

CECHY FIZYKOCHEMICZNE WÓD POWIERZCHNIOWYCH I ICH SEZONOWA ZMIENNOŚĆ NA PRZYKŁADZIE DZIERŻĄZNEJ

Piotr Moniewski
Uniwersytet Łódzki

Streszczenie. W artykule, w oparciu o charakterystyki fizykochemiczne: temperaturę, konduktywność, odczyn, stężenie tlenu rozpuszczonego i mętność wody (mierzone w 10 punktach), przedstawiono stopień przekształcenia środowiska wodnego zlewni Dzierżąznej. Na podstawie długookresowych charakterystyk (lata 2003–2013) obliczono średnie miesięczne i mediany roczne, a także wskaźniki sezonowości Markhama. Przeciętny odczyn wody i stężenie tlenu rozpuszczonego nie mają dużej zmienności przestrzennej ani czasowej (niski indeks sezonowości: $IS = 2,6\text{--}13,0\%$), w przeciwieństwie do mętności i temperatury wody (wyższy indeks sezonowości: $IS = 21,4\text{--}35,5\%$). Maksimum temperatury przypada na lipiec, a jej amplituda rośnie z biegiem rzek z uwagi na liczne zbiorniki wodne. Pora koncentracji pozostałych charakterystyk wypada pomiędzy początkiem kwietnia a połową maja. Maksymalne wartości konduktywności wody są obserwowane zimą w ściekach odpływających z autostrady A2 (do $21,3 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$), tak samo jak w wodach Dzierżąznej i jej dopływu Ciosenki ($360\text{--}480 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$). Konduktywność wody ma także większą zmienność sezonową i przestrzenne zróżnicowanie w zlewni.

Słowa kluczowe: antropopresja, jakość wody, sezonowość, mała zlewnia, wody powierzchniowe

WSTĘP

Właściwości fizykochemiczne wód powierzchniowych są wypadkową warunków fizycznogeograficznych zlewni. Poziomą bazowy większości cech determinują czynniki geologiczne (skład petrograficzny skał i rozpuszczalność minerałów), ale o ich zmienności czasowej i przestrzennej w największym stopniu decydują warunki meteorologiczne oraz skutki działalności człowieka, wynikające z rozmaitych form użytkowania

Adres do korespondencji – Corresponding Author: dr Piotr Moniewski, Katedra Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki, ul. G. Narutowicza 88, 90-139 Łódź, e-mail: moniek@geo.uni.lodz.pl.

terenu. Złożony proces ilościowej i jakościowej transformacji opadu w odpływ wymaga wnikliwej analizy popartej długookresowymi badaniami. Jego dynamika znajduje odzwierciedlenie w reżimie odpływu i sezonowości cech fizykochemicznych wody.

Skutki antropopresji najdotkliwiej odczuwalne są w zlewniach *stricte* miejskich. Jednak jakkolwiek forma gospodarowania człowieka nie pozostaje bez wpływu na środowisko wodne. Ciekawym poligonem doświadczalnym są obrzeża dużych aglomeracji miejskich, kontrastowo różniące się od zurbanizowanego centrum, a mimo to pozostające pod jego silnym, bezpośrednim lub pośrednim wpływem. Strefa podmiejska zachowuje seminaturalne cechy obszarów wiejskich, przy czym pojawiają się w niej elementy typowo miejskie: ciągi komunikacyjne wysokiej rangi, obiekty przemysłowe, zorganizowane osiedla mieszkaniowe czy letniskowe dace.

Rolnicze użytkowanie terenu w największym stopniu wpływa na skład chemiczny wód podziemnych i powierzchniowych, ale podobną rolę odgrywa także osadnictwo i odwodnienie dróg. Migracja jonów i powodowane ich obecnością zmiany cech fizykochemicznych wody w dużym stopniu zależą od struktury sieci hydrograficznej zlewni. Najistotniejszym czynnikiem wpływającym na ich przekształcenie są przepływowe jeziora, w tym także zbiorniki sztuczne (stawy). Zwiększają one zdolność retencyjną zlewni, obniżają dynamikę przepływów i wysokość wezbrań, stabilizując przy tym poziom wód gruntowych w dolinie. Cofka zbiornika przepływowego jest miejscem depozycji unosin, a duża – w stosunku do cieku – powierzchnia zwierciadła wody zwiększa odpływ bezpośredni, przyjmując wody opadowe o cechach fizykochemicznych odmiennych od wód rzecznych. Ekspozycja zwierciadła wody na warunki atmosferyczne powoduje wzrost amplitudy jej temperatury, a także tempa dyfuzji gazów (w tym tlenu). Strefa biologicznie czynna zbiornika, stymulowana natężeniem strumienia światła docierającego w głąb toni wodnej, jest regulatorem stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie, a jej roślinność – absorberem wielu biogenów.

Badania nad dynamiką tych procesów w strefie podmiejskiej aglomeracji łódzkiej trwają od kilkunastu lat [Jokiel 2002, Moniewski i Stolarska 2008, Stolarska 2008, Bartnik i Moniewski 2011, 2013]. Obszar ten odwadnia decentryczna sieć niewielkich cieków o znacznych spadkach podłużnych (do kilku ‰), z licznymi kaskadami płytkich zbiorników zaporowych. Intensywna antropopresja (drogi, przemysł, zabudowa) jest przyczyną przekształceń użytkowania terenu, przekładających się na zmiany cech fizykochemicznych wód, zachodzące w wymiarze dobowym i sezonowym. Ich tempo wymaga kompleksowego i wieloletniego monitoringu, z uwagi na skomplikowaną reakcję środowiska wodnego strefy podmiejskiej i jego zdolności adaptacyjne.

