

## Wpływ przekształceń infrastruktury drogowej na podstawowe cechy fizykochemiczne wód powierzchniowych małej zlewni podmiejskiej<sup>1</sup>

Impact of road infrastructure transformation on basic physical and chemical characteristics of surface waters in the small suburban catchment

Piotr Moniewski, Małgorzata Stolarska

Uniwersytet Łódzki, Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź,  
e-mail: moniek@geo.uni.lodz.pl, malgo100@tlen.pl

---

**Abstract:** In the article changes the quality of water in Dzierżazna's catchment (Fig. 1), before and after the construction of motorway was shown (Fig. 2). Monitoring research conducted in years 2004–2008 in the area of Dzierżazna drainage basin, which is the research area for the Department of Hydrology and Water Management at the University of Łódź, allowed for making a study of spatial and time changeability of basic physical and chemical parameters of surface water resources: conductivity (Fig. 3–5), alkali level (Fig. 6–8) and content of dissolved oxygen (Fig. 9–10).

Monitoring contained waters drained from motorway (7 measurements points) and river waters (checkpoint closing the catchment). Quality of waters drained from motorway has a visible seasonal rhythm (Fig. 4 and Fig. 7), and the most polluted waters occurred in cool season. Of course, it depends on winter subsistence of motorway. Supply of road sewages to rivers, in period, do not cause changes in quality of waters. Conductivity of river waters do not increase, and rhythm of seasonal fluctuations is still natural (Fig. 3). The most changes are observable in alkali level of river waters. Now, there are subtly more alkaline. Also natural seasonal rhythm of alkali level changed (Fig. 6).

**Key words:** anthropopressure, motorway, quality of water, water cycle, surface waters

**Słowa kluczowe:** antropopresja, autostrada, jakość wody, obieg wody, wody powierzchniowe

### Wstęp

Użytkowanie terenu przez człowieka odgrywa współcześnie bardzo dużą rolę w obiegu wody. W ocenie wpływu warunków terenowych na ilość i jakość wody zwykle zwraca się uwagę na formy zajmujące na

---

<sup>1</sup> Dofinansowano ze środków projektu badawczego MNiI nr 2PO4E02929.

mapie użytkowania znaczne powierzchnie. W zlewniach naturalnych lub mało przekształconych przez człowieka są to przede wszystkim obszary leśne i użytki rolne. W zlewniach poddanych silnej antropopresji liczą się zwłaszcza obszary zurbanizowane: mieszkaniowe, przemysłowe, drogi oraz nieużytki.

Z punktu widzenia środowiska przyrodniczego jedną z istotnych form użytkowania terenu jest sieć komunikacyjna. Zagospodarowanie nowych obszarów wiąże się z budową dróg i ulic, niekiedy z budową linii kolejowych czy tramwajowych. Na obszarach o znacznym stopniu urbanizacji (np. w miastach) zmiany w układzie komunikacyjnym są na ogół niewielkie i polegają zwykle na modernizacji istniejącej już sieci. Na terenach o mniejszej presji człowieka (wiejskich, podmiejskich) zagospodarowanie oznacza umieszczenie w środowisku nowych, obcych elementów infrastruktury technicznej.

Jednym z priorytetów w modernizacji infrastruktury w ostatnich latach jest program budowy autostrad w Polsce. Jest to inwestycja niewątpliwie potrzebna, lecz wymagająca olbrzymich przekształceń na powierzchni setek kilometrów kwadratowych. Warto zaznaczyć, że autostrada to nie tylko dwie asfaltowe jezdnie o szerokości 11 m każda, ale także kilkudziesięciometrowy pas przyautostradowy, liczne węzły komunikacyjne, drogi dojazdowe i techniczne, miejsca obsługi podróżnych (MOP) oraz bazy sprzętowe. W węzłach drogowych, szczególnie w pobliżu większych miast, powstają również inwestycje towarzyszące, takie jak centra logistyczne czy zakłady produkcyjne. Skala przemian środowiska naturalnego będzie zatem ogromna, a jej zasięg przestrzenny – trudny do przewidzenia.

Najistotniejszym problemem z punktu widzenia wpływu budowy i eksploatacji nowych dróg na stosunki wodne jest połączenie systemu odwodnienia autostrady z naturalną siecią hydrograficzną przylegających do niej obszarów. Tam bowiem, gdzie następuje wyprowadzenie wód opadowych do wód powierzchniowych lub podziemnych, należy spodziewać się zmiany ich cech ilościowych bądź jakościowych.

## **Obszar badań**

Przykładem wspomnianych wyżej przemian jest zlewnia Dzierżąznej, położona w północnej części aglomeracji łódzkiej, w pobliżu Zgierza (ryc. 1). Teren badań znajduje się w obrębie Wzniesień Łódzkich ciągnących się od doliny górnej Bzury na zachodzie aż po dolinę Rawki na wschodzie. Powierzchnia topograficzna zlewni Dzierżąznej, zamkniętej wodowskazem w Swobodzie, wynosi 42,9 km<sup>2</sup>.

