

**Marian MOKWA, Laura RADCZUK**

Instytut Inżynierii Środowiska, Akademia Rolnicza we Wrocławiu  
Institute of Environmental Engineering, Agricultural Academy of Wrocław

## **Analiza stanów minimalnych dla wstępnej oceny przebiegu suszy hydrologicznej**

### **Analysis of river minimum stages for drought course preliminary estimation**

**Słowa kluczowe:** rzeka, stany minimalne, susza hydrologiczna

**Key words:** river, minimum stages, drought

#### **Wprowadzenie**

Powodzie i susze to główne klęski żywiolowe nawiedzające naszą strefę klimatyczną. Aczkolwiek dramatyczne konsekwencje wezbrań przyciągały w szczególności uwagę społeczeństwa i władz, ekonomiczne i społeczne skutki deficytu wody mogą być nie mniej dotkliwe (Kaczmarek 1998). W kronikach klęsk elementarnych w Polsce opracowanych przez Wala-wendera (1937) i Namańczyńską (1932), a uwzględniających również teren Śląska, znajduje się sporo materiałów opisujących historię zjawisk klimatyczno-meteorologicznych w XVI i XVII w. Źródła opisujące te zjawiska na Śląsku są bogate. Przede wszystkim są to wieloletnie kroniki licznych miast śląskich zebrane przez zespół autorów pod redakcją Stefana Ingłota (1968).

Źródła te opracowywane przez ludzi znających dobrze teren, zasługują na zaufanie, zwłaszcza że zarządzenia śląskich władz prowincjonalnych, wydane na początku XIX wieku zobowiązywały każde miasto do zakładania kronik. Według tych kronik, w XVI wieku było 30 lat posusznych: np. 1540 rok – wszystkie kroniki współczesne określały go jako rok “wielkiej posuchy”. W ciągu sześciu miesięcy było tak mało opadów, że rzeki powysychały, a Odrę można było przejść bez trudu w każdym miejscu, co było zjawiskiem nienaturalnym od stu lat. Również w 1561 roku zanotowano bardzo niski poziom wody w Odrze i wyschnięcie wielu studzien. W 1590 roku powysychały rzeki: Bóbr, Kwisa, Kaczawa, Widawa, Oława, Odra zaś była tak płytka, że można ją było przejść w wielu miejscach w bród. Powszechny brak wody dał się odczuć również w 1599 roku. Prawie przez całe lato, aż do początku września, nie padał deszcz. Woda w rzekach, z wyjątkiem Bobru, wyschła. W XVII wieku wystąpiły 23 lata posuszne. Posuchy o zasię-

gu ogólnos Śląskim dały się we znaki w latach 1679–1682. W XVIII wieku na Śląsku kroniki zarejestrowały 22 lata posuszne. Zasięg Dolnośląski miały posuchy w latach: 1719, 1726–1727, 1759, 1772–1776, 1782, 1786, 1795 i 1800. W pierwszej połowie XIX wieku szczególnie suchy był 1811 rok, kiedy woda w Odrze pod Wrocławiem wyschła do tego stopnia, że można było przejechać przez rzekę i przejść pieszo. W latach 1850–1950 zarejestrowano na terenie Dolnego Śląska 25 lat posusznych. W drugiej połowie XX wieku wymienia się następujące lata suche: 1951, 1953, 1959, 1963, 1964, 1976, 1982, 1983, 1989, 1991, 1992 (Zasoby wodne 2002...). W opracowaniu IMGW pt. „Susze na obszarze Polski w latach 1951–1990” stwierdzono, że na obszarze Polski dekada obejmująca okres 1982–1991 należała do bardziej suchych. Rejony Polski, na których obszarze susze pojawiały się najczęściej, to Nizina Wielkopolska, Pojezierze Wielkopolskie, Przedgórze Sudeckie, Nizina Mazowiecka, Nizina Podlaska oraz Pojezierze Mazurskie.

Wstępne informacje o rozwoju i przebiegu suszy hydrologicznej można otrzymać na podstawie analizy stanów minimalnych.