OBSZAR I METODY BADAŃ

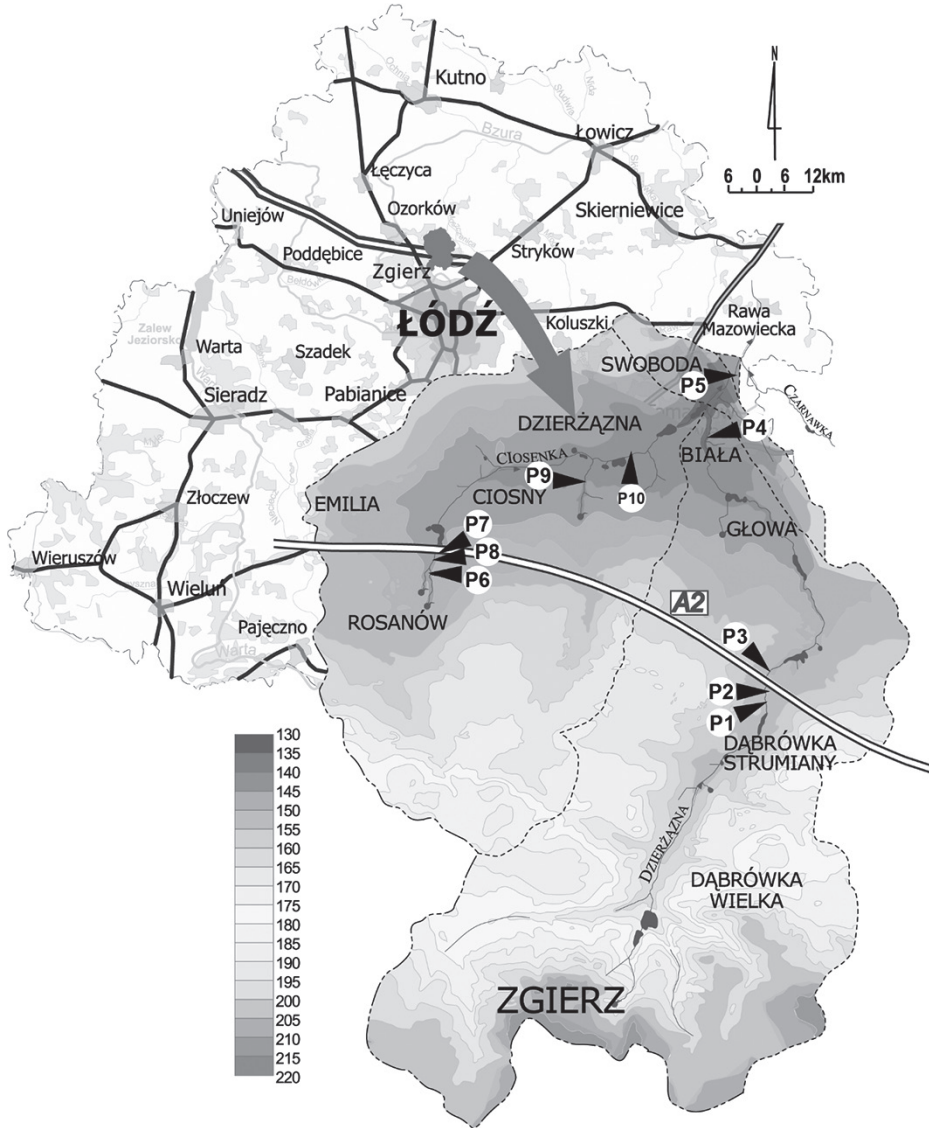
Poligonem badawczym jest zlewnia Dzierżąnej ($A = 42,9 \text{ km}^2$), położona w obrębie Wzniesień Łódzkich. Zlewnię cechuje typowe dla regionu nachylenie w kierunku północnym i rzeźba urozmaicona licznymi wzniesieniami morenowymi, parowami i głębokimi dolinami (ryc. 1). Wśród osadów powierzchniowych dominują mułki, piaski i żwiry (dolna i środkowa część zlewni – fragment sandru grotnicko-lućmierskiego) oraz gliny zwałowe (część południowa).

Sieć hydrograficzną stanowi Dzierżazna i jej dopływ – Ciosenka, a ich łączny średni przepływ wieloletni SQ w zamykającym zlewnię przekroju Swoboda wynosi $0,23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ciosenkę zasilają dwa duże źródła: Rosanów (ok. $45 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) i Ciosny (ok. $22 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), których wydajność stanowi 60% jej średniego przepływu [Moniewski 2004]. W zlewni Dzierżaznej znajduje się ponad 150 stawów o sumarycznej powierzchni 15,2 ha, spośród których największe znaczenie w kształtowaniu warunków hydrologicznych rzek ma 12 przepływowych zbiorników wodnych, wykorzystywanych do chowu ryb. W użytkowaniu terenu dominuje rolnictwo, lokalny wpływ na jakość wód gruntowych ma także zabudowa jednorodzinna i letniskowa, pozbawiona zbiorczej kanalizacji sanitarnej. Zidentyfikowano tu blisko 2 tys. miejsc punktowego zanieczyszczenia wód (szamb, dołów chłonnych, stref zrzutów ścieków), w tym nieczynne już wysypisko miejskie w dawnej żwirowni [Jokieli 2002]. Istotnym elementem warunkującym krążenie wody w zlewni Dzierżaznej jest także autostrada A2 (Emilia–Stryków), z której odpływ wód deszczowych został skierowany zarówno do Dzierżaznej, jak i do Ciosenki [Moniewski i Stolarska 2008].

Podstawowe cechy fizykochemiczne wody (temperatura, przewodność elektryczna właściwa, odczyn, stężenie tlenu rozpuszczonego, mętność), mierzono w latach 2003–2013 co dwa tygodnie (w 2010 roku co miesiąc, przy użyciu urządzeń wielofunkcyjnych firmy Elmetron (konduktometr, pH-metr, tlenomierz – różne modele z serii 400; mętnościomierz firmy WTW). Jedynie w przypadku niektórych charakterystyk (stężenie tlenu, mętność) pomiary rozpoczęto później. Obliczone na podstawie pomiarów terminowych serie średnich miesięcznych wartości badanych cech liczą zatem od 60 do 132 elementów (miesiące).

Pomiary wykonywano *in situ* w dziesięciu punktach rozmieszczonych w zlewni Dzierżaznej, reprezentujących różne typy wód (płynące, stojące, podziemne, epizodyczne). Cechy wód odprowadzanych z autostrady A2 bezpośrednio do Dzierżaznej badano w położonych u wylotu kolektorów odwadniających punktach P2 i P3 (ryc. 1). Do Ciosenki ich odprowadzenie odbywa się za pośrednictwem retencyjno-infiltracyjnego osadnika o pojemności około 1500 m^3 (P7) i położonego tuż obok krótkiego cieku (P8). Punkty P6 i P9 zamykają nisze obu źródeł, punkt P1 jest reprezentatywny dla górnego biegu Dzierżaznej, a punkty P4 i P10 dla środkowych odcinków rzek. Całą zlewnię zamyka przekrój wodowskazowy w Swobodzie (P5).