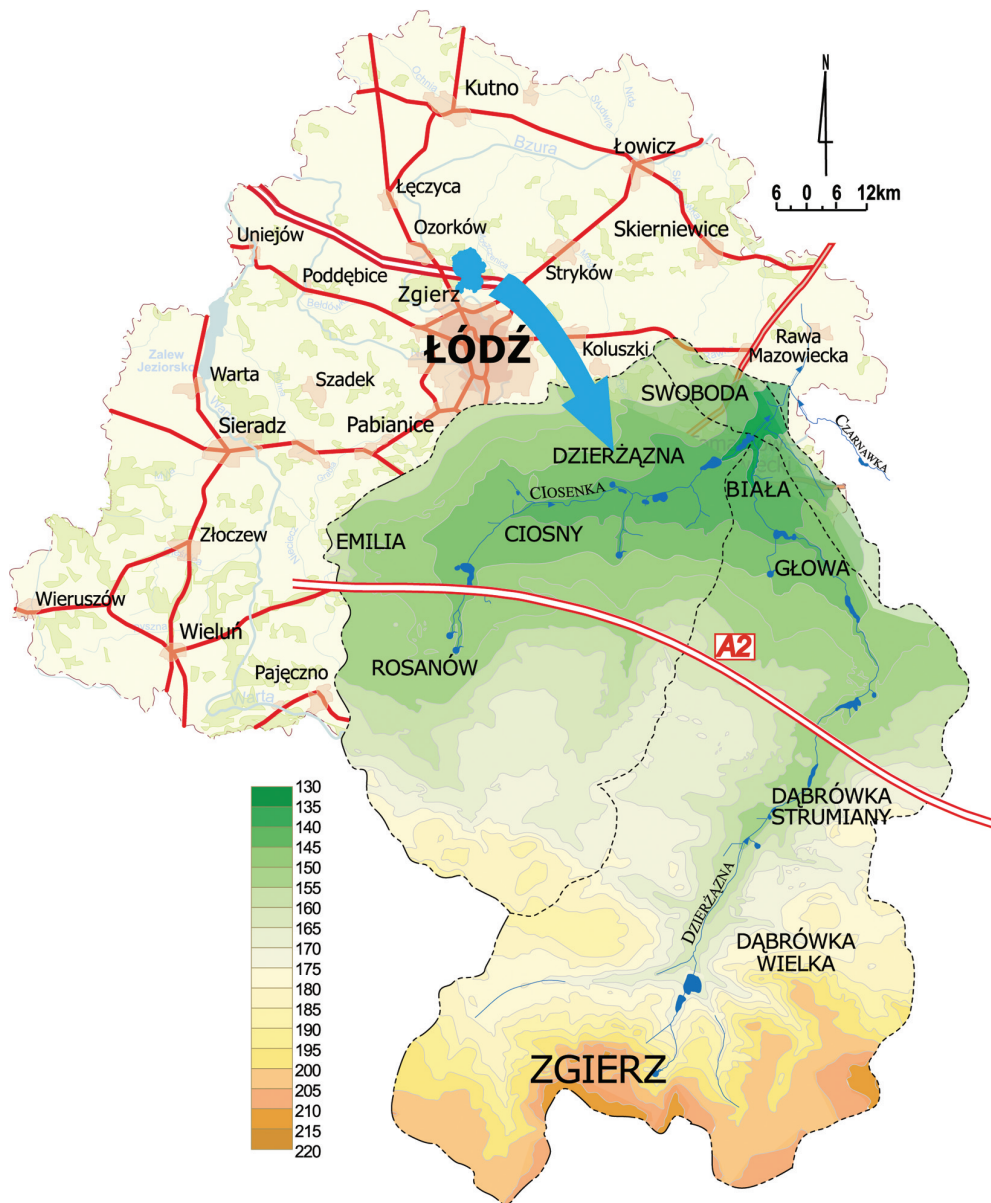
Obszar zlewni Dzierżąznej reprezentuje warunki typowe dla prawych dopływów Bzury. Teren opada tu wyraźnie w kierunku północnym, ku Pradolinie Warszawsko-Berlińskiej, i charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem wysokości. Deniwelacja w obrębie tej niewielkiej zlewni wynosi aż 85 m. Rzeźba terenu jest rezultatem akumulacji osadów zlodowacenia Warty i została ostatecznie ukształtowana w wyniku holocenijskiej działalności rzek. W budowie geologicznej południowej i południowo-wschodniej części zlewni dominują gliny zwałowe. Środkowa część zlewni przykryta jest kilkunastometrowej miąższości piaskami i żwirami fluwioglacjalnymi o charakterze sandru. W części północnej zlewni Dzierżąznej jest zdecydowanie bardziej płaska, a wśród utworów powierzchniowych dominują mułki zastoiskowe.

Nachylenie terenu ku północy wymusza południkowy kierunek odpływu wód głównej rzeki odwadniającej ten obszar – Dzierżąznej, której długość wynosi 9,2 km. W dolnej części zlewni przyjmuje ona swój jedyny większy dopływ – Ciosenkę. Bierze ona początek w dużym źródłisku w Rosanowie, zasilanym z utworów sandrowych, o wydajności ponad 40 dm<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> (Moniewski 2004). W wielu miejscach w dolinach obu cieków znajdują się stawy hodowlane o charakterze przepływowym.