Znaczące obniżenie stanów wód na głównych rzekach w dorzeczu Odry w 2003 roku skłoniło autorów do wstępnej oceny tego zjawiska, poddając analizie szeregi czasowe stanów minimalnych rocznych z lat 1956–2003.

## **Materiały i metody**

Analizie poddano stany i przepływy niskie w wybranych stacjach wodowskazowych, które mają szczególnie

istotne znaczenie gospodarcze dla RZGW we Wrocławiu. Ich charakterystyki zamieszczono w tabeli 1.

W opracowaniu uwzględniono przede wszystkim rzeki, na których znajdują się zbiorniki retencyjne i obiekty hydrotechniczne: Bystrzycę (zb. Mietków), Kaczawę (zb. Słup na Nysie Szalonej), Bóbr (elektrownie wodne, zb. Pilchowice), Nysę Kłodzką (zb. Otmuchów i Nysa), Nysę Łużycką (elektrownie wodne) oraz Odrę poniżej ostatniego stopnia piętrzącego w Brzegu Dolnym (rys. 1).

Dane źródłowe stanowiły minimalne roczne stany i przepływy z okresu 1956–2003 oraz codzienne stany wody z 2003 roku, które pozwoliły na wyznaczenie trendu stanów niskich oraz charakterystyczne stany wody (SNW, SSW).