Dla charakterystyk wieloletnich przyjęto medianę wartości miesięcznych, natomiast do analizy ich sezonowości zastosowano metodę wektorów Ch.G. Markhama [1970], umożliwiającą otrzymanie dwóch wskaźników: indeksu sezonowości (IS) i pory koncentracji wydajności (PK). Konstrukcja tych miar [Kozuchowski i Wibig 1988, Tomaszewski 2001], została w tym przypadku oparta na średnich miesięcznych wartościach cech fizykochemicznych wody. Pierwszy z powyższych wskaźników może przyjmować wartości w zakresie od 0 do 100%. Najniższe jego wartości oznaczają równomierny rozkład odpływu (lub skupienie w dwóch przeciwstawnych porach [miesiącach] roku, np. w marcu i wrześniu). Na wyraźną koncentrację cechy w pewnym okresie (porę koncentracji – miesiąc lub dzień) wskazuje wysoki indeks sezonowości [Moniewski 2014]. Jednak należy pamiętać, że pora koncentracji jest wypadkową natężenia danej cechy i może, ale nie musi, pokrywać się z miesiącem, w którym wypada maksimum jej uśrednionych w wieloletniu wartości.



Ryc. 1. Położenie zlewni Dzierżąznej i punktów pomiarowych

Fig. 1. Location of Dzierżązna catchment and the measurement points

P1 – Dzierżązna/Dąbrówka – Dzierżązna river/Dąbrówka, P2 – kolektor S (południowy) – outlet S (south), P3 – kolektor N (północny) – outlet N (north), P4 – Dzierżązna/Biała – Dzierżązna river/Biała, P5 – przekrój Swoboda – Swoboda cross section, P6 – źródłisko Rosanów – Rosanów large spring, P7 – osadnik – settling tank, P8 – ciek – stream, P9 – źródłisko Ciosny – Ciosny large spring, P10 – Ciosenka – Ciosenka river

WYNIKI BADAŃ

Złożoność systemu hydrologicznego zlewni jest przyczyną znacznego zróżnicowania przestrzennego cech fizykochemicznych wody (tab. 1). Przeciętna temperatura wody jest wprawdzie wyrównana (rozpiętość pomiędzy punktami wynosi $1,7^{\circ}\text{C}$), ale w przypadku wód zasilanych odpływem z autostrady (P7, P8) jest ona wyraźnie wyższa od temperatury wód górnego, zasilanego podziemnie biegu rzeki Dzierżąznej (P1). Także wody pochodzące z odwodnienia autostrady są przeciętnie wyraźnie cieplejsze po jej południowej stronie (P2) – $T = 10,1^{\circ}\text{C}$, aniżeli po stronie północnej (P3), gdzie $T = 9,2^{\circ}\text{C}$ jest zbliżona do średniej wieloletniej temperatury powietrza. Nasłonecznienie południowego skłonu nasypu drogowego przekłada się bowiem zarówno na wyższą przeciętną temperaturę wody notowaną w kolektorze P2, jak i na największą średnią amplitudę roczną temperatury wód osadnika (P7) – $\Delta T = 22,4^{\circ}\text{C}$. Latem jego powierzchnia jest eksponowana na bezpośrednie promieniowanie słoneczne, zimą zaś pokryta lodem o grubości do 30 cm (ryc. 2A). Najniższą amplitudą średnią temperatury wody ΔT charakteryzują się natomiast źródłiska: Rosanów (P6) – $5,2^{\circ}\text{C}$ i Ciosny (P9) – $6,1^{\circ}\text{C}$. Na stabilność temperatury wody wpływa tu duże zacienienie i podziemne zasilanie na całej długości niszy źródłiskowej. Natomiast w dolnych odcinkach obu rzek (P4, P5, P10) przeciętne temperatury wody są mało zróżnicowane ($T = 10,0 - 10,2^{\circ}\text{C}$), ale ich amplitudy rosną wskutek przepływu przez zbiorniki wodne. Odślonięte powierzchnie i niejednolicie zadrzewione brzegi stawów oddziałują na temperaturę wody w cieku silniej niż zacienione brzegi ich koryt.

Większym zróżnicowaniem odznacza się konduktywność wody – najwyższy jej poziom ponad $1000 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ notowano przeciętnie w wodach osadnika (P7), ale największy ładunek rozpuszczonych substancji niosą wody odpływające z autostrady (P2, P3 – tab. 1). Wieloletnia średnia arytmetyczna osiąga tu około $1,9 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, zaś najwyższa odnotowana w nich konduktywność wody sięgnęła odpowiednio $21,3$ i $18,8 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$. Konduktywność wody zależy przy tym wyraźnie od pory roku: wzrasta w okresie dużych opadów śniegu i silnych mrozów (zimowe utrzymanie autostrady), maleje natomiast latem, obniżając się podczas długotrwałych i intensywnych opadów deszczu do $200-300 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, skrajnie nawet do poziomu odpowiadającego wodom deszczowym – około $70 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ (ryc. 2B).

Wody osadnika przez wąską groblę przedostają się do płynącego obok cieku (P8), więc i jego wody odznaczają się wyższą konduktywnością ($573 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ – tab. 1). Presji poddane są także górne odcinki obu rzek – podwyższona przewodność wód górnej Dzierżąznej (P1) jest konsekwencją jej wypływu na obszarze północnych dzielnic Zgierza. Natomiast konduktywność wód źródłiska w Rosanowie (P6 – przeciętnie $413 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) pozostaje w ścisłym związku z letniskową zabudową tej miejscowości i jej lokalnym oddziaływaniem na jakość wód gruntowych. Widać to w zestawieniu z wyraźnie niższą przewodnością wód drugiego ze źródeł (P3) – Ciosny (P9) – o bardzo podobnych warunkach hydrogeologicznych, ale niezabudowanej, użytkowanej rolniczo zlewni. Obserwowany w dalszym biegu rzek spadek konduktywności wody i niewielki wzrost jej amplitudy (ryc. 2B) są efektem sezonowego rytmu życia biologicznego w dnach płytkich zbiorników przepływowych (do 2 m głębokości).

