

Prądnik. Prace Muz. Szafera	27	131–146	2017
-----------------------------	----	---------	------

MIROŚLAWA KOT, MONIKA GOŁOSZ, ELŻBIETA GRZYB,  
PAWEŁ MIŚKOWIEC\*

Uniwersytet Jagielloński, Wydział Chemii, Zakład Chemii Środowiska ul. Gronostajowa 2, 30–387 Kraków  
\*miskowiec@chemia.uj.edu.pl

## OCENA JAKOŚCI WÓD SUDOŁU DOMINIKAŃSKIEGO NA PODSTAWIE WYBRANYCH PARAMETRÓW FIZYKOCHEMICZNYCH

### Determination of the water quality of Sudół Dominikański creek based on selected physicochemical parameters

**Abstract.** The aim of this study was the analysis of the water quality of Sudół Dominikański. Sudół Dominikański is a small watercourse with relatively low water flow. This fact results in the high susceptibility of the creek to reveal sources of contamination. Sudół Dominikański is situated mostly in the countryside, the final part is located in Krakow. The quality of the water was assessed based on the values of twelve physicochemical parameters: salinity factors, oxygen indicators and the content of nutrients. The obtained results were compared with the Polish standards of surface water quality and previous research. It showed a high anthropogenic influence on the water quality. Anthropopression strongly disturbed the natural seasonal changes characteristic for some indicators. The biogenic pollutants turned out to be the most variable. According to the Polish standards, the values of chemical parameters of water of Sudół Dominikański exceeded the limits relating to second class water quality, which classifies it as being in *poor condition*.

**Key wordsb:** Surface waters, Sudół Dominikański, water pollution

## WSTĘP

Wody małych cieków wodnych mają kluczowe znaczenie dla jakości wód większych rzek bądź zbiorników wodnych. Duże ciek wodne są przedmiotem zainteresowania ze względów gospodarczych, dlatego podlegają systematycznej kontroli i nadzorowi. Ich stan jednak w dużej mierze wynika ze stanu małych dopływów, często ignorowanych w monitoringu środowiska. Cechą charakterystyczną niewielkich cieków wodnych (o powierzchni zlewni mniejszej niż 100 km<sup>2</sup>) jest ich mała bezwładność hydrologiczna. Cecha ta powoduje bardzo szybką reakcję na wszelkie czynniki zewnętrzne np. klimatyczne jak opady, susze ale także na czynniki antropogeniczne (Nowacka-Rejzner 2011; Lewicki 2015; Miśkowiec 2017). Rezultatem tej właściwości jest duża zmienność parametrów fizykochemicznych jakości wód (Miśkowiec i in. 2013; Miśkowiec i in. 2016). Przykładem ciek wodnego tego typu, poddanego silnej antropopresji, jest Sudół Dominikański.

Sudół Dominikański (nazywany także potokiem Rozrywka) odwadnia południowo-wschodnią część Wyżyny Olkuskiej. W górnym biegu przepływa przez tereny rolnicze gminy Zielonki, dolny bieg potoku leży już na obszarze krakowskich osiedli mieszkaniowych. Zasadniczy nurt cieku powstaje po połączeniu dwóch niemal równorzędnych potoków: lewy uważany za główny, ma źródło we wsi Bosutów, prawy ma swój początek na terenie wsi Węgrzce. Długość Sudołu Dominikańskiego wynosi ok. 9 km, z czego ostatni 1,5 kilometrowy odcinek poprowadzony jest podziemnym kolektorem, mającym ujście do Prądnika w Krakowie, przy skrzyżowaniu ulic: Droga nad Białuchą i Olszyny. Powierzchnia zlewni potoku to 16,4 km<sup>2</sup>, jej obwód 22 km, kod JCWP to PLRW20006213748 (ryc. 1). Zgodnie z klasyfikacją jednolitych części wód powierzchniowych przyjętą w Polsce, Sudół Dominikański określić należy jako potok wyżynny węglanowy z substratem drobnoziarnistym – typ 6 (*Rozporządzenie RM z 18 października 2016 r.*).

W górnym biegu Sudół Dominikański przepływając przez podkrakowskie wsie narażony jest na zanieczyszczenia zarówno ściekami bytowymi, jak również, na skutek spływów powierzchniowych z gruntów ornych – ściekami rolniczymi. W dolnym biegu potok przepływa przez tereny silnie zurbanizowane Krakowa. Wody cieku narażone są więc na regularny dopływ zanieczyszczeń związanych z gęstą zabudową i intensywnym ruchem samochodowym (spływy z dróg, śmieci), jak również na sytuacje incydentalne (skutki wypadków samochodowych, nierozważne użytkowanie terenu wokół rzeki).

Wody Sudołu Dominikańskiego badane były w roku 2005 (Wardas i in. 2010) oraz, w związku z planowaną budową zbiornika retencyjnego, zostały poddane szczegółowej analizie w 2008 r. (Kanownik, Rajda 2008). Oznaczono 18 parametrów fizykochemicznych. Wyniki badań wskazały na wysoką degradację wód. Jakość wód w punkcie pomiarowo-kontrolnym o szczególnym znaczeniu dla projektu, zlokalizowanym w 4,554 km biegu potoku oceniono jako złą (Kanownik, Rajda 2008).

## METODYKA BADAŃ

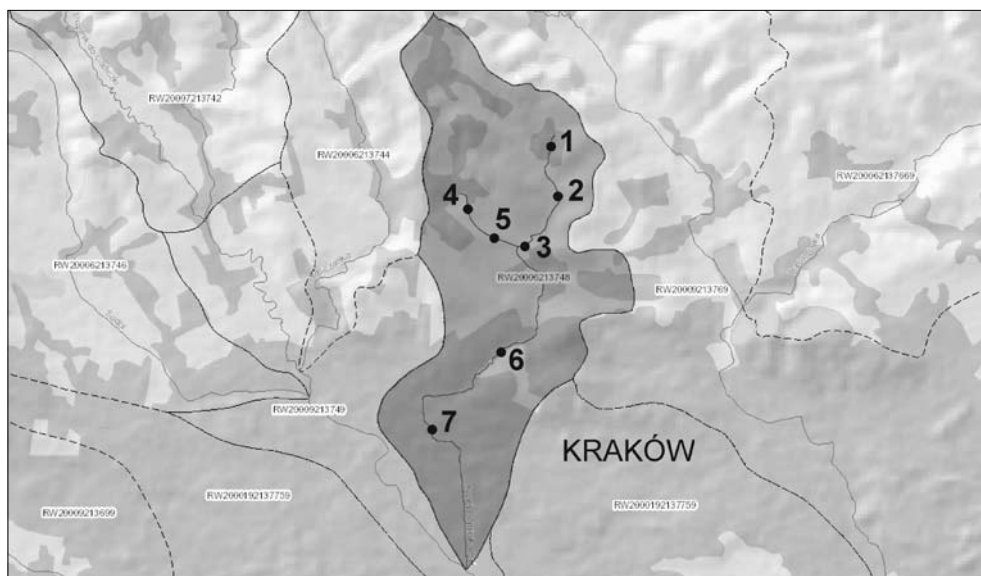
Próbki wody pobrano w oparciu o normy PN-EN ISO 5667-1:2008 i PN-EN ISO 5667-3:2013-05 od lipca 2015 do czerwca 2016 r. w pięciu terminach określanych na Ryc. 2 – 6 odpowiadającą porą roku:

- 28.07.2015 – lato
- 04.11.2015 – jesień
- 28.02.2016 – zima
- 24.04.2016 – wiosna I
- 01.06.2016 – wiosna II.