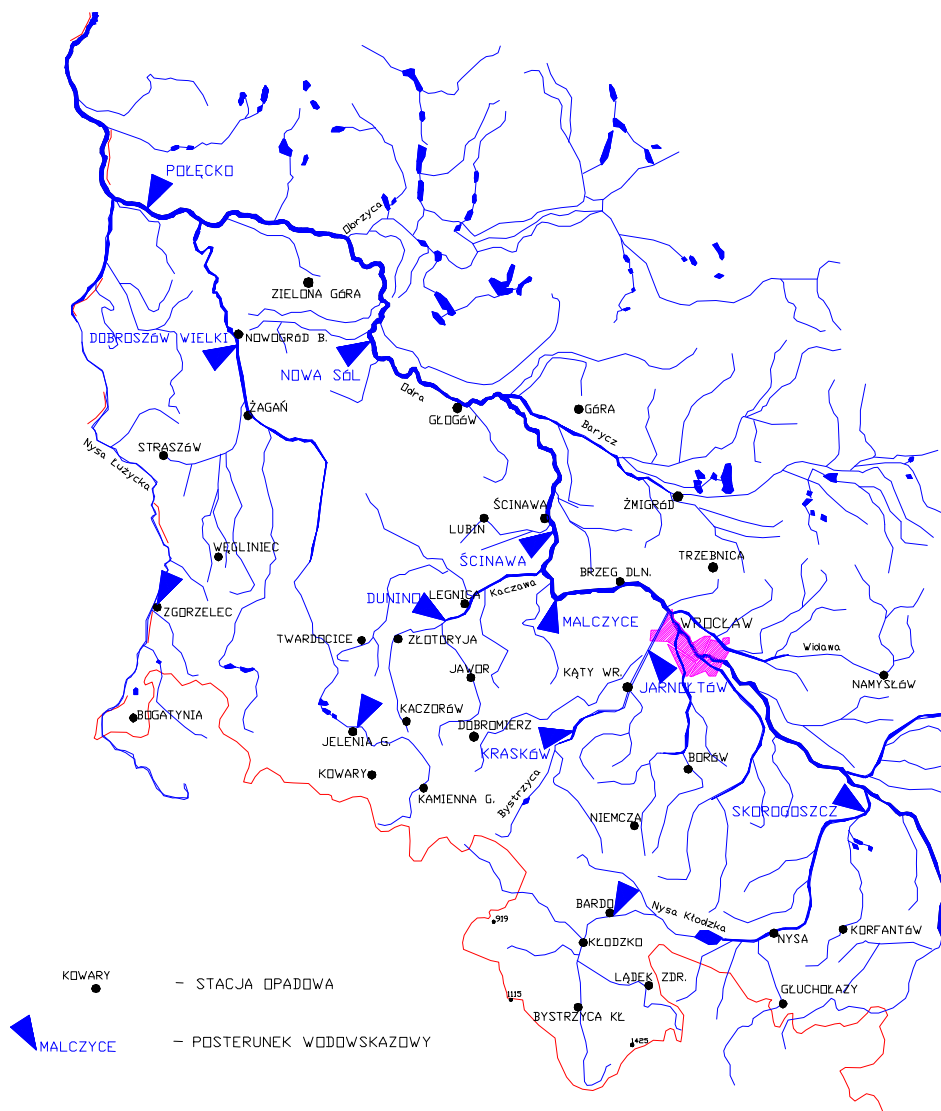
## **Wyniki analizy stanów niskich**

Analizę szeregów czasowych stanów niskich przeprowadzono na 11 przekrojach wodowskazowych (tab. 1).

Uzyskano trendy wzrostowe lub malejące przy różnych współczynnikach determinacji ( $R^2$ ). Analizie poddano tylko te profile hydrologiczne, gdzie obliczona wartość statystyki z rozkładu Snedecora dla poziomu ufności  $\alpha = 0,05$  przekracza poziom krytyczny, a to oznacza, że hipotezę o braku związku należy odrzucić. W przekroju Jarnoltów na Bystrzycy poniżej zbiornika Mietków stany niskie wykazują trend wzrostowy, przy  $R^2 = 0,625$ . Trend rosnący wykazuje również przekrój w Zgorzelcu na Nysie Łużyckiej, na której znajduje się kilka elektrowni wodnych.

TABELA 1. Podstawowa charakterystyka badanych przekrojów wodowskazowych oraz obliczony trend stanów niskich  
 TABLE 1. Main characteristics of analyzed gauging sections and calculated trend of low stages

Lp.	Rzeka River	Wodowskaz Gauging section	km	Powierzchnia zlewni [km <sup>2</sup> ] Catchment area	Absolutne minimum Absolute minimum		Trend	R <sup>2</sup>
					H [cm]	data / date		
1	Odra	Malczyce	300,4	26812	54	2003	$y = -4,3818x + 8878$	0,776
2	Odra	Ścinawa	331,9	29584	56	2003	$y = -1,1482x + 2432$	0,118
3	Odra	Nowa Sól	429,8	36780	94	2003	$y = -0,1825x + 512$	0,006
4	Odra	Połęcko	530,3	47152	36	2003	$y = -1,1292x + 2348$	0,230
5	Nysa Kłodzka	Bardo	111,4	1744	57	1987	–	–
5	Nysa Kłodzka	Skorogoszcz	7,5	4514	17	1983, 1990	$y = -1,4201x + 2860$	0,687
6	Bystrzyca	Jarnołtów	12,8	1710	32	1956	$y = 1,2804x - 2450$	0,628
7	Kaczawa	Dunino	35,3	774	15	1964	$y = 1,175x - 2276$	0,560
8	Bóbr	Jelenia Góra	205,1	1049	60	1960	–	–
9	Bóbr	Dobruszów Wielki	52,1	5365	21	2003	$y = -1,277x + 2592$	0,509
10	Nysa Łu- życka	Zgorzelec	151,4	1069	49	1957	$y = 1,3974x - 2654$	0,625



RYSUNEK 1. Mapa rozmieszczenia posterunków wodowskazowych  
 FIGURE 1. Location of gauge stations

Zdecydowanie malejący trend, przy  $R^2 = 0,776$ , ma miejsce na Odrze w przekroju Malczyce oraz na Nysie Kłodzkiej w przekroju Skorogoszcz, a także w przekroju Dobroszów Wielki na Bobrze, poniżej elektrowni wodnych. Stany niskie roczne i trend w przekroju wodowskazowym Dunino na Kaczawie wykazuje trend rosnący. W przekrojach odrzańskich w Ścinawie, Nowej Soli i Połęcku, mimo wystąpienia absolutnego minimum w 2003 roku otrzymano również trendy malejące, jednak nieistotne ze względu na bardzo małą wartość  $R^2$ .

