



You have downloaded a document from
RE-BUS
repository of the University of Silesia in Katowice

Title: Wpływ zrzutów wód kopalnianych na odpływ rzek Górnosląskiego Zagłębia Węglowego

Author: Magdalena Matysik

Citation style: Matysik Magdalena. (2018). Wpływ zrzutów wód kopalnianych na odpływ rzek Górnosląskiego Zagłębia Węglowego. Katowice : Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.



Uznanie autorstwa - Na tych samych warunkach - Licencja ta pozwala na kopiowanie, zmienianie, rozprowadzanie, przedstawianie i wykonywanie utworu tak długo, jak tylko na utwory zależne będzie udzielana taka sama licencja.



The background of the page is a detailed map of the Upper Silesian Coal Basin (Górnośląskie Zagłębie Węglowe). The map shows a network of rivers including the Olza, Wisła, and Skawa. Several towns are marked with green squares, such as Świerklaniec, Pszczyna, Skoczów, and Bielsko Biała. Numerous water discharge points are indicated by black triangles and labeled with codes like W-1 through W-17 and O-5 through O-11. The map uses various colors to represent different features: orange for rivers, green for towns, and purple for discharge points.

Magdalena Matysik

Wpływ zrzutów wód kopalnianych na odpływ rzek Górnośląskiego Zagłębia Węglowego



**Wpływ zrzutów wód kopalnianych
na odpływ rzek
Górnośląskiego Zagłębia Węglowego**

Prace Naukowe



Uniwersytetu Śląskiego
w Katowicach
nr 3651

50 lat
Uniwersytetu
Śląskiego
w Katowicach

Magdalena Matysik

**Wpływ zrzutów wód kopalnianych
na odpływ rzek
Górnośląskiego Zagłębia Węglowego**

Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego • Katowice 2018

Redaktor serii Nauki o Ziemi:
Mariusz Rzędala

Recenzent
Tadeusz Ciupa

Spis treści

Wykaz symboli i oznaczeń	7
Objaśnienia przyjęte dla przekrojów wodowskazowych	8
1. Wstęp	9
1.1. Wprowadzenie	9
1.2. Cel i metody badań. Materiał badawczy.	11
2. Charakterystyka fizycznogeograficzna	18
2.1. Położenie. Jednostki fizycznogeograficzne	18
2.2. Zarys budowy geologicznej GZW	18
2.3. Warunki klimatyczne	21
2.4. Wody powierzchniowe	22
2.5. Warunki hydrogeologiczne	26
2.6. Użytkowanie terenu	30
3. Hydrologiczne skutki działalności górnictwa	33
3.1. Wydobycie węgla kamiennego a objętość odprowadzanych wód kopalnianych	33
3.2. Udział wód kopalnianych w odpływie rzeczny.	44
4. Uwarunkowania klimatyczne odpływu rzek na terenie GZW	60
5. Kształtowanie się odpływu rzeczno pod wpływem wód kopalnianych	68
5.1. Tendencje zmian przepływów	68
5.2. Ocena zmian odpływu metodą podwójnej krzywej kumulacyjnej	89
5.3. Identyfikacja skokowych zmian przepływów	97
5.4. Wpływ antropopresji na wielkość odpływu jednostkowego.	109
5.5. Zmiany współczynnika odpływu.	116
5.6. Zmiany wskaźnika koncentracji przepływów (GMO)	129
6. Dyskusja i wnioski	137
7. Literatura	141
8. Spis rysunków	148
9. Załączniki	153
Summary	162

Wykaz symboli i oznaczeń

SQ_R	$m^3 \cdot s^{-1}$	średni roczny przepływ
NQ_R	$m^3 \cdot s^{-1}$	minimalny roczny przepływ
SNQ_R	$m^3 \cdot s^{-1}$	średni roczny przepływ z minimów miesięcznych
SSQ	$m^3 \cdot s^{-1}$	średni przepływ z wielolecia
SNQ	$m^3 \cdot s^{-1}$	średni niski przepływ z minimów rocznych w wieloleciu
SWQ	$m^3 \cdot s^{-1}$	średni wysoki przepływ z maksimów rocznych w wieloleciu
NNQ	$m^3 \cdot s^{-1}$	najniższy przepływ w wieloleciu
WWQ	$m^3 \cdot s^{-1}$	najwyższy przepływ w wieloleciu
Sq_R	$dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$	średni roczny odpływ jednostkowy
SNq_R	$dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$	średni roczny z minimalnych miesięcznych odpływów jednostkowych
SSq	$dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$	średni ze średnich rocznych odpływów jednostkowych w wieloleciu
SNq	$dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$	średni roczny niski z minimalnych rocznych odpływów jednostkowych w wieloleciu
SWq	$dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$	średni roczny wysoki z maksymalnych rocznych odpływów jednostkowych w wieloleciu
H	mm	wskaźnik odpływu
α		współczynnik odpływu
GMO		wskaźnik koncentracji średnich miesięcznych przepływów
C_v		współczynnik zmienności: przepływów, odpływów jednostkowych, współczynnika odpływu, wskaźnika koncentracji GMO
P	mm	suma opadu
nP		roczny współczynnik niedoboru/nadmiaru opadu

Miary statystyczne

A	asymetria (skośność)
K	kurtoza
Max	wartość maksymalna
Me	mediana
Min	wartość minimalna
$max-min$	przedział zmienności
$Q1$	pierwszy kwartył
$Q3$	trzeci kwartył
$\bar{S}r$	wartość średnia

Objaśnienia przyjęte dla przekrojów wodowskazowych

Dorzecze Wisły

1_W	Wisła – Skoczów
2_W	Wisła – Jawiszowice
3_W	Wisła – Nowy Bieruń
4_W	Wisła – Pustynia
5_W	Biała – Czechowice Bestwina
6_W	Pszczynka – Pszczyna
7_W	Mleczna – Bieruń Stary
8_W	Gostynia – Bojszowy
9_W	Czarna Przemsza – Przeczyce
10_W	Brynica – Namiarki
11_W	Brynica – Czeladź
12_W	Brynica – Szabelnia
13_W	Pogoria – Dąbrowa Górnicza
14_W	Bobrek – Niwka
15_W	Biała Przemsza – Niwka
16_W	Czarna Przemsza – Radocha
17_W	Przemsza – Jeleń

Dorzecze Odry

1_O	Odra – Chałupki
2_O	Odra – Krzyżanowice
3_O	Odra – Miedonia
4_O	Bierawka – Tworóg Mały
5_O	Bytomka – Gliwice
6_O	Kłodnica – Kłodnica
7_O	Kłodnica – Gliwice
8_O	Kłodnica – Lenartowice
9_O	Nacyna – Rybnik
10_O	Ruda – Ruda Kozielska
11_O	Piotrówka – Zebrzydowice
12_O	Szotkówka – Gołkowice

1. Wstęp

1.1. Wprowadzenie

Obieg wody na terenach przekształconych w wyniku działalności człowieka jest zależny od czynników klimatycznych i antropogenicznych. Proporcja wpływu poszczególnych czynników zależy od stopnia odporności środowiska geograficznego, a także od stopnia nasilenia antropopresji. Jednym ze skutków działalności człowieka w środowisku są ilościowe zmiany w niektórych fazach obiegu wody. Na obszarach górniczo-przemysłowo-miejskich są one wywołane przez czynniki związane zarówno z powierzchnią i wglębną działalnością górniczą, jak i z urbanizacją i uprzemysłowieniem tego terenu (CZAJA, 1999).

Na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) czynniki antropogeniczne oddziałują na środowisko od XII wieku, od początku rozwoju górnictwa i trwają do dnia dzisiejszego. Oddziaływaniom tym podlegają wszystkie elementy środowiska. Bardzo wyraźnie uwidaczniają się także w zmianach środowiska wodnego. Obszar ten charakteryzuje się stosunkowo niewielkimi zasobami wodnymi. Sieć rzeczna stanowią odcinki źródłowe dopływów Wisły i Odry. Do nich odprowadzane są wody kopalniane pochodzące z odwodnienia kopalń: węgla kamiennego, piasków czwartorzędowych oraz rud cynku i ołowiu. Dodatkowo rzeki na tym terenie obciążone są zrzutami ścieków przemysłowych i komunalnych, często pochodzących z przerzutów wody spoza zlewni. Według D. ABSALONA (2008) apotamiczne wody kopalniane zrzucane do cieków po-

wierzchniowych powodują spadek udziału wody naturalnej w odpływie przy jednoczesnym wzroście przepływu, co skutkuje antropogenicznymi zmianami reżimu odpływu. Zrzuty te wpływają dodatkowo na zwiększenie ilości wody wchodzącej w lokalny obieg. Zmiany odpływu na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wywołane przez czynniki antropogeniczne są wielokierunkowe. Wody kopalniane są jednym z zasadniczych czynników, które spowodowały wyraźną, zauważalną zmianę stosunków wodnych. Stanowią one przeszło 40% wszystkich ścieków (Raporty WIOŚ, 2000–2013) odprowadzanych na tym terenie do wód powierzchniowych. W ostatnim dwudziestolecu wpływ czynników antropogenicznych na wody maleje, co jest wynikiem znaczących przemian spowodowanych transformacją ustrojową i systemową. W roku 1989 rozpoczęto reformę górnictwa węgla kamiennego, zamknięto nierentowne kopalnie i ograniczono wydobycie węgla. Dalsze reformy przemysłu oraz wzrost cen wody jako surowca spowodowały zmniejszenie wodochłonności przemysłu oraz spadek zużycia wody na cele komunalne. Nastąpiło zmniejszenie ilości ścieków odprowadzanych do rzek. Po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej wdrożono wspólnotowe prawo ochrony środowiska, w tym środowiska wodnego, regulowane przez Ramową Dyrektywę Wodną (Directive 2000/60/WE). Dyrektywa ta ma na celu utrzymanie i poprawę stanu środowiska wodnego w krajach Unii. Ochrona przed pogorszeniem się stanu ilościowego zasobów wodnych jest elementem pomocniczym w zapewnianiu dobrej jakości wód. Cel ten

w zlewniach obciążonych zrzutami wód kopalnianych jest praktycznie nie do osiągnięcia ze względu zarówno na zmiany odpływu, znaczne przekształcenia wielu cieków i ich dolin, jak i jakość wody. Mimo ograniczenia objętości ścieków przemysłowych i komunalnych odprowadzanych do wód powierzchniowych wody kopalniane stanowią istotny czynnik wpływający na zmiany odpływu oraz pogorszenie jakości wody, nie tylko na terenie GZW, ale też poza jego granicami. Działania podjęte w celu ograniczenia negatywnego wpływu wód kopalnianych na wody powierzchniowe w formie systemów retencyjno-dozujących, takich jak kolektor „Olza” czy „Czeczott”, wydają się niewystarczające w skali całego GZW, mimo osiągniętych znaczących skutków ekologicznych dla środowiska wodnego.

W kształtowaniu się stosunków wodnych na terenach o silnej antropopresji z dominującym przemysłem wydobywczym decydującą rolę odgrywają czynniki antropogeniczne, a warunki naturalne mają drugorzędne znaczenie. Główne kierunki zmian warunków wodnych na tych obszarach przejawiają się następująco (ABSALON, 1991; 1998; ABSALON, WAC, 1992; CZAJA, 1988, 1999; CZAJA, JANKOWSKI, 1992, 1993; JANKOWSKI, 1986, 1988, 1991, 1996a; KRŹ, 1981, 1990; KRŹ, SCHNEIDER, 1993):

- zmiany w sieci hydrograficznej, obejmujące: prace regulacyjne, przełożenia cieków, tworzenie nowych cieków, likwidację cieków, zanik cieków, szczelną zabudowę koryta;
- zmiany charakteru cech fizycznych, chemicznych i biologicznych wód;
- utrata znaczenia zlewni jako naturalnej jednostki bilansowej, spowodowana zmianą konfiguracji terenu – głównie poprzez osiadanie terenu oraz zmiany sieci hydrograficznej (prace odwodnieniowe, kanalizacja, przerzuty wody);
- zwiększenie udziału wód obcych w całkowitym odpływie rzeczonym (do 60–80%), powodujące wyrównanie przepływów z jednoczesnym nienaturalnym podwyższeniem ich średnich wartości, również wieloletnich;
- zmniejszenie zagrożenia powodziowego typu naturalnego (zabiegi hydrotechniczne) z jednoczesnym wzrostem zagrożenia powodziowego

wego typu antropogenicznego (zmiany spadków, osiadanie terenu, wpływ urbanizacji, odprowadzanie wód obcych do rzek);

- wzrost retencji powierzchniowej w postaci zbiorników retencyjnych, poeksploatacyjnych oraz zbiorników w nieckach osiadania.

Przesłanką do podjęcia tematyki wpływu wód kopalnianych na zmiany odpływu w rzekach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego jest przede wszystkim brak kompleksowego opracowania obejmującego wszystkie rzeki będące odbiornikami wód kopalnianych w dorzeczach: Odry i Wisły. Nie bez znaczenia jest wybrany do analiz okres, w którym można uchwycić: początek intensywniejszych oddziaływań zrzutów wód kopalnianych na odpływ (lata 1967–1977), maksimum tych oddziaływań (lata 1978–1988) oraz stopniowy spadek oddziaływań (lata 1989–2013). Do porównań, o ile było to możliwe, wybrano również przekroje znajdujące się powyżej zrzutów wód kopalnianych lub na rzekach nieobciążonych takimi zrzutami. Określenie tendencji odpływu w rzekach GZW pozwoliło na wskazanie głównych czynników kształtujących odpływ, przesłedzenie jego zmian oraz stwierdzenie, w jakim stopniu zrzuty wody kopalnianych wpłynęły na te zmiany.

W literaturze hydrologicznej na temat obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wiele prac poświęcono tematyce wód kopalnianych i ich roli w odpływie rzeczonym, jednak większość z nich powstała w okresie przed pierwszą dużą reformą górnictwa, rozpoczętą w roku 1989. Wody kopalniane jako jeden z najistotniejszych czynników wpływających na zmiany stosunków wodnych na obszarze GZW były przedmiotem badań pracowników Katedry Geografii Fizycznej Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego już od początku lat 80. XX wieku. Problematyką oddziaływania wód kopalnianych na odpływ oraz ich rosnącego udziału w przepływach rzek regionu górnośląskiego i wywołanych przez nie zmian zajmowali się: A.T. JANKOWSKI (1984a, 1984b, 1986, 1988, 1995, 1996a, 1997); S. CZAJA (1987, 1988, 1995, 1999, 2005); D. ABSALON (1998); D. ABSALON i M. WAC (1992); S. CZAJA i A.T. JANKOWSKI (1986, 1991a, 1991b, 1992, 1993). Wpływ wód kopalnianych na odpływ Olzy i górnej Odry z cze-

skiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego był przedmiotem badań J. KAŃOKA (1987, 1988, 1990a, 1990b, 1992, 1994), V. KRÍŽA (1981, 1990) oraz V. KRÍŽA i B. SCHNEIDERA (1993). Dotychczasowe publikacje na temat wpływu wód kopalnianych na odpływ obejmowały rzeki w poszczególnych regionach GZW, np. w Rybnickim Okręgu Węglowym (JANKOWSKI, 1986), w kurnurbacji katowickiej (CZAJA, 1999), w dawnym województwie katowickim (HOŁDA, OŚRÓDKA, 1989; CZAJA, JANKOWSKI, 1991b, 1992), lub wybrane zlewnie, np.: Mleczną (ABSALON, WAC, 1992), Rudę (ABSALON, 1998), Brynicę (CZAJA, 1987, 1988), Nacynę (JANKOWSKI, 1984b), Rawę (JANKOWSKI, 1988, 1995). Udział wód obcych, w tym wód kopalnianych w regionie górnośląskim był również przedmiotem badań W. DROBKA (1984), J. WŁODARCZYKA i L. OŚRÓDKI (1988) oraz I. HOŁDY i L. OŚRÓDKI (1989).

Zmiany stosunków wodnych podobne do tych występujących na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego obserwuje się na obszarze Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Wpływ kopalń węgla kamiennego na stosunki wodne Wyżyny Lubelskiej oraz Pojezierza Łęczyńskiego opisany został m.in. przez: T. WILGATA i in. (1987), L. ŁYSZCZARZA i Z. BORCHULSKIEGO (1995), S. CHMIELA i in. (2002), Z. MICHALCZYKA i S. CHMIELA (2005), Z. MICHALCZYKA i in. (2007).

Istotnym problemem jest ocena tendencji zmian stosunków wodnych oraz oddzielenie wpływu czynników klimatycznych i antropogenicznych. Problematyka ta była poruszana m.in. w pracach: A.T. JANKOWSKIEGO (1996b), D. ABSALONA i in. (1997), D. ABSALONA i M. MATYSIK (2007, 2016), J. KAŃOKA (1997), R. SOI (2002), A. BARTCZAKA (2007), D. BRYKAŁY (2009), T. CIUPY (2009), D. SZUMIŃSKIEJ (2014). Stwierdzono, że wpływ antropopresji jest istotnym czynnikiem oddziałującym na zmianę odpływu, zwłaszcza w zlewniach na terenach zurbanizowanych oraz terenach użytkowanych rolniczo. Analiza długoletnich ciągów pozwala na identyfikację kierunków zmian w przepływach rzek. Badania prowadzone przez B. FAŁ i E. BOGDANOWICZA (2002) w okresie 1901–2000 w przekroju Wisły w Tczewie oraz Odry w Gozdowicach nie wykazały stałej tendencji odpływu. Zmiany odpływu w Polsce

w drugiej połowie XX wieku, obejmujące najczęściej pięćdziesięcioletnią serię obserwacji, były przedmiotem badań m.in. P. JOKIELA i A. BARTNIKA (1997, 2001), D. WRZESIŃSKIEGO (2009, 2010, 2014, 2016) oraz Z. MICHALCZYKA (2009). Uzyskane wyniki wskazują na wzrost przepływów na terenie Polski, jednak w większości tendencje te są nieistotne statystycznie. Zaobserwowane w pierwszej połowie lat 70. i na początku lat 80. przez P. JOKIELA i A. BARTNIKA (1997, 2001) oraz D. WRZESIŃSKIEGO (2009) zmiany skokowe przepływów pozwalają na określenie kierunku zmiany, która – według wymienionych autorów – spowodowana jest czynnikami klimatycznymi. W zlewniach silnie zurbanizowanych zmiany skokowe – wywołane głównie przez czynniki antropogeniczne – zostały wykryte (ABSALON, MATYSIK, 2016) pod koniec lat 80. i 90.

Interesujące zależności w zmianach przepływów rzek Polski wykazano przy badaniu wpływu Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na zmiany odpływu rzek w Polsce. Większy wpływ NAO obserwowany jest w przypadku przepływów miesięcznych i sezonowych, a nie rocznych (WRZESIŃSKI, 2010a, 2010b, 2013, 2014; POCIASK-KARTECZKA i in., 2002–2003). Oprócz oddziaływań klimatycznych oraz antropogenicznych na charakter odpływu w zlewni wpływa także wielkość zasilania podziemnego (CHOIŃSKI, 1988).

1.2. Cel i metody badań Materiał badawczy

Celem pracy jest określenie wpływu zrzutu wód dołowych z kopalń na kształtowanie odpływu rzek GZW. Obliczono także udział wód kopalnianych w średnich rocznych i średnich niskich przepływach rzek GZW.

Osiągnięcie tak postawionego celu wymagało odpowiedzi na następujące pytania:

- Czy wody kopalniane doprowadziły do zmian ilościowych odpływu rzek GZW w ciągu analizowanego pięćdziesięciolecia?

- Czy stwierdzone tendencje i zmiany odpływu rzek na terenie GZW zostały spowodowane przez czynniki naturalne czy są wynikiem antropopresji?
- Czy rzeki położone na terenie GZW, obciążone zrzutami wód kopalnianych, wykazują te same tendencje co rzeki nieobciążone tymi zrzutami?
- Czy zachodziły zmiany koncentracji przepływów rzek w rocznym cyklu hydrologicznym? W pracy wykorzystano następujące metody badawcze:
 - analityczne, porównawcze oraz matematyczno-statystyczne – pozwalające na określenie roli wód kopalnianych oraz czynników naturalnych w przeobrażeniach odpływu rzek na terenie GZW,
 - kartograficzne i GIS – umożliwiające przeprowadzenie analiz przestrzennych oraz wizualizację uzyskanych wyników.

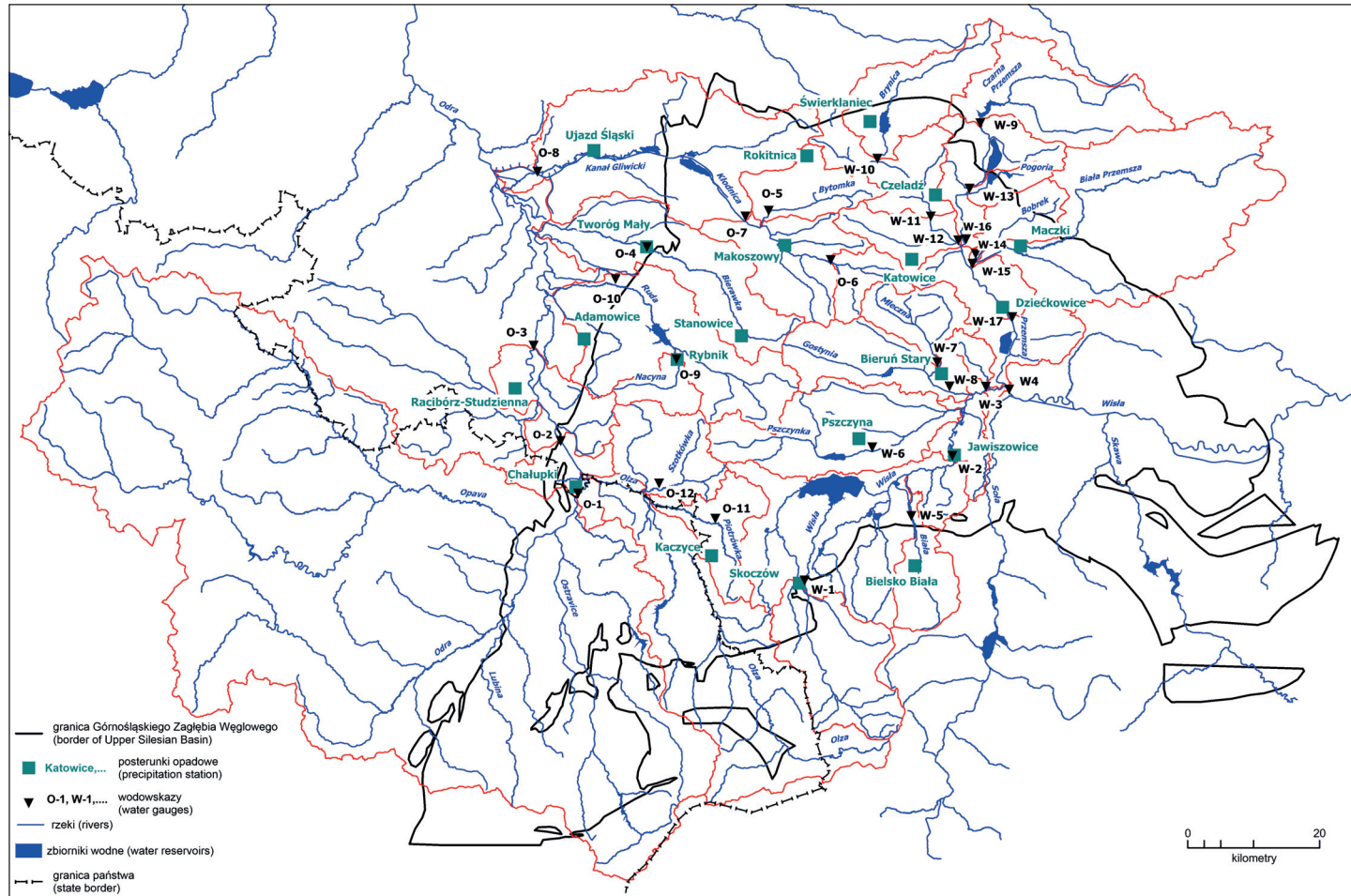
Analizę wpływu objętości zrzucanych wód kopalnianych do rzek przeprowadzono dla okresu 1967–2013, dopiero bowiem od 1967 roku dostępne są wiarygodne dane źródłowe. Dane te zostały pozyskane bezpośrednio w kopalniach za zgodą: Kompanii Węglowej S.A., Katowickiego Holdingu Węglowego S.A, Tauron Wydobyć S.A., Jastrzębskiej Spółki Węglowej, Przedsiębiorstwa Górniczego „Silesia” sp. z o.o, KWK Juliusz sp. z o.o., Przedsiębiorstwa Gospodarki Wodnej i Rekultywacji S.A. w Jastrzębiu Zdroju, Spółki Restrukturyzacji Kopalń S.A. – Centralny Zakład Odwadniania Kopalń. Źródłem informacji były również liczne niepublikowane opracowania i ekspertyzy, dane i zestawienia udostępnione przez Główny Instytut Górnictwa (GIG) oraz dane z archiwum Katedry Geografii Fizycznej Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego. Dane o zrzutach wód z czeskich kopalń uzyskano zarówno z opracowań opublikowanych (KAŇOK, 1987, 1988, 1990a, 1990b, 1992; HARAT, GRMELA, 2008, 2009), jak i opracowań niepublikowanych – Plan Oblasti Povodí Odry (2009), informacji z Ostravsko-karvinské doły akciová společnost oraz Povodí Odry. W pracy wykorzystano również dane zawarte w raportach o stanie środowiska w województwach: śląskim, małopolskim i opolskim za okres 2000–2013.

