had statistically significant trend.

SEASONALITY OF WATER RESOURCES QUANTITY

In different elements of the Dzierżazna's water cycle the course of changes of water resources quantity was similar and mostly annual and clearly seasonal. The rhythms of Dzierżazna's and Ciosenka's flow were similar and very seasonal. In annual period Author distinguished the season of high flows which were connected with thaws in winter and in spring and the season of low flows which lasted from summer to autumn. During the second season there was short break period of high flows caused by summer rains. The maximum of springs discharge was retard to maximums of rivers flow from one and a half to two months. Nevertheless, low flows in rivers and low discharge of springs took place at the same time. Similarity of those regimes is the result of very intensive drainage of the same ground water level – outwash ground water level.

Although there was a similarity of fluctuations each ground water level had different amplitude and moved in time extreme values.

There was a principle – with increase of depth to the ground water horizon the fluctuations were weaker. Periods of deep localization of intermorainic and outwash ground water levels were definitely longer than it was in shallow and alluvial ground water levels. The parallel situation was with period of low depth to the ground waters horizons. Periods of horizon rise were slightly shorter in shallow and alluvial waters than in deep and vast ground waters levels. High level of inertia and slow rate of change of deep ground water resources were the factors responsible for that principle. The level of seasonal fluctuations of shallow ground waters levels, additionally, was similar to seasonality of river flow. Simultaneously, the runs of depth changes of shallow ground waters were synchronous to variability of air temperature – the highest air temperature the deeper localization of ground water horizon (alluvial and shallow).

TEMPERATURE

Average temperatures of the catchment's surface and ground waters were approximate to mean air temperature which obtained 9,2°C. Seasonal changes of waters temperature, excluding waters of single groundwater outflows in the spring niches, had "classic" rhythm like well known

climate seasons. Simultaneously, temperature of waters of single groundwater outflow in the spring niches was not seasonal. The temperature of this waters was quasi-constant during whole research period.

CONDUCTIVITY

Water conductivity changed in a very wide range from near 120 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ to 645 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ in surface waters and from 148 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ to 1158 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ in ground waters. Excluding waters of single ground water outflows in the spring niches which conductivity was quasi-constant during whole research period, the rest of examined waters characterized very clear and annual rhythm of conductivity. Correlation between conductivity of surface waters and air temperature was strong and inversely proportional. Statistical analyses did not adjust seasonal fluctuations of conductivity of every ground waters levels. In most cases ground waters conductivity characterized the lack of seasonality or it was not clear tendency to forming the rhythm longer than annual. Author noticed the principle of mutual changes of waters conductivity,

their temperature and quantity of resources. High conductivity of surface waters, outwash and intermorainic ground waters corresponded with high level of water resources and relatively low temperatures of waters (alimentation of winter's and spring's thaws). Inversely, the lowest water's conductivity the highest temperature. However shallow and alluvial ground waters characterized different principle. Simultaneously, during periods of low depths to the ground water horizons the conductivity and temperature were also low. While those ground waters featured very deep localization of horizon their conductivity and temperature were high. That principle shown the fact of decrease of total mineralization as a result of influence of alimentation by low mineralized rain and thaw waters.

pH-LEVEL

pH-level of catchment's waters spanned from low-acidic (5,2 pH) to low-alkaline (9,8 pH). On average in most cases water pH-level was close to neutral. The lowest variability of pH-level adjusted among rather deep water-bearings. Very low variability coefficients were recognized in waters of intermorainic and outwash bearings. In general, fluctuations of waters pH-level had the same course as it is said in other publications. The course of surface waters pH-level changes corresponded with fluctuations of water quantity, temperature and conductivity. Periods of thaw high flows characterized decrease of water's pH-level and simultaneous decrease of temperature and increase of conductivity. Alkaline process took place during

periods of low water resources, high temperatures and low conductivity. The parallel situation was noticed in the catchment's ground waters. Increase of pH-level were observed while ground waters were warm and water resources were low. Acidity of waters was noticed in spring. Changes of the Dzierżazna catchment surface waters pH-level in most cases had only slight statistical tendency to longer than annual type of fluctuations. On the contrary, ground waters pH-level changed with no statistic features of seasonality or had tendency to forming an annual rhythm. The prime conclusion about seasonality of the catchment waters pH-level is that changes were quasi-synchronous to air temperature serie.

OXYGEN DISSOLVED IN WATERS

On average, capacity of dissolved oxygen in surface and springs waters was near to $7\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. The minimum of oxygen capacity was $0,8\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ and the maximum was near $13\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. The lowest level of variability of oxygen conditions was in relation to springs waters. In addition to surface waters low capacity of oxygen was as well as in winter and in summer. The winter shortage of oxygen dissolved in waters was the result of thick ice-cover which enabled dissolution of oxygen. The summer oxygenic shortage was observed

because of high warming of waters and dominance of ground water alimentation. Additionally, at summer time the factor responsible for oxygen shortage in waters was intensive processes of vegetation. The process of oxygenic supersaturation was very rare and took place only when rivers and large springs were supplied by "fresh" thaw waters. Statistic analyses shown that changes of capacity of dissolved oxygen in surface and springs waters featured very weak or lack of seasonal rhythm.