Badania hydrologiczne w zlewni Dzierżąznej są prowadzone od 1998 r. (zlewnia badawcza ZHiGW UŁ). Monitoring obejmuje warunki meteorologiczne, stany wód powierzchniowych i podziemnych, przepływy

rzek oraz wydajność źródeł. W 2003 r. program badawczy rozszerzono o podstawowe właściwości hydrochemiczne wód powierzchniowych i podziemnych.

W wyniku kilkuletnich badań zidentyfikowano najważniejsze elementy krążenia wody w zlewni Dzierżąskiej, a także rozpoznano czasową i przestrzenną zmienność charakterystyk hydrologicznych oraz

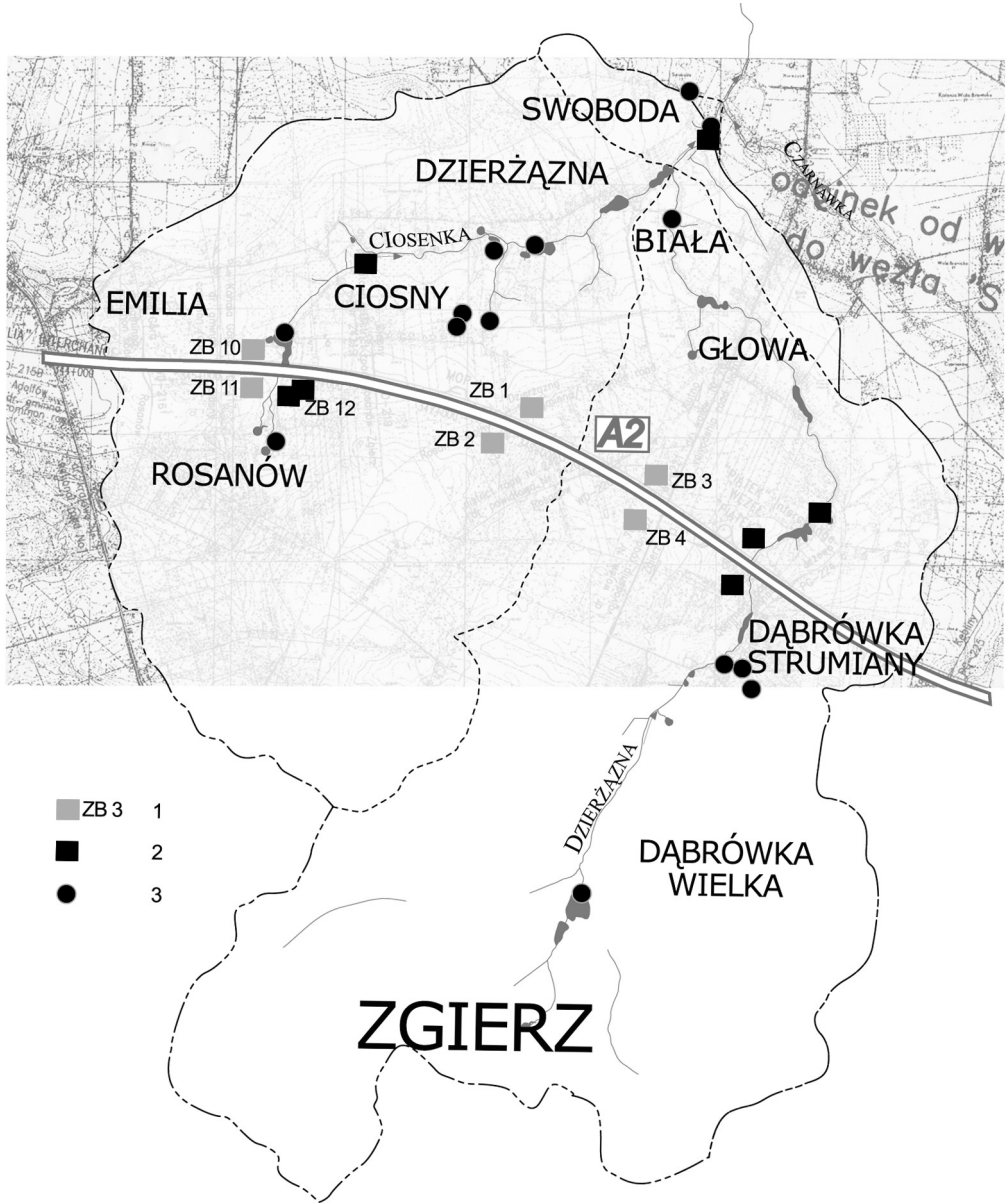


Ryc. 1. Położenie zlewni Dzierżąskiej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Projektu Budowlanego Autostrady A2, 2002, GDDKiA, Oddział w Łodzi.

Fig. 1. Location of Dzierżązna's catchment

Source: Autor's work out based on Projekt Budowlany Autostrady A2, 2002, GDDKiA, Oddział w Łodzi.