Przeciętny odczyn wód powierzchniowych zlewni Dzierżąznej jest obojętny lub lekko zasadowy ($\text{pH} = 7,3-8,3$), przede wszystkim z uwagi na dominację chlorków w zanie-

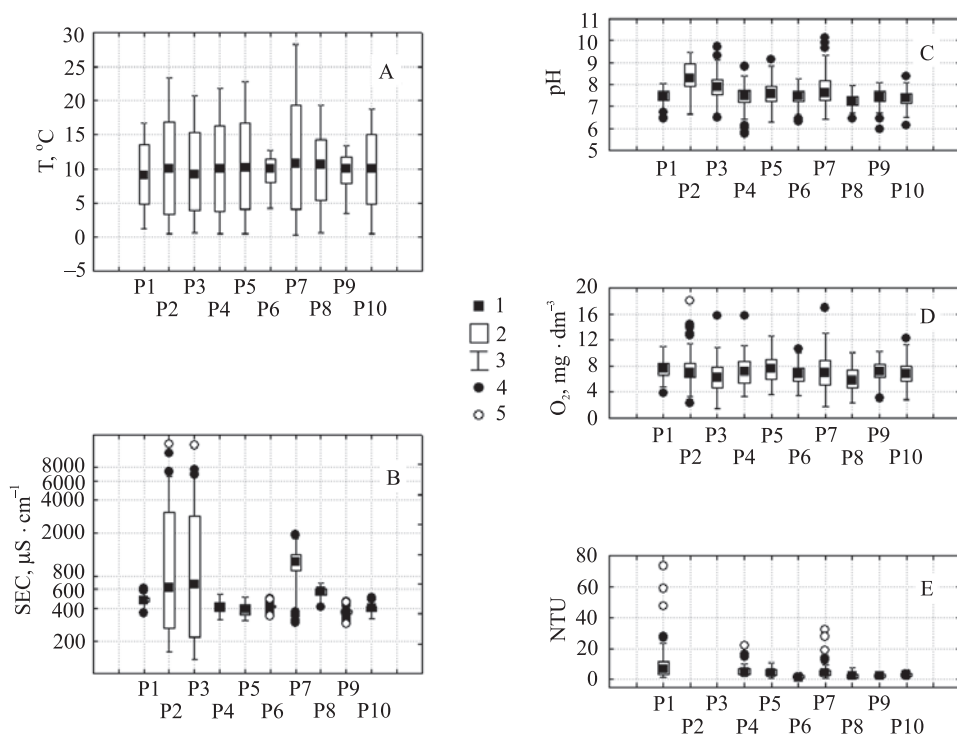
Tabela 1. Przeciętne charakterystyki fizykochemiczne wody w latach 2003–2013
 Table 1. Median physicochemical characteristics of water in years 2003–2013

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Numer punktu – Point number									
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Temperatura Temperature	T, °C	9,1	10,1	9,2	10,2	10,2	10,0	10,8	10,7	10,5	10,0
Konduktywność Conductivity	SEC, $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$	479,2	617,3	667,6	402,1	392,1	413,1	1063,7	573,1	361,7	398,3
Odczyn Acidity	pH	7,5	8,3	7,9	7,6	7,6	7,5	7,6	7,3	7,6	7,4
Tlen rozpuszczony Dissolved oxygen	O ₂ , $\text{mg} \cdot \text{dm}^3$	7,6	7,1	6,3	7,3	7,6	6,9	6,9	5,9	7,5	6,8
Mętność Turbidity	NTU	7,0	–	–	5,0	4,0	0,9	4,1	2,2	2,1	2,9

czyszczeniach wód odpływających z autostrady (P2, P3). Najbardziej zbliżony do obojętnego odczyn mają zasilane podziemnie wody ciekłu (P8), mimo sąsiedztwa osadnika (ryc. 2C, tab. 1). Wody źródlisk (P6, P9) kształtują się już na pograniczu odczynu obojętnego i lekko zasadowego, niewielka natomiast jest jego amplituda, wynosząca średnio rocznie 0,5–0,6 jednostek pH. Największe zróżnicowanie średniego rocznego odczynu wody, w granicach 1 jednostki pH, notowano w przekrojach położonych w dolnym biegu Dzierżąnej (P4, P5). Sprzyja temu rolniczy charakter zlewni Ciosenki i duża liczba stref punktowego lub obszarowego zanieczyszczenia wody, dlatego w przekroju końcowym (P5) rozpiętość ekstremów wynosi ponad 3 jednostki (6,1–9,3).

Znaczne spadki cieków sprzyjają intensywnemu ruchowi wody, zatem poziom przeciętnych stężeń tlenu rozpuszczonego jest dość wyrównany (ryc. 2D, tab. 1). Stosunkowo najmniej tlenu zawierają wody ciekłu obok osadnika (P8), płynącego na pewnym odcinku przez obszar zabagniony. Najwięcej jest go w górnym (P1) i dolnym (P5) biegu Dzierżąnej (kaskada zbiorników), a także w wodach nieobciążonego zanieczyszczeniami źródła Ciosny (P9). Mniej tlenu zawierają wody odpływające z autostrady (P2, P3, P7), choć często notowane są w nich maksima (rzędu 12–17 $\text{mg} \cdot \text{dm}^3$), ponieważ są to wody deszczowe i roztopowe. Nasylenie tlenem wynosi na ogół 55–65%, ale mimo to zdarzają się również deficyty tlenowe (0,9–1,6 $\text{mg} \cdot \text{dm}^3$). Obecność chlorków w wodach osadnika nie wpływa jednak na obniżenie stężenia tlenu, gdyż nie ulegają one utlenianiu. Przeciwnie – latem, dzięki wysokiej temperaturze wody – można w nim zaobserwować bujny rozwój roślin wodnych produkujących tlen (głównie rogatek *Ceratophyllum* L.).