STATISTICAL TRENDS

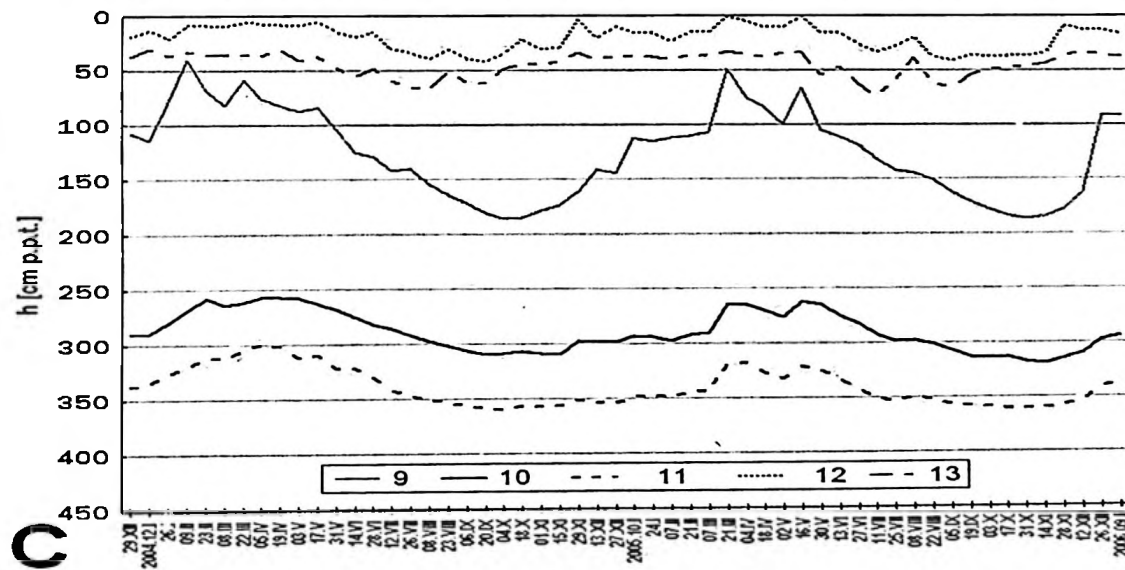
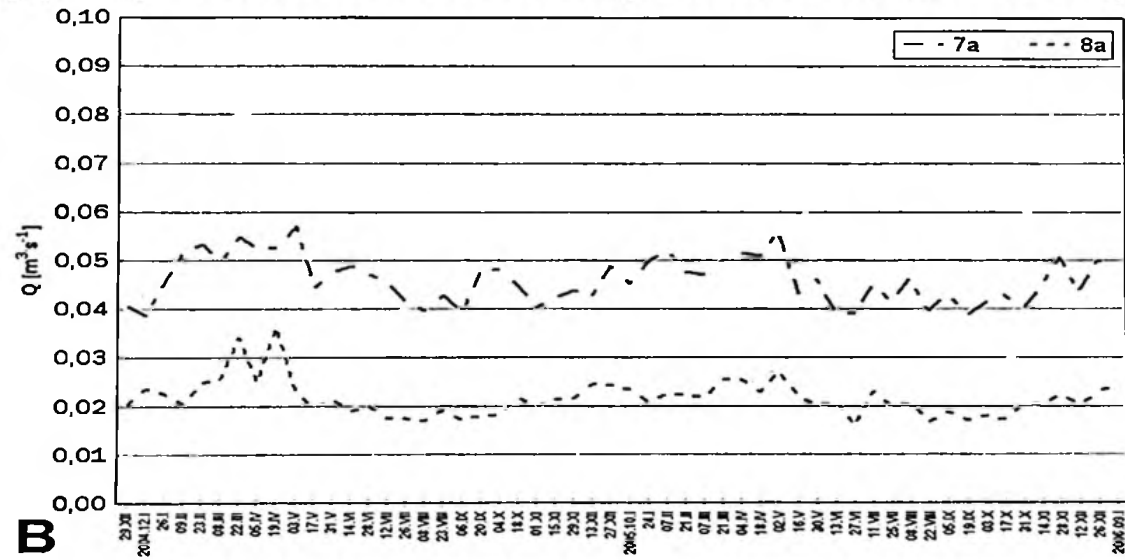
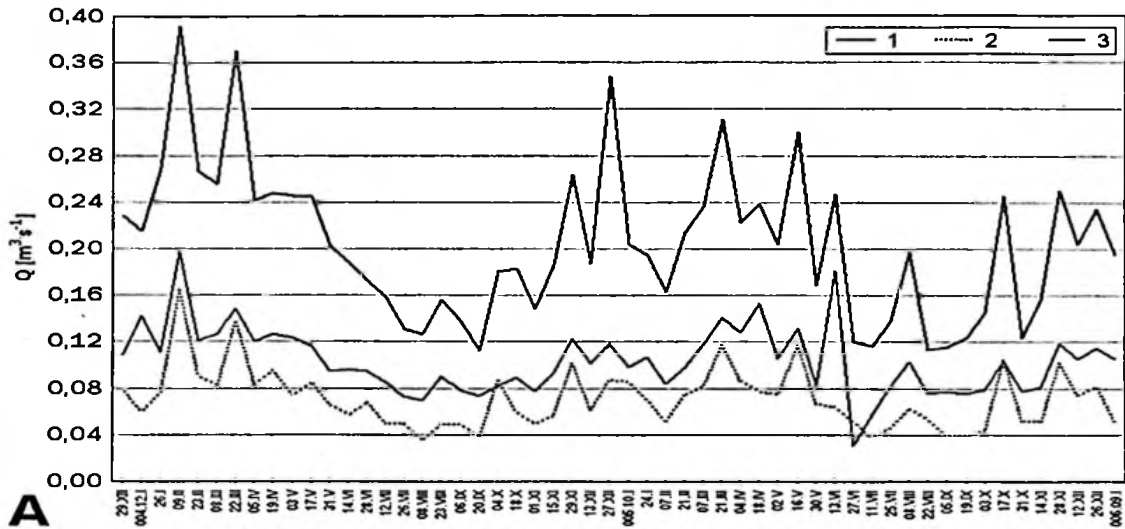
Analyses proved that in period of 2004–2005 water resources of the Dzierżazna catchment were slightly decreasing. Only series of springs discharge characterized by the lack of statistical trend. It is suitable to add that from meteorological point of view whole research period was normally (sufficiently) humid. Majority of examined characteristics of surface waters had "classic" rhythm. That seasonal fluctuations were formed as

