

Wpływ systemu odwodnienia autostrady na ilość i jakość wody małej rzeki

PIOTR MONIEWSKI, PRZEMYSŁAW TOMALSKI

Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej, Uniwersytet Łódzki, ul. Narutowicza 88,
90-139 Łódź, moniek@geo.uni.lodz.pl, thomal77@poczta.onet.pl

Zarys treści: Artykuł przedstawia wyniki badań prowadzonych w okresie od września 2006 r. do kwietnia 2008 r. w zlewni Dzierżąznej. Badano wpływ odwodnienia drogi na odpływ rzeczny oraz na konduktywność i odczyn wody. Stwierdzono, że dodatkowa ilość wód dostarczanych do zlewni z pasa drogowego autostrady nie wpływa na zmianę charakterystyk odpływu. Jakość odcieków autostradowych wykazuje wyraźny rytm sezonowy, a ich parametry są najgorsze w okresie zimowym. Nie spowodowało to jednak wyraźnych zmian rytmu konduktywności wód rzecznych, które stwierdzono w przypadku odczynu wód.

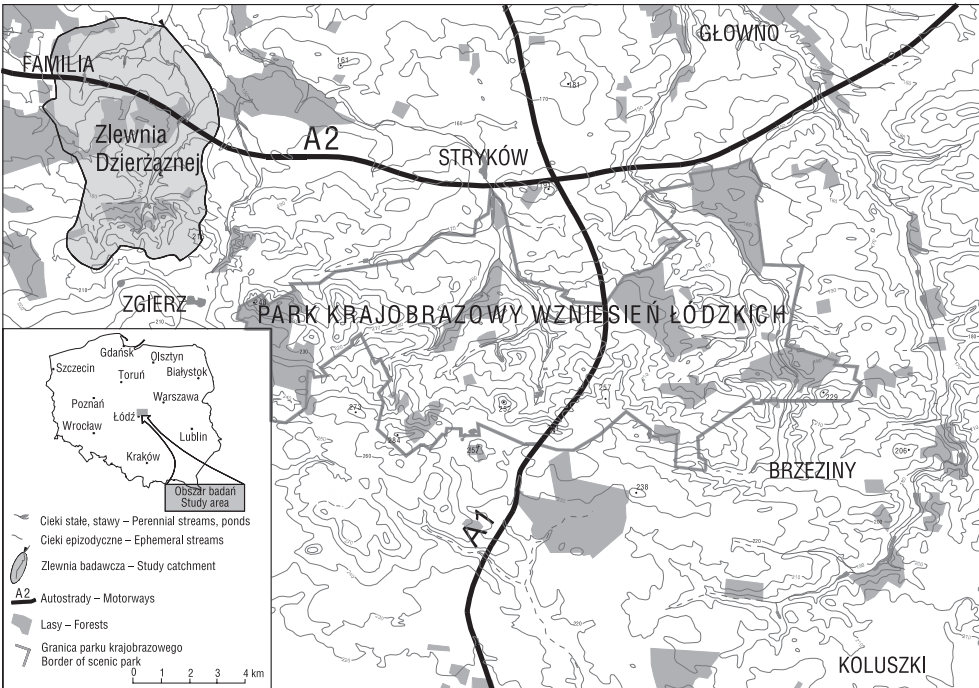
Słowa kluczowe: autostrada, jakość wód rzecznych, Park Krajobrazowy Wzniesień Łódzkich

Key words: motorway, quality of river water, Łódź Hills Landscape Park

Wstęp

Program budowy autostrad w województwie łódzkim wkroczył w fazę realizacji w połowie 2004 r. Pierwszy odcinek autostrady A2 (Konin–Stryków) oddano do użytku 25 lipca 2006 roku. Autostrada ta przebiega wzdłuż północnej granicy Parku Krajobrazowego Wzniesień Łódzkich, a prostopadły do niej szlak A1 będzie ten Park przecinał (ryc. 1). Odcinek autostrady A1 (Stryków – Tuszyn) przewidziano do realizacji po 2008 r. Projektowane rozwiązania techniczne w zakresie odwodnienia trasy A1 są bardzo podobne do zrealizowanych już przy drodze A2. Również cieki, które będą odbiornikami wód spływających z autostrady, mają podobny charakter. Wobec tego, należy spodziewać się tu analogicznego efektu oddziaływania trasy A1 na środowisko zlewni położonych na obszarze chronionym.