Dobór terminów poboru próbek w ciągu roku pozwolił na obserwacje sezonowych zmian parametrów wód bądź ich niezależność od pory roku. Terminy poboru zostały dobrane tak, aby zminimalizować wpływ wcześniejszych opadów atmosferycznych. Badaniom poddano wodę z siedmiu punktów pomiarowych rozmieszczonych wzdłuż biegu cieku, dwa punkty (nr 4 i 5) dotyczyły prawobrzeżnego dopływu Sudołu (tab. 1, ryc. 1).

Wykonano następujące oznaczenia parametrów fizykochemicznych jakości wód zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawnymi:

- pH - PN-C-04540-01:1990;
- przewodnictwo elektrolityczne właściwe - PN-EN 27888:1999;
- twardość wody (metoda z użyciem EDTA) - PN-ISO 6059:1999;



Ryc. 1. Zlewnia potoku Sudół Dominikański z zaznaczonymi punktami poboru. Tereny zabudowane oznaczone są kolorem ciemno szarym

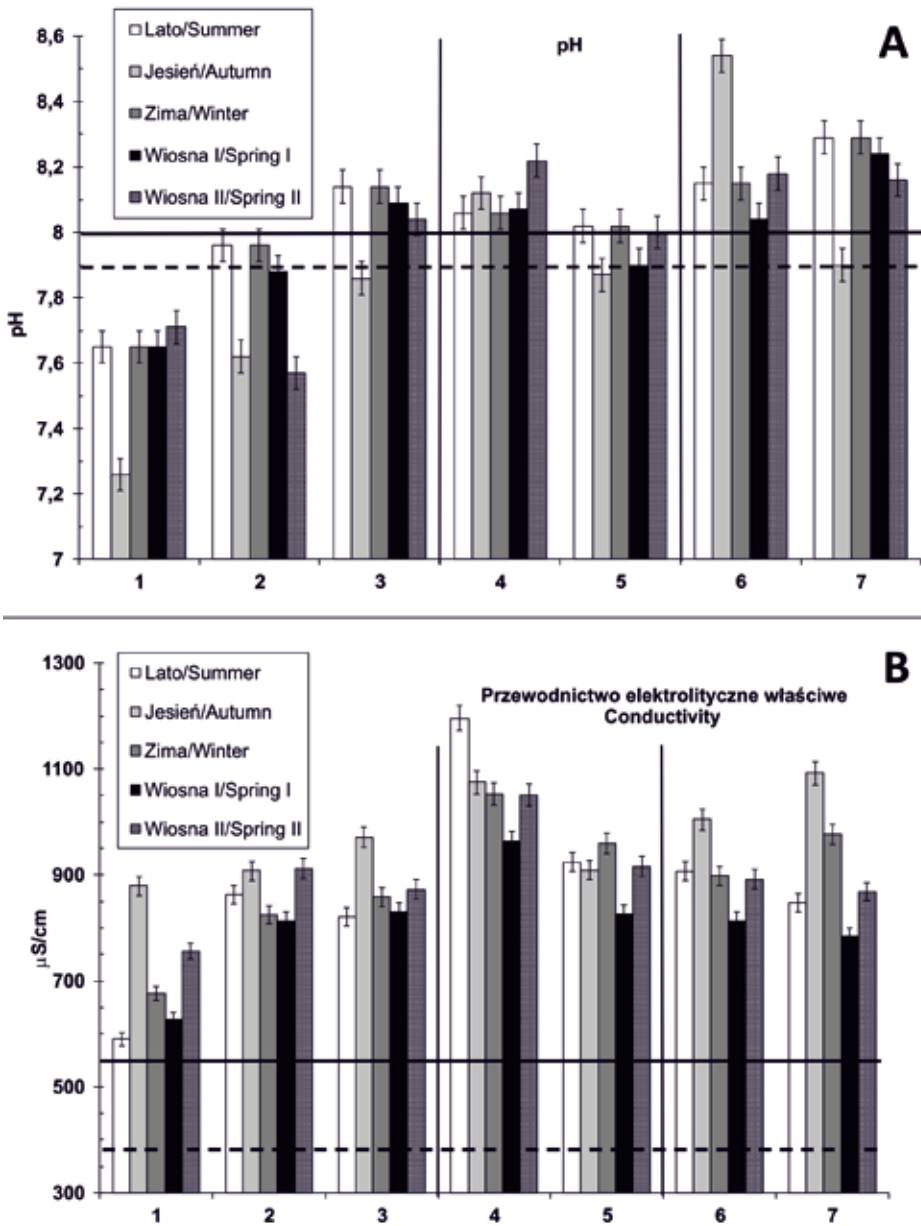
Fig. 1. The Sudół Dominikański stream catchment with marked sampling points. Built-up areas are marked with a dark gray color

- zawartość jonów wapnia (metoda z użyciem EDTA) - PN-ISO 6058:1999;
- zawartość jonów magnezu (metoda z użyciem EDTA) – PN-C-04554-4:1999;
- stężenia chlorków (metoda Mohra) - PN-ISO 9297:1994;
- stężenia tlenu rozpuszczonego (metoda Winklera) - PN-EN 25813:1992;

Tabela 1. Położenie i charakterystyka punktów pomiarowych

Table 1. Sampling points location and their description

Nr punktu pomiarowego Sampling point number	Współrzędne geograficzne Geographical coordinates		Charakterystyka punktu Description of the sampling point
1	50°07'31"N	19°59'23"E	Położony we wsi Bosutów, źródłowa część potoku.
2	50°07'08"N	19°59'42"E	Zlokalizowany w pobliżu przepompowni ścieków, teren wsi Bosutów.
3	50°06'42"N	19°59'21"E	Otoczenie pól uprawnych, tuż przed połączeniem z prawym dopływem.
4	50°07'02"N	19°58'44"E	Dopływ - umiejscowiony na terenie wsi Węgrzce, początkowy odcinek prawobrzeżnego dopływu.
5	50°06'46"N	19°59'08"E	Dopływ - końcowy odcinek dopływu przed połączeniem z głównym nurtem.
6	50°06'26"N	19°59'29"E	Poniżej połączenia z dopływem, na terenie wsi Węgrzce, przy granicy z Krakowem.
7	50°05'09"N	19°58'05"E	Na terenie Krakowa, przed wpłynięciem do podziemnego kolektora.



Ryc. 2. Kwasowość (A) oraz przewodnictwo elektrolityczne właściwe (B) dla wód Sudółu Dominikańskiego. Liniami pionowymi oddzielono punkty pomiarowe zlokalizowane na dopływie potoku, linie poziome wyznaczają wartości graniczne dla I (linia przerywana) i II klasy jakości wód powierzchniowych (linia ciągła)

Fig.2. Acidity (A) and conductivity (B) for water of Sudół Dominikański. The vertical lines separate sampling points located at the tributary of Sudół Dominikański (4,5), the horizontal lines indicate the allowable values for the 1<sup>st</sup> class (dotted line) and 2<sup>nd</sup> class (continuous) of purity of water

- chemiczne zapotrzebowanie na tlen (metoda z manganianem(VII)) - PN-EN ISO 8467:2001;
- stężenie fosforanów(V) - PN-EN ISO 6878:2006;
- stężenie jonów amonowych - PN-ISO 7150-1:2002;
- stężenie azotanów(III) - PN-EN 26777:1999;
- stężenie azotanów(V) - PN-C-04576-08:1982.