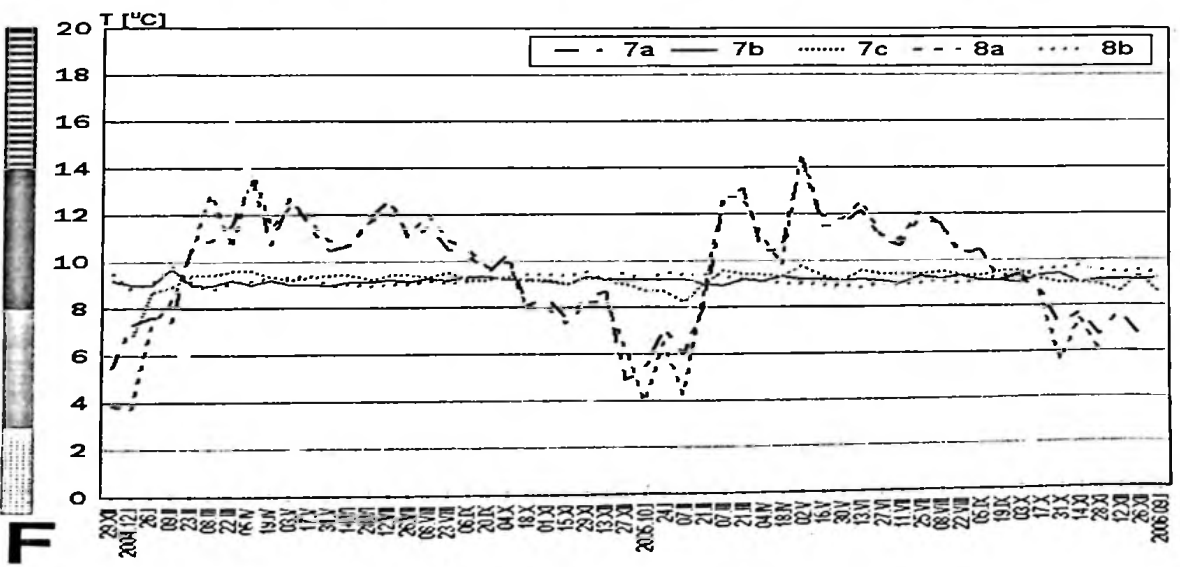
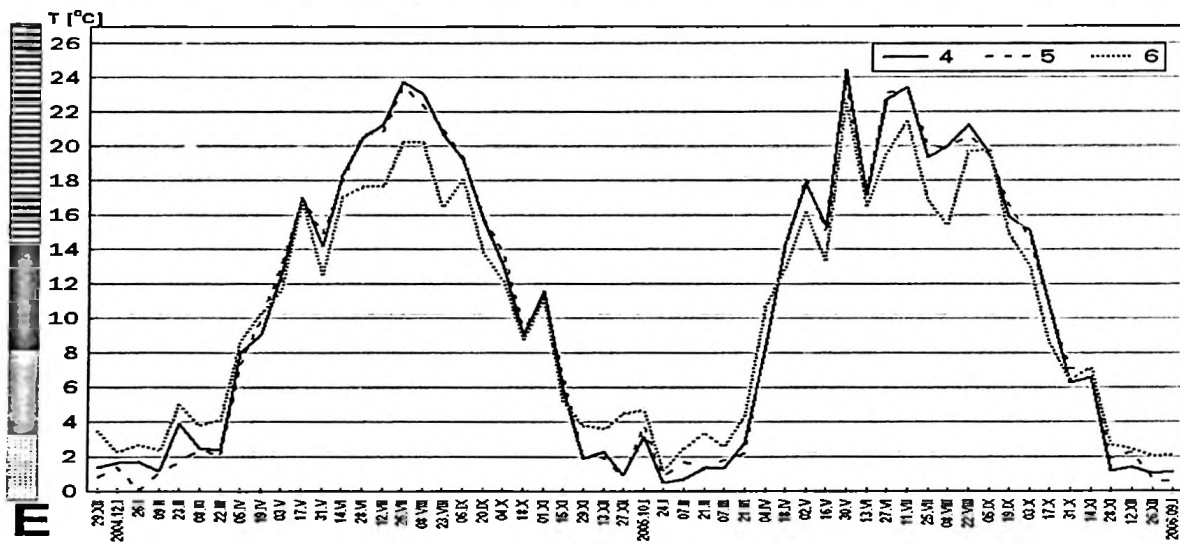
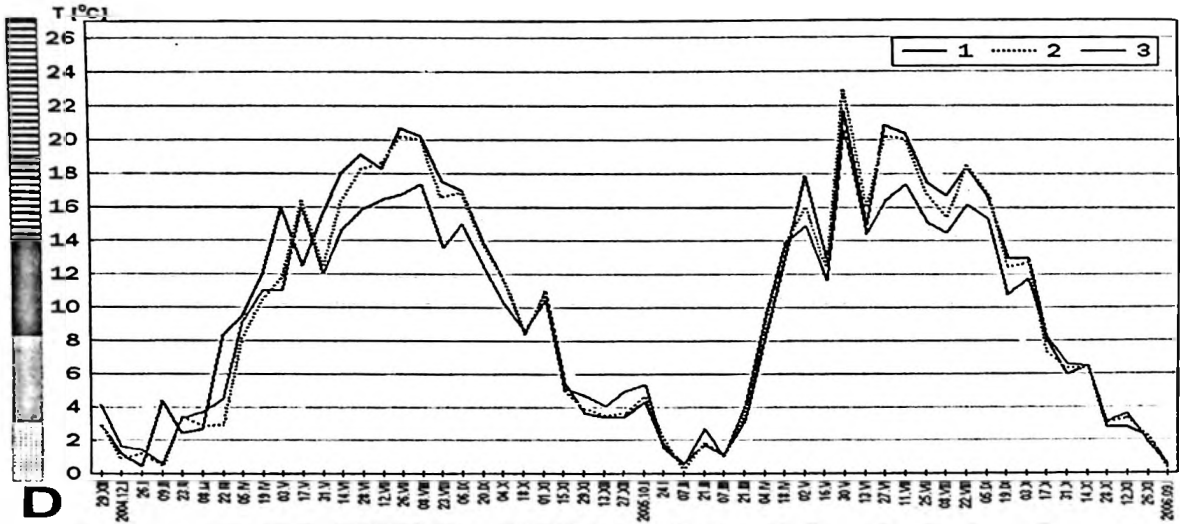
a result of influence of thermal and humid conditions of atmosphere. Analyses of statistic tendency proved that the catchment's waters generally became more acidic. Contemporaneously, quantity of surface waters resources and amount of dissolved oxygen were slightly declining. Additionally, ground waters in wells became warmer and depth to ground water levels increased.