Ryc. 2. Punkty pomiarowe wzdłuż autostrady A2 (na podstawie Projektu Budowlanego Autostrady A2, 2002, GDDKiA Oddział w Łodzi; zmienione)

1 – osadniki, 2 – punkty pomiaru wód odprowadzanych z autostrady, 3 – pozostałe punkty pomiarowe

Fig. 2. Measurement points along the A2 motorway (based on Projekt Budowlany Autostrady A2, 2002, GDDKiA Oddział w Łodzi; modified)

1 – sedimentation tanks, 2 – measurement points of waters drained from motorway, 3 – others measurement points

właściwości wód. Można zatem powiedzieć, że cechy środowiska przyrodniczego tej zlewni zostały dobrze poznane, co znalazło odzwierciedlenie w licznych publikacjach (m.in. Bartnik, Tomaszewski 2000, Jokiel 2002).

W kwietniu 2004 r. rozpoczęła się budowa odcinka autostrady A2 Emilia–Stryków, przecinającego równoleżnikowo zlewnię na długości 7 km. Wymieniony odcinek drogi oddano do użytku 25 lipca 2006 r. Budowa autostrady wymagała poważnych przekształceń terenu (wykopy, nasypy, rowy, zbiorniki), modernizacji dróg dojazdowych (węzły: „Emilia” i „Piątek”), budowy dróg technicznych oraz dużego parkingu (MOP „Ciosny”). Autostrada z obiektami towarzyszącymi zajęła w zlewni Dzierżąnej obszar blisko 100 ha, a udział sztucznych, nieprzepuszczalnych nawierzchni wzrósł o około 1,5% w stosunku do powierzchni zlewni poniżej autostrady.

Szybkie i bezpieczne odprowadzenie wody ze sztucznych powierzchni wymagało zaprojektowania specjalnego systemu. Pierwszym elementem układu odwodnienia autostrady są rowy biegnące po obu stronach jezdni i dróg dojazdowych. Powierzchnia rowów jest porośnięta trawą, a dno uszczelniono folią, co pozwala na skierowanie odpływu do separatorów oleju, usytuowanych na ich końcach. Zrzut wody z separatorów następuje bądź bezpośrednio do cieku (Dzierżąna), bądź za pośrednictwem osadników. Osadniki, w zależności od warunków terenowych (głębokość do zwierciadła wody podziemnej), mają charakter retencyjny lub infiltracyjny.

## **Zakres pomiarów**

W punktach styku systemu odwodnienia autostrady z istniejącą siecią hydrograficzną rozmieszczono posterunki monitoringu właściwości fizykochemicznych wód powierzchniowych (ryc. 2).

Podstawowych danych dostarczyły pomiary ekspedycyjne wykonywane w okresie dwuletnim (maj 2006 r.–kwiecień 2008 r.) co dwa tygodnie. W 7 punktach mierzono przewodność elektrolityczną właściwą, odczyn wody i stężenie tlenu rozpuszczonego. Pomiarów dokonywano *in situ* przy użyciu pH-konduktometru CPC-401 oraz tlenomierza CO-411 (firmy Elmetron). W celu weryfikacji zebranego materiału badawczego wykorzystano dane z automatycznej stacji kontroli jakości wody firmy OTT zainstalowanej w przekroju wodowskazowym w Swobodzie oraz automatycznej stacji meteorologicznej w Ciosnach (czasy próbkowania 10 min).

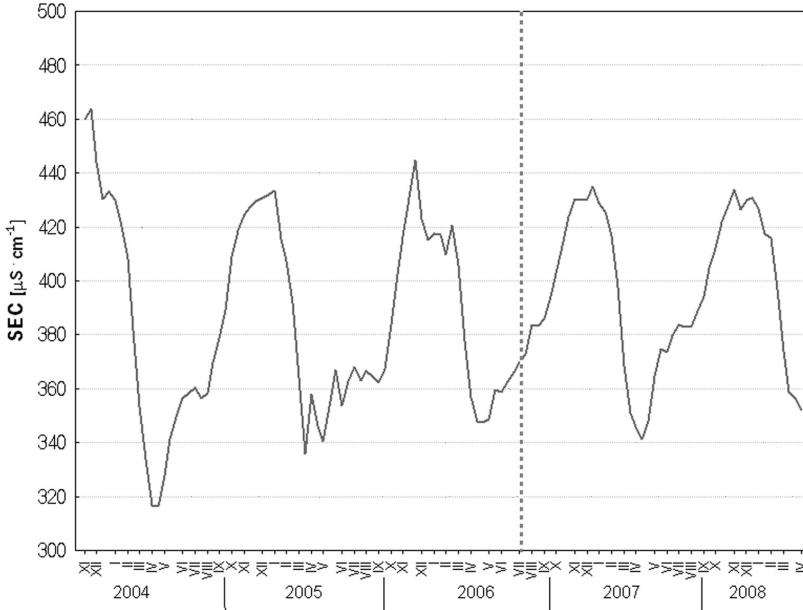
## **Przewodność elektrolityczna właściwa**

Przeciętna przewodność elektrolityczna wód Dzierżąnej w Swobodzie wynosi  $390 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , przy czym jej przebieg jest wyraźnie sezonowy (ryc. 3). Maksima konduktywności notowane są zimą i wynikają z utrzymania dróg w tym okresie. Najniższe jej wartości stwierdzono wiosną, co jest rezultatem dopływu wód roztopowych o małej konduktywności oraz zwiększonego zasilania względnie czystymi wodami podziemnymi.