Pozyskane dane obejmowały najczęściej sumy miesięcznej objętości wód kopalnianych zrzucanych do cieków powierzchniowych, rzadziej były to wartości dobowe. Objętości z poszczególnych miejsc zrzutów odprowadzających wody kopalniane zostały zsumowane i zestawione w zlewniach zamkniętych przekrojami wodowskazowymi. W bilansie zrzucanych wód dołowych z kopalń węgla kamiennego uwzględniono również wody z bytomskiego rejonu kopalnictwa rud, olkuskiego rejonu złożowego i kopalń piasku podsadzkowego.

Pierwszym etapem pracy była identyfikacja wszystkich zrzutów wód kopalnianych. Następnie wybrano zlewnie zamknięte przekrojami wodowskazowymi, w których zostały zbilansowane zrucane wody kopalniane. Udział wód kopalnianych analizowano w następujących przekrojach wodowskazowych: Odra – Krzyżanowice, Odra – Miedonia, Nacyna – Rybnik, Ruda – Ruda Kozielska, Bierawka – Tworóg Mały, Kłodnica – Kłodnica, Kłodnica – Gliwice, Bytomka – Gliwice, Wisła – Jawiszowice, Wisła – Nowy Bieruń, Wisła – Pustynia, Mleczna – Bieruń Stary, Gostynia – Bojszowy, Czarna Przemsza – Radocha, Brynica – Czeladź, Brynica – Szabelnia, Biała Przemsza – Niwka, Bobrek – Niwka, Przemsza – Jeleń (ryc. 1.).

Dane meteorologiczne i hydrologiczne są mierzone, zbierane i przetwarzane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy w wyniku realizacji standardowych procedur przez Państwową Służbę Hydrologiczno-Meteorologiczną. Zostały one udostępnione na podstawie umowy nr 16/2014 pomiędzy Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytutem Badawczym a Uniwersytetem Śląskim.

Analiza ilościowa odpływu objęła przepływy: minimalne roczne NQ_R , średnie roczne z minimum miesięcznych SNQ_R i średnie roczne SQ_R . Na ich podstawie obliczono i poddano analizom średnie roczne niskie i średnie roczne odpływy jednostkowe oraz średnie roczne współczynniki odpływu. Do analiz zmian koncentracji przepływów w rocznym cyklu hydrologicznym wykorzystano średnie miesięczne przepływy. Analiza zmienności rocznych sum opadów atmosferycznych stanowiła tło analiz ilościowych odpływów.



Ryc. 1. Rozmieszczenie posterunków opadowych i przekrojów wodowskazowych zamykających analizowane zlewnie (1_O Odra – Chałupki, 2_O Odra – Krzyżanowice, 3_O Odra – Miedonia, 4_O Bierawka – Tworóg M., 5_O Bytomka – Gliwice, 6_O Kłodnica – Kłodnica, 7_O Kłodnica – Gliwice, 8_O Kłodnica – Lenartowice, 9_O Nacyna – Rybnik, 10_O Ruda – Ruda Kozielska, 11_O Piotrówka – Zebrzydowice, 12_O Szotkówka – Gołkowice, 1_W Wisła – Skoczów, 2_W Wisła – Jawiszowice, 3_W Wisła – Nowy Bieruń, 4_W Wisła – Pustynia, 5_W Biała – Czechowice Bestwina, 6_W Pszczynka – Pszczyna, 7_W Mleczna – Bieruń Stary, 8_W Gostynia – Bojszowy, 9_W Czarna Przemsza – Przeczyce, 10_W Brynica – Namiarki, 11_W Brynica – Czeladź, W_12 Brynica – Szabelnia, 13_W Pogoria – Dąbrowa Górnicza, 14_W Bobrek – Niwka, 15_W Biała Przemsza – Niwka, 16_W Czarna Przemsza – Radocha, 17_W Przemsza – Jeleń)

Okres przeprowadzonych analiz obejmował przeważnie wielolecie 1961–2013. Krótszymi ciągami charakteryzują się przekroje: Nacyna – Rybnik (1979–2012), Bierawka – Tworóg Mały (1969–2013) i Wisła – Pustynia (1971–2013). Mimo krótszych ciągów pomiarowych zdecydowano się na analizy ilościowe, ponieważ Nacyna i Bierawka są głównymi odbiornikami wód kopalnianych z Rybnickiego Okręgu Węglowego, a w przekroju Wisła – Pustynia bilansowana jest cała ilość wód kopalniach z GZW zrzucana w dorzeczu Wisły. Analizy ilościowe objęły dodatkowo rzeki i przekroje: Odrę w Chałupkach, Piotrówkę w Zebrzydowicach, Szotkówkę w Gołkowicach, Wisłę w Skoczowie, Białą w Czechowicach-Bestwinie, Pszczynkę w Pszczynie, Czarną Przemszą w Przeczcach, Brynicę w Namiarkach. Przekroje te zostały uwzględnione w analizach mimo braku obciążenia wodami kopalnianymi ze względu na ich położenie na terenie GZW. Szotkówka i Piotrówka były odbiornikami wód kopalnianych, a Odra w Chałupkach jest obciążona zrzutami wód dołowych z kopalń czeskich z regionu ostrawskiego.

Przebieg rocznych sum opadów w wieloleciu 1961–2013 został przeanalizowany za pomocą współczynnika niedoboru/nadmiaru n . Współczynnik ten przedstawia zmienność opadów w poszczególnych latach w stosunku do wartości średniej wieloletniej i pozwala porównać analizowane zlewnie pod względem przebiegu opadów w wieloleciu. Obrazuje on stopień rozrzutu w stosunku do średniej wieloletniej. Określony jest wzorem:

$$n = \frac{x_i - x_{sr}}{x_{sr}} \times 100 [\%]$$

gdzie:

x_i – suma opadów w danym roku (mm),

x_{sr} – średnia wieloletnia suma opadu (mm).

Tendencje zmian wysokości opadów, zmian przepływów oraz wskaźnika koncentracji przepływów GMO określono za pomocą regresji liniowej i nieliniowej (funkcja wielomianu drugiego stopnia). Po obliczeniu regresji liniowej i nieliniowej została wybrana funkcja o największej wartości współczynnika determinacji R^2 . Obliczono równania regresji liniowej:

$$y = ax + b,$$

oraz równania regresji wykładniczej:

$$y = ax^2 + ax + b$$

gdzie:

y – odpływ (opad) w roku t ;

x – kolejny rok ciągu obserwacyjnego oznaczony jako 1, 2, 3, ..., x ;

a – współczynnik regresji;

b – wartość stała.

Oceny istotności tendencji zmian przepływów i opadów atmosferycznych dokonano za pomocą dwóch testów monotonicznych: t -Studenta i τ -Manna-Kendalla. Statystyka t została wykorzystana do weryfikacji hipotezy o istotności współczynnika korelacji pomiędzy ciągiem danych obserwacyjnych, a prostą lub krzywą regresji.

$$T_{is} = \frac{R\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-R}}$$

gdzie:

T_{is} – statystyka t -Studenta,

R – współczynnik korelacji,

N – liczebność próby.

Test trendu Manna-Kendalla weryfikuje hipotezę, czy kolejność rozkładu w czasie wartości mniejszych i większych jest przypadkowa (MANN, 1945; KENDALL, 1975; KOŻUCHOWSKI, ŻMUDZKA, 2001). W odniesieniu do każdej wartości w szeregu czasowym określa się liczebność następujących po niej wartości wyższych, a potem oblicza się statystykę:

$$\tau = 4P[N(N-1)]^{-1} - 1$$

gdzie:

$$P = \sum n_i$$

N – liczebność ciągu (niżej $N = 50$),

n_i – liczebność wartości wyższych od kolejnych wyrazów szeregu czasowego x_i .

Z kolei wartość S jest obliczana za pomocą wzoru:

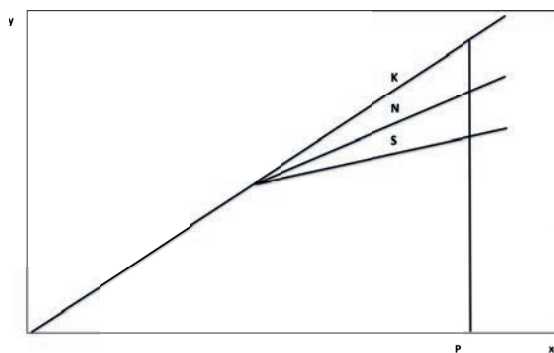
$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n \text{sgn}(x_k - x_j)$$

gdzie x jest wartością zaobserwowaną w czasie k i j , przy czym $k > j$, n jest długością ciągu obserwacyjnego oraz:

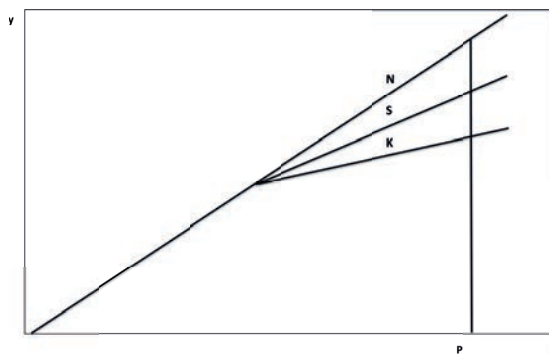
$$\operatorname{sgn}(x_k - x_j) \begin{cases} +1 & x_k - x_j > 0 \\ 0 & x_k - x_j = 0 \\ -1 & x_k - x_j < 0 \end{cases}$$

Dodatnie wartości τ oznaczają, że trend jest rosnący, ujemne zaś – że trend jest malejący. Statystyka τ przy $N > 10$ ma rozkład zbliżony do normalnego. Dokonano również oceny prawdopodobieństwa wystąpienia obserwowanego trendu na poziomie istotności co najmniej $p = 0,05$ (95%).

Następnym krokiem postępowania była analiza zmian odpływu i opadu za pomocą podwójnej krzywej kumulacyjnej, która jest pomocna w określaniu zaburzeń wywołanych antropopresją. Podwójna krzywa kumulacyjna odpływu i opadu wskazuje lata dla poszczególnych zlewni (ryc. 2., 3.), w których nastąpiły wyraźne zmiany, oraz pokazuje kierunek tych zmian (ABSALON, 1991, 1998; DYNOWSKA i in., 1985; KAŃOK, 1987, 1990b, 1994, 1997). Podwójne krzywe kumulacyjne zostały skonstruowane dla średnich i średnich niskich rocznych wartości odpływu.



Ryc. 2. Przykładowy schemat rozdziału podwójnej krzywej kumulacyjnej przy wzroście odpływu i spadku opadów w zlewni (na podstawie: Kaňok, 1994), KP – odpływ rzeczywisty skumulowany, NP – odpływ naturalny określony na podstawie podwójnej krzywej kumulacyjnej, KN – odpływ przeobrażony określony na podstawie podwójnej krzywej kumulacyjnej, SN – odpływ na skutek zmian opadów, SK – odpływ przeobrażony antropogenicznie



Ryc. 3. Przykładowy schemat rozdziału podwójnej krzywej kumulacyjnej przy spadku odpływu i spadku opadów w zlewni (na podstawie: Kaňok, 1994), KP – odpływ rzeczywisty skumulowany, NP – odpływ naturalny określony na podstawie podwójnej krzywej kumulacyjnej, KN – odpływ przeobrażony określony na podstawie podwójnej krzywej kumulacyjnej, SN – odpływ na skutek zmian opadów, SK – odpływ przeobrażony antropogenicznie

Hipotezy o odmiennym przebiegu odpływu przetestowano za pomocą nieparametrycznego testu Wilcoxona na poziomie istotności 0,05. Statystyka Wilcoxona przyjmuje postać:

$$W_{m,n} = \sum_{i=1}^m R(x_i)$$

Istotnym zagadnieniem było wykrycie w zlewniach punktów skokowej zmiany (*change point*) w wielkościach wartości obserwowanych (roczne sumy opadów, przepływy NQ_R , SNQ_R , SQ_R , średni roczny współczynnik odpływu). Punkty takie mogą wskazywać na istotne impulsy zmieniające warunki opadu i odpływu w zlewni, mogące być efektem zarówno zmian klimatycznych, jak i zmian zachodzących wskutek antropopresji. Do określenia punktów skokowej zmiany wykorzystano test Pettitta (PETTITT, 1979, 1980a, 1980b; ROWAN, SWEENEY, 2005; LI i in., 2014). Wykryte zmiany potwierdzono dodatkowo testem Buishanda oraz za pomocą „standard normal homogeneity test” (SNHT).

Test Pettitta zastosowano do przeanalizowania szeregów czasowych potraktowanych jako 2 próby reprezentowane odpowiednio przez wartości $x_1 \dots x_t$ i $x_{t+1} \dots x_T$. Dla danych ciągłych obliczono indeksy $V(t)$ i $U(t)$ za pomocą następującego wzoru:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + V_{t,T} \quad t = 2, \dots, T$$

$$V_{t,T} = \sum_{j=1}^T \operatorname{sgn}(x_t - x_j) \operatorname{sgn}(x) \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

Najbardziej znacząca zmiana skokowa znajduje się w punkcie, który przyjmuje wartość:

$$p(t) = \max |U_{t,T}|$$

Przybliżoną wartość prawdopodobieństwa dla punktu zmiany skokowej obliczono za pomocą wzoru:

$$p(t) = 1 - \exp\left(\frac{-6U_{t,T}^2}{T^3 + T^2}\right)$$

Punkt zmiany skokowej uznano za istotny przy prawdopodobieństwie 0,05 (95%).

Statystyka testu skumulowanych odchyień Buishanda przyjmuje postać:

$$Q = \max_{0 \leq k \leq N} |S_k^{-2}|$$

Natomiast dla Standard Normal Homogeneity Test statystyka ma postać:

$$T = \max(a\bar{z}_1^2 + (n-a)\bar{z}_1^2)$$

Wykrywa on skokową zmianę wartości średniej w szeregu zmiennych o rozkładzie normalnym, identyfikując moment, w którym ona nastąpiła.

Określając stosunek odpływu/opadu (średnia wartość okresu I do średniej wartości okresu II), można było stwierdzić kierunek i wielkość zmiany przed i po wykryciu zmiany o charakterze skokowym.

Do analizy przebiegu zmian odpływu w roku hydrologicznym wykorzystano wskaźnik koncentracji *GMO* średnich miesięcznych przepływów. Został on zaproponowany do badań z zakresu hydrologii przez R. SOJĘ (2002). Wskaźnik ten pozwala ocenić stopień koncentracji odpływu w cyklu rocznym, a analizowany dla długiej serii pomiarowej daje możliwość stwierdzenia, czy doszło do przekształcenia reżimu hydrologicznego. Wskaźnik ten przyjmuje następującą postać:

$$GMO = \frac{\sum_{i=1}^{12} x_i^2}{\left(\sum x_i\right)^2} \times 100$$

gdzie:

x_i – średni przepływ miesięczny,

i – kolejny miesiąc w roku hydrologicznym.

Zmienność odpływów oraz wskaźnika koncentracji przepływów w wieloleciu określono za pomocą współczynnika zmienności C_v , wyrażającego stosunek odchylenia standardowego do wartości średniej z wielolecia odpływu wskaźnika koncentracji.

$$C_v = \frac{OS}{\bar{SR}} \quad OS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{sr})^2}{N-1}}$$

gdzie:

OS – odchylenie standardowe,

\bar{SR} – średnia wartość z wielolecia,

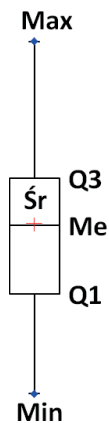
x_i – odpływ, wskaźnik koncentracji przepływów w danym roku,

x_{sr} – średni odpływ, wskaźnik koncentracji przepływów w wieloleciu,

N – liczba lat.

W analizach statycznych wykorzystano podstawowe parametry rozkładów, takie jak: średnia arytmetyczna (\bar{x}), mediana (Me), minimum (min), maksimum (max), odchylenie standardowe (OS), przedział zmienności ($max - min$). Obliczono także miary skośności w postaci współczynnika asymetrii (A) oraz miary koncentracji – kurtozę (K). Metody obliczeń zaczerpnięto m.in. z opracowania P. TOMALSKIEGO i E. TOMASZEWSKIEGO (2015).

W pracy wykorzystano tzw. wykresy box&whisker (wykresy pudełkowe), do prezentacji wyników i porównania danych. Pozwalają one w sposób syntetyczny zaprezentować informacje odnośnie do położenia, rozproszenia i kształtu rozkładu danych. Jeśli na wykresie „wąsy” mają podobną długość, a mediana leży w środku „pudełka”, to rozkład jest symetryczny. Im „krótszy” jest cały wykres, tym rozkład jest mniej rozproszony (TOMALSKI, TOMASZEWSKI, 2015).



gdzie:
 Max – wartość maksymalna,
 Q3 – trzeci kwartył,
 Me – mediana,
 Śr – średnia,
 Q1 – pierwszy kwartył,
 Min – wartość minimalna.

Mapy przedstawiające przestrzenne zróżnicowanie obliczonych charakterystyk wykonano w środowisku GIS, przy użyciu oprogramowania ArcGIS i MapInfo Professional. Stworzono mapy tematyczne – kartogramy, wykorzystując własne podziały lub też podziały naturalne do prezentacji uzyskanych wyników i charakterystyk. Prezentacja przestrzenna zgromadzonych wyników, rozmieszczenia zjawisk hydrologicznych została wykonana zgodnie z metodyką kartograficznych opracowań tematycznych (KRAAK, ORMELING, 1998; KAŇOK, 1999).

2. Charakterystyka fizycznogeograficzna

2.1. Położenie Jednostki fizycznogeograficzne

Górnośląskie Zagłębie Węglowe jest regionalną jednostką geologiczną. Zajmuje powierzchnię 7 500 km², z czego 5 800 km² leży na terenie Polski, pozostała część – w granicach Republiki Czeskiej.

Obszary górnicze kopalń węgla kamiennego na terenie polskiej części GZW są zgrupowane w dwóch okręgach przemysłowych: Górnośląskim Okręgu Przemysłowym (GOP) i Rybnickim Okręgu Węglowym (ROW), a na terenie Czech – w Ostrawsko-Karwińskim Okręgu Przemysłowym. Eksploatacji górniczej towarzyszy silna koncentracja różnych gałęzi przemysłu.

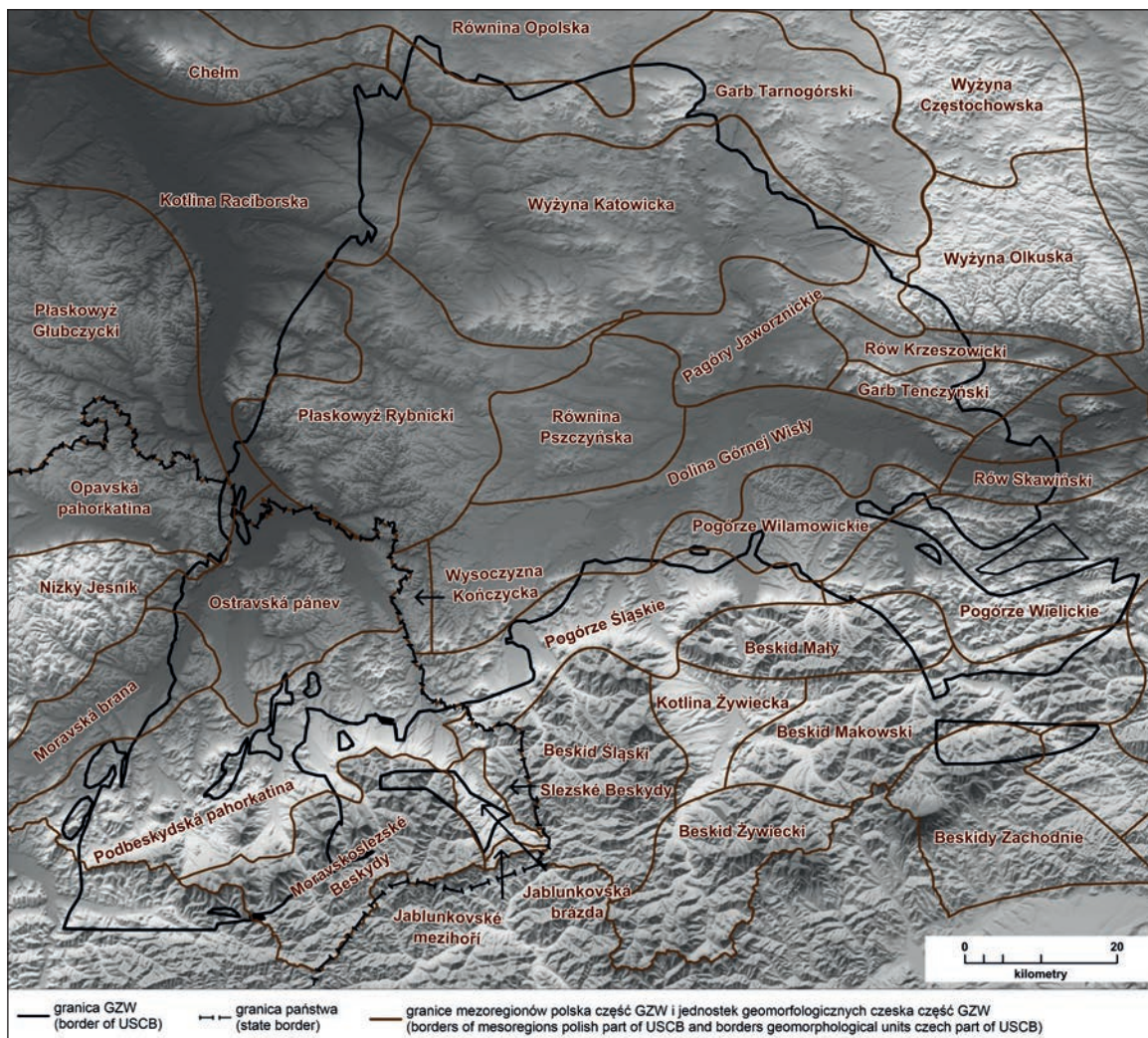
Zgodnie z podziałem fizycznogeograficznym J. KONDRACKIEGO (2011) obszar polskiej części GZW położony jest w obrębie następujących mezoregionów Wyżyny Śląsko-Krakowskiej: Płaskowyżu Rybnickiego (341.15), Wyżyny Katowickiej (341.13), Garbu Tarnogórskiego (341.12), Pagórów Jaworznickich (341.14) oraz Kotliny Ostrawskiej (512.1), Wysoczyzny Kończyckiej (512.11), Równiny Pszczyńskiej (512.21) i Doliny Górnej Wisły (512.22), wchodzących w skład Podkarpacka Północnego oraz Pogórza Śląskiego (513.32), stanowiącego część Zewnętrznych Karpat Zachodnich (ryc. 4.).