Blisko dwuletnia eksploatacja autostrady A2 pozwala na przedstawienie wstępnego rozpoznania wpływu tej inwestycji drogowej na przyległe cieki. Należy jednak zaznaczyć, iż warunki pogodowe w okresie badawczym (jesień 2006 r. – wiosna 2008 r.) były nietypowe. Ostatnie zimy były prawie bezśnieżne i względnie ciepłe, zaś w okresie letnim zanotowano tylko nieliczne i niskie wezbrania opadowe. Można się zatem spodziewać nieco innej, bardziej dynamicznej reakcji zlewni w odmiennych warunkach meteorologicznych.



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badawczego

Fig. 1. Location of the study area

Obszar badań i sposób wykonywania pomiarów

Badania przeprowadzono w zlewni Dzierżanej (43 km²), w której Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej Uniwersytetu Łódzkiego prowadzi pomiary i obserwacje już od roku 1998. Zlewnia jest położona w strefie podmiejskiej aglomeracji łódzkiej i reprezentuje warunki naturalne typowe dla obszaru Wzniesień Łódzkich. Na długości 7 km zlewnię przecina biegnący równoleżnikowo odcinek autostrady A2 (Moniewski i in. 2007). Warunki krążenia wody zostały tu szczegółowo rozpoznane jeszcze przed jej budową (Jokiel 2002; Jokiel, Tomalski 2005). Wody z systemu odwodnienia trasy kierowane są do dwóch głównych rzek: Dzierżanej i Ciosenki. System odwodnienia składa się z rowów opaskowych, odbierających wodę z drogi, zakończonych separatorami. Ocieki z tych urządzeń trafiają bezpośrednio do cieków, bądź do zbiorników infiltracyjnych (osadników), z których przesączają się do wód powierzchniowych i podziemnych.

Pomiary jakości wody odprowadzanej z autostrady prowadzone były w kilku miejscach. W dolinie Dzierżanej, do której ścieki trafiają bez pośrednictwa osadników, punkty pomiarowe zlokalizowano poniżej separatorów. W kolektorach, tuż przed ich wylotem do ciek, zamontowane zostały łapaczki przechwytyjące wodę wypływającą z separatora. W przypadku Ciosenki, przy której funkcjonują osadniki, monitoringiem objęto jeden z nich. Woda z osadnika pobierana była ze strefy przypowierzchniowej, pojemnikiem o pojemności około 5 dm³, w pobliżu ujścia kolektora odprowadzającego

wodę z separatora. Pomiary w tych punktach wykonywano w dwutygodniowych odstępach, a łapaczki były po pomiarze opróżniane i czyszczone.

Pomiary ilości i jakości wody prowadzone były również w punkcie zamykającym zlewnię w przekroju kontrolnym Swoboda (ryc. 2). Realizowane były one przez wieloparametryczną sondę Quanta firmy Hydro Lab. Rejestruje ona w sposób ciągły stan wody, jej konduktywność, temperaturę oraz odczyn, a także zawartość w wodzie rozpuszczonego tlenu. Natężenie przepływu mierzono młynkiem hydrometrycznym Valeport BFM002 podczas pomiarów patrolowych realizowanych co dwa tygodnie. Warunki meteorologiczne w trakcie prowadzonych badań monitorowane były przez automatyczną stację meteorologiczną zlokalizowaną na terenie zlewni w miejscowości Ciosny, w bezpośrednim sąsiedztwie autostrady.