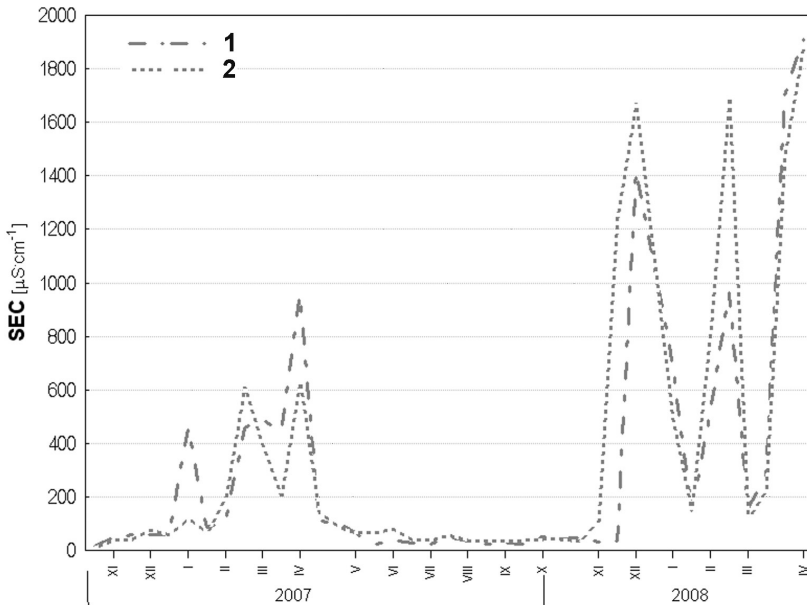
Na stopniowy wzrost przewodności w okresie letnim największy wpływ ma wiosenne nawożenie gruntów ornych. Warto zaznaczyć, że obserwowany sezonowy rytm przewodności elektrolitycznej jest również wynikiem oddziaływania szeregu zbiorników zaporowych, w których wymiana wody jest powolna. Stąd przejścia pomiędzy okresami niższych i wyższych wartości są stosunkowo łagodne.

W okresie od listopada 2007 do kwietnia 2008 przewodność elektrolityczną mierzono w odpływach z dwóch separatorów oleju, skierowanych bezpośrednio do Dzierżąnej (ryc. 4). Zimą była ona znacznie wyższa, natomiast latem jej wartość była zbliżona do konduktywności wód opadowych (ok.  $70 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ).

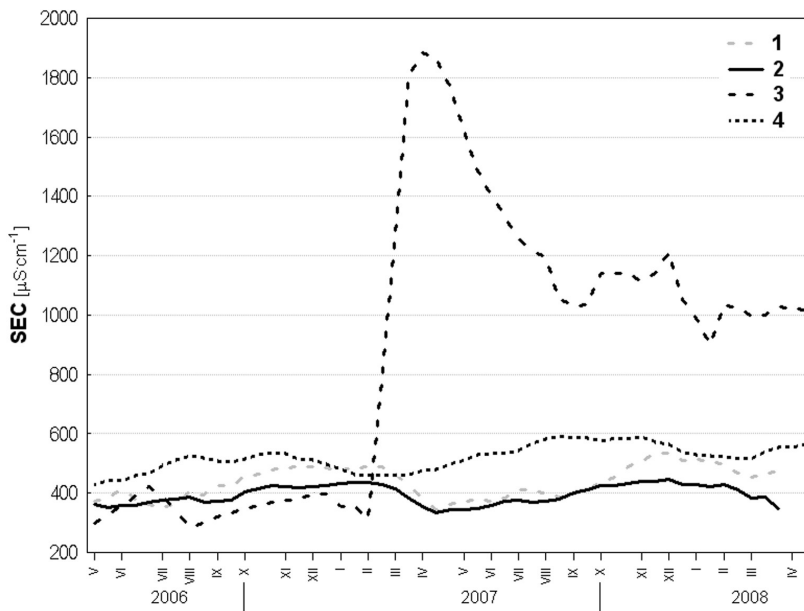




Ryc. 3. Przewodność elektrolityczna wód Dzierżąznej w Swobodzie (2004–2008)  
Fig. 3. Conductivity of Dzierżązna's water in Swoboda (2004–2008)



Ryc. 4. Konduktywność wód odprowadzanych z autostrady  
1 – kolektor N, 2 – kolektor S  
Fig. 4. Conductivity of water drained from motorway  
1 – trunk sewer N, 2 – trunk sewer S



Ryc. 5. Konduktyność wód w punktach pomiarowych

1 – Dzierżązna w Dąbrówce Przylesie, 2 – Ciosenka w Ciosnach, 3 – osadnik „Rosanów”, 4 – ciek obok osadnika „Rosanów”

Fig. 5. Conductivity of water in measurements points

1 – Dzierżązna river in Dąbrówka Przylesie, 2 – Ciosenka river in Ciosny, 3 – sedimentation tank “Rosanów”, 4 – stream by sedimentation tank “Rosanów”

Różnica zaznacza się także w poziomie konduktynośności obu okresów zimowych – w pierwszym sięgnęła 400–600  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , zaś w kolejnym nawet 1000–1400  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Obserwowana tendencja wzrostowa jest rezultatem zmniejszania się zdolności buforowych pasa przyautostradowego i zwiększonego jego zanieczyszczenia.