Najwyższą przeciętną mętnością wody (7,0 NTU) wyróżnia się górny bieg Dzierżąnej (P1), obciążony epizodycznie ładunkiem unosin pochodzących z wylotów kanalizacji deszczowej Zgierza. Mimo iż w samych kolektorach odwadniających autostradę nie wykonywano pomiarów mętności wody (P2, P3), to nietrudno zauważyć, że pomiędzy

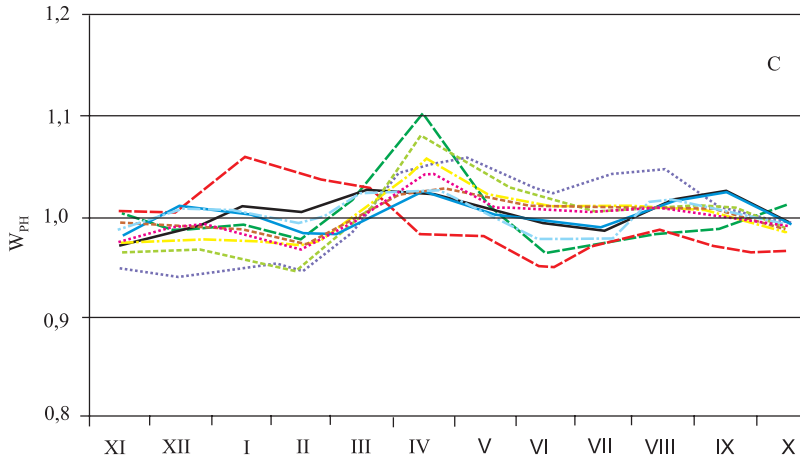
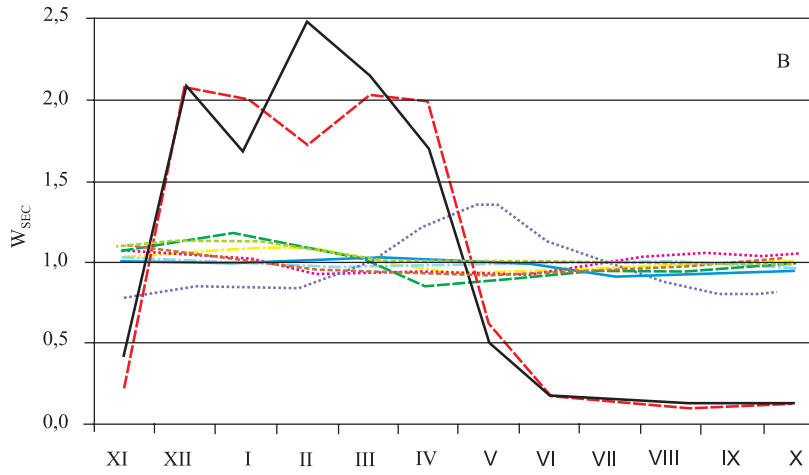
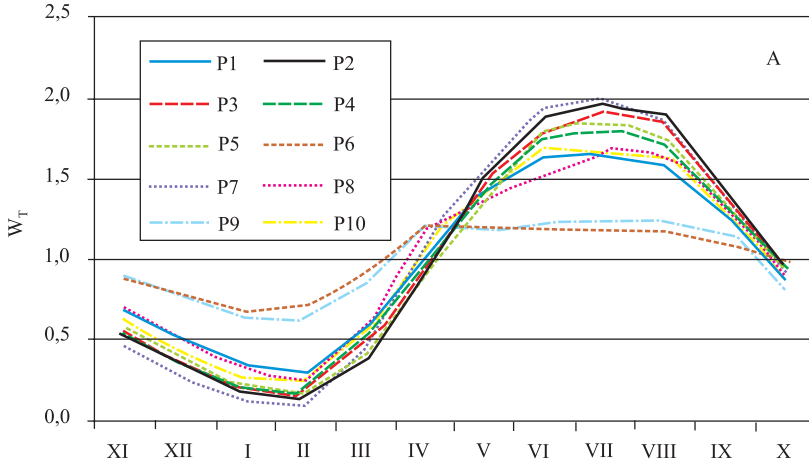


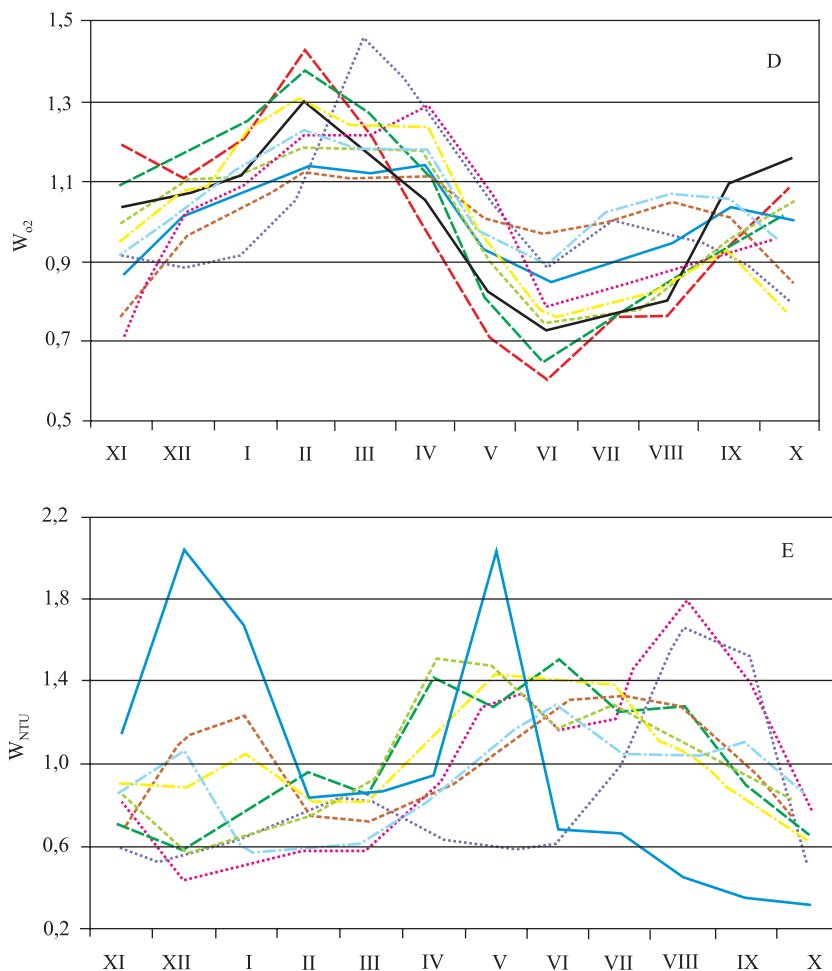
Ryc. 2. Miary statystyczne cech fizykochemicznych wody (numery punktów, takie jak na ryc. 1)
 Fig. 2. Statistical measures of physicochemical characteristics of water (point numbers like on the fig. 1)