Odplływ rzeczny

Systematyczne pomiary stanów wody i przepływów w przekroju kontrolnym Swoboda, pozwoliły prześledzić zmiany odplwywu Dzierżąznej w latach 1999–2007 (tab. 1). Okres ten cechował się zróżnicowanymi sumami rocznymi opadów atmosferycznych. W pierwszych czterech latach były one wyższe od przeciętnych, później zaś wystąpił trzyletni okres (2003–2005) ze znacznym niedoborem opadów. W kolejnych dwóch latach (2006–2007) nastąpił wzrost zasilania atmosferycznego, choć suma opadów w tym okresie nadal była o około 100 mm niższa od średniej sumy opadów z lat 1999–2002. Podobnie kształtował się odplływ ze zlewni, malejący od 184,2 mm w 1999 r. do 134,0 mm w najsuchszym 2003 r. i ponownie rosnący do wartości bliskich przeciętnym. Współczynnik odplwywu wynosił od około 0,25 w latach wilgotnych do około 0,30 w latach suchych. Przeciętny odplływ jednostkowy ze zlewni Dzierżąznej w okresie 1999–2007 osiągnął $5,91 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

Budowa autostrady (od września 2004 r.) przypadła na okres niskiego zasilania atmosferycznego. W wyniku prac przygotowawczych nastąpiła likwidacja upraw rolnych i wylesienie w pasie autostrady, a rezultatem prac ziemnych było powstanie sztucznych

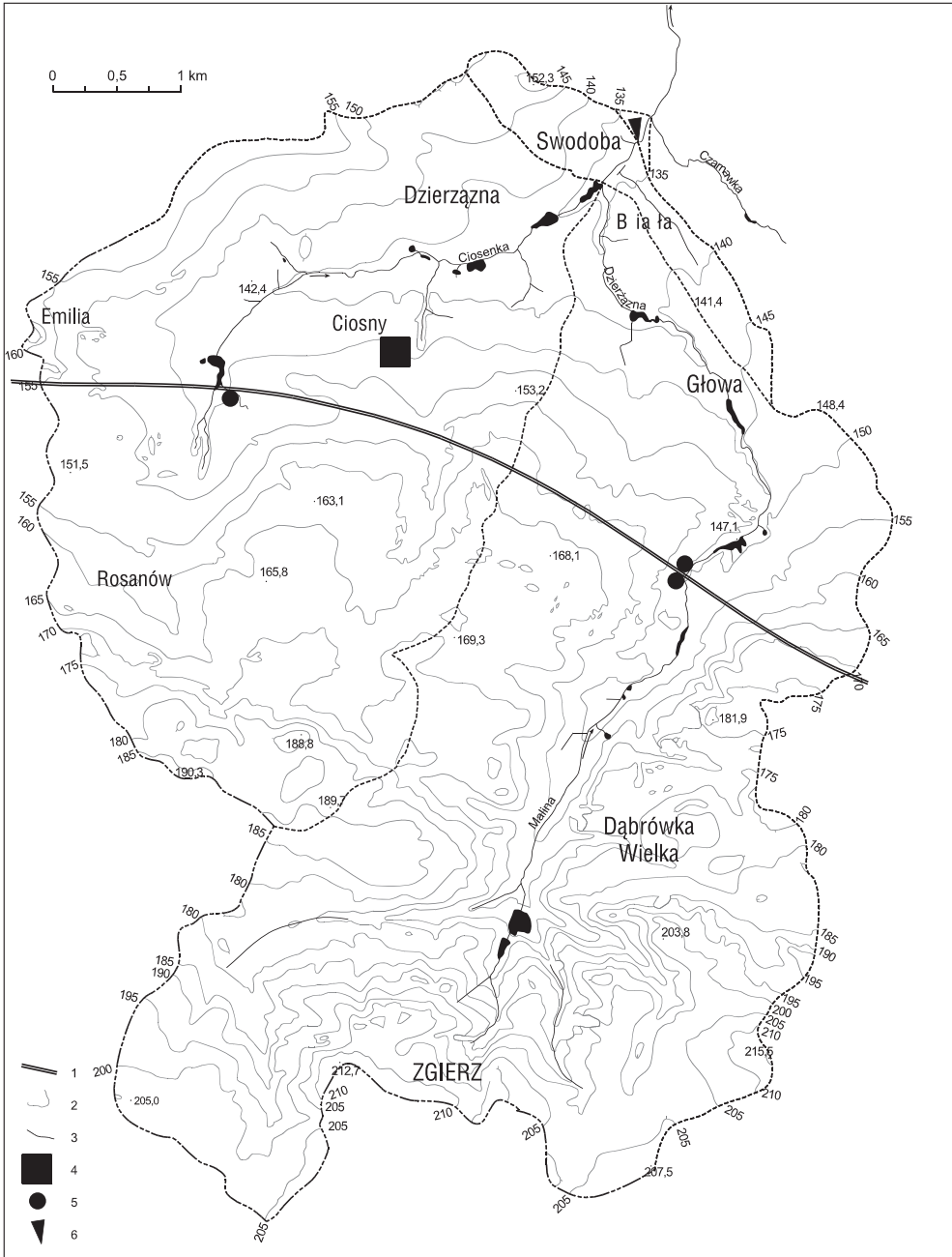
Tab. 1. Charakterystyki odplwywu ze zlewni Dzierżąznej w okresie 1999–2007