Czeska część GZW – według podziału na jednostki geomorfologiczne (Kolektiv autorů, 1996) – obejmuje następujące jednostki: Moravská brana, Podbeskydská pahorkatina, Ostravská pánev, Moravskoslezské i Slezské Beskydy.

Pod względem administracyjnym analizowany obszar polskiej części GZW prawie w całości położony jest w województwie śląskim, fragmentarycznie – w województwie opolskim oraz małopolskim. Do jego największych miast należą: Gliwice, Zabrze, Bytom, Chorzów, Katowice, Mysłowice, Sosnowiec, Dąbrowa Górnicza, Rybnik, Jastrzębie-Zdrój, Żory, Pszczyna, Bielsko-Biała, Tychy i Jaworzno. Obszar czeskiej części GZW położony jest na terenie jednostki administracyjnej o randze województwa: Moravskoslezský kraj. Największymi miastami w jego obrębie są: Ostrava, Frýdek-Místek, Karviná i Český Těšín.

2.2. Zarys budowy geologicznej GZW

Geneza i zasadnicze uformowanie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego nastąpiło w czasie orogenezy warszycyjskiej. Na skutek orogenezy alpejskiej nastąpiła przebudowa warzycyjskiego zapadliska przedgórskiego (KOTAS, 1982, 1994). Przeważająca część obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego znalazła się w zasięgu zapadliska przedkarpackiego wypełnionego molasowymi utworami neogenu, a fragmentarycznie nawet pod utworami fliszowymi Karpat. Jest to zapadlisko międzygórskie. GZW, które mieści się w ramach skonsolidowanego prekambryjskiego podłoża bloku tektonicznego Brunni i Górnego Śląska, od NEE ograniczone jest krakowską stre-



Ryc. 4. Położenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na tle mezoregionów według podziału J. Kondrackiego (polska część GZW) i jednostek geomorfologicznych (czeska część GZW)

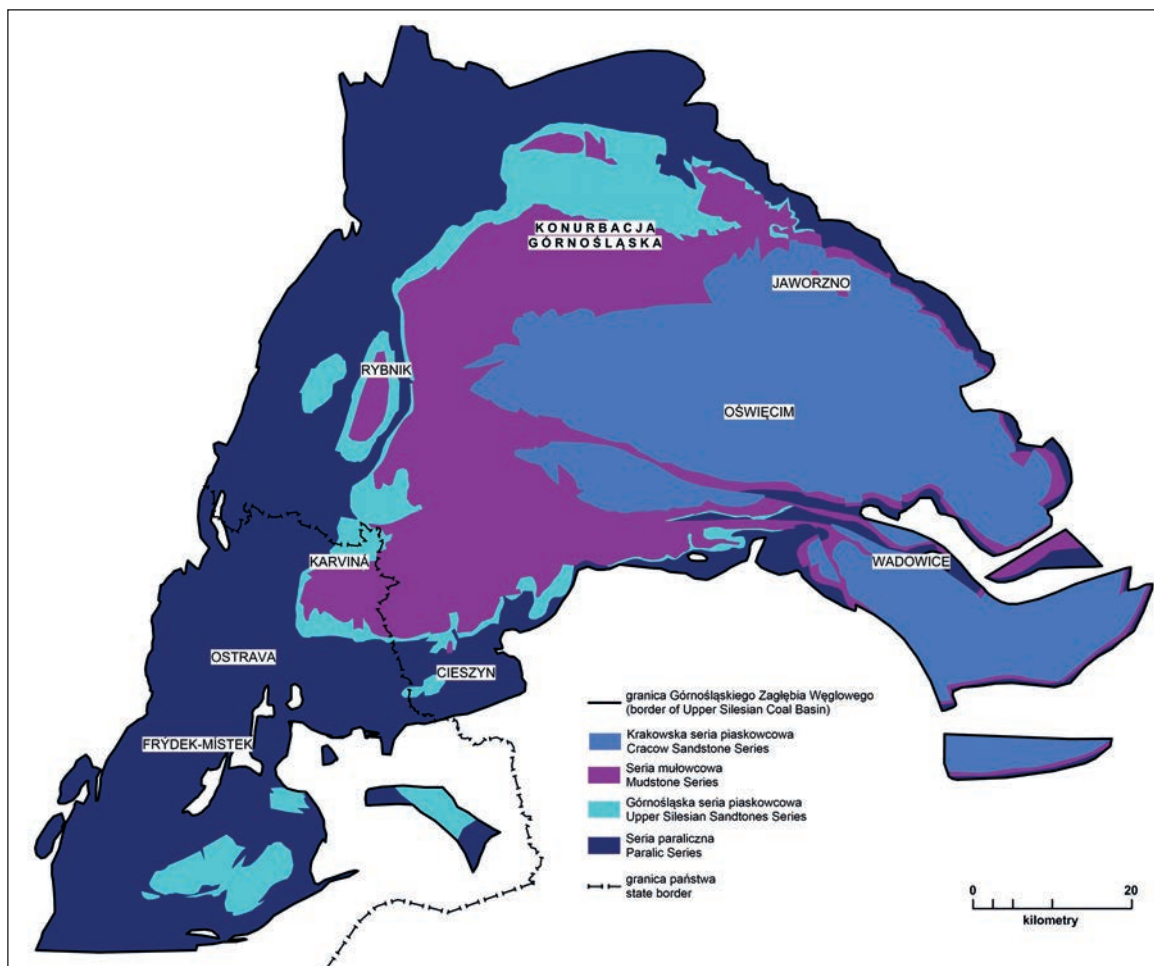
Ź r ó d ł o: Opracowanie własne.

fą fałdową, od NWW – morawsko-śląską waryscyjską strefą fałdową (KOTAS, 1982; BUŁA, KOTAS, 1994).

Wschodnie utworów karbonu produktywnego odsłaniają się na powierzchni w centralnej i częściowo wschodniej części obszaru GZW. W części północnej oraz wschodniej pokryte są utworami triasu i jury.

Karbońskie piętro molasowe utworzone jest z utworów górnokarbońskich, zawierających pokłady węgla, które powstały w warunkach klimatu tropikalnego. W dolnej części kompleksu sedimentacja nastąpiła w środowisku lądowo-

-morskim, w środkowej – w limno-fluwialnym, natomiast w górnej części – we fluwialno-deltowym (KOTAS, 1982). Rozwój osadów na terenie GZW nie jest równomierny, największe miąższości utworów karbonu produktywnego występują w zachodniej części, najniższe – we wschodniej części. Całkowita sumaryczna miąższość szacowana jest na 8 500 m (KOTAS, 1994). Zasoby węgla do głębokości około 2 000 m zostały oszacowane na 150 mld ton (KWARCIAŃSKI i in., 1999). W profilu geologicznym karbonu produktywnego wyróżnia się cztery serie litostratygraficzne, reprezentowane przez kompleksy skał ilowo-



Ryc. 5. Mapa geologiczna strukturalna karbonu produktywnego Górnosląskiego Zagłębia Węglowego

Źródło: Opracowano na podstawie Jureczka i in., 2005.

cowo-mułowcowo-piaskowcowych z pokładami węgla (ryc. 5.):

- Seria paraliczna SP (namur A) wykształcona została jako utwory klastyczne (zlepieńce, piaskowce, mułowce i iłowce) oraz fitogeniczne (łupki węglonośne i węgle). Seria paraliczna występuje na obszarze całego GZW. Miąższość we wschodniej części wynosi od 200 m do 800 m, a w zachodniej części osiąga 3 780 m (JURECZKA, KOTAS, 1995). Liczbę pokładów węgla w tej serii ocenia się na 263. Miąższość pokładów wynosi od 1,0 m do 1,4 m (JURECZKA, KOTAS, 1995).
- Górnosląska seria piaskowcowa GSP (namur B i C) jest pierwszą limniczną serią karbonu produktywnego piaskowców i zlepieńców.

Miąższość tej serii waha się od kilku metrów do 1200 m. W profilu występuje 60 pokładów węgla. Miąższość pokładów waha się od 4,0 m do 8,0 m (JURECZKA, KOTAS, 1995), maksymalnie dochodzi do 24,0 m (pokład Reden w Dąbrowie Górniczej).

- Seria mułowcowa SM (westfal A i B) – będąca serią typu limnicznego – występuje na przeważającej części GZW. Dominują w niej osady mułowcowo-ilaste. Miąższość tej serii wzrasta ku zachodowi, osiągając 2 400 m. Występuje około 160 pokładów węgla, które osiągają miąższość od 0,4 m do 1,3 m (JURECZKA, KOTAS, 1995).
- Krakowska seria piaskowcowa KSP (westfal C i D) stanowi ostatni cykl sedimentacji

utworów karbonu produktywnego. Składa się głównie z piaskowców i zlepieńców. Występuje wyłącznie w centralnej i wschodniej części GZW. Maksymalna miąższość tej serii wynosi 1 140 m. Do tej serii należy 40 pokładów węgla. Miąższość pokładów osiąga 7 m (JURECZKA, KOTAS, 1995).

Najstarszymi skałami nadkładu utworów karbońskich są utwory permu (KOTAS, 1972). Wśród utworów mezozoicznych znalazły się osady triasu i jury usytuowane w zasięgu monokliny śląsko-krakowskiej. Utwory triasu są rozwinięte w zasięgu niecki bytomskiej oraz niecek: chrzanowskiej, wilkoszyńskiej, długoszyńskiej i Gliwic. Obserwuje się również występowanie izolowanych płytów triasu w rejonie Rybnika, Mikołowa, Łędzin i Chełma Śląskiego. Utwory triasowe reprezentowane są przez: osady dolnego pstręgo piaskowca, górnego pstręgo piaskowca, wapienia muszlowego i kajpru. Utwory te tworzą południową i zachodnią część monokliny śląsko-krakowskiej.

Utwory jury występują wzdłuż wschodniego obrzeżenia GZW w rejonie Chrzanowa i Krzeszowic. Osady jury reprezentowane są przez wapień skaliste, wapień płytowe, wapień margliste, piaskowce z przewarstwieniami margli.

Osady neogenu reprezentowane są przez utwory miocenu oraz lokalnie pliocenu. Rozprzestrzenianie i wykształcenie osadów miocen-skich należy łączyć z tektoniką związaną z orogenezą alpejską (ALEKSANDROWICZ, 1964).

W południowej części GZW na osady autochtonicznego neogenu nasunięte są fliszowe, paleogeneńsko-kredowe, utwory Karpat (RÓŻKOWSKI, 2003). Miąższość tych utworów jest zmienna – w granicach od kilku metrów do ponad 300 m.

Osady czwartorzędowe przykrywają utwory starszego podłoża. Miąższość tych osadów waha się od dziesiątych części metra do ponad 100 m (RÓŻKOWSKI, 2003). Największe miąższości utworów czwartorzędowych, sięgające 100 m, stwierdzono w dolinach rzecznych (KOTLIĆKA, 1964).

2.3. Warunki klimatyczne

Zgodnie z podziałem klimatycznym Polski A. WOSIA (2010) analizowany obszar znajduje się w dwóch regionach klimatycznych: 25. Regionie Dolnośląskim południowym i 26. Regionie Górnośląskim. Region Dolnośląski południowy obejmuje górny odcinek doliny Odry oraz Płaskowyż Głubczycki. W zakres Regionu Górnośląskiego wchodzi: Wyżyna Śląska, południowo-zachodni fragment Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej oraz zachodnia część Pogórza Karpackiego (Woś, 2010). Czeska część GZW leży w obrębie klimatu umiarkowanego przejściowego pomiędzy oceanicznym i kontynentalnym typem klimatycznym. Znaczna zmienność pogody uwypuklona w dużym stopniu przez zróżnicowaną rzeźbę terenu – jest wynikiem cyrkulacji powietrza nad środkową Europą.

Średnia roczna temperatura powietrza w Regionie Dolnośląskim osiąga 8,3°C, a w Regionie Górnośląskim – 8,1°C. W styczniu ma wartość odpowiednio: -1,5°C i -2,4°C, a w lipcu – 17,9°C i 17,8°C. Roczna amplituda temperatury powietrza w Regionie Dolnośląskim południowym wynosi 19,7°C, a w Regionie Górnośląskim – 19,9°C. Średnia temperatura w poszczególnych porach roku jest podobna, przy czym Region Dolnośląski południowy we wszystkich porach roku jest cieplejszy o około 0,3°C od Regionu Górnośląskiego, np. średnia temperatura zimą w Regionie Górnośląskim wynosi -1,2°C, a w Regionie Dolnośląskim południowym -0,9°C (Woś, 2010).

Średnia roczna suma opadów w Regionie Dolnośląskim wynosi 636 mm, a w Regionie Górnośląskim – 675 mm. Najniższe opady notowane są w lutym, a najwyższe – w lipcu. W Regionie Górnośląskim suma opadów w lipcu wynosi 96 mm i jest największa w porównaniu z innymi regionami. W kalendarzowych porach roku średnie sumy opadów w Regionie Dolnośląskim sięgają: wiosną – 145 mm, latem – 257 mm, jesienią – 138 mm, zimą – 97 mm. W tym regionie przeciętnie w roku notuje się 167 dni z opadem. Najwięcej występuje ich w zimie – 44 dni, wiosną – 41 dni, jesienią – 39 dni, a latem – 43 dni. W Regionie Górnośląskim w kalendarzowych porach roku

średnie sumy opadów osiągają następujące wartości: wiosną – 160 mm (najwięcej w porównaniu z innymi regionami), latem – 261 mm, jesienią – 143 mm, zimą – 111 mm. Przeciętnie w roku notuje się 176 dni z opadem, w tym: w zimie – 49 dni, wiosną i latem – po 43, jesienią – 41. Średnia liczba dni z burzą w Regionie Dolnośląskim wynosi 29, a w Regionie Górnośląskim – 28, najwięcej burz występuje w czerwcu (Woś, 2010).

W analizowanych regionach pierwszy dzień z przymrozkiem pojawia się 14 października, ostatni – 30 kwietnia. Przeciętna liczba dni z przymrozkiem w Regionie Dolnośląskim południowym wynosi 73, w Regionie Górnośląskim – 78. Mróz, temperatura poniżej 0°C w Regionie Górnośląskim występuje w trakcie 35 dni, natomiast pokrywa śnieżna – przez 64 dni. W Regionie Dolnośląskim południowym przeciętna liczba dni z mrozem wynosi 31, a średnia roczna liczba dni z pokrywą śnieżną – 55 (Woś, 2010).

W Regionie Dolnośląskim południowym przeciętnie w ciągu roku dni z typami pogody bardzo ciepłej jest 93 (najwięcej w porównaniu z innymi regionami klimatycznymi Polski), dni z typami pogody umiarkowanie ciepłej – 132,4, a z typami pogody chłodnej – 36,4. Występuje tu 46,5 dnia z typami pogody umiarkowanie zimnej oraz 26,1 dnia z typami pogody bardzo zimnej. Liczba dni z typami pogody mroźnej wynosi 31. W Regionie Górnośląskim przeciętnie w ciągu roku dni z typami pogody bardzo ciepłej jest 89,7, z typami pogody umiarkowanie ciepłej – 130,6, a z typami pogody chłodnej – 31,9. W regionie tym występuje 47,7 dnia z typami pogody umiarkowanie zimnej oraz 30,5 dnia z typami pogody bardzo zimnej. Liczba dni z typami pogody mroźnej w tym regionie klimatycznym wynosi 35 (Woś, 2010).

2.4. Wody powierzchniowe

Obszar GZW leży na terenie dorzeczy Wisły i Odry. Dział wodny I rzędu w polskiej części GZW przebiega przez jego centralną część – od Tarnowskich Gór na północy przez Bytom, Świętochłowice, Rudę Śląską, Katowice, Mikołów, Łazi-

ska Górne, Orzesze, Suszec, Żory, Jastrzębie Zdrój, Pawłowice, Strumień, Hażlach, Cieszyn po Golezów na południu. Czeska część GZW położona jest w całości w dorzeczu Odry (ryc. 6.).

Największym dopływem Odry jest Opava, uchodząca tuż przy zachodniej granicy GZW na terenie Czech. Powierzchnia dorzecza górnej Odry zamknięta przekrojem wodowskazowym Koźle wynosi 9 173,6 km². Największym dopływem Wisły jest Przemsza. Do ujścia Przemszy Wisła nazywana jest Małą Wisłą. Powierzchnia dorzecza Wisły w przekroju Pustynia wynosi 3 912 km². Sieć rzeczną dorzecza Odry na terenie GZW stanowią następujące większe dopływy prawobrzeżne: Lubina, Ondřejnice, Ostravice, Olza, Ruda, Bierawka, Kłodnica, i lewobrzeżne: Porubka, Opava. Sieć rzeczną dorzecza Wisły na terenie GZW stanowią następujące większe dopływy lewobrzeżne: Pszczynka, Korzenica, Gostynia, Przemsza, i prawobrzeżne: Knajka, Iłownica, Biała, Soła, Skawa.

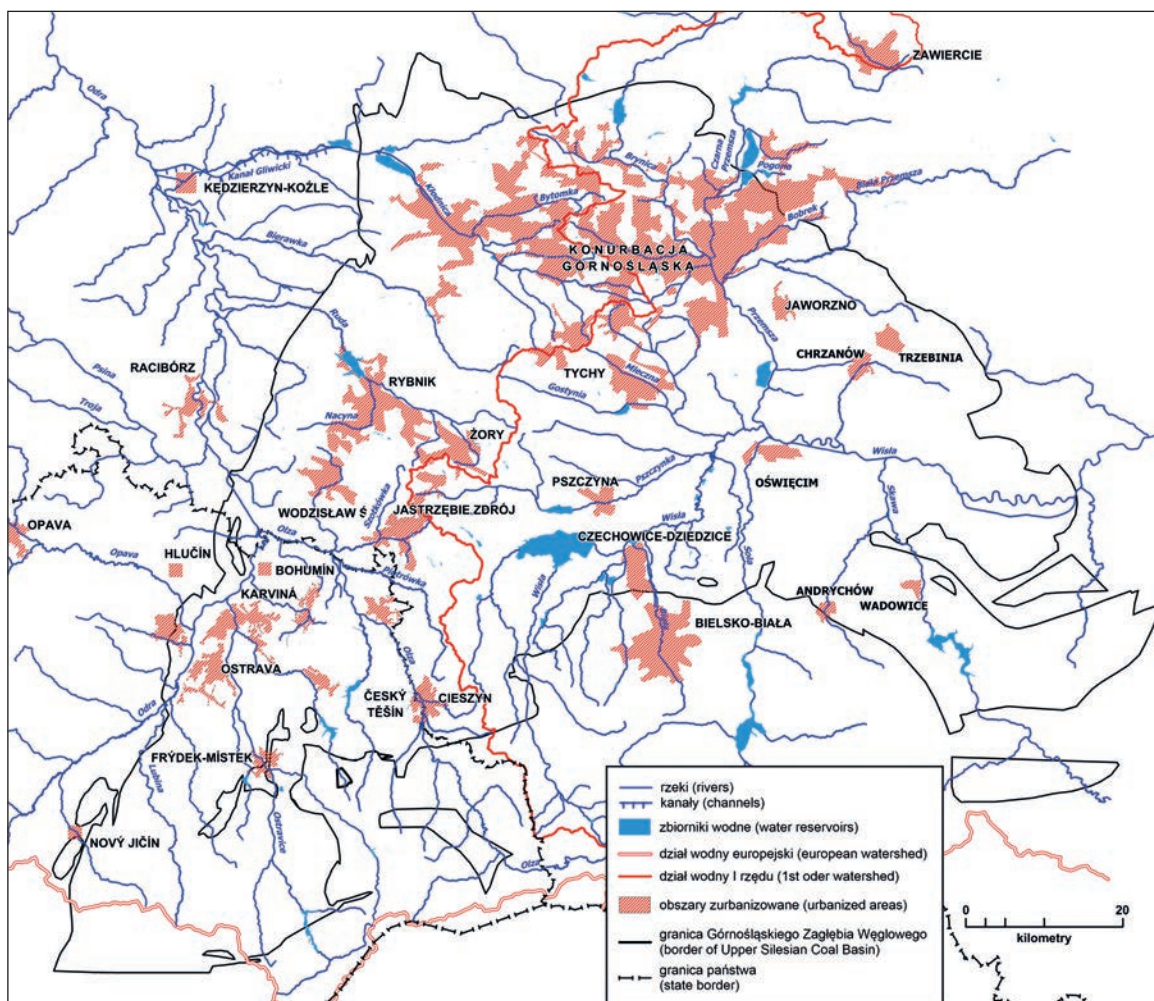
Charakterystyczne dla tego terenu jest występowanie zbiorników wodnych pochodzenia antropogenicznego (tabela 1.). Pod względem genetycznym można wydzielić zbiorniki występujące w: nieckach osiadania, wyrobiskach po płytkiej eksploatacji węgla, wyrobiskach popiaskowych i poźwirowych, wyrobiskach po utworach ilastych, wyrobiskach po skałach litych, sztucznych formach określonego przeznaczenia, takich jak specjalnie wykopane doły, zbiorniki betonowe, tereny obwałowane, zbiorniki retencyjne, przemysłowe (JANKOWSKI, 1986). Zbiorniki powstałe w nieckach osiadania i zapadliskach są niezwykle dynamicznym elementem środowiska (RZĘTAŁA, 2008).