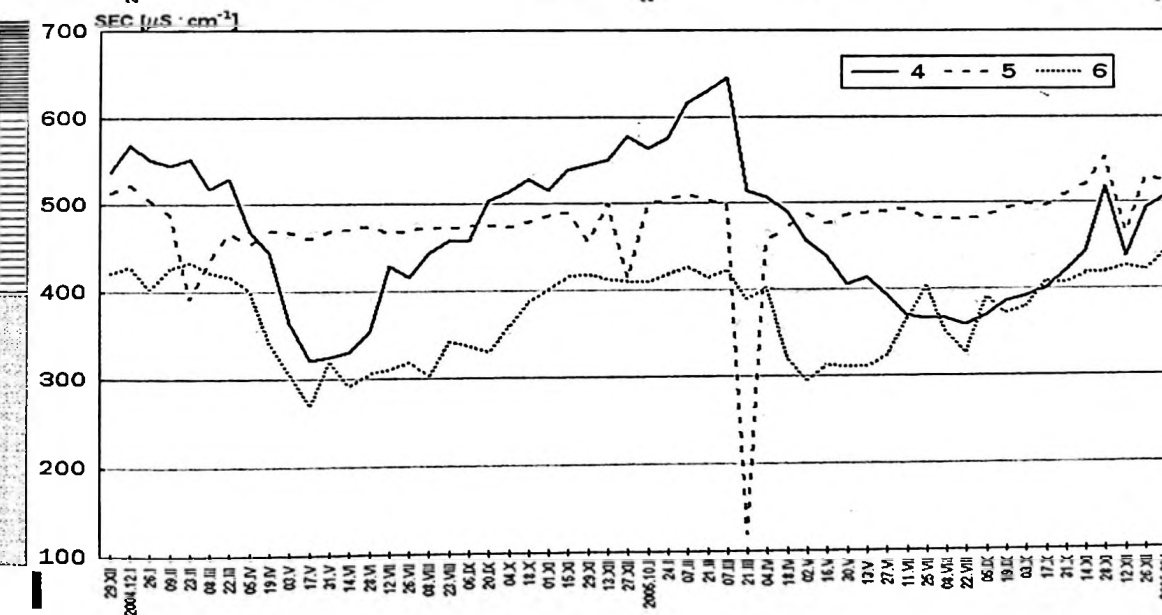
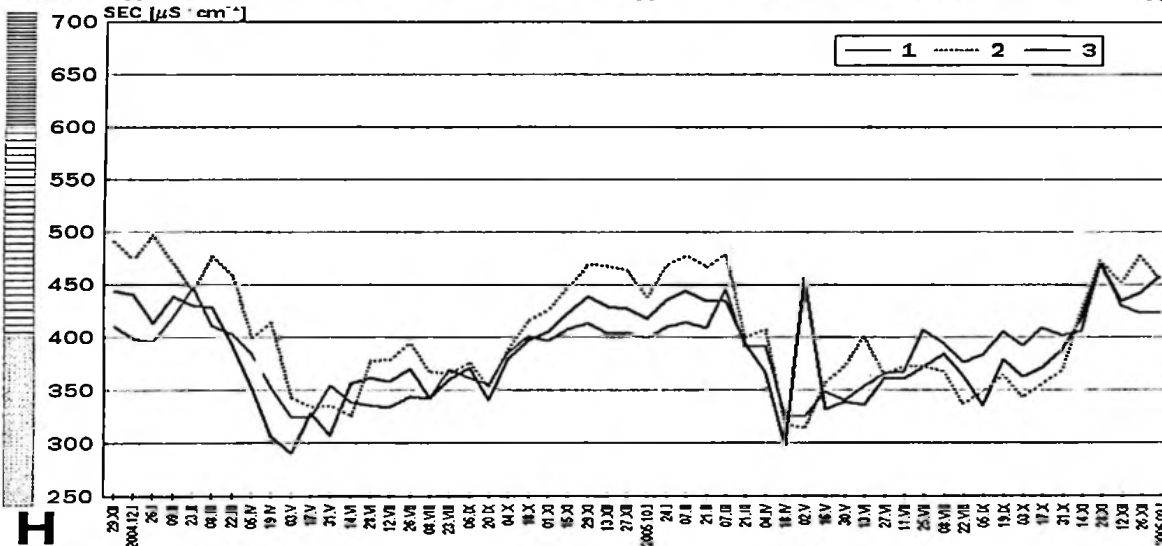
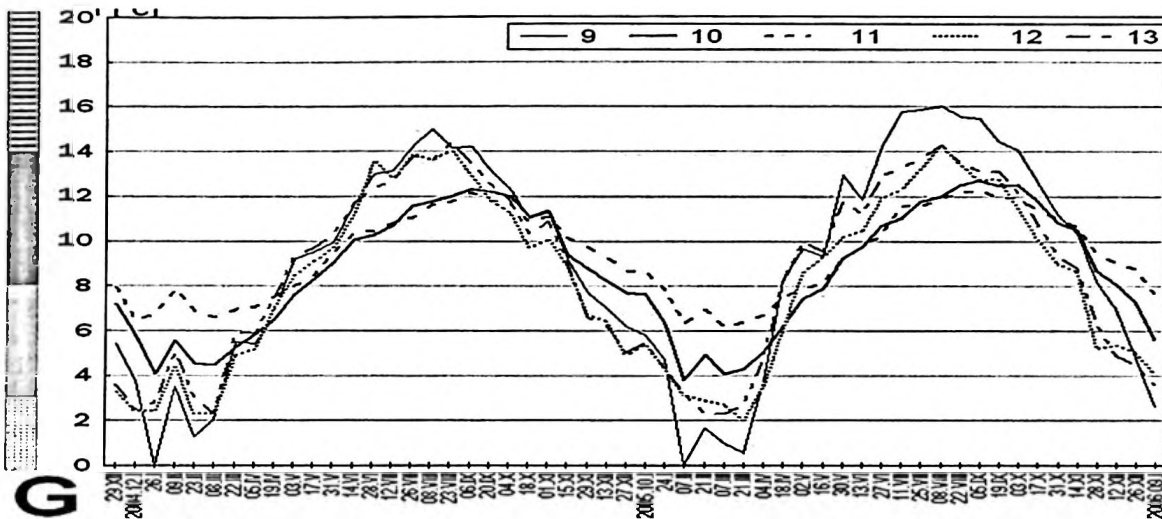
GENERAL CONCLUSIONS