Interpretację wyników pokazano na przykładzie przekrojów wodowskazowych Malczyce na Odrze i Zgorzelec na Nysie Łużyckiej (rys. 2). Otrzymane trendy porównano z dynamiką dna.

Bezpośrednie pomiary dna (Mokwa 2002) wykonane na przestrzeni lat – od 1957 roku (wybudowanie stopnia Brzeg Dolny) do 2003 roku – i naniesione na rysunek 2a, wykazują trend zbliżony do trendu stanów niskich rocznych. Z wykresu (rys. 2a) można odczytać, że najmniejsza głębokość wody w przekroju wystąpiła w 1983 roku (28 cm), a nie w 2003 roku (52 cm), w którym odnotowano absolutne minimum. Największe odchylenie od trendu stanów niskich wykazuje stan z 1983 roku, wynoszący 128 cm. Stanowi temu odpowiada przepływ  $NQ = 33,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , a więc znacznie mniejszy niż pomierzony w 2003 roku przy stanie absolutnego minimum. Taki przebieg stanów wody w wieloleciu (trend malejący) jest wynikiem systematycznego obniżania się dna spowodowanego erozją liniową poniżej ostatniego stopnia na skanalizowanym odcinku Odry. Natomiast wybrane prze-

przebiegi minimalne z wielolecia, np.  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  (rys. 2a – punkty zaznaczone w kółku), układają się wzdłuż linii trendu stanów niskich. W przekroju wodowskazowym Zgorzelec, odmiennie niż w Malczycach, stany niskie z wielolecia układały się do 1981 roku poniżej SNW, a w następnych latach powyżej. Wyznaczony trend stanów niskich ma charakter rosnący, co świadczy o przyroście dna w przekroju spowodowanym akumulacją rumowiska.

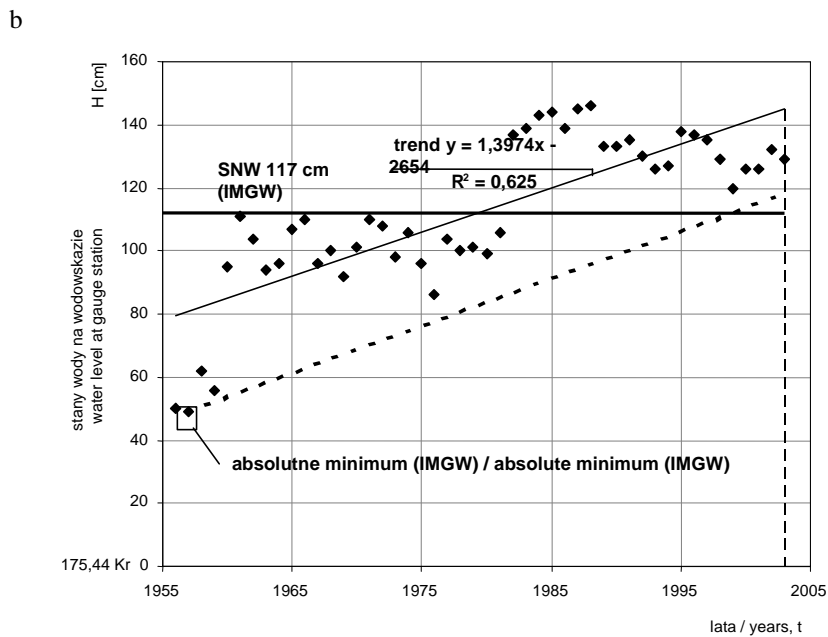
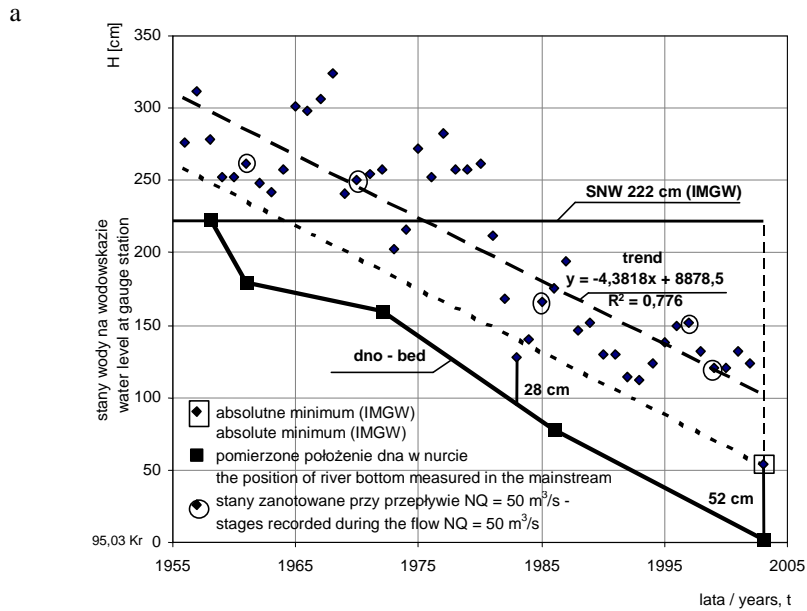
Analizę stanów niskich w 2003 roku przeprowadzono na przykładzie wykresów stanów wody w przekrojach wodowskazowych Malczyce i Zgorzelec (rys. 3).