Poeksploatacyjne zbiorniki zajmują zagłębienia, które powstały w rezultacie odkrywkowego wyeksploatowania surowców mineralnych. Powierzchnia tych zbiorników liczy od kilkudziesięciu metrów kwadratowych do kilku kilometrów kwadratowych. Zbiorniki zaporowe są stosunkowo nieliczne. Powstały w miejscach, w których morfologia doliny sprzyjała wzniesieniu budowli piętrzącej. Są one zlokalizowane w dolinach rzecznych o różnej głębokości wcięcia. Rozległe i płaskodenne dno doliny rzeki Wisły przepływającej przez Kotlinę Oświęcimską zajmuje Zbiornik Go-

cząłkowicki. Nieco węższą dolinę Rudy, wypreparowaną w czwartorzędowych utworach Płaskowyżu Rybnickiego, wypełniają wody Zbiornika Rybnickiego. Przy budowie zbiornika „Kozłowa Góra” wykorzystano naturalny charakter górnej części zagłębienia Kotliny Józefki. Zbiorniki te pełnią różne funkcje, przede wszystkim zapewniają wodę pitną i przemysłową oraz gwarantują minimalne przepływy, ochronę przed powodzią, ochronę przed zanieczyszczeniem wód i stwarzają warunki do wypoczynku. Jeziora naturalne występują sporadycznie – są to nieliczne starorzecza w Kotlinie Oświęcimskiej. Często ulegają one przekształceniu podczas prac regulacyjnych

(RZĘTAŁA, 2008). System gospodarowania wodą na terenie GZW podporządkowany jest funkcji gospodarczej i komunalnej.

Największym średnim przepływem charakteryzuje się Odra w Miedoni. W wieloleciu 1961–2013 wynosił on $66,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Średni przepływ Wisły w przekroju Pustynia w latach 1971–2013 kształtował się na poziomie $49,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Średni odpływ jednostkowy w zlewni Odry w przekroju Miedonia miał wartość $9,89 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, a $12,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ w zlewni Wisły w przekroju Pustynia. Średni przepływ Przemszy (największego dopływu Wisły na terenie GZW) w wieloleciu 1961–2013 wynosił $19,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (przekrój Jeleń),



Ryc. 6. Położenie Górnosląskiego Zagłębia Węglowego na tle zlewni Małej Wisły i górnej Odry zamkniętej przekrojem w Kozłu

Źródło: Opracowanie własne.

a średni odpływ jednostkowy – $9,62 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Największym dopływem Odry na terenie polskiej części GZW jest Kłodnica. Średni przepływ Kłodnicy w okresie 1961–2013 w przekroju Lenartowice osiągał wartość $6,62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a w przekroju Gliwice – $6,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Niewielki przyrost przepływów w Lenartowicach wynika z faktu, że część wód Kłodnicy kierowana jest do Kanału Gliwickiego. Wpływ Kanału Gliwickiego uwidacznia się również w wartościach średniego odpływu jednostkowego, który wynosił $6,28 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, a w zlewni Kłodnicy po Gliwice – $13,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. W czeskiej części GZW największym dopływem Odry jest Opava. Jej zlewnia ma powierzchnię $2088,8 \text{ km}^2$. Średni przepływ przy ujściu do Odry wynosi $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. W tym samym miejscu dorzecze Odry obejmuje $1616,3 \text{ km}^2$, a średni przepływ wynosi $12,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Kříž, 1997).

Funkcjonujące w zlewni Przemyszy zbiorniki zaporowe „Przeczycze” i „Kozłowa Góra”

wpływają istotnie na zmniejszenie odpływu jednostkowego. W przekroju Przeczycze (zlewnia Czarnej Przemyszy) średni odpływ jednostkowy wynosi $4,80 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, a w przekroju Namiaraki (zlewnia Brynicy) średni odpływ jednostkowy osiąga najniższą wartość – $3,22 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Dla porównania w najbardziej przekształconych zlewniach: Gostyni, Mlecznej, Bobrka średni odpływ jednostkowy zawiera się w przedziale $10\text{--}11,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

Najniższe przepływy (NNQ) w wieloleciu 1961–2013 w analizowanych zlewniach wystąpiły w latach: 1962–1964, 1966 (10 zlewni), 1984 (jedna zlewnia), 1992–1994 (7 zlewni), 1996 (1 zlewnia), 1999 (jedna zlewnia), 2007–2008 (dwie zlewnie), 2012 (4 zlewnie). W wieloleciu 1961–2013 w większości zlewni najwyższe przepływy WWQ wystąpiły w roku 2010. Absolutne maksimum zanotowano wówczas w 15 zlewniach (tabela 2.).

Tabela 1. Zestawienie zbiorników zaporowych na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

Zbiornik	Rzeka	Rok budowy	Pojemność w mln ³		Wysokość zaporowy w m	Typ zbiornika
			całkowita	powodziowa		
Zbiorniki na terenie GZW – dorzecze Odry						
Żermanice	Lučina	1958	25,2	5,0	30,0	zaporowy
Šance	Ostravice	1969	63,9	9,7	63,5	zaporowy
Těrlicko	Stonávka	1962	27,2	2,8	25,05	zaporowy
Morávka	Morávka	1966	11,3	5,4	39,0	zaporowy
Olešná	Olešná	1964	4,2	0,8	14,6	zaporowy
Baška	Baštice	1961	1,1	0,1	7,86	zaporowy
Rybnik	Ruda	1971	23,8	0,6	12	zaporowy
Dzierżno Duże	dolina Kłodnicy	1964	94,0	7,0	–	poeksploatacyjny
Dzierżno Małe	dolina Kłodnicy	1938	12,6	2,8	–	poeksploatacyjny
Buków	dolina Odry	2002	53,0	15,0	–	poeksploatacyjny
Zbiorniki na terenie GZW – dorzecze Wisły						
Goczałkowice	Wisła	1956	165,6	72,4	14	zaporowy
Łąka	Pszczynka	1986	11,2	3,14	6	zaporowy
Paprocany	Gostynia	1870	1,65	2,45	4,5	zaporowy
Dzieńkowice	dolina Przemyszy	1976	52,5	–	–	poeksploatacyjny
Pogoria III	dolina Pogorii	1974	12,0	–	–	poeksploatacyjny
Kozłowa Góra	Brynica	1930	15,3	2,8	6	zaporowy
Sosina	dolina Koziego Brodu	1977	1,0	72,4	–	poeksploatacyjny

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela. 2. Przekroje wodowskazowe oraz wybrane charakterystyki przepływów w okresie 1961–2005

Lp.	Rzeka	Przekrój wodowskazowy	Powierzchnia zlewni A w km ²	SSQ w m ³ ·s ⁻¹	SSq w dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²	SNQ w m ³ ·s ⁻¹	SNq w dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²	SWQ w m ³ ·s ⁻¹	SWq w dm ³ ·s ⁻¹ ·km ⁻²	NNQ w m ³ ·s ⁻¹ (rok)	WWQ w m ³ ·s ⁻¹ (rok)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dorzecze Odry											
1.	Odra	Chałupki	4666,2	43,9	9,41	18,7	4,01	442	94,7	4,76 (1992)	2160 (1997)
2.	Odra	Krzyżanowice	5874,8	58,7	9,99	27,1	4,61	556	94,6	8,1 (1963)	2880 (1997)
3.	Odra	Miedonia	6744,0	66,6	9,89	31,0	4,60	602,6	89,4	9,35 (1992)	3120 (1997)
4.	Piotrówka	Zebrzydowice ¹	114,6	1,14	9,95	0,45	3,92	22,5	196	0,08 (1992)	73,2 (2010)
5.	Szotkówka	Gołkowice ²	101,3	1,33	13,1	0,84	8,29	17,53	173	0,32 (2012)	44,8 (1997)
6.	Ruda	Ruda Kozielska	381,9	3,10	8,12	1,84	4,82	17,96	47	0,48 (1996)	82,6 (2010)
7.	Nacyna	Rybnik ³	63,6	0,79	12,4	0,52	8,18	5,94	93,4	0,21 (2012)	26,0 (1997)
8.	Bierawka	Tworóg Mały ⁴	219,8	1,85	8,42	1,02	4,64	15,5	70,3	0,45 (1992, 2008)	81,2 (1997)
9.	Kłodnica	Kłodnica	72,9	0,92	12,6	0,42	5,76	15,6	214	0,14 (1962)	68,3 (2010)
10.	Kłodnica	Gliwice	444,0	6,05	13,6	4,24	9,55	32,4	73,0	1,50 (1963)	105 (2010)
11.	Kłodnica	Lenartowice	1054,6	6,62	6,28	3,86	3,66	25,8	24,5	0,46 (1994)	59,3 (1962)
12.	Bytomka	Gliwice	136,5	2,45	18,0	1,96	14,4	9,20	67,4	0,72 (1999)	28,3 (2012)
Dorzecze Wisły											
1.	Wisła	Skoczów	296,7	6,21	20,9	1,73	5,83	125	421	0,08 (1994)	432 (2010)
2.	Wisła	Jawiszowice	970,6	12,72	13,1	2,50	2,58	157	162	1,55 (1993)	792 (2010)
3.	Wisła	Nowy Bieruń ⁵	1747,7	21,4	12,2	9,62	5,50	180	103	3,0 (1962)	846 (2010)
4.	Wisła	Pustynia ⁶	3912,0	49,3	12,6	26,5	6,77	198	51	5,60 (2006)	913 (2010)
5.	Biała	Czechowice Bestwina ⁷	118,3	3,14	26,5	2,45	20,7	78,2	661	0,29 (1963)	291 (1966)
6.	Pszczynka	Pszczyna	184,9	1,44	7,80	0,48	2,60	14,4	77,9	0,03 (1984)	50,0 (2010)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7.	Gostynia	Bojszowy ⁷	331,0	3,39	10,2	1,71	5,16	22,2	67,1	0,75 (1963)	89,8 (2010)
8.	Mleczna	Bieruń Stary ⁸	121,7	1,34	11,0	0,64	5,26	10,4	85,5	0,33 (1966)	43,6 (1997)
9.	Czarna Przemsa	Przeczyce	298,6	1,43	4,80	1,15	3,85	11,3	37,8	0,22 (1992)	38,9 (1997)
10.	Czarna Przemsa	Radocha	520,5	4,32	8,30	3,27	6,28	17,4	33,2	0,73 (2012)	90,2 (1982)
11.	Pogoria	Dąbrowa Górnicza ⁹	37,3	1,10	29,5	0,79	21,2	3,00	80,4	0,19 (2007)	15,7 (2012)
12.	Brynica	Namiarki ¹⁰	217,1	0,70	3,22	0,18	0,08	4,89	22,5	0,04 (1964)	20,7 (2010)
13.	Brynica	Czeladź ¹¹	364,5	2,13	5,84	1,01	2,77	7,98	21,9	0,17 (1966)	29,4 (2010)
14.	Brynica	Szabelnia	482,7	5,34	11,1	3,99	8,26	24,89	51,6	1,68 (2012)	63,0 (2010)
15.	Biała Przemsa	Niwka	876,1	7,539	8,59	6,52	7,44	18,6	21,2	3,54 (2012)	60,9 (2010)
16.	Bobrek	Niwka ¹²	118,9	1,19	10,0	0,94	7,91	4,80	40,4	0,15 (1964)	27,6 (1997)
17.	Przemsa	Jeleń ¹³	1995,9	19,2	9,62	15,9	7,97	51,4	25,8	10,2 (1963)	130 (2010)

O b j a ś n i e n i a:

Piotrówka – Zebrzydowice¹ 1962–1980, 1982–2012, 2013

Szotkówka – Gołkowice² 1963–2013

Nacyna – Rybnik³ 1979–1983, 1986–212

Bierawka – Tworóg Mały⁴ 1969–2013

Wiśła Nowy Bieruń⁵ SNQ 1962–2013

Wiśła – Pustynia⁶ 1971–2013

Gostynia – Bojszowy⁷ WQ 1961–1970, 1974–1985, 1990–2013

Mleczna – Bieruń Stary⁸ 1961–1963, 1965–2013

Pogoria – Dąbrowa Górnicza⁹ WQ 1973–1996, 1998–2013

Brynica – Namiarki¹⁰ WQ 1961–1986, 1990–2013

Brynica – Czeladź¹¹ 1961–1989, 1991–2013

Bobrek – Niwka¹² WQ 1973–1985, 1990–2013

Przemsa – Jeleń¹³ WQ 1961–1970, 1975–1987, 1990–2013

Ź r ó d ł o: Obliczenia własne na podstawie danych IMGW-PIB.

W roku 1997 maksymalne wartości wystąpiły w 9 zlewniach. Pojedyncze maksymalne przepływy odnotowano jeszcze w latach: 1962, 1966, 1982 i 2012.

W rzekach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego przeważa odpływ półroczny zimowego, który stanowi 51–54% odpływu całkowitego. Okresem podwyższonych przepływów jest marzec,

kiedy średni miesięczny przepływ osiąga przeszło 120% wartości średniego rocznego przepływu. Drugorzędne wezbranie przypada na czerwiec–lipiec. Minimum przepływu notowane jest we wrześniu, kiedy średni miesięczny przepływ może spadać do 81–95% wartości średniego rocznego przepływu.

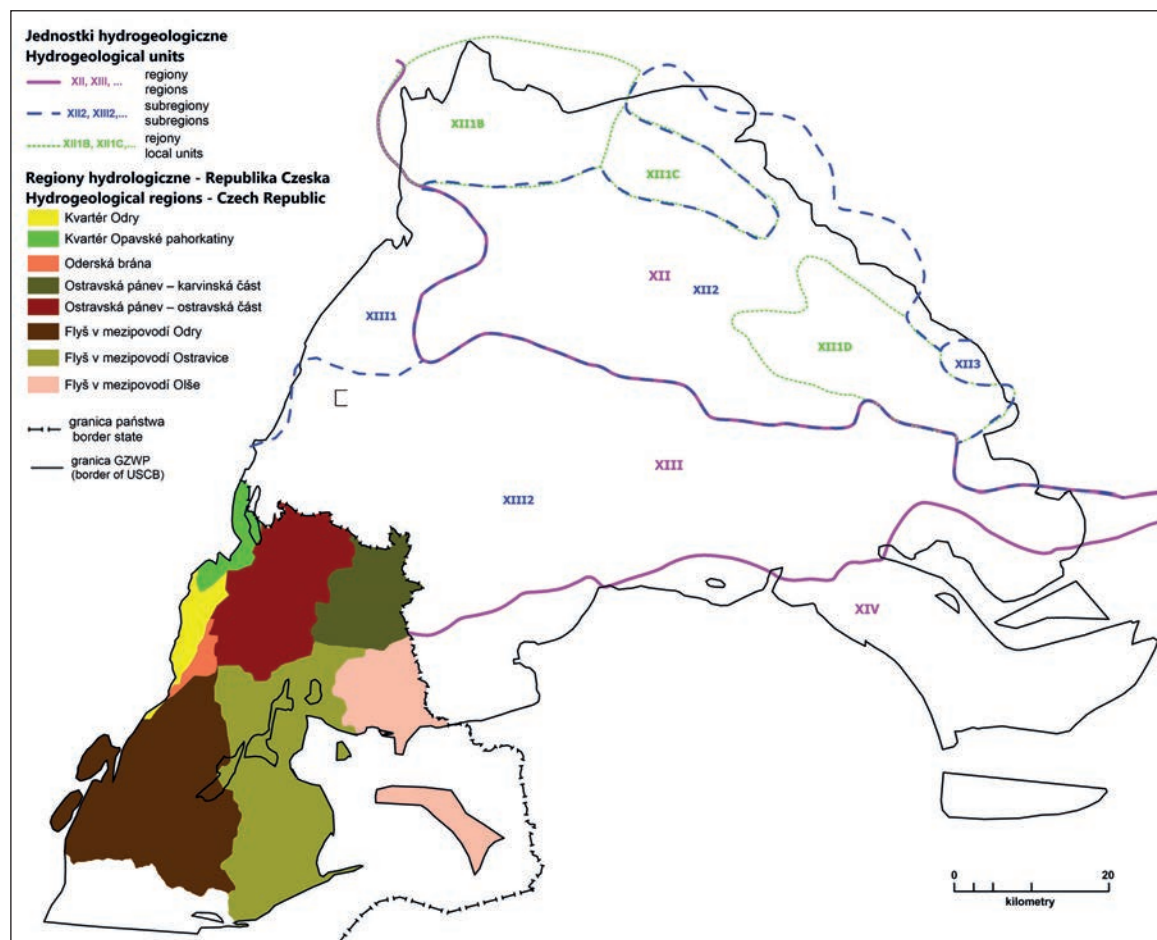
2.5. Warunki hydrogeologiczne

W obrębie zapadliska górnośląskiego uformowany jest basen sedimentacyjny o powierzchni 7 500 km² i miąższości osadów dochodzących do 11 km, którego granice określa zasięg utworów karbonu produktywnego. Stanowi on wielopoziomą hydrostrukturę, w której występują utwory wodonośne od kambru do czwartorzędu. W jej profilu zaznaczają się wyraźnie piętność i strefowość (RÓŻKOWSKI, 2003).

Górnośląskie Zagłębie Węglowe zgodnie z regionalnym podziałem zwykłych wód podziemnych Polski (PACZYŃSKI, 1995) leży w zasięgu regio-

nów: śląsko-krakowskiego (XII), przedkarpackiego (XIII) i karpackiego (XIV). W regionie śląsko-krakowskim wody występują w utworach triasu (subregion XIII1), karbonu i czwartorzędu (subregion XIII2) oraz jury (subregion XIII3). W regionie przedkarpackim (XIII) głównymi zbiornikami wód zwykłych są utwory czwartorzędowe, natomiast w regionie karpackim (XIV) – neogeńsko-paleogeńsko-kredowe utwory fliszu (ryc. 7.). W obrębie regionu śląsko-krakowskiego na terenie GZW zlokalizowane są rejony hydrogeologiczne: gliwicki (XIII1B), bytomski (XIII1C), chrzanowski (XIII1D), związane z utworami wodonośnymi triasu.

W ujęciu A. RÓŻKOWSKIEGO (1991) jednostka hydrogeologiczna basenu górnośląskiego ma ran-



Ryc. 7. Regionalizacja hydrogeologiczna obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

Źródło: Opracowanie własne na podstawie podziału regionalnego zwykłych wód podziemnych Polski (Paczyński, 1995) oraz Hydrogeologické poměry Oblast povodí Odry.

gę regionu lokalnego, nazwanego regionem górnośląskim. W jego zasięgu wyróżniono dwa regiony hydrogeologiczne (RÓŻKOWSKI, 1991, 2003): subregion północno-wschodni (I) i południowo-zachodni (II). Różnią się one budową geologiczną i warunkami hydrogeologicznymi.

Dla regionu górnośląskiego charakterystyczna jest piętrowość wód podziemnych, zaznaczająca się obecnością różnowiekowych pięter wodonośnych z występującymi w ich profilu poziomami lub kompleksami wodonośnymi. Piętra wodonośne poprzedzielane są izolującymi jednostkami hydrostratygraficznymi, słabo lub praktycznie nieprzepuszczalnymi, o randze kompleksów lub poziomów (RÓŻKOWSKI, 1991, 1996, 2003).

Utwory czwartorzędu charakteryzują się zróżnicowanymi warunkami hydrogeologicznymi, uzależnionymi od miąższości i wykształcenia litologicznego osadów. Wodonośne są piaszczyste osady rzeczne, rzecznołodowcowe oraz piaski międzymorenowe. Największą wodonośność wykazują utwory czwartorzędowe w dolinach współczesnych i kopalnych rzek: Wisły, Przemszy, Brynicy, Rudy, Bierawki i Kłodnicy (RÓŻKOWSKI, 1991, 2003)

W profilu piętra wodonośnego czwartorzędu występują 1–3 poziomy wodonośne (RÓŻKOWSKI, 2003). Poziomy wodonośne czwartorzędu są ujmowane licznymi studniami użytkowymi. Wydajności uzyskiwane z pojedynczych studni wahają się od 4,9 do 200 m³·h⁻¹, przy depresjach od 0,3 m do 49,3 m (CHMURA, 1997).

Do zasilania czwartorzędowych poziomów wodonośnych dochodzi głównie przez opady atmosferyczne oraz lokalnie w strefach dolinnego drenażu, przez zasilanie ze starszych wiekowo poziomów wodonośnych. W obszarach intensywnego drenażu górniczego stwierdzono odcinkowe zasilanie czwartorzędowych poziomów wodonośnych przez rzeki: Czarną Przemszę, Białą Przemszę, Kozi Bród, Jaworznic, Sztołę (KROPKA, 1986). Regionalny przepływ wód odbywa się w kierunku zachodnim ku dolinie Odry oraz w kierunku północnym i południowo-wschodnim ku dolinie Wisły (RÓŻKOWSKI, 2003). Czwartorzędowe poziomy wodonośne mają bezpośredni kontakt z wodami powierzchniowymi. Podstawę drenażu tych poziomów stanowią głównie rzeki, lokalnie ujęcia wód podziemnych i wyrobiska górnicze.

Wyrobiska kopalni piasku „Szcakowa” odwadniają strukturę doliny kopalnej Białej Przemszy. Drenaż poziomów czwartorzędowych w subregionie północno-wschodnim następuje również na znacznej przestrzeni przez wyrobiska kopalni węgla kamiennego (RÓŻKOWSKI, 2003).

Utwory paleogenu i neogenu reprezentowane są przez kompleks ilasty i piaszczysty o miąższości od kilku do ponad tysiąca metrów w południowej części GZW (RÓŻKOWSKI, 1971, 2003). Kształtowanie się wodonośności utworów paleogenu i neogenu uzależnione jest przede wszystkim od ich przepuszczalności oraz warunków zasilania i drenażu. Najwyższą przepuszczalnością charakteryzują się występujące w rejonie Gliwic i Dzierżna pliocenские piaski i żwiry, wypełniające formy dolin kopalnych. Studnie ujmujące poziomy wodonośne wypełniające struktury lokalne cechuje wysoka wydajność sięgająca do 186 m³·h⁻¹ (RUDZIŃSKA-ZAPAŚNIK, 1997).

Morskie utwory miocenu są słabo zawodnione lub praktycznie bezwodne. Przyjmuje się, że jest to kompleks warstw izolujących (RÓŻKOWSKI, 1971). Zasilanie utworów neogeńskich następuje przez przepuszczalne warstwy wodonośne. W rowach tektonicznych może dojść do alimentacji paleogeńskich i neogeńskich warstw wodonośnych poprzez karbońskie poziomy wodonośne. Krążenie wód w utworach neogenu jest utrudnione wskutek niskiej przepuszczalności tych warstw i dzięki płytkiej podstawie drenażu, jaką stanowią doliny rzeczne (RÓŻKOWSKI, 2003). Występujące w spągu zapadliska przedkarpackiego zlepińce dębowieckie tworzą największy zbiornik wód podziemnych w profilu utworów paleogenu i neogenu. Zbiornik warstw dębowieckich jest nieodnawialny i zawiera wody pogrzebane. Ciśnienia piezometryczne kształtują się w granicach od 2,9 do 10,4 MPa. Wydajność poziomu mieści się w przedziale od 1,0 do 32 m³·h⁻¹ (RÓŻKOWSKI, 2003). Zbiornik warstw dębowieckich, ze względu na swe położenie w stropie utworów karbonu i parametry hydrogeologiczne, stanowi zagrożenie dla eksploatacji złóż węgla. Był on intensywnie drenowany przez kopalnię „Morcinek” przed jej likwidacją (SOLIK-HELIA SZ, 1992).