Table 1. Characteristics of the Dzierżązna river catchment runoff in the period of 1999–2007

Parametr Parameter	Rok Year									Średnia Average
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
P	701,9	650,5	764,4	714,9	466,3	499,5	481,5	529,9	669,2	608,7
Q	0,287	0,254	0,282	0,268	0,209	0,232	0,243	0,258	0,251	0,254
q	6,70	5,92	6,57	6,24	4,87	5,40	5,66	6,00	5,84	5,91
H	184,2	162,8	180,5	171,5	134,0	148,4	155,7	165,1	160,6	162,5
c	0,26	0,25	0,24	0,24	0,29	0,30	0,32	0,31	0,24	0,27

P – suma opadów [mm], Q – średni przepływ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], q – średni odplływ jednostkowy [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$], H – warstwa odplwywu [mm], c – współczynnik odplwywu całkowitego

P – precipitation total [mm], Q – average discharge [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], q – average specific discharge [$\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$], H – runoff [mm], c – coefficient of total discharge



Ryc. 2. Rozmieszczenie punktów pomiarowych

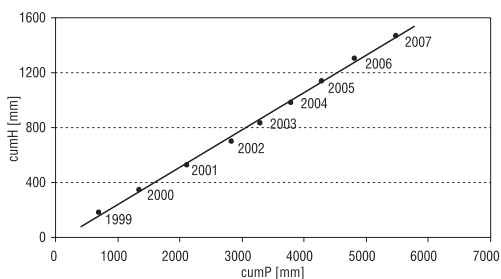
1 – autostrada, 2 – poziomicę, 3 – cieki, 4 – stacja meteorologiczna, 5 – punkty pomiaru wód odpływających z autostrady, 6 – punkt monitoringu wód rzecznych

Fig. 2. Distribution of measurement points

1 – motorway, 2 – contours, 3 – rivers, 4 – meteorological station, 5 – measurement points of water drained from the motorway, 6 – river water monitoring point

zagłębien terenu (rowy doprowadzające, zbiorniki infiltracyjne). Analiza zgromadzonego materiału pomiarowego nie wskazuje jednak na znaczące oddziaływanie systemu odwodnienia autostrady na wielkość odpływu. Jego budowa nie zakłóciła w istotny sposób relacji opad – odpływ w skali wielolecia (ryc. 3).

Parametry wezbrań o podobnej genzie, wywołanych przez opady atmosferyczne o zbliżonych sumach, przedstawiono w tabeli 2. Największe wezbranie w okresie funkcjonowania zlewni badawczej ($Q_{\max w} = 2,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) zanotowano w czerwcu 1999 r. (tab. 2). Dorównało



Ryc. 3. Krzywa podwójnie kumulowana opadów i odpływów

cumH – odpływ kumulowany, cumP – opad kumulowany

Fig. 3. Double mass precipitation–runoff curve

cumH – cumulate runoff, cumP – cumulate precipitation

Tab. 2. Parametry wybranych wezbrań w zlewni Dzierżąnej

Table 2. Parameters of selected flood waves in the Dzierżąna catchment

Wezbranie Flood	Typ Type	$Q_{\max w}$	t_w	$Q_{\text{śrw}}$	V_w	P
11–19.12.1998	Of-R	1,16	192	0,57	147,6	59,6
11–16.06.1999	Of	2,25	120	0,68	243,2	104,4
20.03.–3.04.2006	R-Of	0,61	321	0,35	112,5	30,6
17–26.03.2007	R	0,52	222	0,33	87,6	27,5
19–24.01.2008	Of	1,35	128	0,61	160,4	71,2