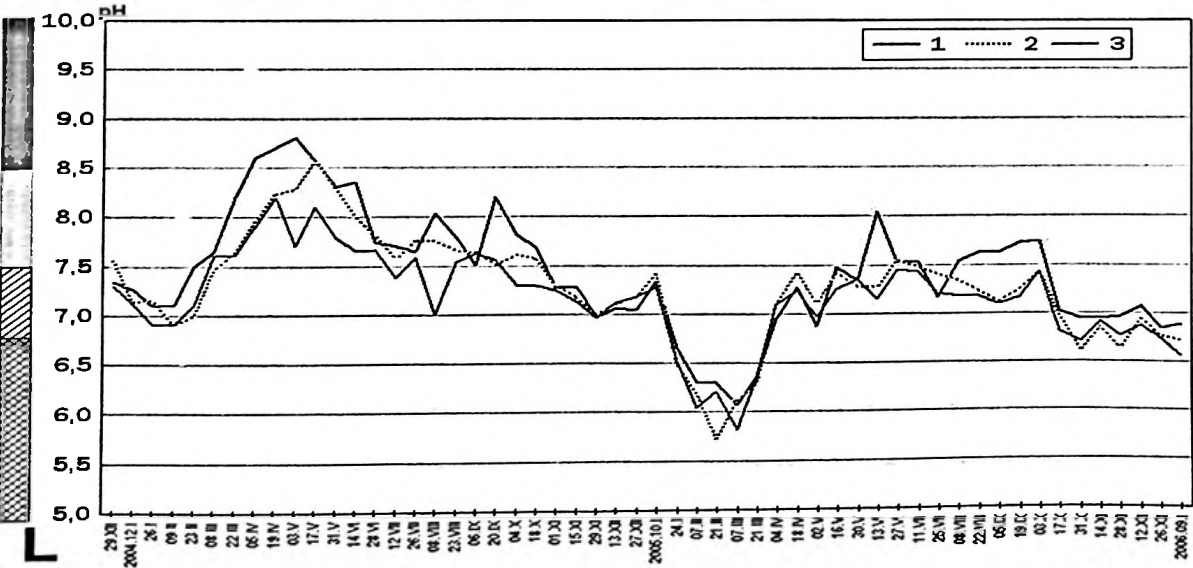
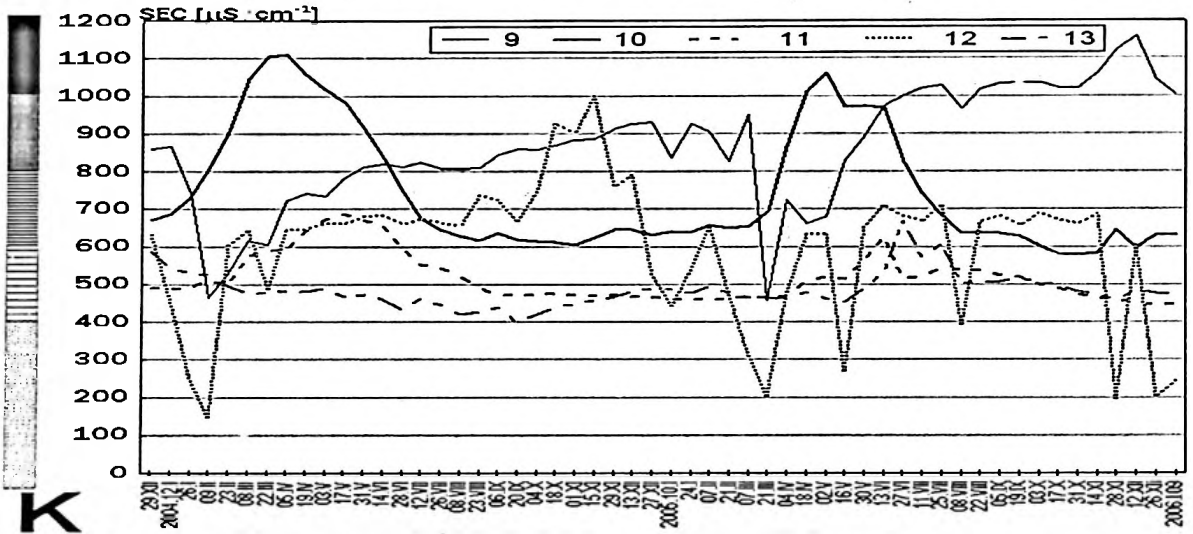
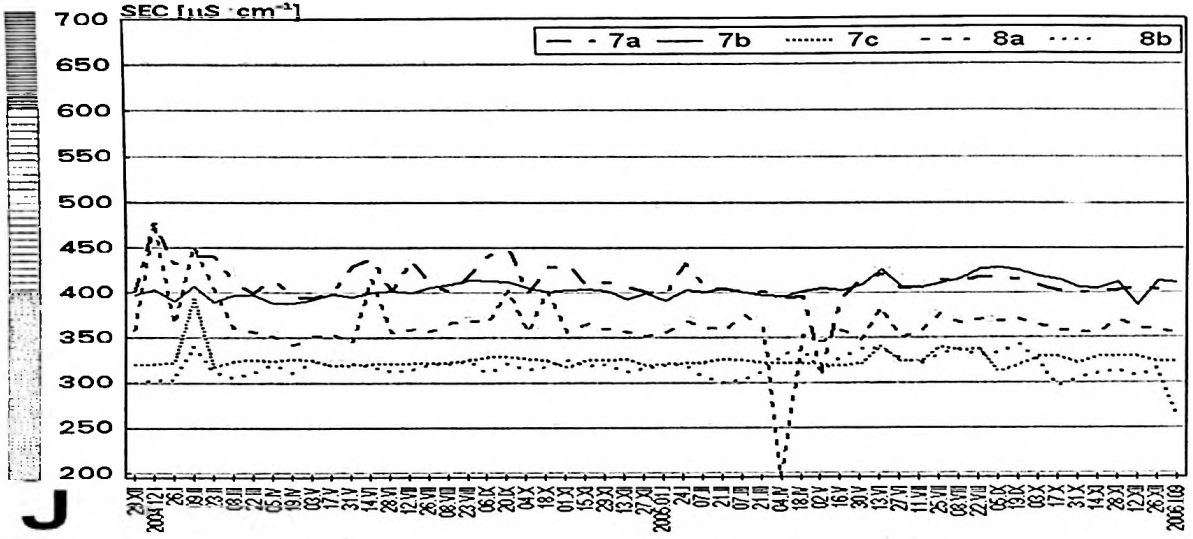
Obtained results of analyses shown that subject matter like seasonality of water resources and physico-chemical characteristics needs to be analysed in interdisciplinary manner. Because of multiple nature of seasonality of hydrological processes some aspects still need to be examined. In