W południowej części GZW na utwory autochtonicznego miocenu nasunięte są z południa

utwory fliszu karpackiego wieku paleogeńsko-kredowego. Flisz reprezentowany jest przez kompleks naprzemianległych piaskowców i iłowców. Piaskowce w tych utworach, tworzące poziomy porowo-szczelinowe, charakteryzują się współczynnikami filtracji rzędu 10^{-7} – 10^{-5} $m^3 \cdot s^{-1}$. Zasilanie tego poziomu wodonośnego następuje przez opady atmosferyczne a drenaż – głównie przez liczne źródła (RÓŻKOWSKI, 2003).

Piętro wodonośne jury na terenie GZW – reprezentowane przez poziom wodonośny jury górnej oraz jury środkowej – jest obecne tylko lokalnie w zasięgu zbiornika triasu chrzanowskiego. Miąższość poziomu wodonośnego osiąga kilkadziesiąt metrów. Jest to poziom szczelinowo-krasowy (RÓŻKOWSKI, 2003).

Piętro wodonośne triasu występuje w zasięgu monokliny śląsko-krakowskiej w hydrostrukturach: Chrzanowa, Bytomia i Gliwic. W profilu hydrogeologicznym występują trzy poziomy wodonośne: wapienia muszlowego, retu, środkowego i dolnego pstrego piaskowca. Poziom pstrego piaskowca zbudowany został przez piaski i słabo związane piaskowce. Jest to poziom porowy o niestałym występowaniu i podrzędnym znaczeniu. Ulega on intensywnemu drenażowi przez wyrobiska kopalń węgla kamiennego. Główne poziomy wapienia muszlowego i retu składają się z dolomitów i wapieni. Są to poziomy szczelinowo-krasowe. Miąższość tego kompleksu mieści się w granicach 20–120 m. Triasowe jednostki hydrogeologiczne: Chorzów, Bytom i Gliwice są zbiornikami hydrogeologicznie półodkrytymi. Dolomityczno-wapienny ośrodek tych zbiorników jest niejednorodny, nieciągły i anizotropowy. Anizotropia górotworu ma związek z systemem spękań ciosowych i międzyławicowych oraz z systemem kawern (RÓŻKOWSKI, 2003).

Wieloletnia eksploatacja wód podziemnych ujęciami studziennymi i odwadnianie kopalń rud, surowców skalnych, a także węgla kamiennego doprowadziły na obszarze triasu śląsko-krakowskiego do zmian warunków hydrogeologicznych na wielką skalę. Skutkiem drenażu wód jest między innymi obniżenie pierwotnego położenia zwierciadła wody w kompleksie triasowym nawet o 100–260 m w obszarach górniczych (KOWALCZYK, 2003).

Utwory permu, występujące tylko we wschodniej części GZW, wykształcone są jako zlepieńce, podrzędnie – jako piaskowce i iłowce. Są to skały słabo przepuszczalne, praktycznie bezwodne (RÓŻKOWSKI, 2003).

Górnokarbońskie piętro wodonośne tworzą naprzemianległe warstwy iłowców, mułowców, piaskowców, zlepieńców i pokładów węgla. W profilu hydrogeologicznym górnego karbonu występują zespoły oddzielnych poziomów szczelinowo-porowych, zbudowanych z piaskowców i zlepieńców. Poziomy te, o miąższości od kilku do kilkudziesięciu metrów, są od siebie odizolowane wkładkami nieprzepuszczalnych iłowców. W obszarach sedymentacyjnych, wyklinoowań warstw izolujących, w strefach uskokowych oraz w zasięgu eksploatacji górniczej obserwuje się łączność hydrauliczną między poszczególnymi poziomami (WILK, 1960; RÓŻKOWSKI, WILK, 1982; RÓŻKOWSKI, 2003). Uwzględniając procentowy udział piaskowców oraz ich własności hydrogeologiczne, wyróżnia się kompleksy wodonośne krakowskiej serii piaskowcowej (KSP) i górnośląskiej serii piaskowcowej (GSP), charakteryzujące się większą przepuszczalnością i wodonośnością, oraz kompleksy serii mułowcowej (SM) i serii paralicznej (SP), cechujące się niższymi wartościami parametrów hydrogeologicznych (RÓŻKOWSKI, 1965, 2001; RÓŻKOWSKI, WILK, 1982).

W warunkach środowiska naturalnego utwory karbonu były drenowane przez współczesne i kopalne doliny rzeczne w hydrogeologicznie odkrytej części GZW. Obecnie podstawę drenażu tworzą głównie wyrobiska kopalń węgla kamiennego, odwadniające górotwór karboński, częściowo zaś utwory triasu i czwartorzędu (RÓŻKOWSKI, 2003).

Kompleks wodonośny serii paralicznej występuje na całym obszarze GZW. Jego zasięg pokrywa się z występowaniem węglonośnych utworów karbonu. Udział wodonośnych piaskowców w profilu hydrogeologicznym wynosi około 47%, miąższość poziomów wodonośnych zawiera się w przedziale od 0,1 m do 29,6 m.

Kompleks wodonośny serii mułowcowej (SM) rozdziela serie piaskowcowe KSP i GSP. Udział piaskowców wodonośnych stanowi 28% profilu serii. Poziomy wodonośne charakteryzu-

ją się miąższością od 0,1 m do 13,7 m (przeciętnie 2,4 m).

Kompleks wodonośny górnośląskiej serii piaskowcowej (GSP) zajmuje powierzchnię 2 800 km². Wodonośne piaskowce i zlepieńce stanowią 63% profilu serii. Miąższość warstw wodonośnych jest zróżnicowana w przedziale od 0,2 m do 44,5 m. Kompleks górnośląskiej serii piaskowcowej charakteryzuje się wysoką przepuszczalnością i wodonośnością w północno-wschodnim (I) subregionie w zasięgu wychodnim.

Kompleks wodonośny krakowskiej serii piaskowcowej (KSP) zajmuje powierzchnię 1 500 km². W profilu hydrogeologicznym krakowskiej serii piaskowcowej dominują (65–90%) wodonośne gruboławicowe piaskowce i żwirowce (Róźkowski, 2003, 2004).

2.6. Użytkowanie terenu

W analizach przestrzennych pokrycia terenu zlewni górnej Odry i Wisły wykorzystano dane z baz Corine Land Cover (CLC) – CLC 2000 i CLC 2006. Analizom przestrzennym poddano cały obszar zlewni górnej Odry i Małej Wisły. Zlewnię górnej Odry zamyka przekrój w Koźlu poniżej ujścia Kłodnicy, a zlewnię Małej Wisły – przekrój Pustynia.

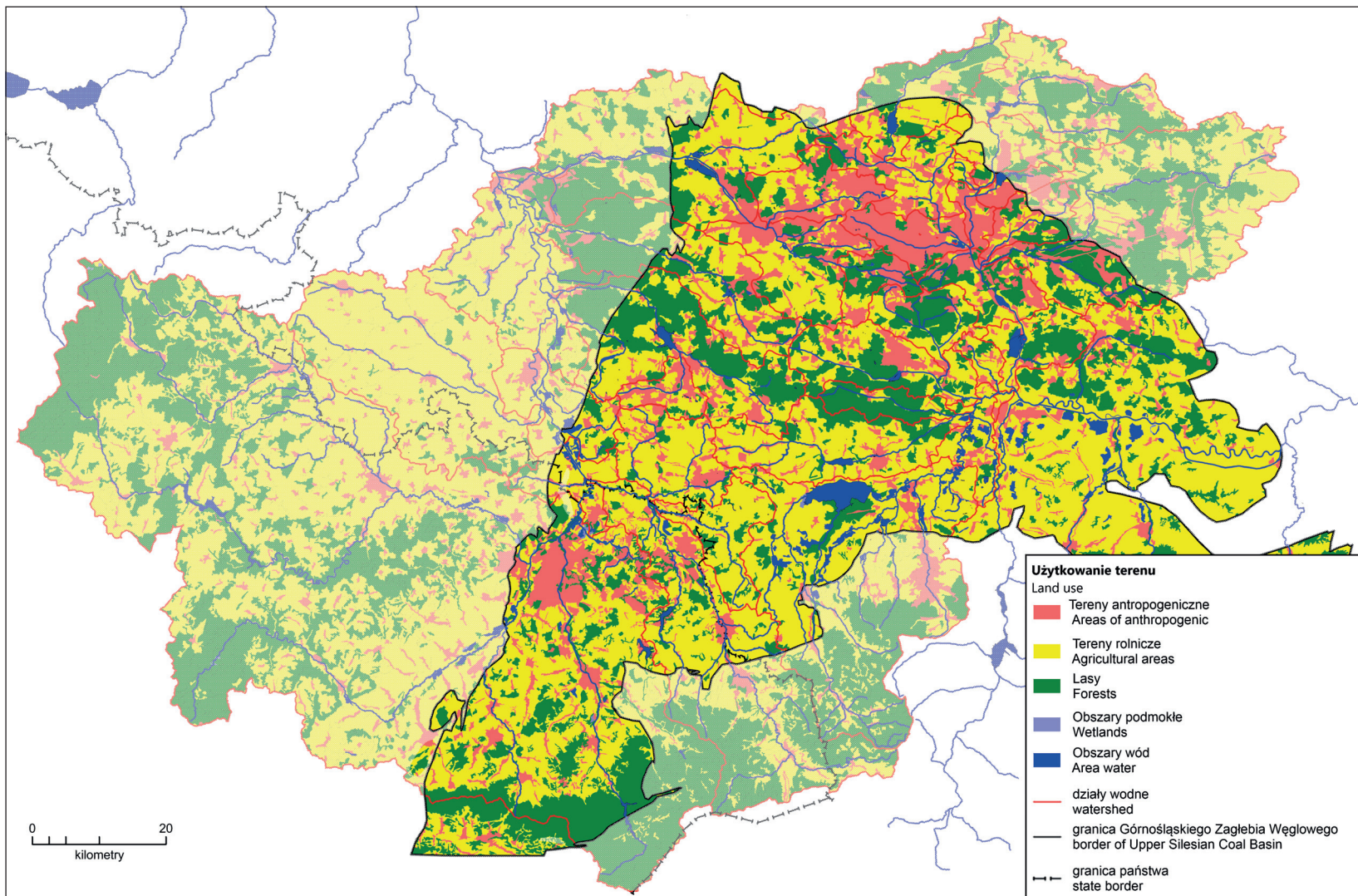
Powierzchnia zlewni górnej Odry i Małej Wisły jest zróżnicowana pod względem użytkowania terenu. Obszar ten można podzielić na część silnie zurbanizowaną o wysokim stopniu zagęszczenia ludności, obejmującą: Konurbację Górnośląską, Aglomerację Rybnicką, Ostrawsko-Karwiński Okręg Przemysłowy. Tereny o charakterze rolniczym dominują w północnych częściach zlewni Czarnej i Białej Przemszy, Kłodnicy, Opawy oraz w południowej części zlewni Odry i Wisły. Zlewniami wybitnie rolniczymi są lewostronne dopływy Odry: Psina, Dzielniczka, Cisek. Tereny zalesione występują w górnych częściach zlewni

Opawy, Odry, Wisły, Białej i Czarnej Przemszy, Brynicy, w dolnych częściach zlewni Rudy, Bierawki, Kłodnicy (ryc. 8.).

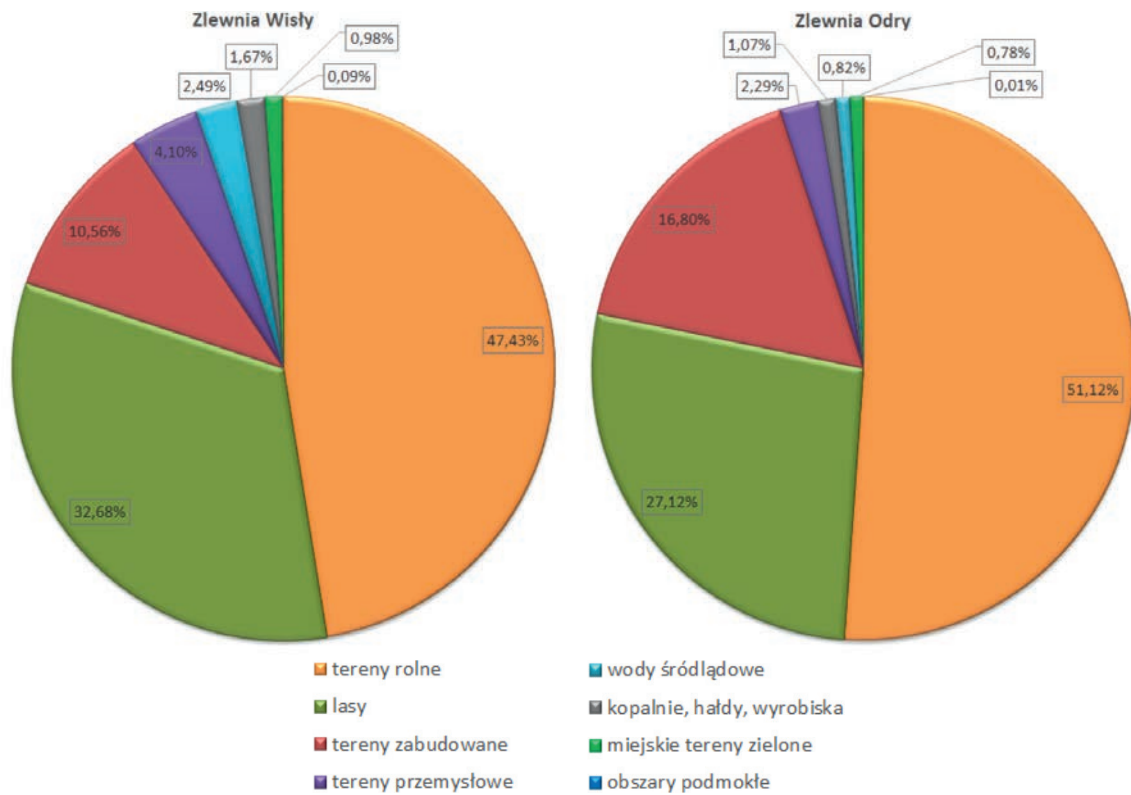
Tereny antropogeniczne w zlewni górnej Wisły zajmują powierzchnię 869 km², co stanowi 18% obszaru tej zlewni. W zlewni górnej Odry tereny te obejmują powierzchnię 1 022,9 km², czyli 21% obszaru tej zlewni (ryc. 9.). Największym udziałem tego wydzielenia (tereny antropogeniczne) jest zabudowa miejska, której powierzchnia wynosi 558 km² (11%) w zlewni Wisły i 820,8 km² (17%) w zlewni Odry. W zlewni Brynicy w przekroju Szabelnia udział terenów antropogenicznych wynosi 82%, w zlewni Pogorii – 58%. Najwyższym udziałem terenów antropogenicznych w zlewni Odry charakteryzują się zlewnie Bytomki – 44%, i Nacyny – 42%.

W użytkowaniu terenu zlewni Wisły i Odry dominują tereny rolne. Ich powierzchnia w zlewni Wisły wynosi 2 747 km², co stanowi 48% obszaru zlewni. W zlewni Odry tereny rolne zajmują powierzchnię 2 497 km², czyli 51% powierzchni zlewni. Największym udziałem terenów rolnych w zlewni Wisły charakteryzują się zlewnie: Wisła – Pustynia – 78%, Wisła – Bieruń Nowy – 69%, oraz Pszczyńka – 68%. Na obszarze zlewni Odry największy udział terenów rolnych występuje w zlewniach: Psiny – 91%, Piotrówki – 80%, Szotkówki – 70%, oraz Odry w przekroju Koźle – 75%.

Tereny lasów i ekosystemów naturalnych zajmują powierzchnię 1 846 km² (32%) w zlewni Wisły i 1 324,9 km² (27%) w zlewni Odry. Największy udział lasów w pokryciu terenu występuje w zlewniach: Korzenicy – 80%, oraz Rudy – 51%. Ostatnim wydzieleniem CLC 2006, zajmującym powierzchnię zlewni powyżej 1% na terenie obu zlewni, są obszary wodne. Stanowią one 2% powierzchni zlewni Wisły i 1% zlewni Odry. Na obszarach zlewni Odry i Wisły oprócz wymienionych form użytkowania terenu występują jeszcze obszary podmokłe – ich udział jest stosunkowo niewielki, nie przekracza bowiem 1% powierzchni obu zlewni.



Ryc. 8. Użytkowanie terenu w zlewniach Odry i Wisły (opracowanie własne na podstawie CORINE Land Cover 2000 i 2006)



Ryc. 9. Udział procentowy użytkowania terenu w analizowanych zlewniach Odry i Wisły

3. Hydrologiczne skutki działalności górnictwa

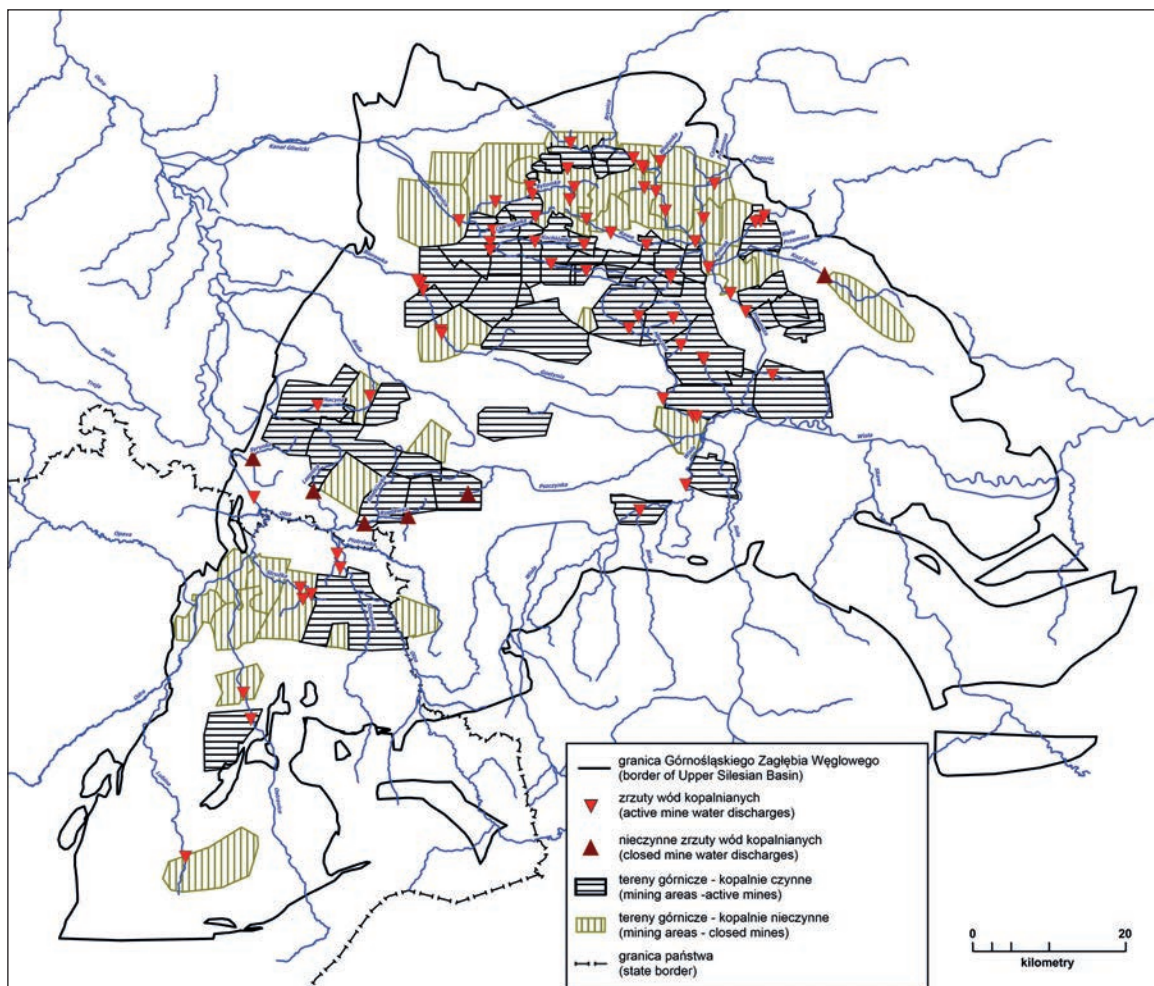
3.1. Wydobycie węgla kamiennego a objętość odprowadzanych wód kopalnianych

Działalność górnicza jest ważnym czynnikiem modyfikującym reżim wód powierzchniowych i podziemnych na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wody pochodzące z odwodnień głębokich horyzontów wydobywczych (tzw. wody dołowe lub kopalniane) w warunkach naturalnych nie biorą udziału w lokalnym obiegu wody. Są to wody apotamiczne, szczególnie gdy odwodnienia dokonuje się w rejonie z istniejącą warstwą izolacyjną, rozdzielającą wody podziemne płytkie (potamiczne) od głębokich poziomów wodonośnych (apotamicznych). Wody dołowe stanowią więc źródło zasilania rzek typu antropogenicznego, dość systematyczne, zmieniające się w niewielkim zakresie z roku na rok (JANKOWSKI, 1986).

Wydobycie węgla na terenie GZW trwa nieprzerwanie, choć z różnym natężeniem, od połowy XVIII wieku. Rozwój techniki, a przede wszystkim zastosowanie pomp parowych umożliwiły w XVIII wieku początkowo płytką, a potem coraz głębszą eksploatację pokładów poniżej zwierciadła wody podziemnej. Wywoływało to w miarę upływu czasu coraz intensywniejsze zmiany naturalnego reżimu wód podziemnych, a także wpływ tej działalności na wody powierzchniowe (WILK i in., 1990). Pierwszymi kopalniami na terenie GZW były: „Murcki” – uruchomiona

w 1774 roku, „Reden” – działająca od 1785 roku, i „Siemianowice” – prowadząca wydobywanie od 1788 roku. Początkowo eksploatowano pokłady węgla wyłącznie w rejonie wychodni systemem odkrywkowym i systemem podziemnym. W miarę rozwoju techniki górnictwa i wyczerpania płytko zalegających pokładów węgla eksploatacja odbywała się systemem podziemnym w strefie zawodnionego górotworu (KACZKOWSKA, RÓŻKOWSKI, 2004). Szacuje się, że na przełomie XIX i XX wieku na obszarze dzisiejszej konurbacji katowickiej odprowadzano do powierzchniowej sieci hydrograficznej około $3,5\text{--}4,0\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ wód pochodzących z kopalń węgla kamiennego. W okresie międzywojennym ilość tych wód wzrosła do $5,5\text{--}6,0\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ (CZAJA, 1999).