Uzyskane rezultaty porównano z obowiązującymi normatywami dotyczącymi jakości wód powierzchniowych (*Rozporządzenie MŚ z 21 lipca 2016 r.*).

## WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki uzyskane dla wszystkich wskaźników jakości wód przedstawiono na ryc. 2–6. Numeracja punktów poboru odpowiada numeracji z tabeli 1. Na wykresach liniami pionowymi oddzielono punkty poboru położone na dopływie Sudołu Dominikańskiego (punkty 4 i 5).

### Kwasowość

Wyniki dotyczące pH analizowanych wód przedstawiono na ryc. 2A. Wartości pH dla pierwszego punktu pomiarowego położonego w źródłowym odcinku biegu potoku mieszczą się w zakresie odpowiadającym I klasie jakości wód powierzchniowych tj. 7,2–7,9. Zaobserwowano systematyczny wzrost pH wraz z oddaleniem się od źródeł potoku. Dla wód dopływu pH jest średnio o 0,5 jednostki wyższe od pH wody w okolicy źródła Sudołu Dominikańskiego. Dla próbek pochodzących z dopływu oraz dalszego biegu potoku graniczny normatyw dla wód II klasy jakości jest przekroczony. Relatywnie wysokie pH wynika z faktu stosunkowo wolnego przepływu potoku po przeważająco wapiennym podłożu alkalinizującym wody.

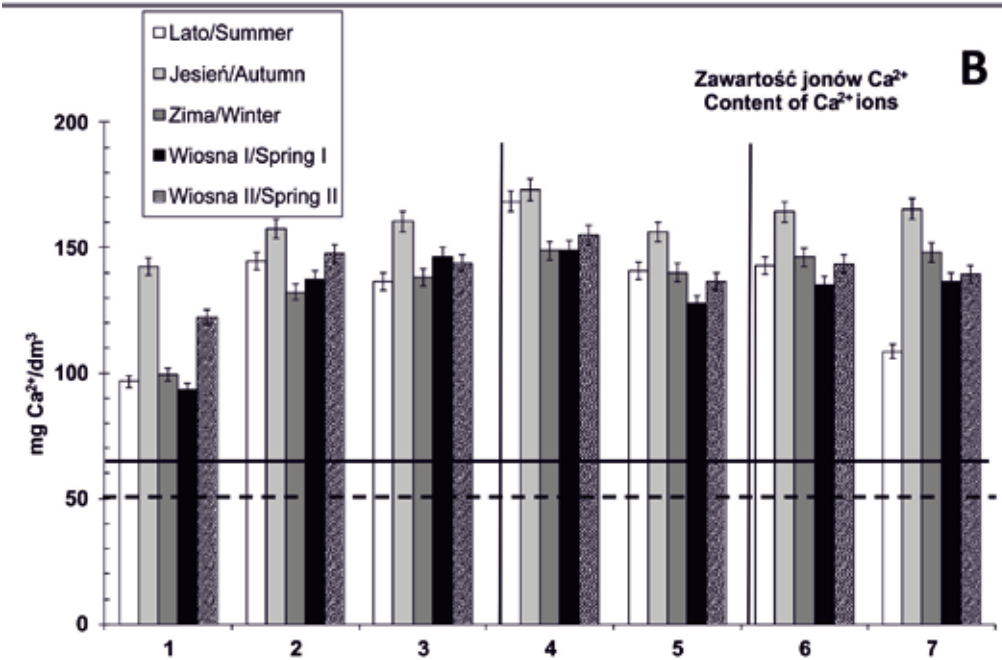
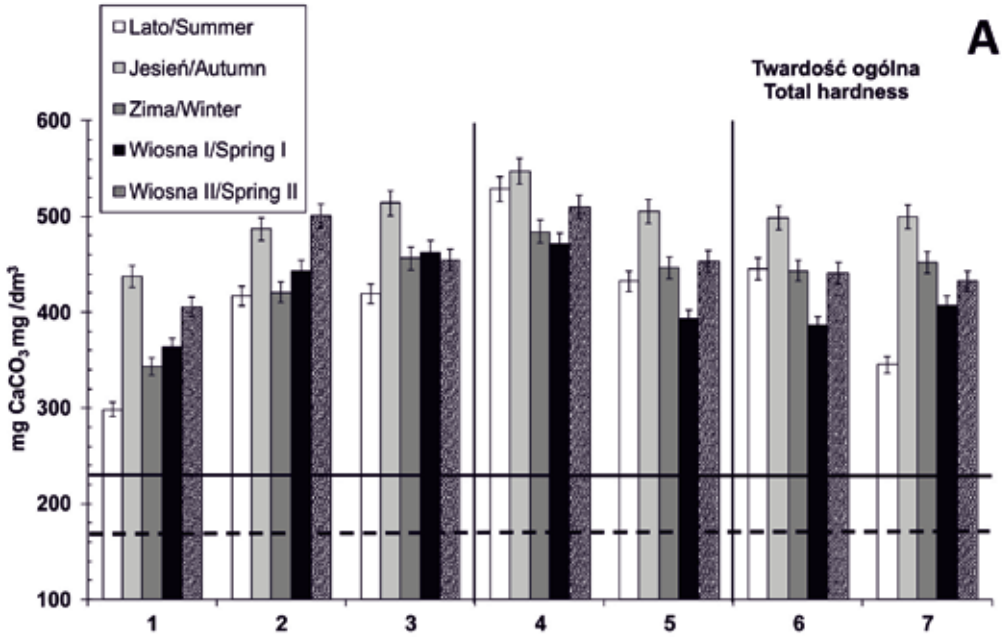
### Przewodnictwo elektrolityczne właściwe

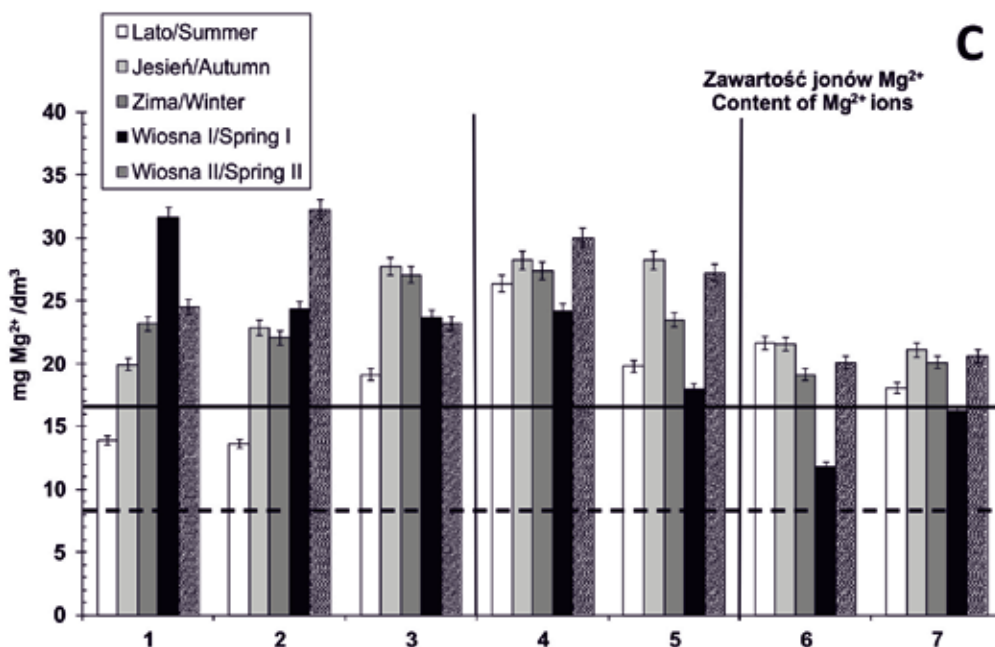
Wartości przewodnictwa właściwego przedstawiono na ryc. 2B. Parametr ten nieznacznie wzrasta wraz z oddaleniem od źródła potoku. Dla wszystkich punktów pomiarowych i w każdym badanym terminie wartość graniczna przewodnictwa elektrolitycznego właściwego dla wód II klasy (tj. 550  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) jest przekroczona. Wody dopływu wykazują wartości średnio o 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  wyższe niż wody w okolicy źródłowej. Stosunkowo wysokie wartości przewodnictwa właściwego można przynajmniej w części uzasadnić naturalnym wpływem podłoża.