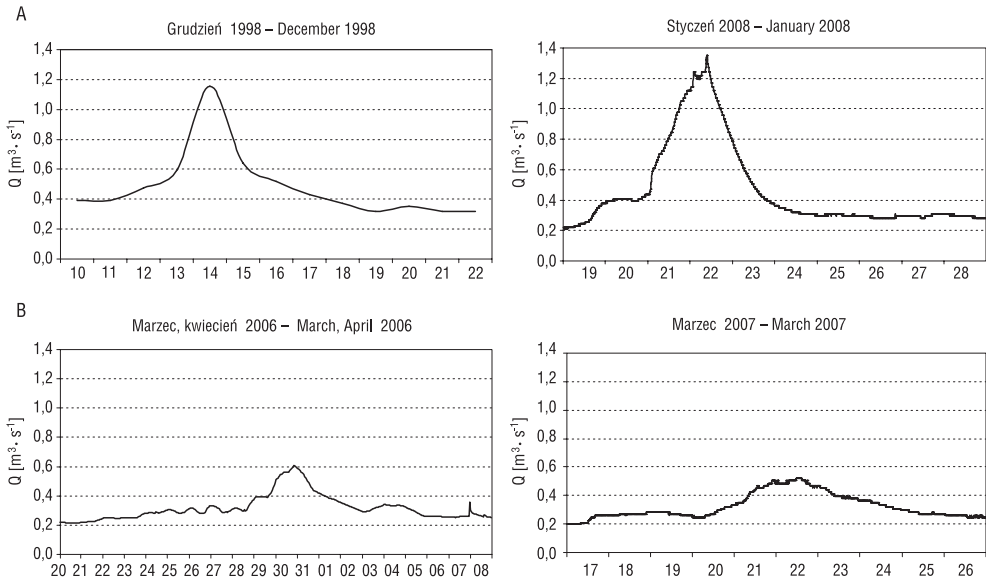
Typ wezbrania: Of – opadowe-frontalne, R – roztopowe; $Q_{\max w}$ – przepływ kulminacyjny [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], t_w – czas trwania [h], $Q_{\text{śrw}}$ – przepływ średni [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], V_w – objętość wezbrania [tys. m^3], P – suma opadów wywołujących wezbranie [mm]

Flood type: Of – trough-precipitation flood, R – snow-melt flood; $Q_{\max w}$ – culmination discharge [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], t_w – duration [h], $Q_{\text{śrw}}$ – average discharge [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], V_w – flood volume [thousands of m^3], P – sum of precipitation triggering flood [mm]

mu jedynie wezbranie opadowe z lipca 2000 r. ($Q_{\max w} = 2,06 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), natomiast wielkości fal w kolejnych latach były już znacznie niższe, stąd również z okresu budowy i eksploatacji autostrady brak jest porównywalnych wezbrań.

Można natomiast znaleźć analogie pomiędzy wezbraniem opadowym ze stycznia 2008 r. ($Q_{\max w} = 1,35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), a wezbraniem roztopowo-opadowym z grudnia 1998 r. ($Q_{\max w} = 1,16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; ryc. 4A). Drugie z nich miało miejsce kilka lat przed rozpoczęciem prac przy budowie autostrady i dzięki temu można do niego odnosić wezbrania późniejsze. Jednak i w tym przypadku wpływ systemu odwodnienia autostrady jest trudny do identyfikacji. Niewielkie różnice w objętości fali i wielkości przepływów można wyjaśnić naturalnymi czynnikami, nie związanymi ze zrzutem wody.

Duże podobieństwo wykazują dwa wezbrania roztopowe: z marca 2006 r. i z marca 2007 r., bowiem powstały one w zbliżonych warunkach meteorologicznych, a system



Ryc. 4. Wybrane fale wezbraniowe Dzierżąznej w przekroju Swoboda

A – opadowe, B – roztopowe

Fig. 4. Selected floods of the Dzierżązna river in the Swoboda measurement point

A – caused by precipitation, B – caused by snow-melt

odwodnienia autostrady wiosną 2006 r. był już w pełni ukształtowany (ryc. 4B). Wezbranie z marca 2006 r. charakteryzowało się bardzo wyraźną kulminacją, wzmocnioną dodatkowo przez opady deszczu.