W procesie wydobywania węgla kamiennego konieczne jest stałe odwadnianie wyrobisk górniczych. Wydobywaniu kopalni towarzyszy napływ wód podziemnych do wyrobisk górniczych. Wody te uznaje się za specyficzny rodzaj wód odpadowych, ponieważ nie są wynikiem tradycyjnie rozumianych procesów technologicznych. Liczba kopalń węgla kamiennego na obszarze GZW wzrastała z upływem czasu i osiągnęła liczbę 90 na terenie Polski i Czech. Według stanu na 31 grudnia 2011 roku na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego znajdowało się 145 rozpoznanych i udokumentowanych złóż węgla kamiennego, w tym 49 złóż eksploatowanych przez 27 kopalń (łącznie 55 zakładów górniczych) i 42 złoża będące w stanie zaniechanej eksploatacji (ryc. 10.). Pozostałe 54 złoża są niezagospodarowane. Tereny górnicze eksploatowanych kopalń zajmują łącznie po-



Ryc. 10. Lokalizacja zrzutów wód kopalnianych oraz terenów górniczych czynnych i nieczynnych kopalń na terenie GZW

Źródło: Opracowanie własne.

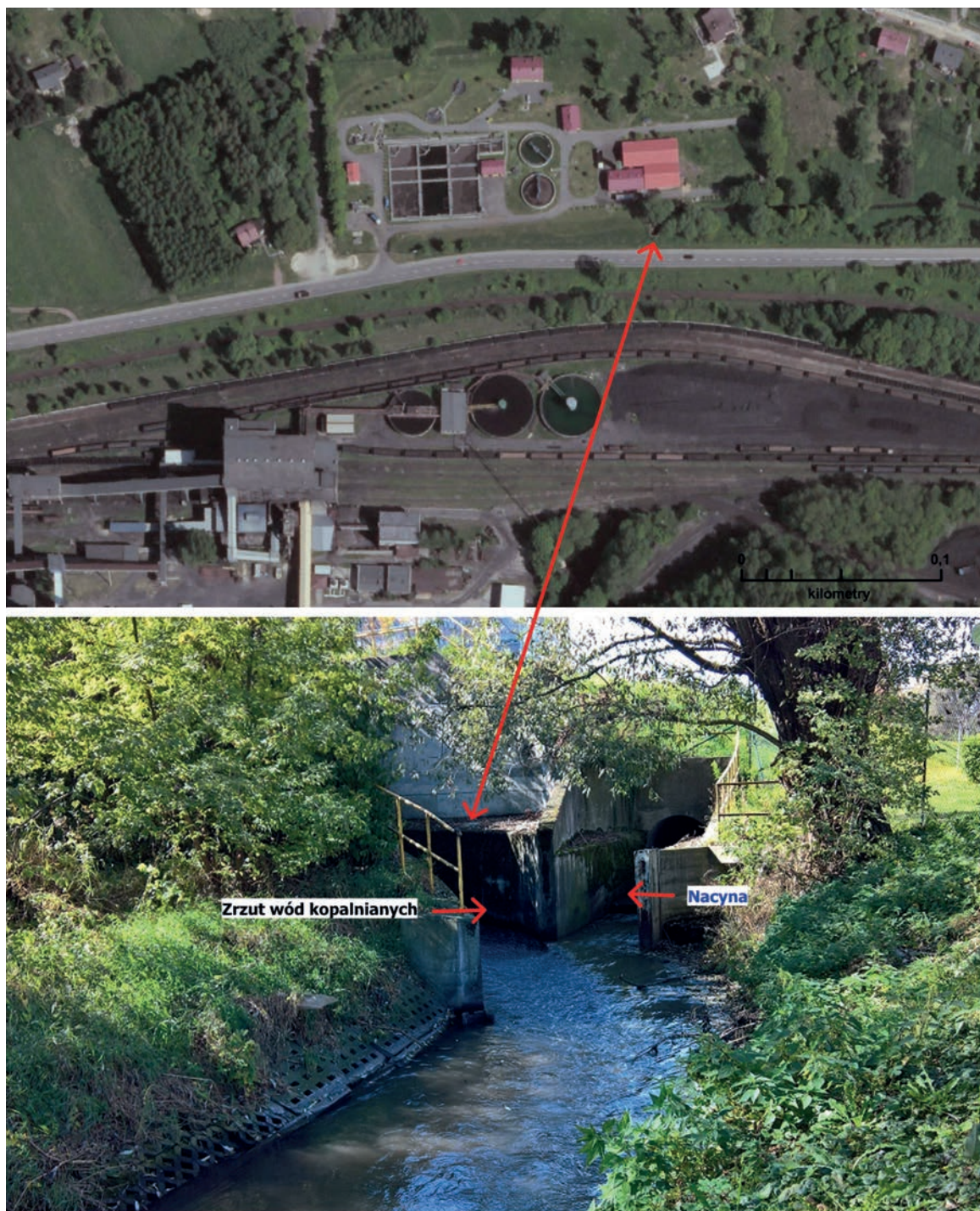
wierzchnię 1 238 km², a tereny górnicze kopalń nieczynnych – 942 km².

Rozmieszczenie kopalń na terenie GZW zależy od budowy geologicznej. Wyczerpywanie się płytko zalegających zasobów węgla spowodowało podejmowanie eksploatacji na coraz większych głębokościach. W wyniku tego zdecydowano się zarówno na stałe obniżanie bazy drenażu wód podziemnych, jak i na podejmowanie eksploatacji w innych obszarach Zagłębia. Eksploatacja węgla odbywa się w całym profilu pionowym karbonu produktywnego. Najniższe poziomy eksploatacji usytuowane są na głębokości około 1 000 m poniżej powierzchni terenu (zlewnia rzeki Kłodnicy). Większość kopalń położonych na terenie

GZW wydobywa węgiel z głębokości od 600 m do 800 m pod powierzchnią terenu. W skali całego Zagłębia średnia głębokość eksploatacji wynosi około 600 m.

Wydobycie węgla odbywa się głównie systemem z zawałem stropu, co wpływa na powstawanie licznych podtopień i zalewisk na powierzchni, związanych z osiadaniem terenu. W obrębie filarów ochronnych dla miast czy obiektów przemysłowych stosowany jest system z podszadką hydrauliczną lub podszadką suchą.

Poszczególne kopalnie węgla GZW różnią się pod względem wielkości dopływu wody, czyli są mniej lub bardziej zawodnione. Największy dopływ wody przekracza 20 m³·s⁻¹ – wykazują go kopalnie



Fot. 1. Zrzut wód kopalnianych do Nacyny

Ź r ó d ł o: Opracowano na podstawie <http://www.geoportal.gov.pl/> oraz fot. M. Matysik.

usytuowane we wschodniej i częściowo centralnej części GZW. Najmniejsze dopływy odnotowano w kopalniach Rybnickiego Okręgu Węglowego

(od 1 do 5 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Obecność wody w wyrobiskach utrudnia ich udostępnianie i eksploatację, stwarzając zagrożenie dla ruchu zakładów górniczych.

Po roku 1989 w wyniku restrukturyzacji górnictwa w części kopalń zaprzestano wydobycia (KOWALCZYK i in., 2010). Do roku 1997 zamykane były najstarsze kopalnie, w których zasoby węgla zostały wyczerpane. W okresie 1998–2004 nastąpiła intensyfikacja zamykania nierentownych kopalń wraz z ograniczeniem wydobycia o 27% w stosunku do roku 1997 (MAKSYMIAK-LACH i in. 2006). W roku 2013 wydobycie węgla spadło o 52% w stosunku do roku 1997. Nieczynne kopalnie nie zostały jednak zlikwidowane, co wiązałoby się z zatopieniem wyrobisk górniczych (dotyczy to głównie nieczynnych kopalń w zlewni Kłodnicy, Brynicy i Bobrka). Stanowiłyby to zagrożenie kopalń położonych w sąsiedztwie. W zamkniętych kopalniach prowadzone jest stałe odwadnianie wyrobisk górniczych (WITKOWSKI, 2005) na podobnym poziomie jak w kopalniach prowadzących wydobycie węgla.

Część wód kopalnianych wypompowywanych na powierzchnię jest wykorzystywana przez same kopalnie (zraszanie, podsadzka hydrauliczna, flotacja, płuczka węglowa, cele przeciwpożarowe). Wody o niskiej mineralizacji ujmowane selektywnie używane są do celów pitnych. Według szacun-

ków M. ROGOŻA i Z. WILKA (2003) wykorzystanie wód kopalnianych na cele przemysłowe i pitne wynosi do 40% wypompowywanej wody dołowej, 60% tych wód odprowadzanych jest wprost albo za pośrednictwem osadników lub systemów retencyjno-dozujących (np. kolektor „Olza”, „Czczott”) do wód powierzchniowych. Główne powody relatywnie niskiego stopnia zagospodarowania wód kopalnianych wynikają przede wszystkim z czynników ekonomicznych, które decydują o dużych nakładach inwestycyjnych na selektywne ujmowanie wód, inwestowanie w infrastrukturę do uzdatniania i transportu do potencjalnego odbiorcy. W początkach górnictwa węgla kamiennego GZW model zagospodarowania wód dopływających do płytkich kopalń położonych z dala od osiedli był bardzo prosty. Wody spływające sztolniami bądź usuwane płytkimi szybami odprowadzane w całości do najbliższych cieków. Z czasem pojawiło się zapotrzebowanie na wodę ze strony samych kopalń i osiedli górniczych, a później miejsko-przemysłowej aglomeracji górnośląskiej. Współcześnie największym problemem jest zagospodarowanie wód silnie zmineralizowanych (ROGOŻ, WILK, 2003).



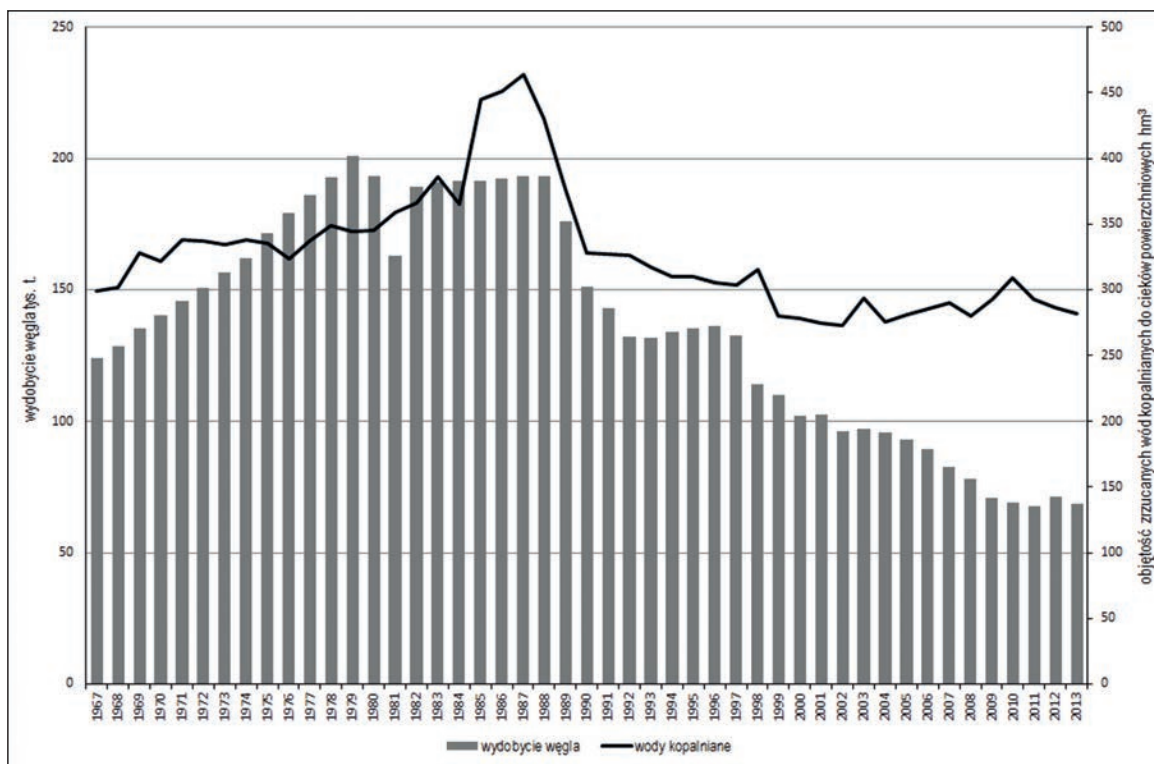
Fot. 2. Zrzut wód kopalnianych oraz ujście Szarlejki do Brynicy poniżej przekroju wodowskazowego Namiarki (fot. M. Matysik)

Niektóre kopalnie do celów własnych zużywają oprócz wód dołowych również wody pobierane z ujęć powierzchniowych i podziemnych. Ilość pobieranej dodatkowo wody jest związana z jakością wód dołowych. W wielu kopalniach zlokalizowanych w zlewni Wisły dominują dopływy o znacznym natężeniu i o niższej mineralizacji, objętość wód pobieranych z innych źródeł nie przekracza zatem 10%, natomiast w kopalniach położonych w zlewni Odry, w których dopływy są znacznie mniejsze, wartość ta kształtuje się na poziomie 30% (ROGOŹ, WILK, 2003).

Związek pomiędzy wielkością produkcji węgla i wielkością dopływów wody do kopalń GZW nie jest proporcjonalny i zależy także od innych czynników. Wydobycie węgla w roku 1947 wyniosło około 56 mln ton, natomiast dopływ wody w tym samym roku wyniósł około 261 mln m³, w 1968 roku wydobycie węgla wynosiło 120 mln ton, a dopływy wody – 438 mln m³, w roku 1996 wydobycie węgla wynosiło 130 mln ton, a dopływy wody – 317 mln m³. Zdaniem Z. WILKA (2003) przy-

toczone liczby nie świadczą jednak o tym, że istnieje przyczynowy związek między tymi wielkościami. Jeżeli warunki naturalne na to zezwalają, to woda do kopalni dopływa niezależnie od tego, czy kopalnia produkuje węgiel, czy nie. Podobnie kształtuje się związek między ilością wypompowywanej wody z kopalń a wielkością produkcji węgla. Najwyższe wydobycie węgla zanotowano w roku 1979 – 201 mln ton. Objętość wody zrzucanej do cieków powierzchniowych wynosiła wówczas 344,3 mln m³. Maksymalną objętość zrzucanej wody dołowej zanotowano w roku 1987 – 464 mln m³, przy rocznym wydobyciu węgla – 193 mln ton (ryc. 11.). Znaczący i systematyczny spadek wydobycia od roku 1990 węgla jest jednak skorelowany z mniejszą objętością odprowadzanej wody.

Poza granicami GZW położony jest olkuski rejon złożowy z jedną działającą kopalnią rud cynku i ołowiu „Pomorzany”. W 1998 roku została zlikwidowana kopalnia „Bolesław”, a w 2003 roku kopalnia „Olkusz”. Początki górnictwa rud



Ryc. 11. Zestawienie wydobycia węgla oraz objętości zrzucanych wód dołowych w latach 1967–2013

Ź r ó d ł o: Opracowanie własne na podstawie danych GUS oraz wyników badań własnych.

na tym obszarze sięgają XII wieku. Wody z tych kopalń zrzucone były do kanałów: Dąbrówka oraz Południowego, i odprowadzane do Białej Przemszy i rzeki Sztoły (SAWICKI, GUTRY-KORYCKA, 1993; CZAJA 1999; MORMAN, CZOP, 2012). Średni zrzut wód kopalnianych wynosił $3,57 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Kanał Dąbrówka), $1,51 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Kanał Południowy). Dodatkowo do Białej Przemszy odprowadzane są wody pochodzące z odwodnienia kopalni piasku podsadzowego – „Maczki – Bór” oraz „Jaworzno Szczakowa”. Średnia ilość odprowadzanej wody kształtuje się na poziomie $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (MOTYKA, WITCZAK, 1975; MORMAN, CZOP, 2012; CZAJA, 1999). Trudność zbilansowania tych wód wynika m.in. z poborów wody przez ujęcia, np. na Kanale Południowym, Sztole i Białej Przemszy, a także jest uwarunkowana ucieczkami wody z koryta. Ucieczki wód dla Sztoły wynoszą $0,3\text{--}0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a dla Białej Przemszy – $0,77\text{--}1,72 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (MORMAN, CZOP, 2012). W okresie 1967–2013 przyjęto stałą wartość dopływu wód kopalnianych do Białej Przemszy w przekroju Niwka na poziomie $3,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



Fot. 3. A. Kopalnia piasków czwartorzędowych Maczki – Bór – w wyeksploatowanym wyrobisku składowana jest skała płonna. B. Zrzut wód z odwodnienia kopalni Maczki – Bór do Białej Przemszy (fot. M. Matysik)

Rzeczywiste oddziaływanie kopalń na ciek powierzchniowy nie jest równomierne zarówno w ciągu doby, jak i w poszczególnych dniach tygodnia. Dotyczy to głównie kopalń, które posiadają nieautomatyzowane systemy zrzutu i nie są wyposażone w zbiorniki retencyjno-dozujące. W celu obniżenia kosztów wody są odprowadzane głównie nocą, poza szczytem energetycznym (z wykorzystaniem tańszej tzw. taryfy nocnej). Często mniejsze ilości wód są odprowadzane w dniach wolnych od pracy.

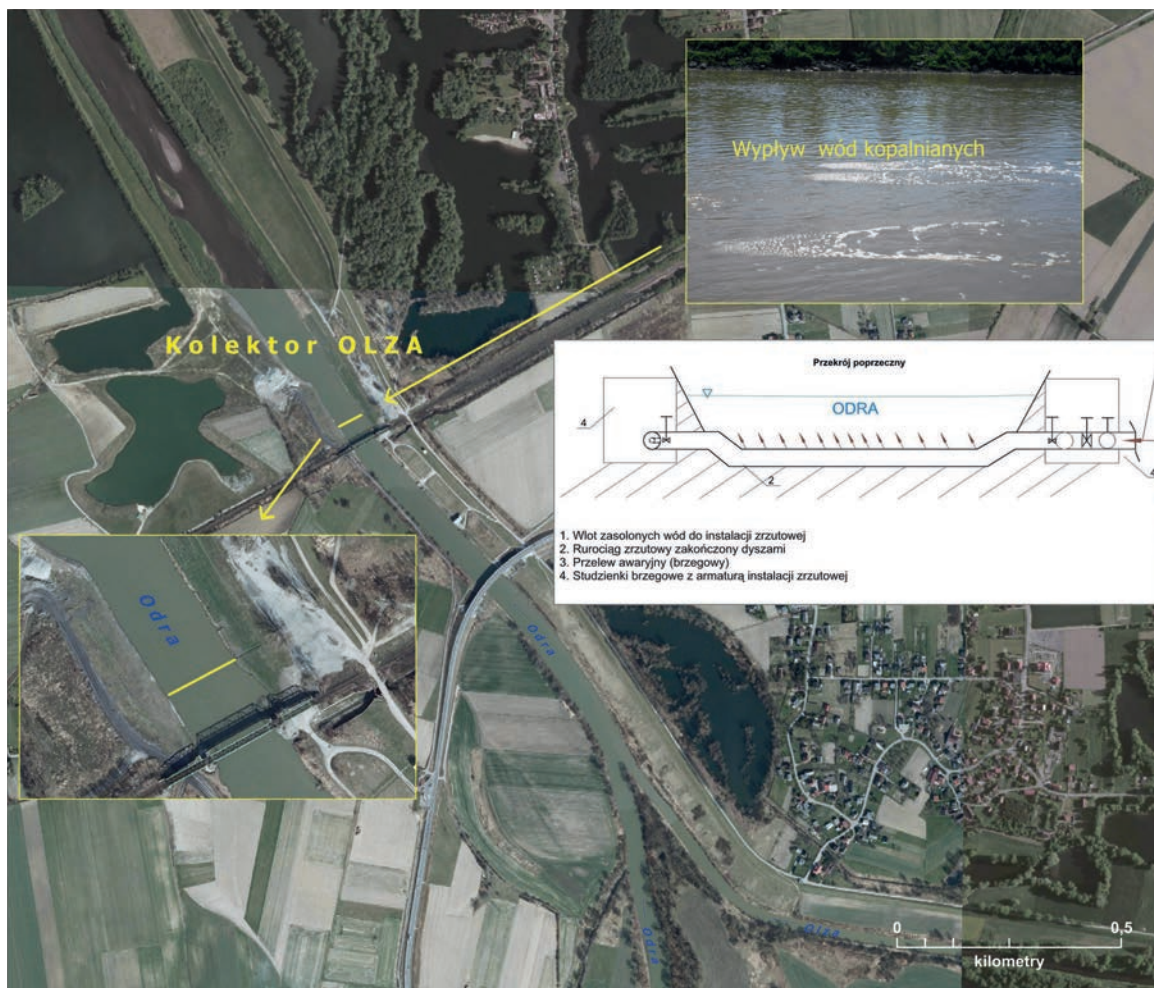
Na terenie GZW zidentyfikowano 64 czynne punkty zrzutów wód kopalnianych do cieków powierzchniowych (ryc. 10., tabela 3.). Pod koniec lat 80. XX wieku funkcjonowały 83 zrzuty wód kopalnianych (WILK i in., 1990).

Wody kopalniane w części GZW położonej w obrębie zlewni Odry odprowadzane są bezpośrednio do Odry oraz jej dopływów: Lubiny, Ostravice, Vrbicka strużka, Olzy przez Karwiński Potok, Nacyny, Bierawki, Kłodnicy i jej dopływów (Potoku Bielszowickiego, Czarniawki oraz Bytomki). Na rzece Odrze poniżej ujścia Olzy zlokalizowany jest system retencyjno-dozujący „Kolektor Olza”, którym odprowadzane są wody z siedmiu kopalń. Do roku 1982 wody z kopalni Rybnickiego Okręgu Węglowego odprowadzane były do Szotkówki powyżej przekroju w Gołkowicach. W okresie 1983–2003, wody słone z kolektora „Olza” odprowadzane do prawostronnego dopływu Szotkówki – Lesznicy. Z tego powodu nie rozpatrywano udziału wód kopalnianych w przekrojach Szotkówka Gołkowice oraz Lesznica – Godów (posterunek zlikwidowany na początku lat 90.). Całość wód odprowadzanych tymi ciekami bilansowano w przekroju Krzyżanowice na Odrze. W roku 2004 Kolektor doprowadzono do rzeki Odry, a system dozujący wody dołowe działa od początku roku 2009 (fot. 4.). W latach 1978–1999 zrzutem wód dołowych obciążona była także rzeka Piotrówka (prawostronny dopływ Olzy). W związku z likwidacją kopalni „Kaczyce” („Morcinek”) od roku 1999 zaprzestano odwaniania, dlatego ze względu na brak danych nie ujęto ich w bilansie wód kopalnianych. Do marca 2012 roku wody kopalniane z KWK „Rydułtowy – Anna”, Ruch II Anna zrzucone były do Syrynki, prawostronnego dopływu Odry.