### Twardość ogólna, zawartość jonów wapnia i magnezu

Wartości parametrów związanych z twardością wód przedstawiono na ryc. 3A. Twardość ogólna utrzymuje się na podobnym poziomie dla większości punktów pomiarowych. Wartość nieco niższą otrzymano dla wód z okolicy źródła. We wszystkich punktach pomiarowych i dla wszystkich terminów poboru prób twardość ogólna przekracza wartość normatywną dla II klasy jakości wód (168  $\text{mg CaCO}_3/\text{dm}^3$ ).

Zgodnie z oczekiwaniami wartości twardości ogólnej są bardzo dobrze skorelowane z zawartością jonów wapnia (ryc. 3B). Stężenia jonów wapnia również przekraczają wartości normatywne dla II klasy jakości wód. Podobnie jak w przypadku twardości ogólnej najniższe wyniki zanotowano dla wód z okolicy źródła Sudołu Dominikańskiego. Pod względem zawartości jonów magnezu (ryc. 3C) dla większości analizowanych





Ryc. 3. Parametry jakości wód: A – twardość ogólna, B – zawartość jonów wapnia i C – zawartość jonów magnezu, dla wód Sudółu Dominikańskiego. Liniami pionowymi oddzielono punkty pomiarowe zlokalizowane na dopływie potoku, linie poziome wyznaczają wartości graniczne dla I (linia przerywana) i II klasy jakości wód powierzchniowych (linia ciągła)

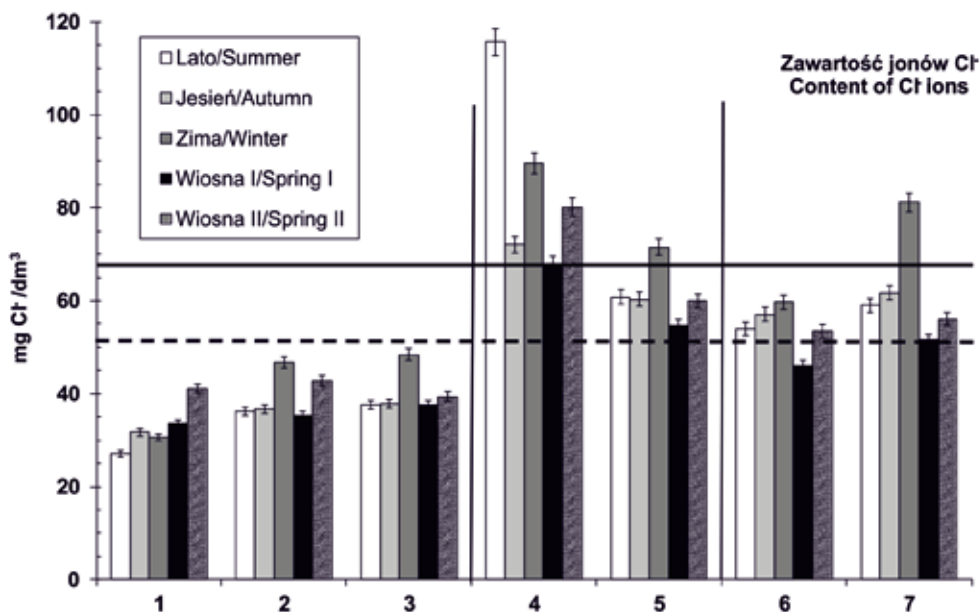
Fig. 3. Water quality parameters: A – total hardness, B – content of calcium ions, C – content of magnesium ions, for water of Sudół Dominikański. The vertical lines separate sampling points located at the tributary of Sudół Dominikański (4,5), the horizontal lines indicate the allowable values for the 1<sup>st</sup> class (dotted line) and 2<sup>nd</sup> class (continuous line) of purity of water

wód uzyskano wartości znacznie powyżej wartości granicznej dla wód II klasy tj. 8,4 mg  $Mg^{2+}/dm^3$ . Profil zmian wzdłuż biegu strumienia jest odmienny niż zmiany parametrów omówionych powyżej: górny bieg strumienia i dopływ zawierają podobne ilości jonów magnezu, wartości najniższe są dla końcowego odcinka potoku.

Jako, że wartości wszystkich trzech powyżej przedstawionych parametrów są w wypadku Sudółu Dominikańskiego ściśle związane z typem podłoża, a nie zanieczyszczeniami pochodzenia antropogenicznego, najnowsze regulacje prawne dotyczące parametrów twardości wód tego typu cieków wodnych wydają się być nieadekwatne i zbyt rygorystyczne.

#### Zawartość jonów chlorkowych

Wody początkowego odcinka Sudółu Dominikańskiego pod względem zawartości jonów chlorkowych mieszczą się w I klasie jakości wód powierzchniowych odpowiadającej zawartości poniżej 51,9 mg  $Cl^-/dm^3$  (ryc. 4). Wody dopływu oraz końcowego odcinka potoku dla większości badanych prób spełniały kryterium II klasy jakości. Dla punktu pomiarowego 4 położonego w początkowym odcinku dopływu aż w 4 przypadkach na 5 wartość graniczna dla wód II klasy została przekroczona. Wskazuje to wyraźnie na



Ryc. 4. Zawartość jonów chlorkowych dla wód Sudołu Dominikańskiego. Liniami pionowymi oddzielono punkty pomiarowe zlokalizowane na dopływie potoku, linie poziome wyznaczają wartości graniczne dla I (linia przerywana) i II klasy jakości wód powierzchniowych (linia ciągła)

Fig.4. The content of chloride ions for water of Sudoł Dominikański. The vertical lines separate sampling points located at the tributary of Sudoł Dominikański (4,5), the horizontal lines indicate the allowable values for the 1<sup>st</sup> class (dotted line) and 2<sup>nd</sup> class (continuous line) of purity of water