Niewielki wzrost poziomu konduktynośności odnotowano także w przekrojach rzecznych Dzierżąznej i Ciosenki, zlokalizowanych poniżej autostrady (ryc. 5). Największy skok przewodności elektrolitycznej zarejestrowano w wodach osadnika w Rosanowie. Wiosną 2007 r. w strefie przypowierzchniowej konduktynośność wzrosła z 400 do ponad 1800  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Prawdopodobnie nastąpiło wówczas odwrócenie stratyfikacji termicznej wód zbiornika i ich wymieszanie (Moniewski et al. 2007). W kolejnych miesiącach wartości malały, jednak w ciągu następnego okresu zimowego przewodność elektrolityczna utrzymywała się na poziomie 1000  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Skutkowało to wzrostem konduktynośności wód ciekającego w sąsiedztwie osadnika w porównaniu do pierwszego okresu zimowego.

Po oddaniu autostrady A2 do użytku (pionowa linia na ryc. 3) w przebiegu przewodności wód rzecznych w przekroju zamykającym zlewnię nie stwierdzono istotnych zmian. Dopływ wód z odwodnienia autostrady ma bowiem charakter epizodyczny, a przebieg ich konduktynośności pokrywa się z istniejącym już rytmem wód rzecznych.

## Odczyn

Wody Dzierżąnej charakteryzują się odczynem zbliżonym do obojętnego, a jego przeciętna wartość wynosi 7,4. Obniżenie pH notowano zimą ze względu na dopływ wód opadowych, których odczyn jest naturalnie kwaśny. Latem, w okresie pełnego rozwoju roślinności, w przekroju Swoboda wody miały odczyn lekko zasadowy (ryc. 6).

Wody odpływające z autostrady charakteryzują się dużo wyższym poziomem i zupełnie odmiennym przebiegiem pH. Zimą, wskutek zanieczyszczenia chlorkami, mają one silnie zasadowy odczyn, a powolne przepłukiwanie systemu wodami deszczowymi sprawia, że obojętne pH osiągają dopiero jesienią (ryc. 7).

Podobne prawidłowości stwierdzono w przekrojach kontrolnych poniżej autostrady. Zarówno wody Dzierżąnej i Ciosenki, jak wody osadnika i ciek w Rosanowie charakteryzowały się odczynem zasadowym w chłodnej połowie roku (ryc. 8). Oddziaływanie systemu odwodnienia okazało się na tyle istotne, że w latach 2007–2008 w wodach Dzierżąnej zanotowano 2–3-miesięczne przesunięcie okresów o zasadowym odczynie. Alkaliczacja wód następowała wcześniej niż w okresie poprzedzającym powstanie A2.

## Tlen rozpuszczony

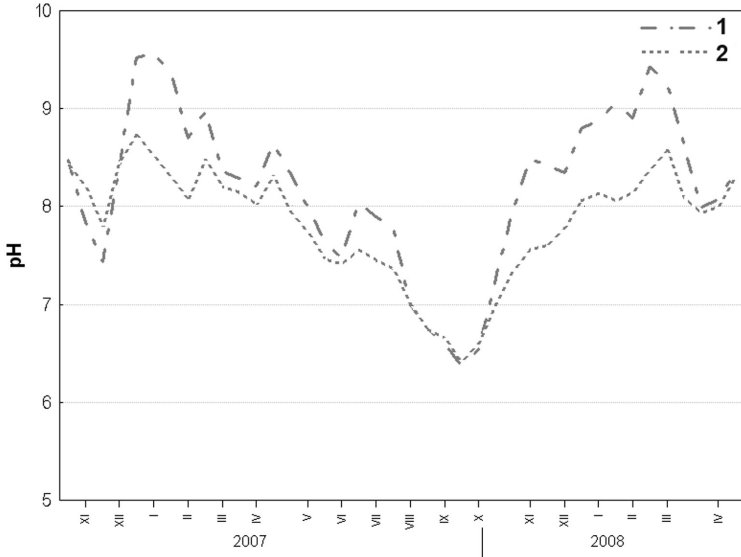
W trakcie badań wykonywano również pomiary stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie. Natlenienie wód cieków oraz obiektów hydrograficznych związanych z autostradą wykazywało wyraźnie sezonowy rytm zmian (ryc. 9). Zimą stężenie tlenu było wyższe niż latem. Rytm ten wynika przede wszystkim z sezonowych wahań temperatury wody, a także ze zmiany ilości zasobów wodnych. Odpływ rzeczny



Ryc. 6. Odczyn wód Dzierżąnej w Swobodzie (2004–2008)

Fig. 6. Alkali level of Dzierżana's water in Swoboda (2004–2008)