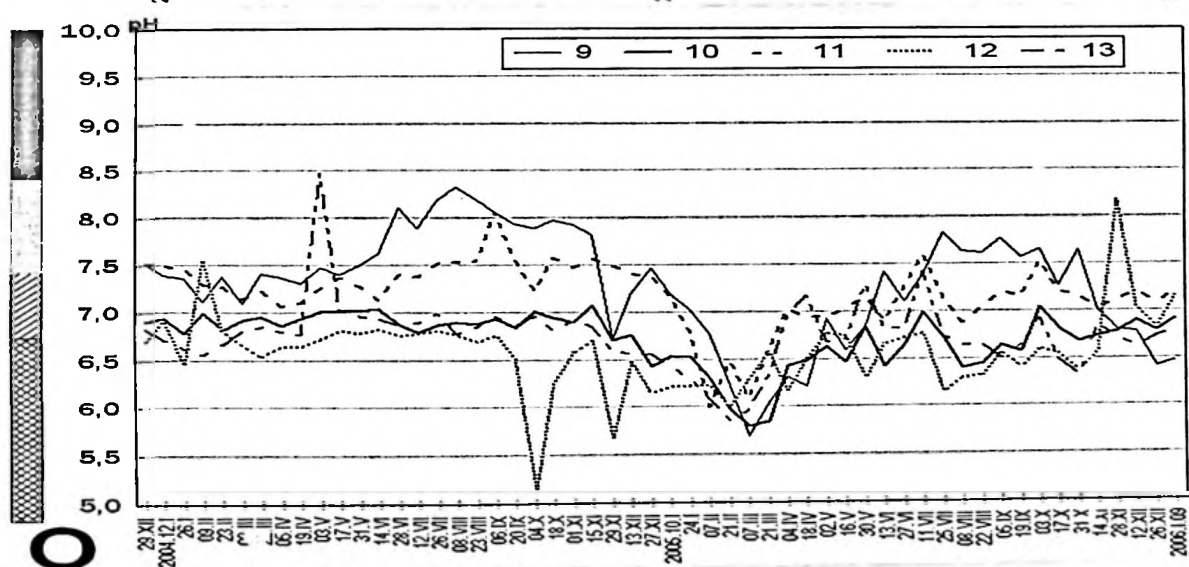
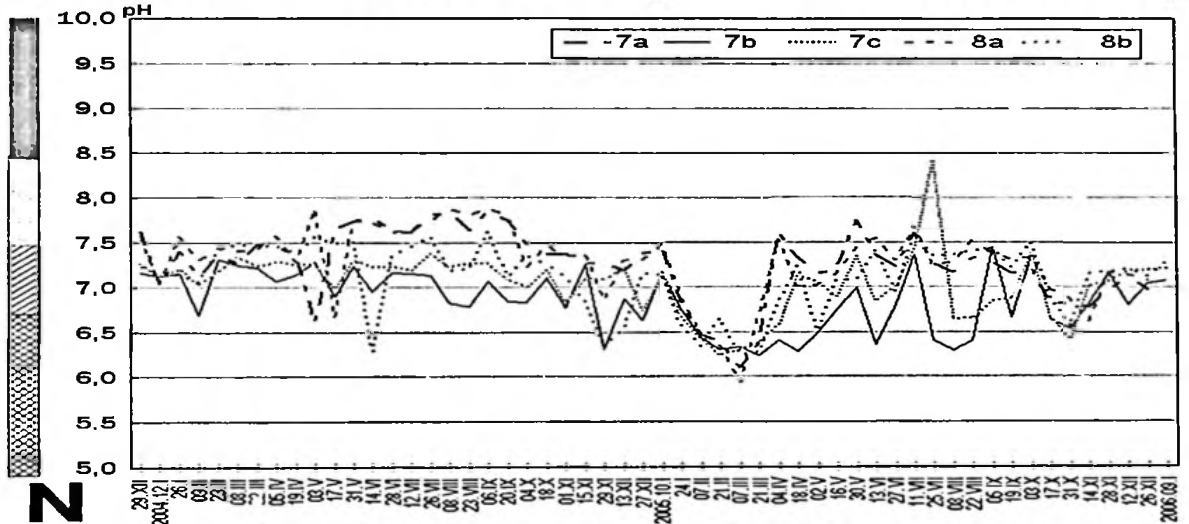
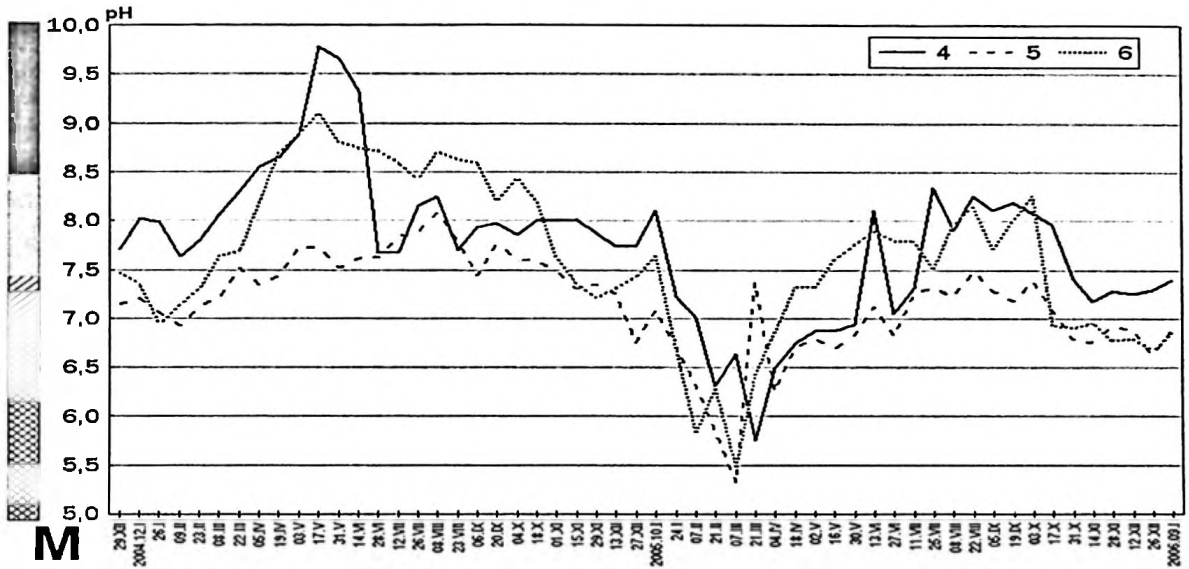
relation to many unknowns presented paper inevitably widen the scientific knowledge about methods of identification of seasonality in hydrology and about factors influencing and forming seasonality of hydrological processes.