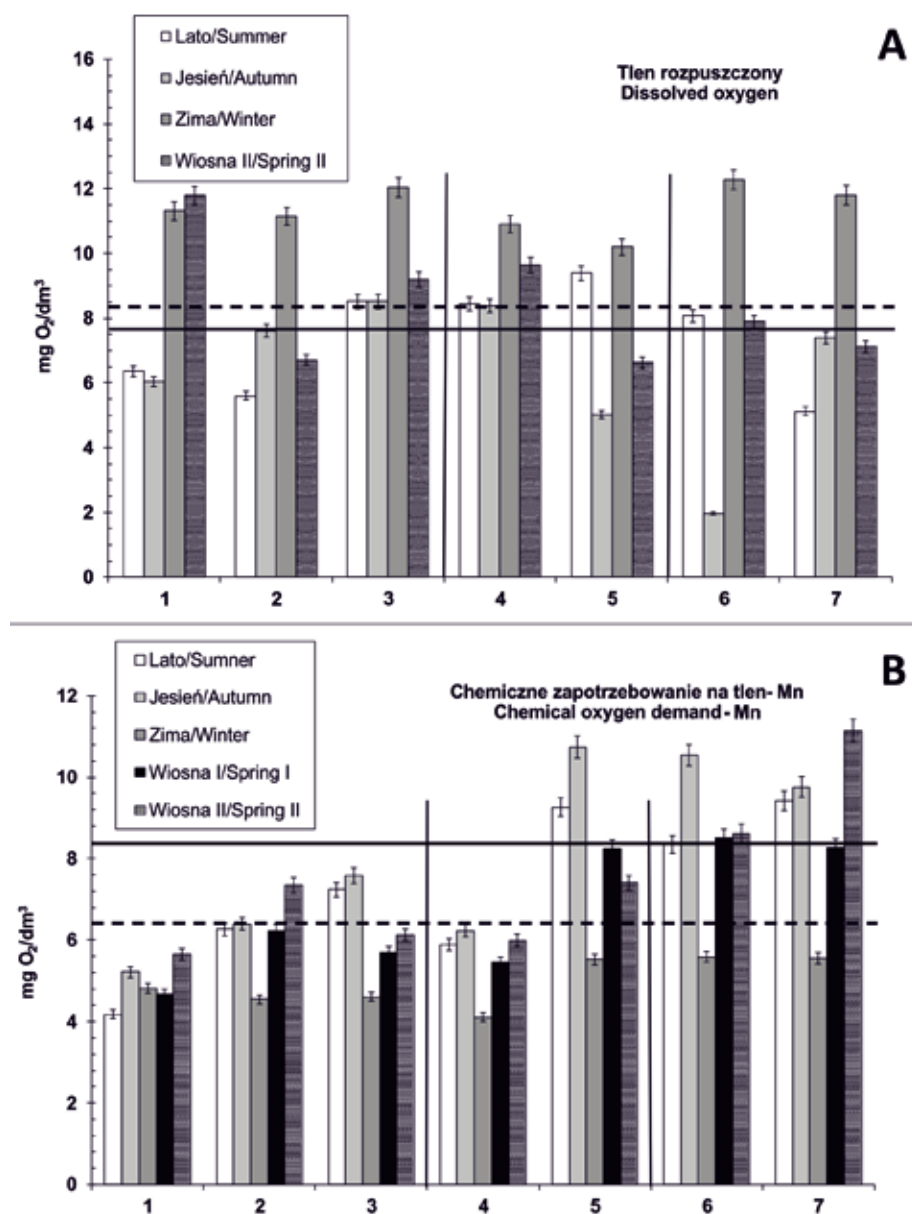
występowanie w tym rejonie punktowego źródła zanieczyszczeń. Co więcej, na skutek słabej zdolności cieku do samooczyszczania podwyższone stężenie chlorków utrzymuje się na całej długości po połączeniu dopływu z głównym nurtem .

**Wskaźniki tlenowe: tlen rozpuszczony, ChZT-Mn**

Wody Sudołu Dominikańskiego charakteryzowały się zróżnicowanym poziomem nasycenia tlenem. W okresie badań wynosiło ono średnio od 2 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> do 12 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. Część wód wykazywała się zawartością tlenu rozpuszczonego odpowiadającą I klasie jakości (powyżej 8,3 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>), część II klasie (pomiędzy 8,3 i 7,6 3 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>), jednakże największa próba analizowanych wód wykazała zawartość tlenu rozpuszczonego poniżej II klasy. Najniższe wartości dla tlenu rozpuszczonego uzyskano w okresie letnio-jesiennym, a najwyższe w zimowo-wiosennym (ryc. 5A). Wynik ten potwierdza sezonową zmienność oznaczanego wskaźnika wynikającą głównie z zależności rozpuszczalności gazów od temperatury. Na wartość natlenienia mają wpływ również zanieczyszczenie substancjami organicznymi, im więcej tego typu substancji tym mniejsza jest zawartość tlenu rozpuszczonego. Niższe wartości natlenienia dla wód dopływu wskazują na możliwy zrzut zanieczyszczeń w tym rejonie.

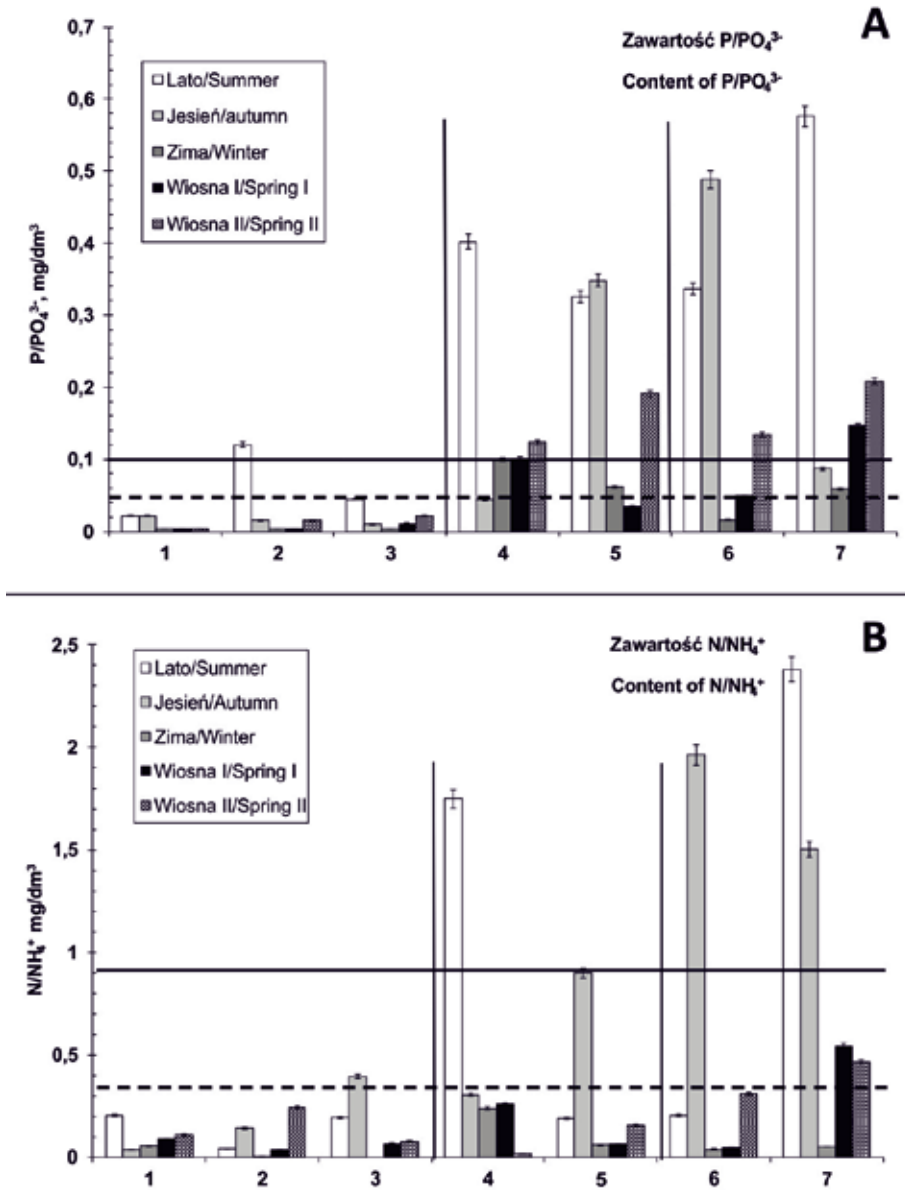
Chemiczne zapotrzebowanie na tlen ChZT jest parametrem pośrednio informującym o zawartości materii organicznej w badanych wodach. Najwyższe wartości ChZT-Mn zaobserwowano w okresie letnio-jesiennym, w pozostałych okresach wartości utrzymują