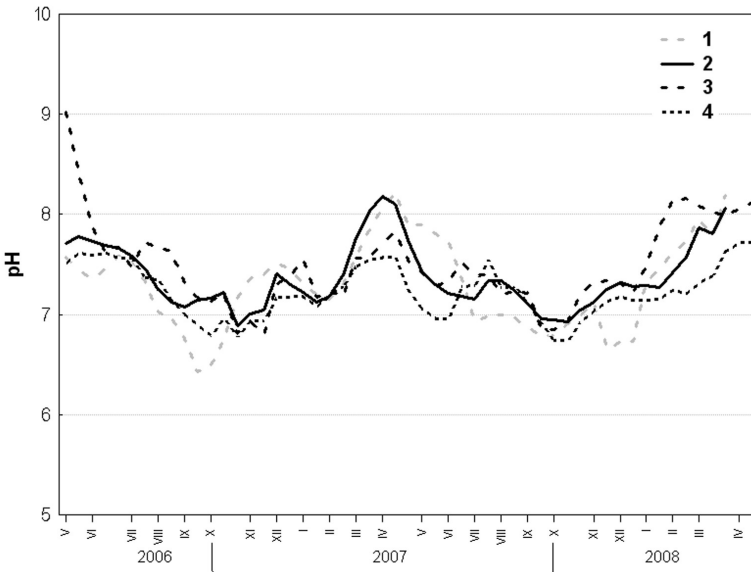


Ryc. 7. Odczyn wód odprowadzanych z autostrady

1 – kolektor N, 2 – kolektor S

Fig. 7. Alkali level of water drained from motorway

1 – trunk sewer N, 2 – trunk sewer S

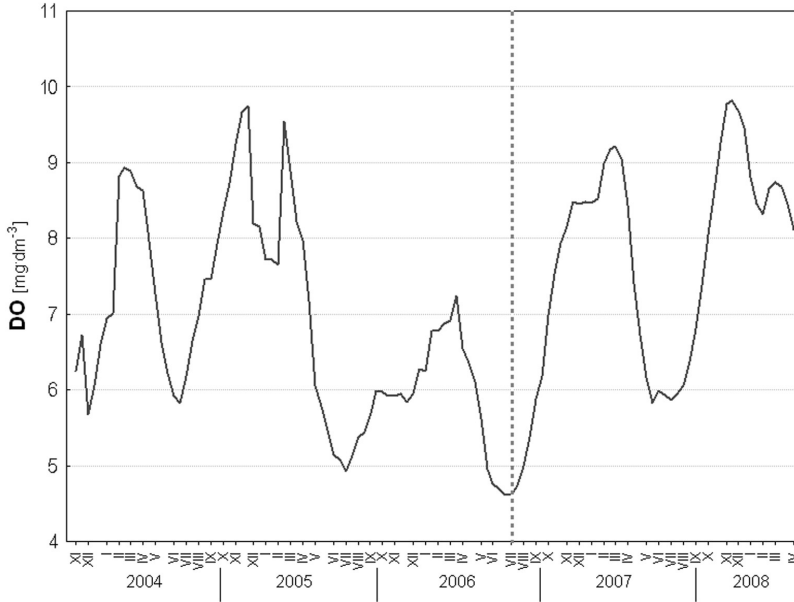


Ryc. 8. Odczyn wód w punktach pomiarowych

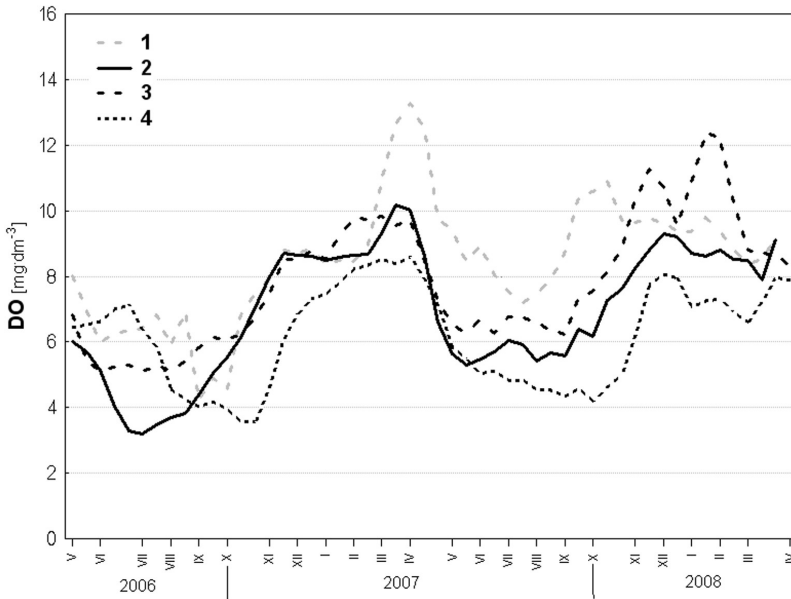
1 – Dzierżązna w Dąbrówce Przylesie, 2 – Ciosenka w Ciosnach, 3 – osadnik „Rosanów”, 4 – ciek obok osadnika „Rosanów”

Fig. 8. Alkali level of water in measurements points

1 – Dzierżązna river in Dąbrówka Przylesie, 2 – Ciosenka river in Ciosny, 3 – sedimentation tank “Rosanów”, 4 – stream by sedimentation tank “Rosanów”