Jakość wód odprowadzanych z autostrady

Konduktywność wód odprowadzanych z autostrady (SEC) wykazuje wyraźny rytm sezonowy (ryc. 5). W obu kolektorach, doprowadzających wodę do Dzierżąznej, konduktywność w ciepłym półroczu jest niska (przeciętnie $254 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) i gwałtownie wzrasta w chłodnej porze roku. Przeciętna dla tego okresu to prawie $2600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, a maksimum zanotowano 14 kwietnia 2008 r. i wyniosło ono $9560 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Wyraźnie wyższa jest też zmienność SEC w okresie zimowym (współczynnik zmienności – c_v dla chłodnej połowy roku przekracza 100% i jest dwa razy wyższy niż dla ciepłej). Rytm przewodności elektrolitycznej wody jest wynikiem zimowego utrzymania drogi i wzmoczonej dostawy chlorków. Warto także zwrócić uwagę na wyraźnie wyższą konduktywność w drugim okresie chłodnym. Przebieg taki może sugerować pogarszające się możliwości zatrzymywania chlorków w systemie podczyszczania ścieków odprowadzanych z autostrady.

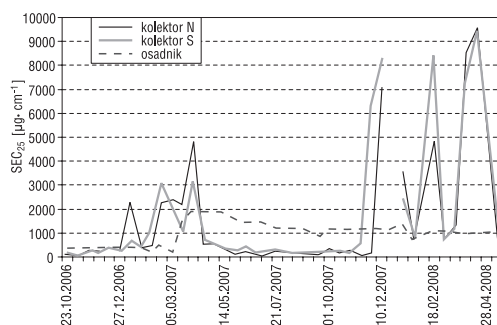
Inną sytuację zanotowano w osadniku zlokalizowanym nad Ciosenką. Przed pierwszym okresem zimowym konduktywność wody w zbiorniku była niska (przeciętnie

240 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), przy czym w końcu zimy gwałtownie wzrosła do 1920 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. W ciepłym sezonie nie nastąpił znaczący spadek przewodności elektrolitycznej wody w tym zbiorniku, lecz jej stabilizacja na dosyć wysokim poziomie około 1000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Zbiornik ten jest w stałym kontakcie z płytko występującymi tu wodami podziemnymi, o dwukrotnie niższym przewodnictwie elektrolitycznym. Wskutek tego dochodzi w nim do okresowego wysładzania wody.

Odczyn wody (pH), podobnie jak konduktywność, charakteryzuje się pewnym rytmem sezonowym (ryc. 6). Jest on tu jednak słabiej zaznaczony. Relatywnie bardziej zasadowe wody (o jedną jednostkę pH) spływają z autostrady w okresie chłodnym (przeciętny odczyn wody w miesiącach listopad–kwiecień wynosi 8,5). Najbardziej zasadowe wody w okresie badań zanotowano w kolektorze północnym autostrady w styczniu 2007 (pH = 10,8). Zwrócić też należy uwagę na zgodność rytmu zmian pH w kolektorach i osadniku. Zmienność w tym ostatnim jest jednak zdecydowanie mniejsza (c_v odczynu wody w osadniku wynosi 7%, zaś wód odprowadzanych kolektorami 11%). W przeciwieństwie do konduktywności, odczyn wody nie wykazuje istotnych różnic między kolejnymi sezonami zimowymi.

Jakość wód rzecznych

W przekroju kontrolnym Swoboda zamykającym zlewnię i oddalonym od autostrady o około 3 km, daje się wyodrębnić słaby rytm sezonowy zmian konduktywności (ryc. 7). Minima przypadają na wiosnę (przełom kwietnia i maja), a maksima – na początek pory chłodnej (listopad, grudzień). Jak można zauważyć, rytm ten nie jest determinowany przez wody odprowadzane z autostrady, które posiadają najwyższe przewodnictwo w początkach wiosny (kwiecień). O decydującym wpływie czynników naturalnych na zmienność konduktywności można przekonać się konfrontując obecny szereg czasowy z danymi z lat 2003–2004 (Jokiel, Tomalski 2005) poprzedzającymi budowę autostrady.