Ryc. 5. Tlenowe parametry jakości wód: A – zawartość tlenu rozpuszczonego; B – chemiczne zapotrzebowanie na tlen ChZT-Mn dla wód Sudółu Dominikańskiego. Liniami pionowymi oddzielono punkty pomiarowe zlokalizowane na dopływie potoku, linie poziome wyznaczają wartości graniczne dla I (linia przerywana) i II klasy jakości wód powierzchniowych (linia ciągła)

Fig. 5. Oxygen parameters of water quality: A - dissolved oxygen; B - chemical oxygen demand - Mn, for the water of Sudół Dominikański The vertical lines separate sampling points located at the tributary of Sudół Dominikański (4,5), the horizontal lines indicate the allowable values for the 1<sup>st</sup> class (dotted line) and 2<sup>nd</sup> class (continuous line) of purity of water



Ryc. 6. Wskaźniki biogenne wód Sudółu Dominikańskiego: A – zawartość fosforu fosforanowego, B- zawartość azotu amonowego, C – zawartość azotu azotanowego(III), D- zawartość azotu azotanowego(V). Liniami pionowymi oddzielono punkty pomiarowe zlokalizowane na dopływie Sudółu Dominikańskiego (4,5), linie poziome wyznaczają wartości graniczne dla I (linia przerywana) i II klasy jakości wód powierzchniowych (linia ciągła)

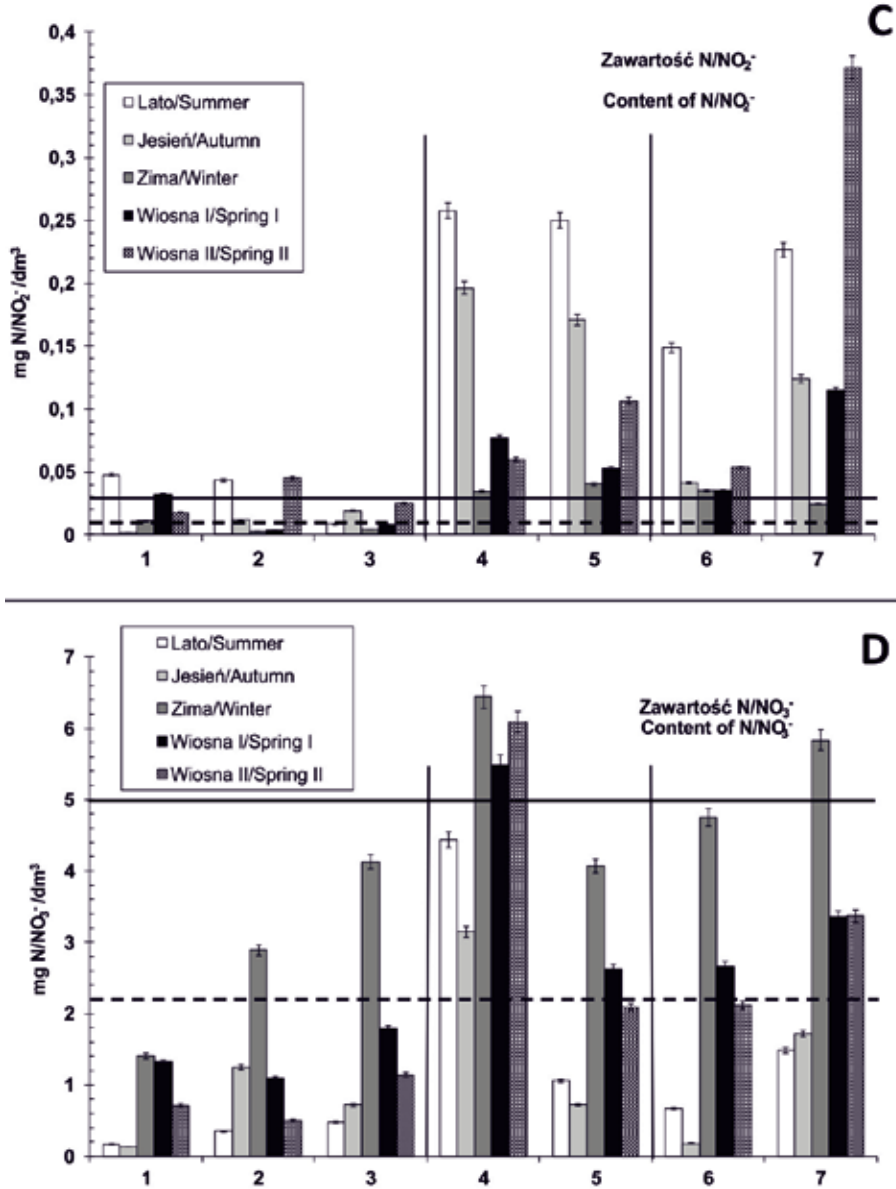


Fig. 6. Biogenic parameters of water from the Sudół Dominikański creek: A - Content of phosphorus in phosphate, B - content of ammoniacal nitrogen, C - content of nitrite nitrogen, D- content of nitrate nitrogen. The vertical lines separate sampling points located at the tributary of Sudół Dominikański (4,5), the horizontal lines indicate the allowable values for the 1<sup>st</sup> class (dotted line) and 2<sup>nd</sup> class (continuous line) of purity of water

się mniej więcej na tym samym poziomie (ryc. 5B). ChZT jest parametrem zmiennym sezonowo. W wodach powierzchniowych wartość ChZT jest zwykle wyższa latem niż zimą. Wyniki uzyskane dla badanych wód potwierdziły tę zależność.

Wartości ChZT-Mn dla zdecydowanej większości analizowanych próbek wody mieściły się w zakresie I lub II klasy jakości wód, w kilku przypadkach dotyczących głównie końcowego odcinka biegu potoku wartość ChZT-Mn przekraczała wartość normatywną dla II klasy (tj. 8,4 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>).

#### Zanieczyszczenia biogenne: fosfor i azot

Rysunek 6A przedstawia zawartość fosforu fosforanowego (P/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) w wodach Sudołu Dominikańskiego. Widoczne są duże różnice w ilości biogenu, od bardzo niskich stężeń (w kilku próbkach poniżej granicy oznaczalności) w wodach górnego biegu głównego nurtu do wartości 0,576 mg P/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/dm<sup>3</sup> dla wód przy ujściu do kolektora w sezonie letnim. Dopływ Sudołu charakteryzuje się wyraźnie wyższą zawartością P/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> stąd po połączeniu z głównym nurtem stężenie biogenu utrzymuje się na podobnym wysokim poziomie aż do ujścia. Nie zaobserwowano typowej, skorelowanej z aktywnością roślinną, sezonowej zmienności w stężeniach P/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>: niskiej latem, wyższej zimą. Odnotowane zaburzenie należy przypisać wpływom antropogenicznym, związanym przede wszystkim z nawożeniem gruntów ornych. Stężenie fosforanów w wodach Sudołu, choć ciągle wysokie, jako jedyne wśród biogenów, wyraźnie spadło przez okres ostatnich 10 lat (Kanownik, Rajda. 2008; Wardas i in. 2010). Potwierdzają to również dane o jakości wód z punktu pomiarowego usytuowanego przy ujściu Sudołu do Prądnika, monitorowanego przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Krakowie (Ciećko 2017).