W przekroju Malczyce (rys. 3a) najniższe stany w okresie letnim wystąpiły w miesiącach czerwiec, lipiec, sierpień i wrzesień. W całym tym okresie notowano stany niższe od średniej niskiej wody otrzymane z trendu, który dla 2003 roku wynosił 102 cm (rys. 2a) i był on mniejszy od SNW z wielolecia (222 cm) o 120 cm. Różnice wynikają z obniżenia dna (erozja), które miało miejsce w przekroju wodowskazowym.

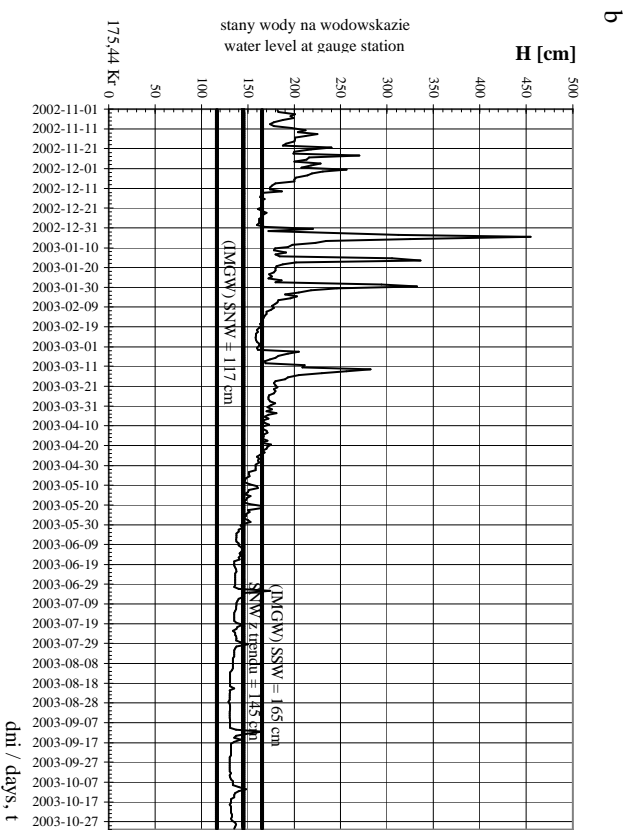
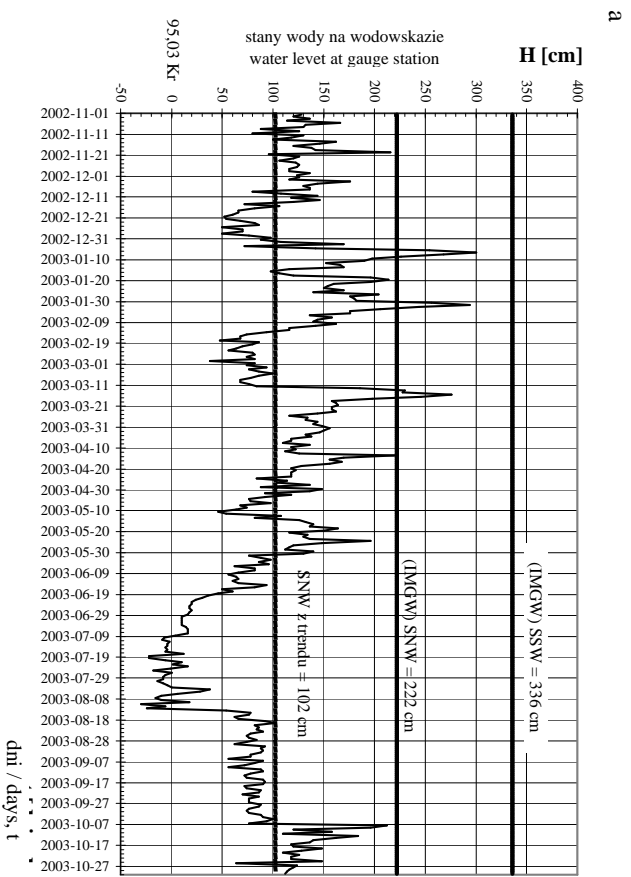
Na Nysie Łużyckiej w przekroju Zgorzelec (rys. 3b) stany wody w całym roku hydrologicznym układały się powyżej SNW = 117 cm. W stosunku do trendu (2003 r. – 145 cm), który wykazuje podniesienie się dna, stany wody od 1.06 były niższe od średniego.