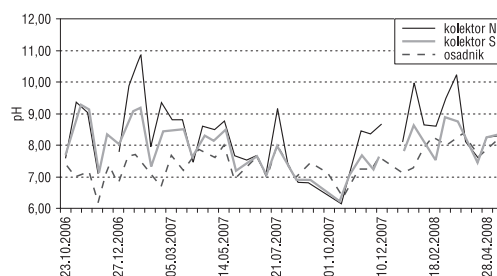


Ryc. 5. Konduktywność wód odprowadzanych z autostrady

1 – kolektor N, 2 – kolektor S, 3 – osadnik

Fig. 5. Conductivity of water drained from the motorway

1 – trunk sewer N, 2 – trunk sewer S, 3 – sedimentation tank

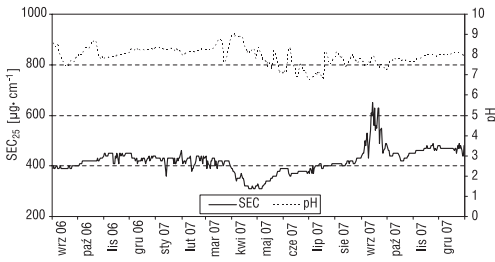


Ryc. 6. Odczyn wód odprowadzanych z autostrady

1 – kolektor N, 2 – kolektor S, 3 – osadnik

Fig. 6. Alkali level of water drained from the motorway

1 – trunk sewer N, 2 – trunk sewer S, 3 – sedimentation tank



Ryc. 7. Konduktywność i odczyn wód rzecznych poniżej autostrady

Fig. 7. Conductivity and the alkali level of river water below the motorway

opróżnianiem stawów hodowlanych w Ciosnach, wskutek czego zostały uruchomione i przepłukane osady denne, w których skumulowały się zanieczyszczenia, w tym również chlorki pochodzące z odwodnienia autostrady poprowadzonej ponad nimi.

Odczyn wód rzecznych wykazuje dosyć słaby rytm zmian sezonowych (ryc. 7). Wody o odczynie zbliżonym do obojętnego występują latem (lipiec), a najbardziej zasadowe – wiosną (kwiecień). Rozkład ekstremów, podobnie jak w przypadku konduktywności, jest różny od tych notowanych w wodach odprowadzanych z autostrady. „Wody autostradowe” o odczynie zasadowym występują w styczniu i lutym, zaś lekko kwaśne – we wrześniu i październiku. Daje się jednak zauważyć ich wpływ na sezonowy rytm zmian odczynu wód rzecznych. W porównaniu z okresem odniesienia 2003–2004 przesunął się termin występowania wód o odczynie zbliżonym do obojętnego ze stycznia na lipiec. Przyczyną zmiany terminu występowania wód o pH bliskim 7 jest funkcjonowanie systemu odwodnienia autostrady. Odczyn wód dopływających do cieków z autostrady w półroczu zimowym jest bowiem wyraźnie zasadowy (pH 8,0–10,8). W okresie letnim na odczyn wód rzecznych wpływają opady atmosferyczne, szybko odprowadzane z powierzchni autostrady. Przeciętny poziom pH w okresie badawczym był relatywnie bardziej zasadowy od notowanego wcześniej, o około pół jednostki, i wynosi obecnie niespełna 8. Można zauważyć także, iż półroczne letnie i zimowe różnią się zmiennością pH, która jest prawie dwukrotnie większa w okresie wegetacyjnym (czyli dla okresu chłodnego wynosi 3%, przy ponad 5,5% dla okresu ciepłego).

Wnioski

Na podstawie prawie dwuletniego okresu obserwacji funkcjonowania systemu odwodnienia autostrady w zlewni Dzierżanej można stwierdzić, iż system ten nie wpływa na wielkość i strukturę odpływu rzeczny. Wydaje się jednak, że możliwych zmian ilościowych należy poszukiwać w ewentualnym wzroście odpływu podziemnego, wykrywalnym w dłuższej perspektywie czasowej. Większość wody nie jest bowiem wyprowadzana bezpośrednio do sieci rzecznej, lecz do zbiorników infiltracyjnych.