A – temperatura – temperature, B – konduktywność – conductivity, C – odczyn – acidity, D – stężenie tlenu rozpuszczonego – concentration of dissolved oxygen, E – mętność – turbidity; 1 – mediana – median, 2 – zakres międzykwartylowy – interquartile range, 3 – zakres nieodstających – non-outlier range, 4 – odstające – outliers, 5 – ekstremalne – extremes.

punktami P1 i P4 przeciętna mętność wody maleje tylko o 2 NTU. Przyczyną jest dopływ osadu z kolektorów i niewielka pojemność niżej położonych przepływowych zbiorników wodnych. W punkcie zamykającym zlewnię (P5) jest ona jeszcze o 1 NTU niższa, ale wciąż względnie wysoka, równa przeciętnej mętności wód w osadniku (P7) – tab. 1, ryc. 2E. Mniejsza prędkość wody w korycie Ciosenki sprawia, że notowana w jej zlewni przeciętna mętność jest niższa niż w analogicznym odcinku Dzierżanej. Najmniej zawieszin znajduje się w zasilanych podziemnie początkowych odcinkach cieków (P6, P8, P9), ale ich zawartość w wodzie, mimo depozycji w czasach zbiorników, wyraźnie wzrasta z biegiem rzeki. Zwiększa się bowiem ilość zanieczyszczeń organicznych pochodzących z obumierającej roślinności wodnej lub szczątków roślinnych i pyłów docierających do zbiorników i koryt rzecznych wskutek splukiwania [Rzętała 2008].

Rycina 3 prezentuje cykl przebiegu średnich miesięcznych współczynników badanych cech fizykochemicznych. Przebieg średnich miesięcznych temperatur wody odzwierciedla w dużym stopniu roczny rytm zmienności termicznej powietrza (ryc. 3A). Największą





Ryc. 3. Średni wieloletni przebieg względnych wartości cech fizykochemicznych wody (numery punktów, takie jak na ryc. 1)

Fig. 3. Mean multi-year course of relative values of physicochemical characteristics of water (point numbers like on the fig. 1)

P1–P10 – numery punktów pomiarowych – numbers of measurement points; $W_X = X_m/X_r$, W_X – współczynnik – coefficient, X_m – średnia miesięczna – monthly mean, X_r – średnia roczna – yearly mean; A – temperatura – temperature, B – konduktywność – conductivity, C – odczyn – acidity, D – stężenie tlenu rozpuszczonego – concentration of dissolved oxygen, E – mętność – turbidity.

zmiennością roczną temperatury charakteryzują się wody związane z odwodnieniem autostrady (P2, P3, P7), przy czym w wodach osadnika odnotowano najwyższą amplitudę wieloletnią ($\Delta T = 29,7^\circ\text{C}$), a także najniższą minimalną temperaturę $T = -0,1^\circ\text{C}$ (znaczące zasolenie). W nieco węższym zakresie mieściła się temperatura wody obu kolektorów (P2, P3). Maksymalną temperaturę wody notowano w lipcu, a minimalną

w lutym. Wiosenny wzrost temperatury wody w osadniku (P8) odbywa się nieco wolniej niż w pozostałych punktach ze względu na dłuższe zaleganie pokrywy lodowej. Także temperatura wody w obu źródłiskach wzrasta tylko do kwietnia (P6, P9), później, aż do sierpnia, utrzymuje się ona na poziomie 11,5–12,0°C, gdyż gęste ulistnienie rosnących w niszach drzew „odcina” dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego [Bartnik i Moniewski 2011]. Swoisty mikroklimat źródlisk zaznacza się także zimą, gdy temperatura odpływu z nisy nie spada poniżej 6°C.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Wyraźny rytm roczny ma konduktywność wód odpływających z autostrady A2. Zimą utrzymuje się ona na wysokim poziomie, natomiast maleje wiosną, wraz z dopływem słabo zmineralizowanych wód z topniejącej pokrywy śnieżnej i wzrastających opadów deszczu (P2, P3). Ze względu na powszechną migrację chlorków podobną zmiennością przewodności elektrolitycznej wody, choć znacznie węższym jej zakresem, charakteryzuje się większość punktów. Jedynie wody osadnika (P7) cechuje zupełnie odmienny przebieg konduktywności – najwyższy jej poziom przypada wiosną (IV–V). Po roztopach, wskutek dopływu słodkich wód nad „zimową” bardziej zasoloną warstwę, wytwarza się tu coroczna stratyfikacja termohaliczna, co potwierdziły badania cech fizykochemicznych wody w pionach (co 0,5 m), wykonane z powierzchni lodu. W tym płytkim zbiorniku (1,2 m głębokości) mieszanie wód następuje zazwyczaj w kwietniu, gdy ustąpi pokrywa lodowa, a temperatura powierzchniowa wody wzrośnie do +4°C.

Mało zróżnicowany jest odczyn wody – jego przeciętne wieloletnie wartości zawierają się w przedziale pomiędzy 7,0 a 8,3 jednostek. W kolektorach (P2, P3) zasadowy odczyn wody stwierdzano częściej zimą, a w wodach rzecznych – w kwietniu (ryc. 3C). W osadniku najbardziej zasadowy odczyn wody notowano w maju (efekt miksji), a także w sierpniu (zateżnienie wskutek parowania).

Na rycinie 3D widać natomiast wyraźnie, że stężenie tlenu w wodzie jest w dużej mierze odwrotnie proporcjonalne do jej temperatury. Najwięcej tlenu w wodzie jest w najchłodniejszym miesiącu – lutym, ale jego minimum przypada nie na lipiec, a na czerwiec. Ograniczenie dyfuzji przez zwartą pokrywę lodową na bezdopływowym osadniku (P7) powoduje zmniejszenie stężenia tlenu w miesiącach zimowych i przesunięcie jego maksimum na marzec. Proces ten nie dotyczy pozostałych stawów, do których dopływają wody natlenione na wolnych od lodu odcinkach koryt. Mniejszą amplitudą roczną charakteryzują się wody źródlisk. W okresie letnim, oprócz dyfuzji, znaczenia nabiera także tlen produkowany przez bogatą roślinność wodną nisz źródliskowych w procesie fotosyntezy, stąd dynamiczny wzrost jego stężenia postępujący aż do września.