## Podsumowanie i dyskusja

Pierwszym wskaźnikiem wystąpienia suszy hydrologicznej jest długotrwały okres obniżenia się stanów wody w rzekach poniżej stanu średniego niskiego



RYSUNEK 2. Stany niskie roczne i trend w przekrojach wodowskazowych: a – przekrój wodowskazowy Malczyce, rzeka Odra, b – przekrój wodowskazowy Zgorzelec, rzeka Nysa Łużycka  
 FIGURE 2. Annual low river stages and trend in the gauging section: a – gauging section in Malczyce on the Odra River, b – gauging section in Zgorzelec on the Nysa Łużycka River



**RYСУNEK 3.** Wykresy stanów wody w 2003 roku: a – przekrój wodowskazowy Malczyce, rzeka Odra, b – przekrój wodowskazowy Zgorzelec, rzeka Nysa Łużycka

**FIGURE 3.** The schedule of river stages in 2003: a – gauging section in Malczyce on the Odra River, b – gauging section in Zgorzelec on the Nysa Łużycka River

w okresie długotrwałego braku opadów (Ratomska 1993). Najbardziej niepokojącą informacją w okresie długotrwałego braku opadów jest odnotowanie stanu absolutnego minimum – stanu najniższego w wieloleciu. Te dwa wskaźniki wymagają jednak właściwej interpretacji. Pojawienie się absolutnie minimalnego stanu w danym roku nie musi oznaczać, że przepływ w tym czasie był najniższy w wieloleciu. O relacji stan – przepływ w przekroju wodowskazowym decydują zmiany dna, które na przestrzeni lat mogą mieć charakter erozyjny lub dno może być nadbudowywane. Zmiany dna na przestrzeni lat wyraźnie przenoszą się na zmiany notowań stanów niskich rocznych. Charakter zmian stanów niskich rocznych można określić poprzez wyznaczenie trendu tych zmian. Maksymalne odchylenie zanotowanego stanu minimalnego od linii trendu jest wskaźnikiem wystąpienia w tym czasie najmniejszego przepływu.

Absolutne minima stanów, które wystąpiły na Odrze i Bobrze w 2003 roku, są wynikiem postępującej erozji koryta na tych rzekach, a nie suszy hydrologicznej. Przeprowadzona analiza stanów wody w czterech przekrojach wodowskazowych na rzekach: Odrze, Bystrzycy, Kaczawie i Nysie Łużyckiej, wykazała, że w 2003 roku w miesiącach: czerwiec, lipiec, sierpień i wrzesień, stany były niższe od średniego stanu wyznaczonego z trendu (uwzględniającego obniżenie lub podniesienie dna w przekroju wodowskazowym). Jedynie w przypadku przekroju Dunino na rzece Kaczawie, przez cały rok notowano stany zarówno wyższe od SNW podanego przez IMGW,

jak i wyższe od wyznaczonego z trendu (tab. 1).