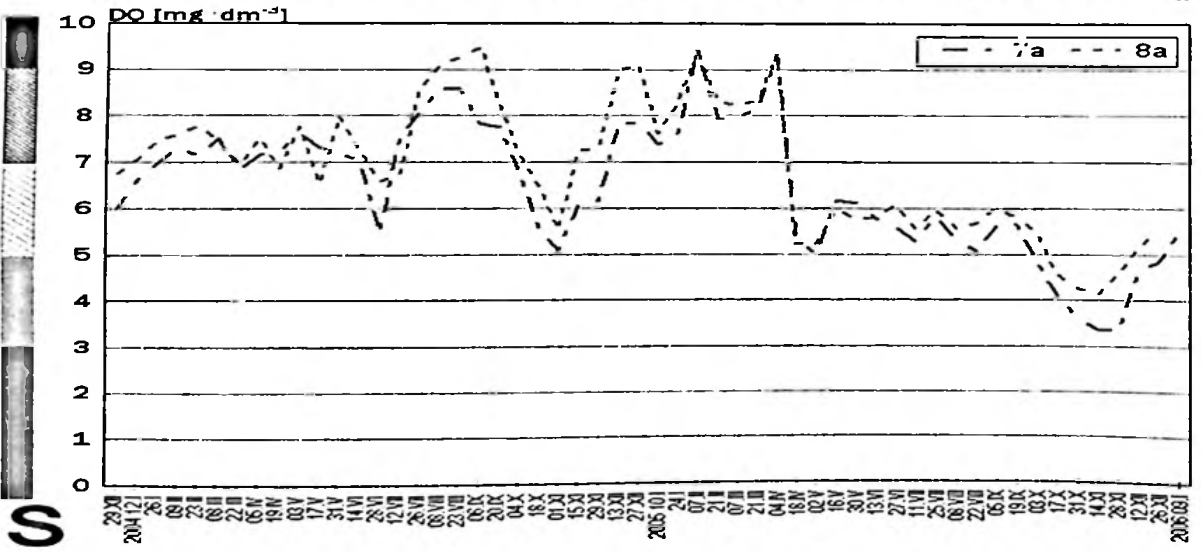
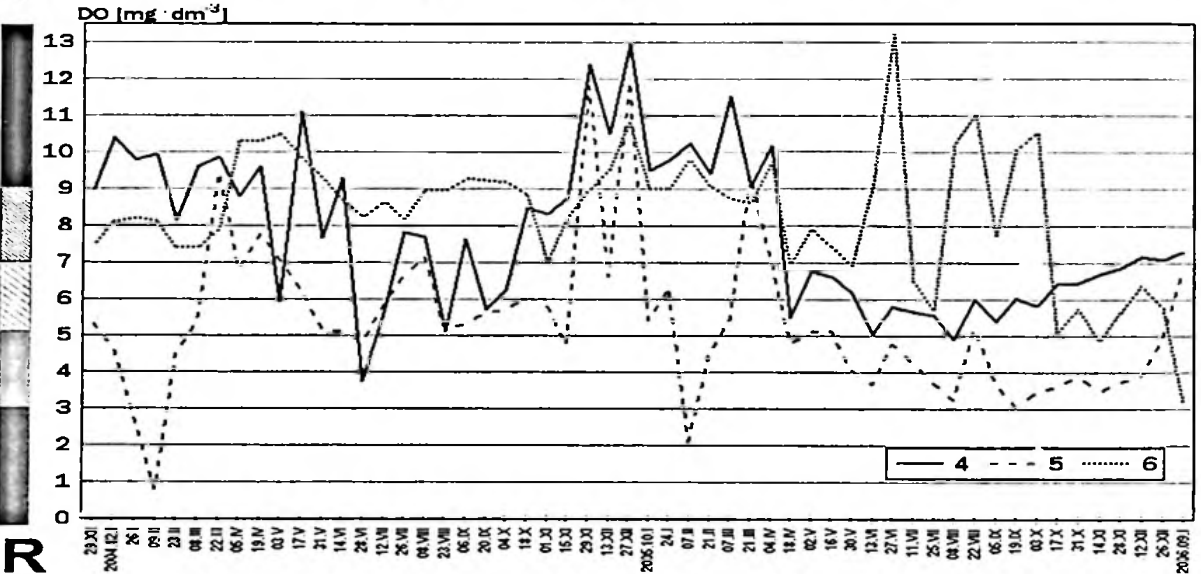