Zmiany mętności wody są ściśle powiązane ze splukiwaniem cząstek gleby i intensywnością ich przemieszczania w korycie. Najefektywniej proces ten zachodzi na silnie nachylonych powierzchniach, dlatego największą zmienność mętności wody można obserwować w górnym biegu Dzierżącej (P1) i w obu niszach źródliskowych (P6, P9). Zimą słabo umocniona, pokryta butwiejącymi szczątkami organicznymi gleba nie stawia większego oporu wodom roztopowym czy deszczowym, latem zaś intensywne opady zwiększają skuteczność splukiwania (ryc. 3E). W niektórych przekrojach obserwowano

wzrost mętności wody również wiosną, wskutek większej podatności słabo związanych roślinnością cząstek.

Największe różnice sezonowe dotyczą konduktywności wód pochodzących z odwodnienia autostrady (P2, P3), dlatego indeks jej sezonowości przekracza tu 60%, a temperatury 40% (tab. 2). Równie wysoką sezonowością charakteryzuje się temperatura wody w osadniku P7 (IS = 47,5%), ale już jej konduktywność jest znacznie bardziej wyrównana, z powodu stałej obecności chlorków w jego wodach i ich nietypowej wiosennej miksji. Odczyn wody zmienia się nieregularnie i w bardzo niewielkim zakresie, bowiem indeks sezonowości nigdzie nie przekracza 4%. Wyraźną sezonowość wykazuje natomiast mętność wody w korycie Dzierżącej (P1, P4: IS > 30%) oraz w cieku płynącego obok osadnika (P8: IS = 25%), gdyż depozycja unosin odbywa się tu w ograniczonym stopniu. Natomiast najbardziej stabilne okazały się źródłiska Rosanów (P6) i Ciosny (P9), gdyż tylko w przypadku temperatury i mętności wody indeks ich sezonowości przekroczył 10%.

Pora koncentracji temperatury wody zawiera się w najwęższym przedziale i w większości punktów przypada ona na tydzień pomiędzy 12 a 19 lipca (tab. 3). Tylko w źródłiskach koncentracja temperatury wody jest przesunięta na pierwszą dekadę lipca ze względu na swoisty mikroklimat. Mimo różnej genezy wód, istnieje duża zbieżność ich reżimu termicznego, zależnego od rocznego rytmu temperatury powietrza. Ze względu na wybitnie sezonowy charakter konduktywności wody pora koncentracji przypada najwcześniej (II/III) na odpływie z autostrady (P2, P3). Nieco później, pod koniec marca można ją zaobserwować w górnym biegu Dzierżącej (P1) i w cieku obok osadnika (P4). Mimo znacznej różnic poziomu konduktywności wody, jej koncentracja w źródłiskach wypada niemal w tym samym czasie (18 i 21 V). Koncentrację przewodnictwa wody w osadniku można zaobserwować dopiero 1 VI (za sprawą wspomnianej miksji termicznej). Jeśli natomiast wziąć pod uwagę mobilność chlorków, to te i kolejne daty koncentracji układają się zgodnie z biegiem Ciosenki (P10 – 22 VI, P5 – 27 VI). Koncentracja w przekroju zamykającym zlewnię (P5) jest przy tym wypadkową koncentracji konduktywności wody notowanej w wodach zarówno dopływu (P10), jak i recipienta (P4).

Tabela 2. Przeciętny indeks sezonowości IS, %, cech fizykochemicznych wody w latach 2003–2013

Table 2. Median seasonality index IS, %, of physicochemical characteristics of water in years 2003–2013

Parametr – Parameter	Numer punktu – Point number										
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
Temperatura – Temperature	35,8	46,9	43,8	41,5	43,1	12,4	47,5	33,7	14,0	36,8	
Konduktywność – Conductivity	5,7	61,5	64,6	6,8	5,7	1,3	12,6	3,5	1,6	4,1	
Odczyn – Acidity	1,3	2,7	3,9	2,7	2,9	2,1	3,9	1,9	1,9	2,1	
Tlen rozpuszczony Dissolved oxygen	8,7	14,3	18,4	12,8	10,5	8,5	16,5	18,1	8,5	13,7	
Mętność – Turbidity	31,0	–	–	32,4	21,5	12,5	17,5	25,0	13,1	18,2	

Tabela 3. Przeciętna pora koncentracji PK [dni] charakterystyk fizykochemicznych wody w latach 2003–2013

Table 3. Median date of concentration PK [days] of physicochemical characteristics of water in years 2003–2013

Parametr – Parameter	Numer punktu – Point number									
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Temperatura Temperature	16 VI	17 VI	19 VI	14 VI	14 VI	3 VI	10 VI	14 VI	7 VI	12 VI
Konduktywność Conductivity	28 III	24 II	4 III	2 VI	27 VI	21 V	1 VI	25 III	18 V	22 VI
Odczyn – Acidity	2 V	16 VI	23 II	19 V	18 V	9 V	23 V	22 V	22 V	15 V
Tlen rozpuszczony Dissolved oxygen	9 III	7 V	12 VI	6 IV	11 III	6 IV	8 V	16 III	17 III	4 III
Mętność – Turbidity	8 IV	–	–	23 V	26 VI	4 V	21 VI	31 V	1 IV	15 VI

Koncentracja odczynu wody na ogół następuje w maju, kiedy jest on najbardziej zasadowy, co także może wskazywać pośrednio na rolę chlorków. Nie potwierdzają tego jednak rozbieżne daty koncentracji przewodnictwa wody kolektorów. Z kolei koncentrację stężenia tlenu notowano wiosną, w chłodniejszym pod względem temperatury wody okresie (III–IV), a tylko w punktach odpływu wód z autostrady nieco później (V–VI). Natomiast pora koncentracji mętności wody wcześniej następuje w górnej (IV–V), a później w dolnej części zlewni (VI).

Jak już wspomniano, wyznaczona pora koncentracji (PK) niekoniecznie się pokrywa z miesiącem o najwyższej średniej wieloletniej wartości danej cechy (ryc. 3). Dotyczy to przede wszystkim cech o złożonym reżimie (więcej niż jedno maksimum), więc przy małej sezonowości obliczona pora koncentracji może się bardzo różnić, nawet w przypadku sąsiadujących obiektów (np. odczyn wody w kolektorach P2 i P3 – tab. 3).