Ryc. 6B przedstawia zawartość azotu amonowego (N/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Najniższe ilości biogenu zarejestrowano w punktach 1–3 leżących najbliżej źródła w Bosutowie. Wody tego odcinka pod względem zawartości N/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mieszczą się w I klasie jakości (zawartość N/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> poniżej 0,35 mg/dm<sup>3</sup>). Najgorszą jakość, zgodnie z przewidywaniami, wykazały wody końcowego odcinka potoku, w których kumulują się zanieczyszczenia z całego biegu potoku. Sezonowe zmiany związane z temperaturą powietrza i wody oraz wynikająca z tego aktywność biochemiczna organizmów wodnych powodują zazwyczaj wzrost stężenia jonów amonowych zimą a spadek wiosną i latem. W przypadku wiosennego poboru próbek (wiosna II) aż w pięciu na siedem próbek wody odnotowano stężenia jonów amonowych poniżej granicy oznaczalności, co może wynikać z późnowiosennego szczytowego okresu wegetacji. Co więcej, należy i w tym przypadku zaznaczyć znaczny spadek zawartości azotu amonowego w porównaniu do badań wcześniejszych (Kanownik, Rajda 2008).

Profil zmian dotyczących zawartości azotu azotanowego(III) (N/NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) (ryc. 6C) jest bardzo zbliżony do wahań stężeń fosforu P/PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Zaobserwowano znaczne zmiany w zawartości biogenu, od stężeń na granicy oznaczalności w górnym odcinku głównego nurtu do wartości 0,36 mg N/NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/dm<sup>3</sup> przy ujściu do kolektora w sezonie wiosennym. Wody dopływu Sudołu zawierają znacznie więcej N/NO<sub>2</sub><sup>-</sup> niż wody odcinka źródłowego.

Zawartość azotu azotanowego(V) (N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (ryc. 6D) charakteryzuje się znacznymi wahaniami w zależności od miejsca i czasu poboru. Wody próbek wzdłuż całego biegu potoku w sezonie letnio-jesiennym utrzymywały się w pierwszej klasie jakości z wyjątkiem wód dla punktu pomiarowego 4. W sezonie zimowym zaobserwowano wzrost stężenia biogenu i spadek dla kolejnego sezonu. Obserwacja ta jest zgodna z przewidywanym mniejszym zużyciem azotanów(V) ze względu na ograniczoną wegetację w sezonie zimowym. Zawartość N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dla większości analizowanych wód utrzymuje się w zakresie

I ( $2,2 \text{ mg N/NO}_3^-/\text{dm}^3$ ) lub II klasy jakości ( $5,0 \text{ mg N/NO}_3^-/\text{dm}^3$ ). Najwyraźniejsze przekroczenia normatywu II klasy zaobserwowano dla punktu pomiarowego nr 4, położonego na dopływie. Należy zaznaczyć iż, wyniki te są zgodne z rezultatami uzyskanymi przez Kanownika (Kanownik, Rajda 2008). Jest to zatem kolejny parametr potwierdzający wysoką i stale utrzymującą się punktową lub nawet obszarową depozycję zanieczyszczeń do wód płynących, w rejonie wsi Węgrzce.

## WNIOSKI

### Ocena zmienności wskaźników jakości wód

Analiza jakości wód Sudółu Dominikańskiego wskazała, iż nie wszystkie parametry w równym stopniu wykazują zmienność związaną z niską bezwładnością hydrologiczną potoku, typową dla małych cieków wodnych. Do wskaźników o dużej stabilności zaliczono pH i przewodnictwo elektrolityczne właściwe. Te dwa wskaźniki charakteryzuje zbliżona wartość średniej i mediany, odpowiednio dla każdego z nich, oraz niska wartość współczynnika zmienności (tab. 2). Podobne cechy wykazują parametry statystyczne w stosunku do wskaźników związanych z twardością wody. Szczególnie duża stabilność charakteryzuje twardość ogólną i zawartość jonów wapnia. Bardzo bliską wartość mediany i średniej uzyskano także dla stężenia jonów magnezu, lecz w tym przypadku wartość współczynnika zmienności jest na poziomie 22%. Wspomniane cechy jakości wód ściśle związane są z podłożem geologicznym łóżyska potoku. Sudół Dominikański zakwalifikowany jest bowiem jako potok wyżynny węglanowy. Wysoka zawartość jonów wapnia i magnezu, co za tym idzie wysoka twardość ogólna, stanowi zatem naturalnie wysokie tło geochemiczne dla wód omawianego strumienia.

Kolejna grupa wskaźników jakości wód Sudółu Dominikańskiego to te o bardzo bliskiej wartości średniej i mediany ale o współczynniku zmienności wynoszącym ok. 30%. Do tej grupy zaliczono stężenie jonów chlorkowych, ChZT-Mn oraz zawartość tlenu rozpuszczonego. Parametry te wiąże się z antropopresją, ponadto ChZT i zawartość tlenu rozpuszczonego zależą od zmian sezonowych w środowisku. Łącznie te zależności mogły spowodować, iż wskaźniki obiektywnie niezależne (jony chlorkowe względem wskaźników tlenowych) trafiły do tej samej grupy pod względem podobieństw parametrów statystycznych.

Najwyższa zmienność charakteryzowała czynniki biogenne, które uważa się za najmocniej związane z antropopresją i równocześnie zależne od aktywności wegetacyjnej roślin. W skrajnych przypadkach (stężenia:  $\text{N/NH}_4^+$ ,  $\text{N/NO}_2^-$ ,  $\text{N/NO}_3^-$  i  $\text{P/PO}_4^{3-}$ ) uzyskano wartość mediany nawet 2,4 raza niższą niż wartość średniej i współczynniki zmienności powyżej 100%. Parametry te i ich zmienne wartości mogą zatem stanowić, w przypadku wód Sudółu Dominikańskiego, swoisty lokalizator źródeł zanieczyszczeń – głównie komunalnych oraz wynikających z intensywnego rolnictwa.

### Ocena jakości wód Sudółu Dominikańskiego

W ocenie jakości wód Sudółu Dominikańskiego, można wyróżnić trzy odcinki o wyraźnie odmiennych wartościach badanych wskaźników:

1) Odcinek źródłowy obejmujący punkty pomiarowe 1-3: charakteryzuje się najniższą zawartością jonów  $\text{Cl}^-$  i czynników biogennych oraz ChZT-Mn. Wody tego odcinka dla 6 mierzonych parametrów spełniają kryterium wód klasy I;

Tabela 2. Wybrane parametry statystyczne mierzonych wskaźników wód potoku Sudół Dominikański i jego dopływu

Table 2. Selected statistical parameters of the measured indices of the water of Sudół Dominikański creek