Zmiany właściwości hydrologicznych i fizykochemicznych wód w latach 2004–2005.
Changes of hydrological and physicochemical characteristics in period of years: 2004–2005.

Spis diagramów:

- A, B – przebieg zmian natężenia przepływu rzeczny i wydajności źródeł (Q),
- C – przebieg zmian głębokości do zwierciadła wód podziemnych (h),
- D, E, F G – przebieg zmian temperatura wód (T),
- H, I, J, K – przebieg zmian przewodności elektrolitycznej wód (SEC),
- L, M, N, O – przebieg zmian odczynu wód (pH),
- P, R, S – przebieg zmian zawartości tlenu rozpuszczonego w wodach (DO).

The diagrams of:

- A, B – the course of changes of rivers flow and springs discharge (Q),
- C – the course of changes of depth to the groundwater's level (h),
- D, E, F G – the course of changes of waters temperature (T),
- H, I, J, K – the course of changes of waters conductivity (SEC),
- L, M, N, O – the course of changes of pH-level of waters (pH),
- P, R, S – the course of changes of capacity of oxygen dissolved in waters (DO).

Charakterystyki i przedziały częstości.
The characteristics and divisions of frequency distributions.

Temperatura wody – T [°C]
Temperature of waters – T [°C]



Objaśnienia: a – < 3 °C wody zimne, b – 3–8,5 °C wody chłodne, c – 8,5–14 °C wody zwykłe, d – > 14 °C wody ciepłe
Explanations: a – < 3 °C very cold waters, b – 3–8,5 °C cold waters, c – 8,5–14 °C normal waters, d – > 14 °C warm waters

Przewodność elektrolityczna wody – SEC [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]
Conductivity of water – SEC [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]



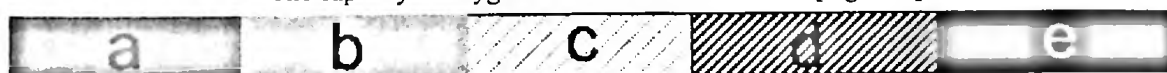
Objaśnienia: a – < 400 wody bardzo dobrej jakości, b – 400–600 wody dobrej jakości, c – 600–800 wody lekko zanieczyszczone, d – 800–1000 wody zanieczyszczone, e – > 1000 wody bardzo złej jakości
Explanations: a – < 400 waters of very good quality, b – 400–600 waters of good quality, c – 600–800 slightly polluted waters, d – 800–1000 polluted waters, e – > 1000 waters of very bad quality

Odczyn wody – pH
pH level – pH



Objaśnienia: 5–6,8 odczyn kwaśny, 6,8–7,5 odczyn słabo kwaśny, 7,5–8,5 odczyn obojętny, 8,5–10 odczyn bardzo słabo zasadowy
Explanations: 5–6,8 acid pH-level, 6,8–7,5 slightly acid pH-level, 7,5–8,5 neutral pH-level, 8,5–10 slightly alkaline pH-level

Zawartość tlenu rozpuszczonego – DO [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]
The capacity of oxygen dissolved in waters – DO [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]



Objaśnienia: < 3 deficyt tlenowy, 3–5 niezadawalające warunki tlenowe, 5–7 zadowalające warunki tlenowe, 7–9 optymalne warunki tlenowe, > 9 przesylenie tlenem
Explanations: < 3 oxygen deficit, 3–5 insufficient oxygen conditions, 5–7 sufficient oxygen conditions, 7–9 optimum oxygen conditions, > 9 overabundance of oxygen