Tabela 3. Zestawienie zrzutów i objętości wód kopalnianych

Ciek, do którego odprowadzane są wody kopalniane	Rzeka główna	Wodowskaz	Liczba zrzutów wód dołowych	Średnia objętość zrzutów $m^3 \cdot s^{-1}$ w 1967–2013
Lubina	Odra	Odra – Chałupki	1	0,35
Ostravice	Odra	Odra – Chałupki	2	
Vrbicka strużka	Odra	Odra – Chałupki	3	
Karwiński Potok	Olza	Odra – Krzyżanowice	2	0,27
Odra	Odra	Odra – Krzyżanowice	1 (kolektor „Olza”)	0,39
Nacyna	Ruda	Nacyna – Rybnik Ruda – Ruda Kozielska	2	0,18
Razem Odra		Odra – Miedonia	11	1,19
Bierawka	Odra	Bierawka – Tworóg Mały	5	0,22
Kłodnica	Odra	Kłodnica – Kłodnica	1	0,13
Potok Bielszowicki	Kłodnica	Kłodnica – Gliwice	2	0,11
Czarniawka	Kłodnica	Kłodnica – Gliwice	2	0,04
Bytomka	Kłodnica	Bytomka – Gliwice	6	0,65
Kłodnica	Odra	Kłodnica – Gliwice	4	0,12
Razem Kłodnica		Kłodnica – Gliwice Kłodnica – Lenartowice	15	1,05
Pogoria	Czarna Przemsza	Pogoria – Dąbrowa Górnicza Czarna Przemsza – Radocha	1	0,23
Czarna Przemsza	Czarna Przemsza	Czarna Przemsza – Radocha	1	0,35
Szarlejka	Brynica	Brynica – Czeladź	1	0,10
Brynica	Czarna Przemsza	Brynica – Czeladź	7	0,86
Rawa	Brynica	Brynica – Szabelnia	4	0,34
Bolina	Czarna Przemsza	Przemsza – Jeleń	2	0,10
Bobrek	Biała Przemsza	Bobrek – Niwka Biała Przemsza – Niwka	3	0,17
Biała Przemsza	Biała Przemsza	Biała Przemsza – Niwka	kopalnie piasków podsadzkowych (2)	3,40
Przemsza	Wisła	Przemsza – Jeleń	3	1,11
Razem Przemsza		Przemsza – Jeleń	24	6,66
Wisła	Wisła	Wisła – Jawiszowice	1	0,08
Wisła	Wisła	Wisła – Nowy Bieruń	1	0,13
Mleczna	Gostynia	Mleczna – Bieruń Stary Gostynia – Bojszowy	4	0,40
Gostynia	Wisła	Gostynia – Bojszowy	3	0,30
Potok Goławiecki	Wisła	Wisła – Pustynia	2	0,36
Razem Wisła		Wisła – Pustynia	33	1,27
Razem Wisła i Odra			64	10,39

Źródło danych: opracowanie własne.



Fot. 4. Końcowy odcinek kolektora „Olza”, odprowadzającego zasolone wody kopalniane do Odry

Źródło: Opracowano na podstawie <http://www.geoportal.gov.pl/>, danych Przedsiębiorstwa Gospodarki Wodnej i Rekultywacji Wodnej S.A oraz fotografii M. Matysik.

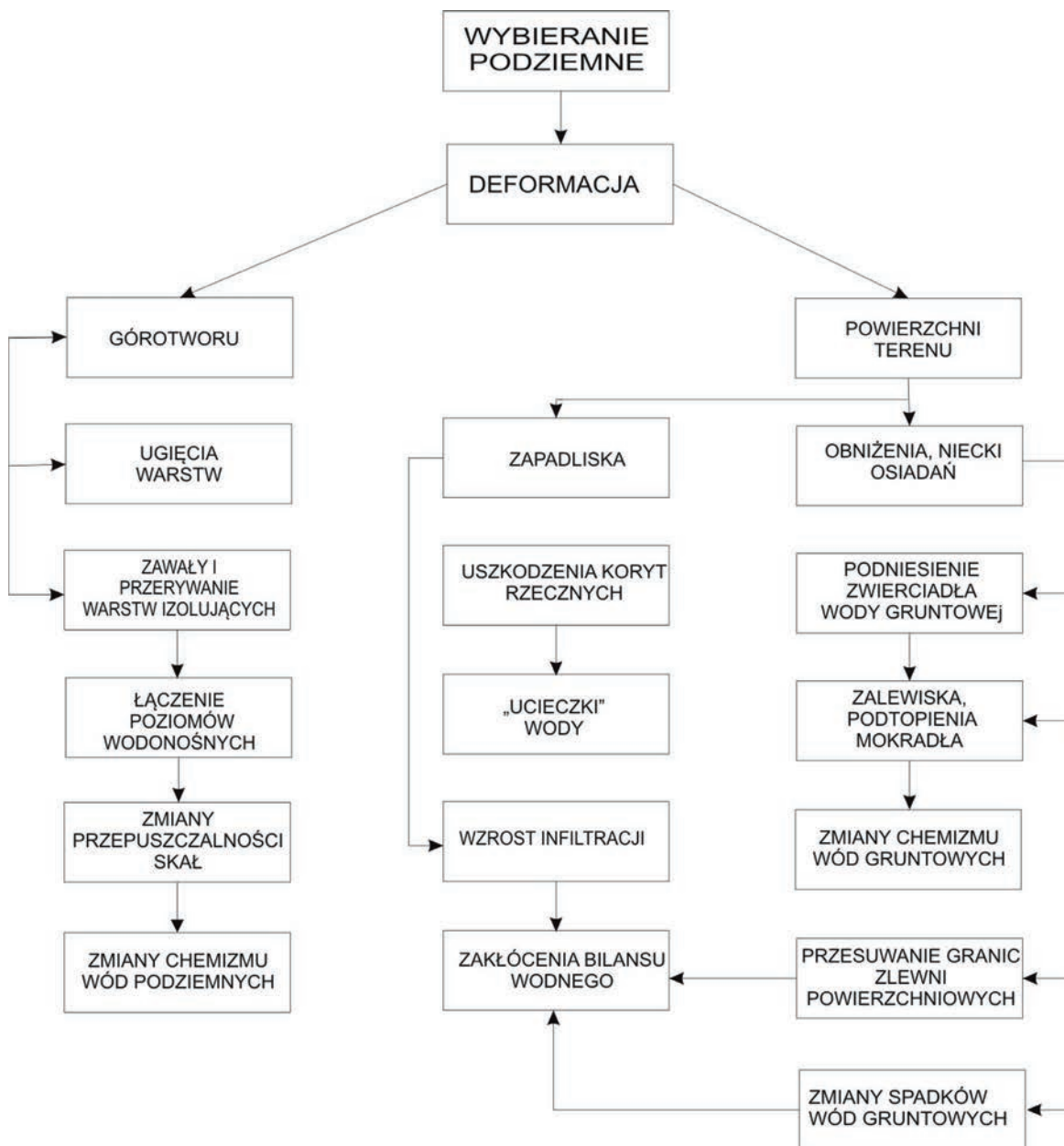
W części GZW położonej na terenie zlewni Wisły funkcjonują 33 zrzuty wód dołowych. Wody kopalniane odprowadzane są bezpośrednio do Wisły oraz jej dopływów: Gostyni z Mleczną, Potoku Goławieckiego oraz Przemszy i jej dopływów. Największa liczba zrzutów wód dołowych zlokalizowana jest w zlewni Brynicy (wody dołowe odprowadzane są zarówno bezpośrednio do Brynicy, jak i przez jej prawostronne dopływy Szarlejkę i Rawę). Wody kopalniane odprowadzane są ponadto do Czarnej Przemszy i jej lewostronnego dopływu Pogorii, bezpośrednio do Przemszy i jej prawostronnego dopływu Potoku Bolina. W zlewni Białej Przemszy wody z kopalń węgla kamiennego zrzucane są do jej pra-

wostronnego dopływu Bobrka. Od roku 2000 zaprzestano odwadniania zlikwidowanej kopalni „Siersza”, z której wody dołowe zrzucane były do lewostronnego dopływu Białej Przemszy Koziego Brodu. Zaprzestanie odwadniania kopalni „Siersza” spowodowało znaczne obniżenie przepływów, a okresowo nawet całkowity zanik wody w korycie Koziego Brodu.

Intensywny drenaż wód przez kopalnie węgla kamiennego doprowadził do powstania dużych obszarów obniżonych ciśnień piezometrycznych w utworach karbonu. Tylko na terenie polskiej części GZW powstały leje depresji o powierzchni około 1 700 km². Obejmują one swym zasięgiem północną i centralną część Zagłębia oraz Rybnicki

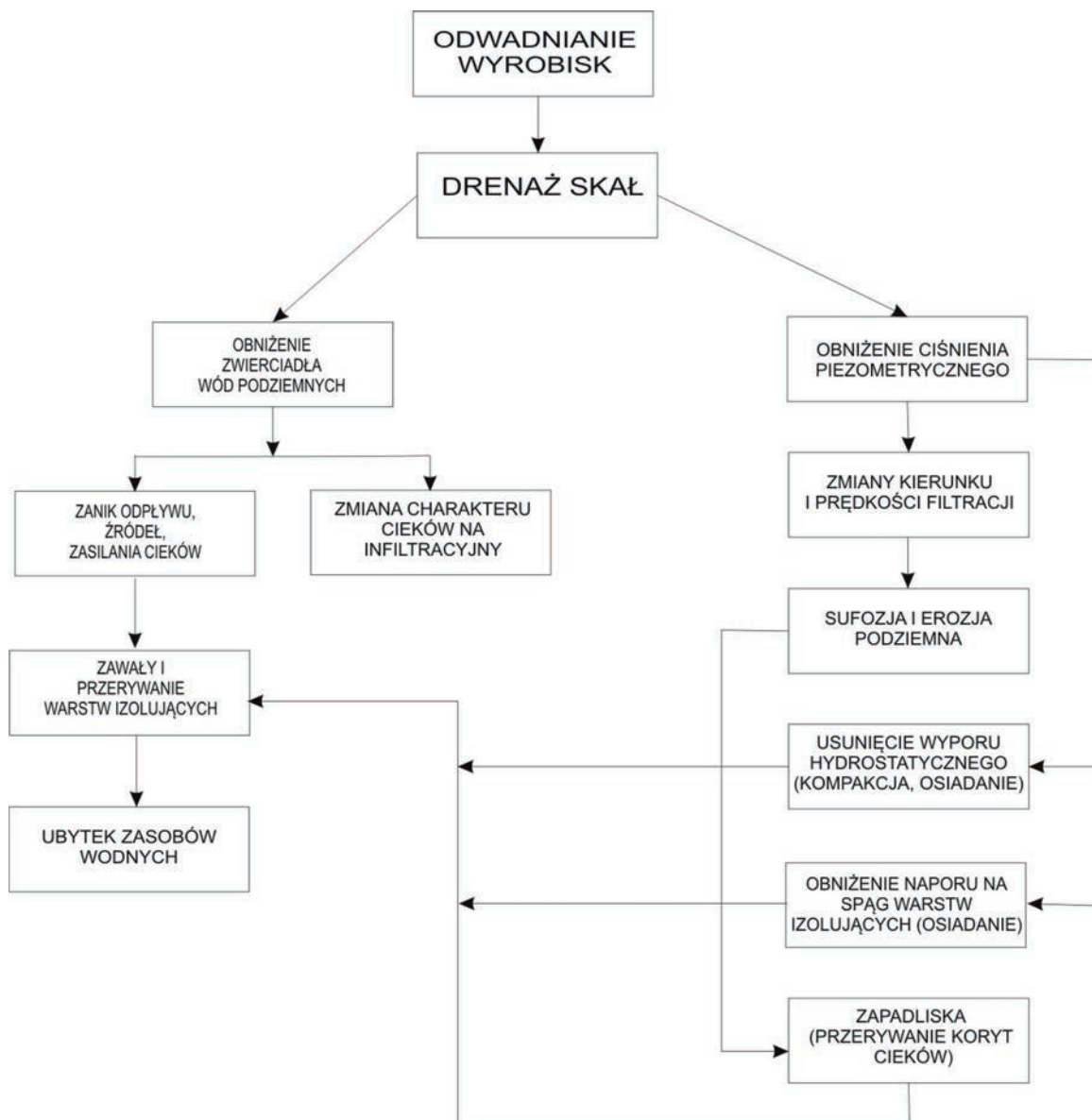
Okręg Węglowy. Odwadniająca działalność górnictwa doprowadziła do obniżenia naturalnej podstawy drenażu do głębokości 300–700 m, lokalnie do 1 160 m poniżej powierzchni terenu (WITKOWSKI, 2005; RÓŻKOWSKI, 2004). Kopalnie węgla kamiennego drenują w sposób pośredni za pomocą istniejących kontaktów hydraulicznych triasowy

poziom wodonośny na obszarze niecki bytomskiej oraz w rejonie Jaworzna. Zwierciadło wody w utworach triasowych w niecce bytomskiej uległo wskutek górniczego drenażu kopalń obniżeniu o około 80 m. Powierzchnia zasięgu tego drenażu wynosi sto kilkadziesiąt kilometrów kwadratowych (KOWALCZYK, 2003, POSYŁEK i in., 2003).



Ryc. 12. Schemat powiązań między rodzajami deformacji górotworu a skutkami dla stosunków wodnych po podziemnej eksploatacji węgla

Źródło: Według ROGOŹ, WILK, 2003.



Ryc. 13. Schemat powiązań wynikających z wpływu odwadniania kopalń węgla kamiennego na stosunki wodne

Źródło: Według ROGOŹ, WILK, 2003.

Dreujący wpływ kopalń na poziom triasu w rejonie Jaworzna przejawia się spadkami wydajności ujęcia „Galmany” oraz trzech źródeł triasowych: „Baran” z $0,25 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $0,08 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, oraz „Stok” i „Służyna” z $5,80 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $0,70 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (WILK i in., 1990). Długotrwały drenaż triasowego poziomu wodonośnego w rejonie Olkusza przez kopalnie cynku i ołowiu spowodował obniżenie zwierciadła wód podziemnych o 120 m i doprowadził do zmiany kierunków przepływów, wzrostu gra-

dientów hydraulicznych oraz powstania leja depresji o powierzchni około 500 km^2 (WITKOWSKI I IN., 2003, KOWALCZYK I IN., 2010).

Podobne zjawisko dotyczy również licznych źródeł położonych w zasięgu leja depresji, zasilanych z poziomów czwartorzędowych i karbońskich, w których odnotowano spadki wydajności (MATYSIK, SMOLAREK, 2008). W Rybnickim Okręgu Węglowym całkowity zanik większości źródeł wystąpił w zlewni Szotkówki (MATYSIK,

2001a, 2001b; ABSALON i in., 2002; ABSALON, MATYSIK, 2003).

Czwartorzędowe piętro wodonośne drenowane jest przez górnictwo węgla kamiennego w sposób pośredni w centralnej i wschodniej części GZW na powierzchni około 460 km² (POSYŁEK i in., 2003). Górniczy drenaż czwartorzędowego piętra wodonośnego wywołał obniżenie zwierciadła i zaniki wód podziemnych w licznych rejonach GZW. Zjawisko to występuje z różną intensywnością. Powoduje ono przede wszystkim zaniki wody w płytkich studniach, zmniejszenie wydajności źródeł, zaniki źródeł i odcinków źródłowych licznych cieków, a także zmianę charakteru odcinków niektórych cieków powierzchniowych z drenującego na infiltrujący wskutek obniżenia lub zerwania więzi hydraulicznej (ryc. 12., 13.). Przykładami mogą być: Bytomka, Brynica, Rawa, Bolina i inne cieki tego obszaru

(WILK i in., 1990; POSYŁEK i in., 2003). Infiltracja wód z cieków i zmiany ich natężenia przepływu, zachodzące pod wpływem działalności górnictwa węgla kamiennego, zalewiska powstające w obrębie dolin rzecznych wskutek poeksploatacyjnego osiadania terenu oraz problemy urbanizacyjne konurbacji górnośląskiej spowodowały, że niemal wszystkie cieki powierzchniowe GZW poddane zostały zabiegom technicznej zabudowy koryt, które objęły: uszczelnianie koryt, zabudowę skarp, pogłębianie, obwałowanie, przełożenia odcinków cieków, umieszczanie odcinków koryt w zamkniętych kanałach, np. Szarlejka, Rawa. Takimi zabiegami objęto cieki o łącznej długości około 500 km (WILK i in., 1990). W przypadku Szarlejki na odcinku około 2 km dolina rzeki została całkowicie zmieniona (fot. 5.). Zwałowiska skały płonnej całkowicie „zamaskowały” zbocza doliny (MATYSIK, ABSALON, 2009, 2012).



Fot. 5. Przeobrażenie doliny Szarlejki przez składowanie skały płonnej. Fragment „rozregulowanego” koryta rzeki w wyniku działań prowadzących do renturyzacji rzeki Szarlejki

Źródło: Fot. M. Matysik.

3.2. Udział wód kopalnianych w odpływie rzeczonym

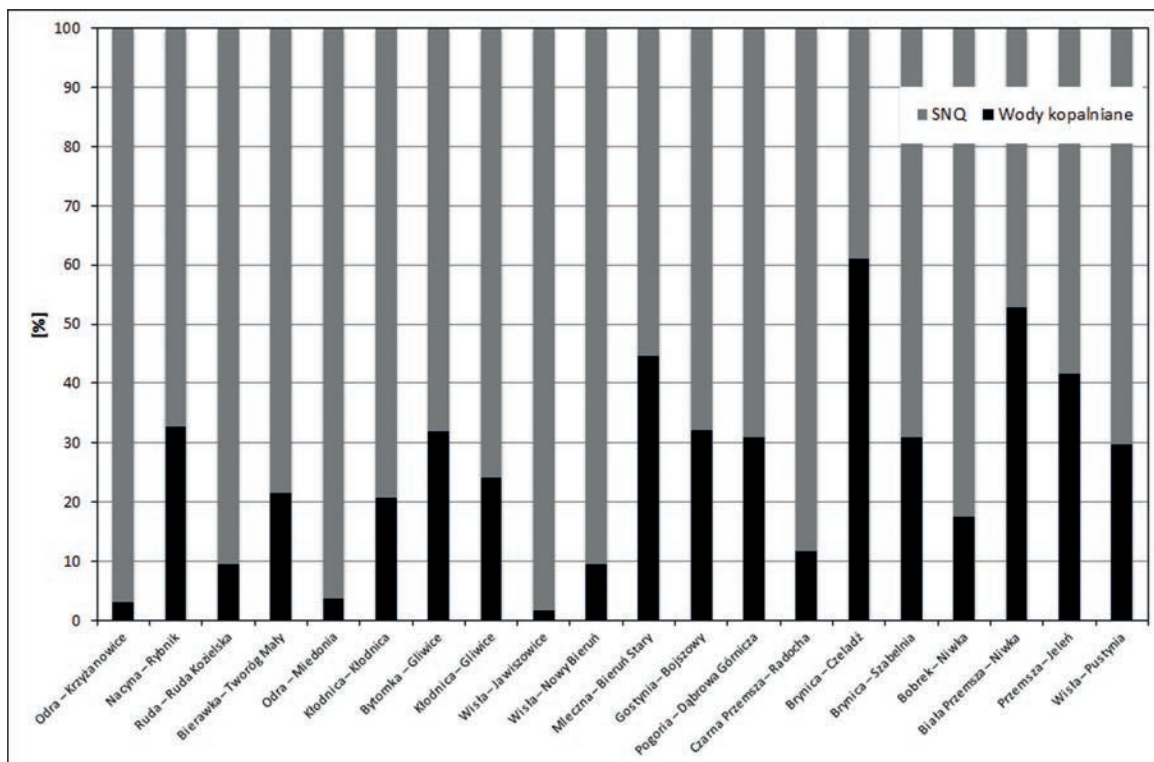
Wpływ górnictwa węgla kamiennego na wody powierzchniowe przejawia się również: spadkiem wartości przepływów niskich pochodzących z zasilania podziemnego w obrębie leja depresji, wzrostem i stabilizacją przepływów niskich poniżej zrzutów wód dołowych, wyrównaniem średnich przepływów, wyrównaniem i złagodzeniem wysokich przepływów w ciekach, zmianą dynamiki przepływu wody w korytach cieków oraz zmianą chemizmu wód.

Wpływ antropogeniczny na odpływ rzeczny zaznaczał się tym silniej, im więcej występowało obiektów i czynników zniekształcających odpływ i im mniejsza była zlewnia. Jednocześnie największym deformacjom ulegały odpływy niskie. Obecnie niejednokrotnie zdarza się, że w okresach posusznych wody antropogeniczne stają się głównym źródłem zasilania rzek. Obserwowane dziś rzeczywiste przepływy rzek są sumą przepływu naturalnego i antropogenicznego (HOŁDA, 1996). Z badań S. CZAJ (1999) wynika, że udział ścieków przemysłowych w wodach prowadzonych przez Rawę stanowi 46%, a komunalnych 13%. W stosunku do początku XX wieku w latach 1925–1930 udział ścieków w przepływie Rawy wzrósł do 70%. Od początku XX wieku głównym odbiorcą ścieków były Brynica oraz w mniejszym zakresie Bytomka. Zgodnie z szacunkami S. CZAJ (1999) udział wód dołowych oraz ścieków przemysłowych w odpływie Brynicy do końca lat 40. XX wieku wynosił około 60%, natomiast w przepływach Bytomki i Kłodnicy odpowiednio: 30% i 20%. W zlewniach o dużym stopniu antropogenicznego przekształcenia, np. Rawy czy Brynicy, zwłaszcza w okresach niżówkowych, udział odpływu naturalnego może wynosić tylko 2,5–8,0% (JANKOWSKI, 1988, 1995; CZAJA, JANKOWSKI, 1991b, 1992; CZAJA, 1999). Udział wód antropogenicznych w odpływie rzeczonym z Rybnickiego Okręgu Węglowego w latach 80. XX wieku wynosił dla średnich rocznych przepływów 37%, dla średnich rocznych niskich przepływów aż 87,7 % (JANKOWSKI, 1986). Udział wód kopalnia-

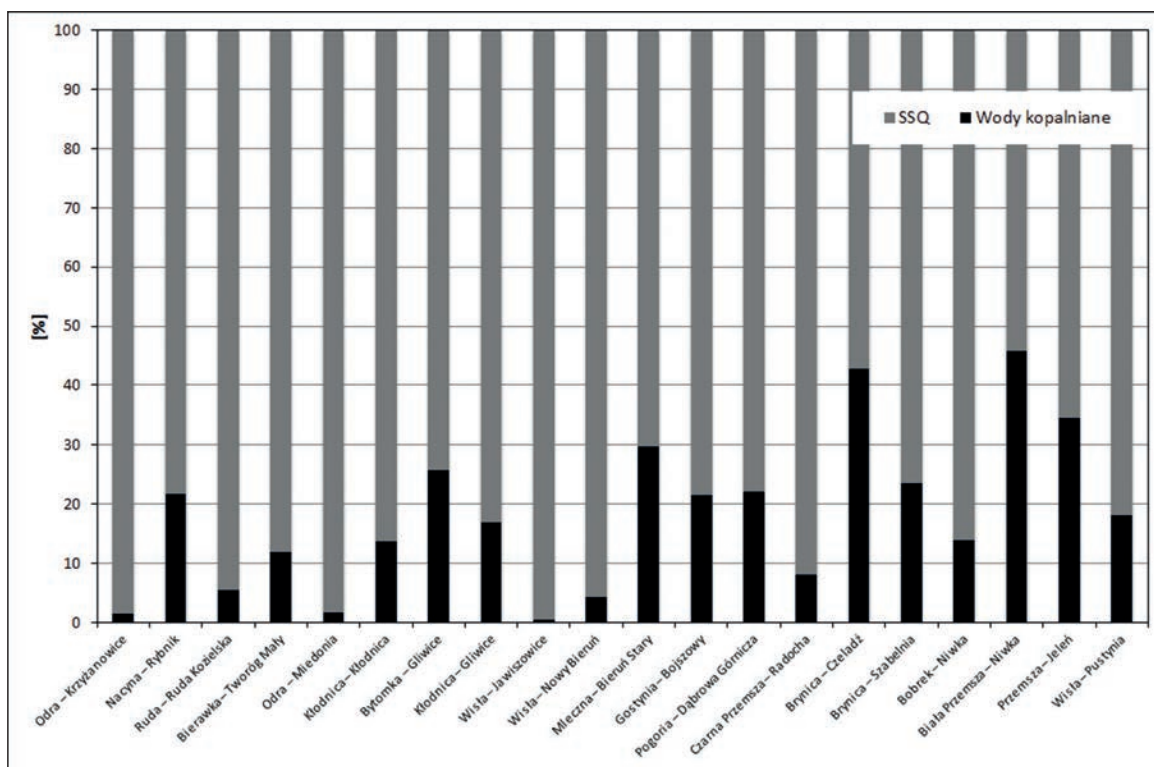
nych w SSQ Rudy w Rudzie Kozielskiej w okresie 1967–1994 był zróżnicowany. Maksymalnie wynosił 10%. Natomiast w SSQ Nacyny wody kopalniane stanowiły w tym okresie maksymalnie 19% (ABSALON, 1998). W odpływie Odry w Bohuminie w okresie 1969–1988 wody dołowe stanowiły od 0,60% do 1,36% całkowitego odpływu. W przypadku Olzy (przekrój Věřnovice) udział ten wynosił od 0,30% do 1,36% (KAŇOK, 1988, 1990b, 1992).