## Wnioski

1. Odnotowanie absolutnie najniższego stanu, jako odczytu na łacie wodowskazowej, nie może być wskaźnikiem do oceny suszy hydrologicznej, ponieważ nie przedstawia przy wyraźnych trendach malejących lub rosnących stanów niskich w wieloleciu, aktualnych warunków przepływu i napełnienia koryta w przekroju wodowskazowym.
2. Ocena przebiegu suszy hydrologicznej w danym roku na podstawie tylko stanów minimalnych rocznych powinna wynikać z analizy szeregów czasowych.
3. Analiza stanów niskich rocznych powinna uwzględniać zmiany dna w przekroju wodowskazowym. Można postawić tezę, iż zaobserwowana na przestrzeni lat tendencja układania się stanów niskich rocznych jest obrazem zmian położenia dna koryta cieków w tych latach (rys. 2a).

## Literatura

- INGLOT S. 1968: Zjawiska klimatyczno-meteorologiczne na Śląsku od XVI do połowy XIX wieku. Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego, seria B, 139, Wrocław.
- KACZMAREK Z. 1998: Metody oceny i przewidywania susz hydrologicznych. XVIII Ogólnopolska Szkoła Hydrauliki. IBW PAN, Gdańsk.
- KOWALCZYK P. i inni: 1997: Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji w Polsce. IMGW Materiały Badawcze, *Gospodarka Wodna i Ochrona Wód* 19.



- ŁAPUSZEK M., RATOMSKI J. 2002: Wpływ budowli piętrzącej na przebieg erozji liniowej. Konferencje XXXV, 437 ZN AR Wrocław.
- MOKWA M. 2002: Sterowanie procesami fluwalnymi w korytach rzek przekształconych antropogenicznie. Rozprawy XXXIX, 439 ZN AR Wrocław.
- MOKWA M., RADCZUK L. i inni 2003. Analiza przepływów minimalnych w głównych rzekach górnego i środkowego dorzecza Odry w 2003 r. (maszynopis) AR Wrocław – na zlecenie RZGW we Wrocławiu.
- NAMAŃCZYŃSKA S. 1932: Kronika klęsk elementarnych w Polsce i w krajach sąsiednich w latach 649–1696. Lwów.
- RATOMSKA B. 1993: Ocena suszy w aspekcie hydrologicznym. Praca doktorska. Politechnika Krakowska, Kraków.
- WALAWENDER A. 1937: Kronika klęsk elementarnych w Polsce i w krajach sąsiednich w latach 649–1696. Lwów.
- Zasoby wodne w dorzeczu górnej i środkowej Odry w warunkach suszy, 2002. (red.) A. Dubicki IMGW, Warszawa.

## Summary

**Analysis of river minimum stages for drought course preliminary estimation.** Drought is usually considered to be a period in which the river flow decreases below the flow mean value. Most of information con-

cerning the drought occurrence could be obtained on the basis of variation analysis of average and low river stages and flows. The rainfall as the main source of river supply is an essential factor determining the occurrence of dry years and drought years. Summary of low river stages measured in the given intersection for 1955–2003 allowed determination of the medium low river stages as well as the trend of these stage changes. Trend can be increasing or decreasing and it shows that the river bottom in gauging section increases or decreases. The authors showed that calculation of change in annual low stages allow for the proper determination of stage-discharge relationships.

### Authors' addresses:

Marian Mokwa  
Akademia Rolnicza we Wrocławiu  
Instytut Inżynierii Środowiska  
51-140 Wrocław, ul. Zelenaya 8

Laura Radczuk  
Akademia Rolnicza we Wrocławiu  
Instytut Inżynierii Środowiska  
51-114 Wisznia Mała, Ligota Piękna,  
ul. Prosta 22  
Poland