Ryc. 9. Stężenie tlenu rozpuszczonego w wodach Dzierżaznej w Swobodzie (2004–2008)  
 Fig. 9. Content of oxygen dissolved in Dzierżazna,s water in Swoboda (2004–2008)



Ryc. 10. Stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie w punktach pomiarowych  
 1 – Dzierżazna w Dąbrówce Przylesie, 2 – Ciosenka w Ciosnach, 3 – osadnik „Rosanów”, 4 – ciek obok osadnika „Rosanów”  
 Fig. 10. Content of oxygen dissolved in water in measurements points  
 1 – Dzierżazna river in Dąbrówka Przylesie, 2 – Ciosenka river in Ciosny, 3 – sedimentation tank “Rosanów”, 4 – stream by sedimentation tank “Rosanów”

w chłodnej połowie roku jest większy, ze znacznym udziałem dobrze natlenionych wód opadowych i roztopowych (Jokiel, Tomalski 2005). Natomiast latem rośnie udział drenażu ubogich w tlen wód podziemnych (niżówki).

Po oddaniu autostrady do użytku warunki tlenowe w przekroju Swoboda nie uległy zmianie. Zarówno zakres wahań natlenienia wód, jak i terminy wystąpienia wartości skrajnych były podobne jak w okresie poprzedzającym. Stężenie tlenu w wodach wszystkich badanych punktów wykazywało przy tym dużą synchroniczność zmian (ryc. 10). Wpływ autostrady na tę cechę wody nie został zatem zidentyfikowany.

## Wnioski

Okres badawczy, obejmujący dwa pierwsze lata eksploatacji odcinka autostrady A2 Emilia–Stryków, pozwala na wyciągnięcie wstępnych wniosków co do kierunku zmian podstawowych cech fizykochemicznych wód powierzchniowych. Dopływ wód z systemu odwodnienia, skierowany do rzek, nie wpłynął modyfikująco na przebieg przewodności elektrolitycznej ani zawartości tlenu rozpuszczonego w przekroju zamykającym zlewnię Dzierżąnej. Stwierdzono, że strefa sezonowego wzrostu konduktywności wody ograniczona jest do pasa przyautostradowego, a jego rytm wynika z dostawy dużych ilości chlorków w okresie zimowym. Porównując wyniki w kolejnych latach zaobserwowano dodatnią tendencję wzrostu przewodności elektrolitycznej tych wód.

Odczyn wód rzecznych uległ, na skutek oddziaływania autostrady, wyraźnym przekształceniom, dotyczącym przebiegu i amplitudy sezonowych wahań. Terminy występowania ekstremów pH przesunęły się o 2–3 miesiące. Zaobserwowane zmiany odczynu wód Dzierżąnej wskazały na modyfikacje ich składu jonowego. Wpływ autostrady na pH wód w zlewni uwidaczniał się szczególnie w okresach zimowo-wiosennych.

Uzyskane wyniki świadczą o dużej bezwładności fizykochemicznej wód rzecznych zlewni Dzierżąnej. Dodatkowo trendy alkalizacji i wzrostu mineralizacji wód odpływających z autostrady wskazują kierunek zmian składu chemicznego wód zlewni i jej cech fizycznych. Warto nadmienić, że ilość soli (NaCl) zastosowanej do posypywania nawierzchni drogi w oczywisty sposób zależy od surowości zimy. Stosowane w Polsce normy przewidują zużycie soli nawet do 40 ton na 1 km długości autostrady w ciągu jednego sezonu zimowego.

Działanie systemu odwodnienia autostrady należy ocenić jako skuteczne, a sposób oczyszczania uznać za wystarczający na obecnym etapie eksploatacji. Należy przy tym zaznaczyć, że zastosowane urządzenia nie redukują poziomu chlorków i ich ilość w wodach odpływających do rzek będzie wzrastała.

Nieoczekiwanie obie zimy objęte okresem badań (2006/2007 i 2007/2008) charakteryzowały się wyjątkową łagodnością i odwodnienie autostrady nie spowodowało drastycznych zmian w przebiegu badanych charakterystyk. Należy zatem spodziewać się, iż presja związana z wpływem odwodnienia autostrady A2 na środowisko wodne będzie narastała powoli, lecz systematycznie. Należy też sądzić, że w przypadku wystąpienia śnieżnej i mroźnej zimy zaobserwowane tendencje ulegną nasileniu.

## Literatura

- Bartnik A., Tomaszewski E. 2000. Charakterystyka sieci rzecznej małej zlewni położonej w strefie krawędzowej Wyżyny Łódzkiej. *Acta Univ. Lodz., Folia Geogr. Phys.* 5, s. 49–65.
- Jokiel P. 2002. Woda na zapleczu wielkiego miasta. *Wyd. IMGW, Warszawa*, s. 148.

- 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, s. 3–20.
- Moniewski P. 2004. Źródła okolic Łodzi. *Acta Geogr. Lodz.* 87, s. 147.
- Moniewski P., Stolarska M., Tomalski P. 2007. Zmiany warunków krążenia wody zlewni Dzierżąskiej pod wpływem budowy autostrady A2 w okolicach Łodzi. W: Z. Michalczyk (red.), *Obieg wody w środowisku naturalnym i przekształconym* Wyd. UMCS, Lublin, s. 394–401.