Wskaźnik Indicator	Średnia Mean	Mediana Median	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności % Coefficient of variation
pH	7,96	8,03	7,26	8,54	0,26	3,3
Przewodnictwo elektrolit. właściwe Conductivity [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	890	892	590	1196	125	14,0
Twardość ogólna Total hardness [ $\text{mg CaCO}_3/\text{dm}^3$ ]	444	445	298	547	55,2	12,4
Stężenie $\text{Ca}^{2+}$ Concentration of $\text{Ca}^{2+}$ [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ]	141	143	93,5	173	18,8	13,3
Stężenie $\text{Mg}^{2+}$ Concentration of $\text{Mg}^{2+}$ [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ]	22,6	22,8	11,8	32,2	4,9	22
Stężenie $\text{Cl}^-$ Concentration of $\text{Cl}^-$ [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ]	53,6	53,5	27,2	115,7	18,9	35,3
Tlen rozpuszczony Dissolved oxygen [ $\text{mg O}_2/\text{dm}^3$ ]	8,39	8,4	1,96	12,28	2,52	30,0
ChZT – Mn COD – Mn [ $\text{mg O}_2/\text{dm}^3$ ]	6,89	6,23	4,11	11,14	1,96	28,4
Stężenie fosforu fosforanowego Concentration of phosphorus in phosphate [ $\text{mg P}/\text{PO}_4^{3-}/\text{dm}^3$ ]	0,12	0,049	0,0033	0,58	0,15	125
Stężenie azotu amonowego Concentration of ammoniacal nitrogen [ $\text{mg N}/\text{NH}_4^+/\text{dm}^3$ ]	0,38	0,16	p.g.o.*	2,38	0,59	155
Stężenie azotu azotanowego(III) Concentration of nitrite nitrogen [ $\text{mg N}/\text{NO}_2^-/\text{dm}^3$ ]	0,077	0,041	0,0015	0,37	0,089	116
Stężenie azotu azotanowego(V) Concentration of nitrate nitrogen [ $\text{mg N}/\text{NO}_3^-/\text{dm}^3$ ]	2,30	1,72	0,13	6,44	1,86	80,9

\* poniżej granicy oznaczalności – below of the limit of detection (<LOD)

2) Wody dopływu (punkty pomiarowe 4 i 5): dla 7 parametrów został przekroczony normatyw wód II klasy. Silna antropopresja i jednoczesna słaba zdolność do samooczyszczania powoduje, iż wody tego odcinka są mocno zdegradowane. Do zaistniałej sytuacji najprawdopodobniej w największym stopniu przyczynia się zrzut nieoczyszczonych ścieków bytowych z otaczających rzekę gospodarstw. Co więcej, stan ten utrzymuje się od szeregu lat (Kanownik, Rajda. 2008; Wardas i in. 2010).

3) Odcinek końcowy (punkty pomiarowe 6 i 7): w wodach tego odcinka kumulują się zanieczyszczenia całego biegu potoku. Osiem parametrów przekroczyło normatywy wód klasy II a cztery dla wód klasy I. Pomimo wyższego przepływu i ostrzejszego rygoru pod kątem niekontrolowanego zrzutu ścieków na terenie Krakowa, na odcinku tym widać słabą zdolność potoku do samooczyszczania. Wpływa na to z pewnością regulacja cieków na terenie krakowskich osiedli, mająca zapobiegać jego niekontrolowanemu wylewom.

Dla większości analizowanych parametrów zaobserwowano systematyczne obniżenie jakości wód w miarę oddalania się od źródeł cieków. Wody dopływu w decydującym stopniu przyczyniały się do spadku jakości wód w końcowym odcinku strumienia. Wartości parametrów najbardziej zależnych antropogenicznie (stężenia jonów chlorkowych, zawartość czynników biogenych) wskazują jednoznacznie na obecność stałego źródła zanieczyszczeń w okolicy punktu pomiarowego nr 4 we wsi Węgrzce.

Wody Sudółu Dominikańskiego, ze względu na podłoże geologiczne charakteryzuje naturalnie wysokie pH, twardość oraz zawartość jonów wapnia i magnezu. Dlatego też parametry te w przypadku tego typu cieków nie są wiarygodnym wskaźnikiem antropopresji. Wydaje się też, iż najnowsze regulacje prawne, pomimo wprowadzenia rozróżnienia typów wód płynących, ciągle nie uwzględniają wysokiego tła geochemicznego, wpływającego na powyższe parametry i są wobec tego zbyt rygorystyczne.

Oceny przedstawione powyżej są zgodne z wcześniejszymi badaniami prowadzonymi przez Kanownika (Kanownik, Rajda 2008). Porównując wyniki sprzed dekady należy podkreślić ciągły, utrzymujący się zły stan wód Sudółu Dominikańskiego (poniżej II klasy czystości). Warto jednak zaznaczyć, iż widoczny jest niewielki spadek zawartości większości nutrientów, w tym przede wszystkim fosforanów oraz azotu amonowego.

## PIŚMIENNICTWO

Ciećko P. (red.). 2017. *Raport o stanie środowiska województwa małopolskiego w 2016 roku*. Kraków, s. 64–78.

Kanownik W., Rajda W. 2008. *Źródła zanieczyszczenia wód powierzchniowych w zlewni potoku Sudół Dominikański*. „Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus”, **7**, 2: 3–14.

Lewicki L. 2015. *Wstępna ocena przepustowości koryta cieków Miejskiego w warunkach silnej antropopresji*. „Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus”, **14**, 1, 135–147.

Miśkowiec P. 2017. *Contamination of small watercourses with heavy metals depending on distance from emission sources: Lesser Poland case study*. „Water and Environment Journal” (wersja online – w druku).

Miśkowiec P., Łaptaś A., Seroka A. 2013. *Wybrane parametry fizykochemiczne wód ze źródeł doliny Prądnika*. „Prądnik. Prace. Muz. Szafera”, **23**: 111–119.

Miśkowiec P., Skrętuła K., Jaśkiewicz M. 2016. *Zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w glebach doliny Dłubni*. „Prądnik. Prace. Muz. Szafera”, **26**: 163–172

Nowacka-Rejzner U. 2011. *Małe rzeki i potoki, jako wartość zagrożona i zagrożenie w przestrzeni miejskiej. Na przykładzie potoku Sudół Dominikański w Krakowie*. „Czasopismo Techniczne. Architektura”, **17**: 71–78.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 lipca 2016 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. „Dziennik Ustaw RP”, 2016 poz. 1187.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 października 2016 r. w sprawie planu gospodarowania wodami na obszarze dorzecza Wisły. „Dziennik Ustaw RP”, 2016 poz. 1911.

Wardas M.; Aleksander-Kwaterczak U.; Jusik S.; Hryc B.; Zgoła T.; Sztuka M.; Kaczmarska M.; Mazurek M. 2010. *An attempt to assess the impact of anthropopressure on the ecological state of urbanised watercourses of Krakow conurbation and the difficulties encountered*. “Journal of Elementology”, **15**, 4: 725–743.

## SUMMARY

The aim of this study was the water quality analysis of Sudół Dominikański. Additionally, the variability of determined water parameters was elucidated.

The quality of the water was assessed based on the values of twelve physicochemical parameters: salinity factors, oxygen indicators, content of nutrients. The hardness of the water of Sudół Dominikański is naturally high as is the pH and the content of calcium and magnesium ions. This fact is connected with the geological ground of the creek. Taking into account other quality parameters, Sudół Dominikański creek can be divided into three parts:

1) The source/beginning segment with the lowest concentration of Cl<sup>-</sup>, biogens and chemical oxygen demand (COD-Mn). The water fulfilled standards of the first class of purity for 6 of the determined indices.

2) The tributary of Sudół Dominikański: water of this part exceeds standards of the second class of purity for 7 parameters. The creek in this region is highly degraded and exposed to uncontrolled pollution.

3) The lower part: water in this section cumulates pollutants of the whole creek. Eight parameters exceed standards of second class water purity, four others the standards of first class water purity. The lack of self-purifying ability of the creek is visible in this part.

The majority of the analyzed parameters showed a gradual increase with increasing distance from the springs. The quality of the water clearly got worse below the connection with the tributary.

Anthropopression strongly disturbed the natural seasonal changes which are characteristic for some indicators. The concentration of the biogenic pollutants turned out to be the most variable both in time and location.