Występowanie ekstremów przewodnicztwa elektrolitycznego wody w okresie odniesienia występowało w analogicznych miesiącach, jak obecnie. Również przeciętny poziom konduktywności nie zmienił się i wynosi niewiele ponad $400 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

W przebiegu zmian SEC zwrócić należy uwagę na pewną anomalię z września 2007 r. W tym czasie wystąpiły absolutne maksima przewodnictwa. Nie zostały one jednak uwzględnione w opisie rytmu zmian konduktywności, gdyż wywołane zostały kilkakrotnym

Konduktywność wód dostarczanych z autostrady do Dzierżąskiej była szczególnie wysoka w pierwszym okresie chłodnym i wzrosła w kolejnym okresie zimowego utrzymania drogi. Nie wpłynęło to jednak na razie na naturalną zmienność przewodnictwa elektrolitycznego wód rzecznych. Ocieki wód z autostrady cechowały się zasadowym odczynem w chłodnej połowie roku, a ich dostawa do ciekłu spowodowała zaburzenie naturalnego rytmu pH wód rzecznych. Zaobserwowano przy tym przesunięcie między sezonami terminów występowania wód obojętnych i lekko zasadowych w ciekach.

Powyższe wnioski wyprowadzono na podstawie krótkiego okresu badawczego. W przypadku wystąpienia surowych zim można spodziewać się silniejszego, niekorzystnego wpływu autostrady wskutek zwiększonej dostawy chlorków, stosowanych do zimowego utrzymania drogi. Jednocześnie podczyszczanie odcieków z autostrady w rowach odwadniających będzie mało skuteczne. Na obecnym etapie wydaje się, że system odwodnienia działa prawidłowo, a degradacja środowiska ograniczona jest do pasa terenu przy autostradzie. Dalsze jego sprawne działanie uwarunkowane jest jednak odpowiednią konserwacją systemu (czyszczenie separatorów, odmulanie osadników, itp.).

Dalszy monitoring środowiskowy, jaki Zespół Badawczy Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej UŁ prowadzi w zlewni Dzierżąskiej, pozwoli na weryfikację przedstawionych wniosków. Pełniejsze poznanie relacji zachodzących między systemem odwodnienia autostrady, a środowiskiem wodnym małej zlewni pozwoli na prognozowanie podobnych zjawisk na obszarze Parku Krajobrazowego Wzniesień Łódzkich. Trasa A1 zostanie poprowadzona wzdłuż działu wodnego Moszczenicy i Mroźnicy, a system jej odwodnienia będzie oddziaływał na obie zlewnie.

Literatura

- Jokiel P., 2002, *Woda na zapleczu wielkiego miasta*, Wyd. IMGW, Warszawa, ss. 148.
- Jokiel P., Tomalski P., 2005, *Odptyw oraz fizykochemiczne właściwości wód płynących w sąsiedztwie węzła autostrad A1 i A2 w okolicy Łodzi*, Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus, 4(2), 3–20.
- Moniewski P., Stolarska M., Tomalski P., 2007, *Zmiany warunków krążenia wody w zlewni Dzierżąskiej pod wpływem budowy autostrady A2 w okolicach Łodzi*, [w:] Z. Michalczyk (red.) *Obieg wody w środowisku naturalnym i przekształconym*, Wyd. UMCS, Lublin, 394–401.

Piotr Moniewski, Przemysław Tomalski

**Impact of the motorway drainage system on the water cycle
in a small catchment**

Summary

The study of the impact of the A2 motorway drainage system on the outflow and quality of river water was conducted in the Dzierżązna catchment (Fig. 1). Monitoring covered waters drained from the motorway (3 measurement points) and the river waters (checkpoint closing the catchment). The results showed no changes in river outflow characteristics in the investigational period (Fig. 3). Also flood parameters were comparable to the data gathered previously (Fig. 4).

Quality of waters drained from the motorway has a visible seasonal rhythm (Fig. 5 and Fig. 6), and the most polluted waters occur in the cool season. Of course, it depends on winter motorway maintenance. The influx of road sewages into the rivers, in the investigational period, did not cause changes in the quality of waters. Conductivity of river waters did not increase, and the rhythm of seasonal fluctuations remained natural (Fig. 7). The greatest changes were observed in the alkali level of river waters. Currently, they are slightly more alkaline. Also the natural seasonal rhythm of alkali levels has changed (Fig. 7).