PODSUMOWANIE

Nadrzędną rolę w synchroniczności badanych cech fizykochemicznych wody odgrywają warunki meteorologiczne, a także przepływ rzeczny łączący kolejno wszystkie punkty pomiarowe. Dlatego odczyn wody (IS = 2,6%) czy stężenie tlenu rozpuszczonego (IS = 13,0%) w badanej zlewni charakteryzują się przeciętnie niską sezonowością, podczas gdy temperatura wody (IS = 35,5%) czy jej mętność (IS = 21,4%) – względnie wysoką. Zróżnicowane jest także natężenie cech – przeciętnie najwcześniej przypada pora koncentracji stężenia tlenu w wodzie (6 IV), następnie konduktywności wody (6 V), odczynu wody (11 V) i mętności wody (20 V). Najpóźniej, bo przeciętnie dopiero 13 VII, wypada koncentracja temperatury wody. Najbardziej dynamiczne zmiany jakościowe zachodzą w środowisku wodnym wiosną, w momencie przejściowym pomiędzy czasem generowania zanieczyszczeń a okresem ich redukcji przez rozwijającą się roślinność wodną. Pory koncentracji przewodnictwa wody wskazują

przy tym pośrednio na tempo przemieszczania się zanieczyszczeń w dół rzek – wskutek retencji zbiornikowej czas migracji ze strefy przyautostradowej do przekroju końcowego trwa 3–4 miesiące.

Badania dowiodły istnienia w zlewni trzech grup obiektów hydrograficznych różniących się zasadniczo zmiennością cech fizykochemicznych wody. Pierwszą z nich stanowią elementy systemu odwodnienia autostrady A2 (P2, P3, P7), w których wody charakteryzują się podwyższonym poziomem większości cech i ich dużą amplitudą. Drugą grupą (P1, P4, P5, P8, P10) są wody rzeczne – o mniejszej zmienności parametrów i ich poziomie zależnym od umiejscowienia w kaskadzie zbiorników przepływowych [Bartnik i Tomalski 2012]. Natomiast trzecia grupa, charakteryzująca się względną stałością wszystkich badanych cech, to źródła, których reżim fizykochemiczny różni się znacznie od pozostałych obiektów. Ich wzajemne oddziaływanie składa się na skomplikowaną mozaikę zależności stale obecnych w środowisku wodnym niewielkiej rzeki. Dzięki ich różnorodności zlewnia Dzierżąskiej jest swoistym buforem ekologicznym ograniczającym niekorzystne rezultaty działalności człowieka.

PIŚMIENNICTWO

- Bartnik, A., Moniewski, P. (2011). River bed shade and its importance in the process of studying of the fundamental physico-chemical characteristics of small river waters. [W:] K. Glińska-Lewczuk (red.). Contemporary problems of management and environmental protection. Issues of landscape conservation and water management in rural areas, 7, chapter XII, Olsztyn, 137–149.
- Bartnik, A., Moniewski, P. (2013). Changes of the basic physico-chemical characteristics of small rivers influenced by anthropogenic elements in the area of Łódź, Poland. [W:] Understanding Freshwater Quality Problems in a Changing World. Proceedings of H04, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden, July 2013 (IAHS Publ. 361, 2013), 336–344.
- Bartnik, A., Tomalski, P. (2012). Impact of the different function of small reservoirs on seasonal oscillations of the selected physico-chemical water parameters of the urban rivers (Sokolovka catchment, Lodz case). [W:] Natural and anthropogenic transformations of lakes. Conference materials. International limnological conference „Natural and anthropogenic transformations of lakes” 19–21 September 2012 – Łągow Lubuski, IMiGW, Poznań, 16–17.
- Jokiel, P. (2002). Woda na zapleczu wielkiego miasta. IMGW, Warszawa.
- Koźuchowski, K., Wibig, J. (1988). Kontynentalizm pluwialny w Polsce. Acta Geogr. Lodz., 55, 102.
- Markham, C.G. (1970). Seasonality of precipitation in the United States. Ann. Assoc. Am. Geographers, 60, 3, 593–597.
- Moniewski, P. (2004). Źródła okolic Łodzi. Acta Geogr. Lodz., 87, 147.
- Moniewski, P. (2014). Sezonowe zmiany wybranych cech fizyczno-chemicznych wód małej rzeki podmiejskiej na przykładzie Dzierżąskiej. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, XX, Warszawa, 407–416.
- Moniewski, P., Stolarska, M. (2008). Wpływ przekształceń infrastruktury drogowej na podstawowe cechy fizykochemiczne wód powierzchniowych małej zlewni podmiejskiej. [W:] S. Bródka (red.). Problemy środowiska przyrodniczego miast. Problemy ekologii krajobrazu, 22. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań – Warszawa, 285–296.
- Rzętała, M. (2008). Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie regionu górnośląskiego. Wydawnictwo UŚ, Katowice, ss. 172.

- Stolarska, M. (2008). Sezonowe zmiany zasobów i podstawowych właściwości fizykochemicznych wód w małej zlewni nizinnej. *Acta Geogr. Lodz.*, 94, 97.
- Tomaszewski, E. (2001). Sezonowe zmiany odpływu podziemnego w Polsce w latach 1971–1990. *Acta Geogr. Lodz.*, 79, 149.

THE PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SURFACE WATERS AND THEIR SEASONALITY ON THE DZIERŻAZNA RIVER EXAMPLE

Abstract. In this paper, the transformation rate of the physicochemical aquatic environment of Dzierżazna catchment were presented. Based on long-term characteristics the temperature, specific conductance, alkali level, dissolved oxygen, turbidity and its seasonal distribution (10 measurement points) the monthly averages and yearly medians also Markham's seasonality indexes are counted (years 2003–2013). The average water pHs and dissolved oxygen haven't big spatial and time diversity (low seasonality index: IS = 2.6–13.0%), in contrast to the turbidity and temperature of water (higher seasonality index: IS = 21.4–35.5%). The temperature maximum fell in in July and the amplitude increases with the passage up the river, because of several water reservoirs. The time of other characteristics concentration falls between early April and mid-May. The electrical conductivity showed that the maximum SEC values are observed in winter (till 21.3 mS · cm⁻¹ in A2 motorway sewages), as same as in waters of Dzierżazna river system (360–480 μS · cm⁻¹). The conductivity has also greater seasonal variability and spatial diversity in catchment.

Key words: anthropopressure, quality of water, seasonality, small river catchment, surface waters

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 8.09.2015

Do cytowań – For citation: Moniewski, P. (2015). Cechy fizykochemiczne wód powierzchniowych i ich sezonowa zmienność na przykładzie Dzierżaznej. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 14(3), 93–106.