W latach 1967–2013 do rzek odprowadzano średnio $10,39 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wód kopalnianych z tym, że do Odry zrzut ten wynosił $2,46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a do Wisły $7,94 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Największa objętość wód dołowych odprowadzana jest do rzeki Przemszy. W analizowanym okresie średnia wartość odprowadzonych wód wynosiła $6,66 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, co stanowiło 35% SSQ i 42% SNQ Przemszy w przekroju Jeleń. Głównym „odbiornikiem” wód kopalnianych w zlewni Przemszy jest Brynica, do której średnio w okresie 1967–2013 zrzucano wody kopalniane w ilości $1,30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (przekrój Szabelnia). Do przekroju w Czeladzi wody te dopływały średnio w ilości $0,962 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. W Brynicy w przekroju Czeladź wody kopalniane mają najwyższy udział procentowy w odpływie: dla SNQ – 61%, dla SSQ – 43%. W latach 1967–2013 ponad 50% udziału wód kopalnianych w przepływach SNQ charakteryzowało Białą Przemszę w przekroju Niwka. W pozostałych rzekach zlewni Wisły udział wód kopalniane w przepływach SNQ wynosił od 12% w Czarnej Przemszy w przekroju Radocha do 45% w Mlecznej w przekroju Bieruń Stary. W przepływie SSQ w tym samym okresie udział wód kopalnianych zawierał się w przedziale od 8% w Czarnej Przemszy w przekroju Radocha do 46% w Białej Przemszy w przekroju Niwka. Do Wisły w przekroju Nowy Bieruń dopływało w tym okresie średnio $0,946 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wód kopalnianych, co stanowiło 4% SSQ i 10% SNQ, a do Wisły w przekroju Pustynia $7,94 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, czyli 30% SNQ i 18% SSQ (ryc. 14.).

W dorzeczu Odry największe objętości wód dołowych zrucane są do Kłodnicy. Średnia ilość wód w analizowanym okresie wynosiła $1,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, co stanowiło 24% SNQ i 17% SSQ w przekroju w Gliwicach. Najwięcej wód kopalnianych dopływa do Kłodnicy rzeką Bytomką $0,646 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, co stanowiło 32% SNQ i 26% SSQ Bytomki. W rze-



Ryc. 14. Udział wód kopalnianych w średnich rocznych niskich przepływach (SNQ) w latach 1967–2013



Ryc. 15. Udział wód kopalnianych w średnich rocznych przepływach (SSQ) w latach 1967–2013

kach: Nacynie i Bierawce udział wód kopalnianych w SNQ wynosił odpowiednio 33% i 22%, natomiast w SSQ 22% i 12%. W przypadku Odry w Krzyżanowicach i Miedoni wody kopalniane stanowiły 2% SSQ i odpowiednio 3% i 4% SNQ (ryc. 15.).

W okresie 1967–2013 zrzuty wód kopalnianych o największej objętości – wynoszącej $14,72 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ odprowadzono w roku 1987. Do rzek w zlewni Wisły trafiło $11,59 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a do Odry $3,13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ryc. 17.). W zakresie objętości wód dołowych zrzucanych do cieków powierzchniowych w wieloleciu 1967–2013 można wyróżnić 4 okresy (ryc. 16.):

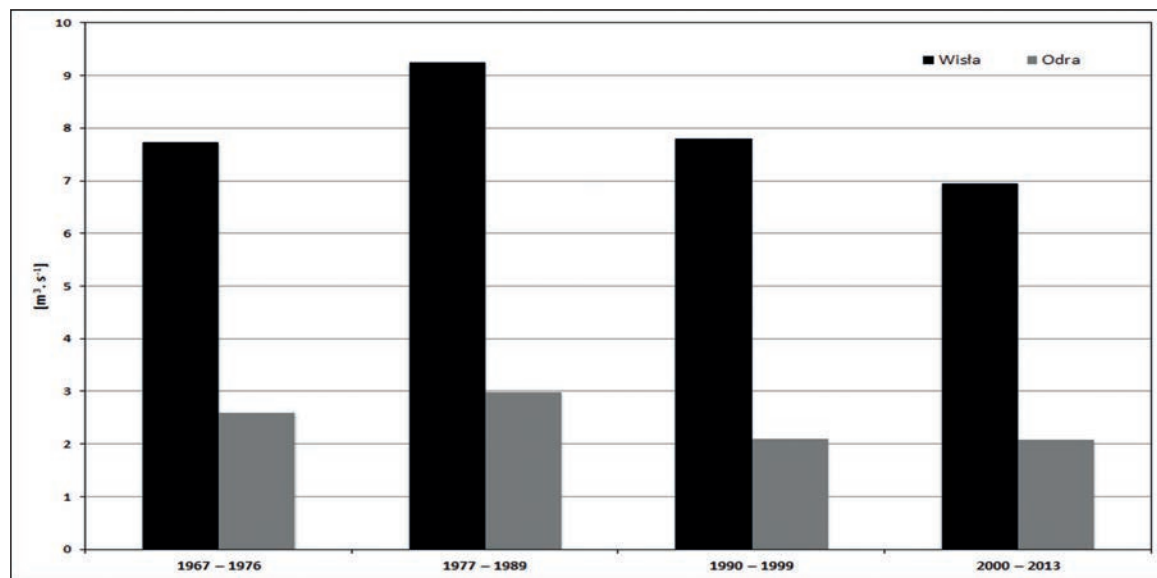
- 1967–1976 – średnia objętość zrzucanych wód wynosiła $10,33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (do Wisły – $7,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, do Odry – $2,60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);
- 1977–1989 średnia objętość zrzucanych wód wynosiła $12,23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (do Wisły – $9,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, do Odry – $2,98 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);
- 1990–1999 średnia objętość zrzucanych wód wynosiła $9,91 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (do Wisły – $7,81 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, do Odry – $2,10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);
- 2000–2013 średnia objętość zrzucanych wód wynosiła $9,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (do Wisły – $6,96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, do Odry – $2,09 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

W latach 2000–2013 objętość zrzucanych wód dołowych zmniejszyła się o 26% w stosunku do okresu 1977–1989. Dla zlewni Wisły spadek ten wyniósł 25%, a dla Odry – 30% (ryc. 16.).

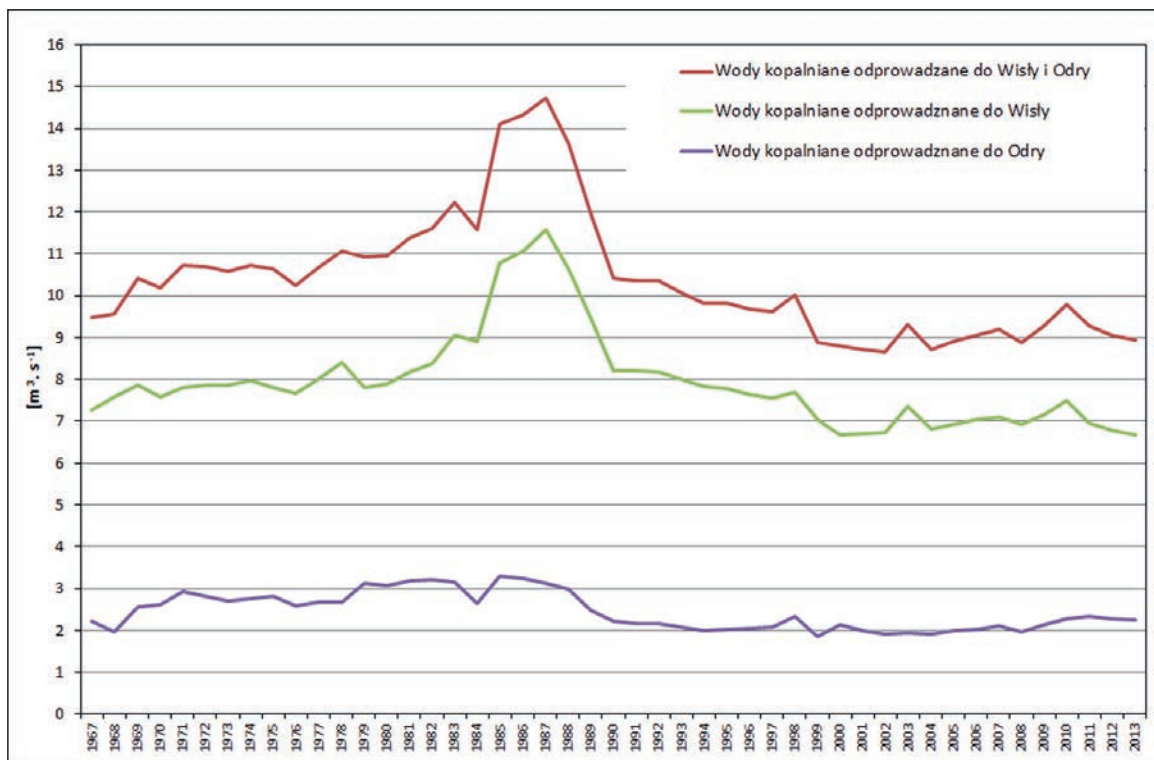
W zależności od wartości średnich rocznych i średnich rocznych niskich przepływów w poszczególnych przekrojach wodowskazowych w okresie 1967–2013 udział procentowy wód kopalnianych w przepływach był zmienny (ryc. 17.).

Przy założeniu, że zrzut wód kopalnianych odbywa się w sposób ciągły i przez cały rok ich dopływ jest jednakowy, stwierdzono, że w rzece Brynicy w przekroju Czeladź udział wód kopalnianych w rocznym SNQ_R wynosił w roku 1970 100%, a w latach: 1969, 1973, 1978 stanowił 101%, w roku 1972 – 104%, w roku 1987 – 105% (ryc. 18.). Niewiele mniejsze udziały w rocznych SNQ_R wód kopalnianych, zanotowano w roku 1984 – 97%, i w roku 1986 – 92%. W okresach niżówkowych rzeką właściwie płynęły tylko wody kopalniane. W tych latach udział wód kopalnianych w wartościach rocznych SQ kształtował się w granicach od 68% (w roku 1972) do 77% (w roku 1978). W przekroju Szabelnia na Brynicy udział wód kopalnianych w średnich rocznych niskich przepływach zmniejsza się, co wynika z większych przepływów Brynicy. Maksymalnie udział ten w SNQ_R wynosił 54% (w roku 2009), natomiast dla przepływów SQ_R – 42% (w roku 1987).

W Czarnej Przemszy w przekroju Radocha udział wód kopalnianych w średnich rocznych niskich przepływach wyraźnie się zmniejszył. W analizowanym wieloleciu największy udział odnotowa-



Ryc. 16. Zrzut wód kopalnianych do Odry i Wisły w poszczególnych okresach wielolecia 1967–2013



Ryc. 17. Zrzut wód kopalnianych do rzek na terenie GZW w latach 1967–2013

no w roku 1990. Wynosił on wtedy odpowiednio: 20% SNQ_R i 16% SQ_R . W roku 2013 stanowił już tylko 1% analizowanych rocznych przepływów. Zmniejszenie udziału wód kopalnianych nastąpiło również w przepływach Pogorii. W roku 2012 udział tych wód w SNQ_R i SQ_R wynosił tylko 1%, maksymalny natomiast zanotowano w roku 1970 – stanowił wówczas 56% SNQ_R i 36% SQ_R . W połowie roku 2015 zlikwidowano ostatnią czynną kopalnię położoną w sąsiedniej zlewni – Bobrka. Nieczynne kopalnie położone w zlewniach Pogorii i Czarnej Przemszy zaprzestaną wkrótce zrzutu wód dołowych. Do tej pory były stale odwadniane ze względu na ich połączenia hydrauliczne. Zmniejszenie odwadniania jest już widoczne w Pogorii oraz Czarnej Przemszy w przekroju Radocha. Udział zrzutów wód dołowych w SQ_R i SNQ_R został zmniejszony o 90% w stosunku do okresu 1967–1997. W przypadku Czarnej Przemszy zmniejszenie przepływów wynikające z zaprzestania zrzutów wód dołowych wynosi średnio $0,112 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, co stanowi 34% wód kopalnianych bilansowanych w przekroju Radocha. Razem ze zrzutami wód ko-

palnych dopływających do Pogorii wynosi $0,312 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ – 100% ogółu wód dołowych dopływających do przekroju Radocha na Czarnej Przemszy.

Udział wód kopalnianych w SNQ_R Bobrka sięgał maksymalnie 44% (w roku 1994), w SQ_R – 38% (w roku 1994). W czerwcu 2015 roku zamknięta została ostatnia czynna w tym rejonie kopalnia „Kazimierz Juliusz”, z której wody dołowe odprowadzane były do Bobrka. Z likwidacją kopalni wiąże się zaprzestanie odwadniania (WITKOWSKI, 2005). Przepływy Bobrka powinny się średnio zmniejszyć o $0,173 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, co stanowi 18% przepływu SNQ_R oraz 14% SQ_R .

Najwyższe – przekraczające 50% – udziały wód kopalnianych w przepływach SNQ_R i SQ_R Białej Przemszy, Przemszy, Gostyni oraz Mlecznej wystąpiły w latach 1984–1994. W latach 1985–1988 notowano największe objętości zrzucanych wód kopalnianych, na co nałożyło się wyraźne obniżenie przepływów tych rzek wynikające z przyczyn klimatycznych.

Bezpośrednio do Wisły wody kopalniane odprowadzane są przez zbiorniki retencyjno-dożujące

ce. Ich celem jest ochrona Wisły przed nadmiernym zasoleniem. Zbiornik retencyjno–dozujący „Kaniów” powstał w latach 2000–2003 i przejął rolę po wcześniej eksploatowanym zbiorniku „Rontok” (fot. 6.). Powierzchnia zbiornika „Kaniów” wynosi 56 500 m², średnia głębokość – 4,5 m, pojemność nienaruszalna zbiornika – 3 688 m³, a pojemność dyspozycyjna – 232 810 m³. Zbiornik retencyjno–dozujący „Brzeszcze” ma powierzchnię 275 000 m², pojemność– 1 156 000 m³ i średnią głębokość 5,7 m. Eksploatację zbiornika – zbudowanego w latach 1971–1979 – rozpoczęto w latach 80. XX wieku. Zbiornik retencyjno–dozujący w zlikwidowanym Ruchu II KWK „Piaś” („Czeczott”) gromadził najbardziej zasolone wody – w ilości 0,125 m³·s⁻¹ – z poziomów 650 m KWK „Piaś” – Ruch I oraz KWK „Ziemiwit”. Ich retencjonowanie rozpoczęto w 2010 roku.

Udział wód kopalnianych w Wiśle w przekroju Jawiszowice był niewielki – stanowił maksymalnie 5% SNQ_R (w roku 1994), w SQ_R wynosił maksymalnie 2%. W okresie od 1996 do 2013

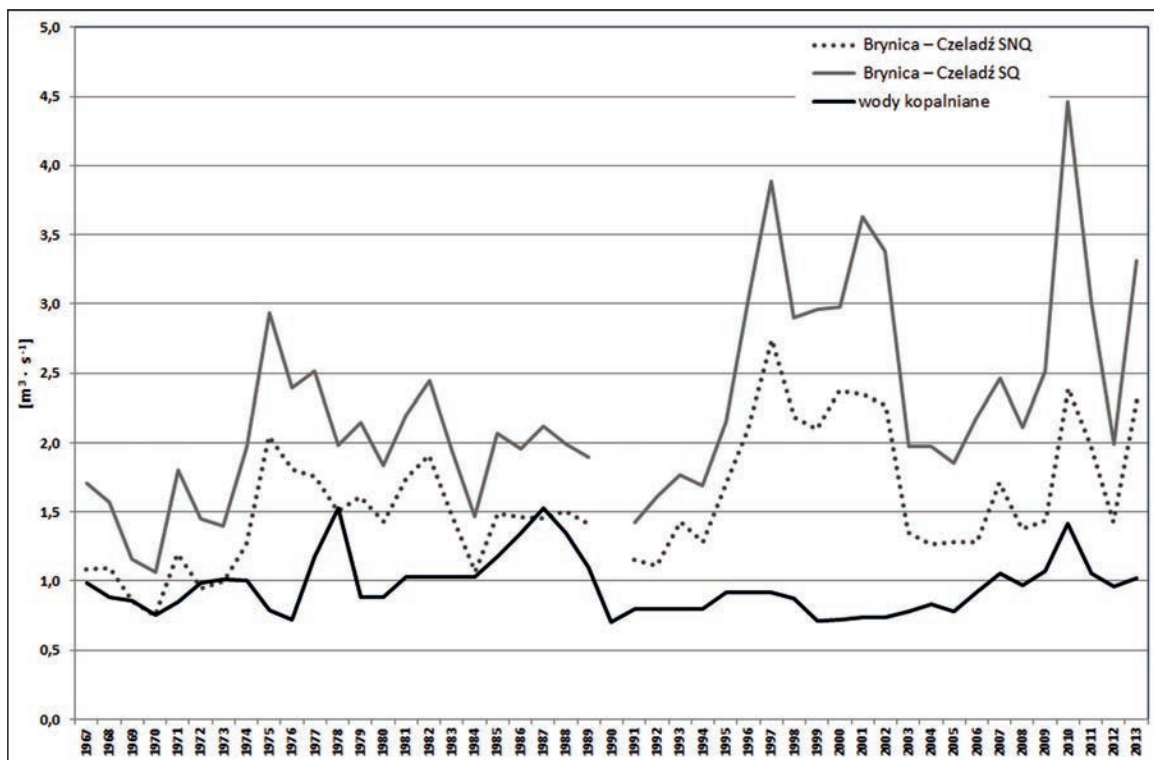
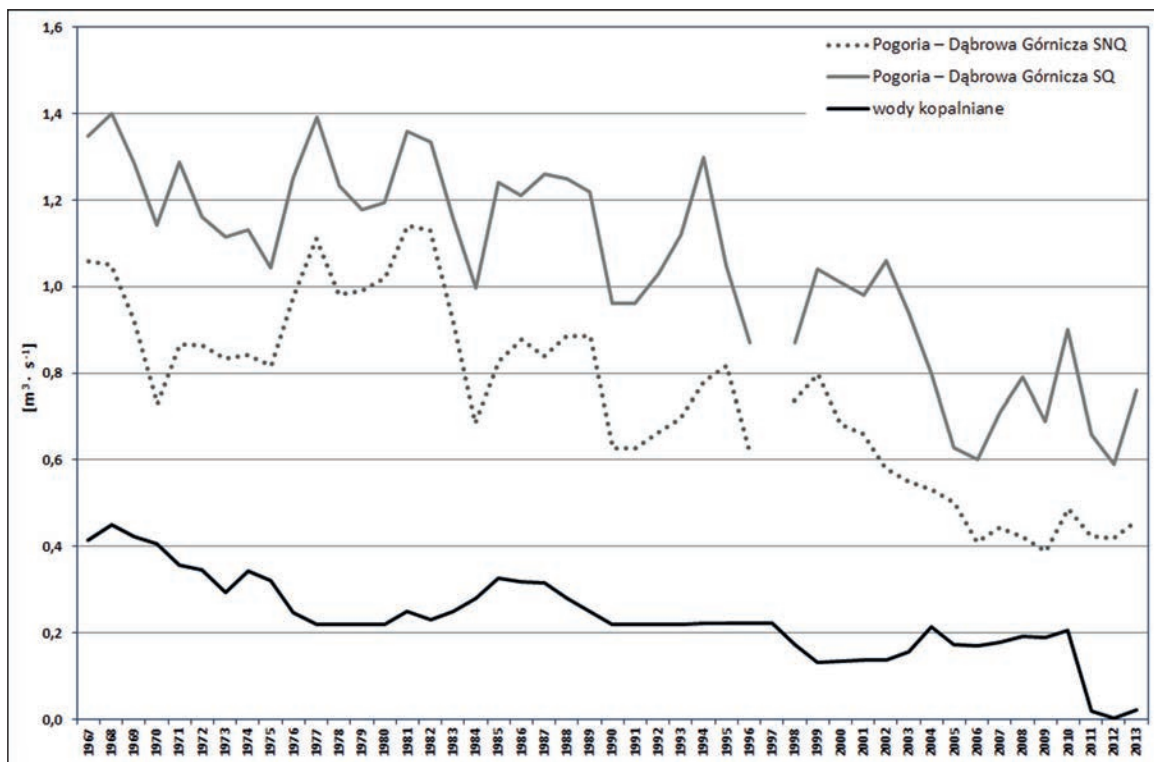
roku udział wód kopalnianych w średnich rocznych przepływach był praktycznie niezauważalny. W przekroju Nowy Bieruń na Wiśle udział wód kopalniach był wyraźnie większy. W tym przekroju bilansowały się wody kopalniane nie tylko zrzucane bezpośrednio do Wisły, ale również dopływające razem z Gostynią. Maksymalny udział wód kopalniach wynosił w SNQ_R 17 % (w roku 1986) oraz w SQ_R 10% (w roku 1984). W pozostałych latach wielolecia 1967–2013 w przekroju Bieruń udział wód kopalnianych nie przekraczał 5% w SQ_R i 10% w SNQ_R.

W przekroju Pustynia na Wiśle, gdzie bilansowane są wody kopalniane zrzucane w zlewni Wisły, analizy objęły okres 1971–2013 (ze względu na rozpoczęcie obserwacji przepływów od roku 1971). Maksymalny udział wód kopalniach w SNQ_R wynosił 39% (w 1986 i 1993 roku), a w SQ_R – 31% (w roku 1984), czyli w latach, na które przypadał szczyt zrzutów wód kopalnianych i w których odnotowano niedobory zasilania skutkujące obniżeniem przepływów.

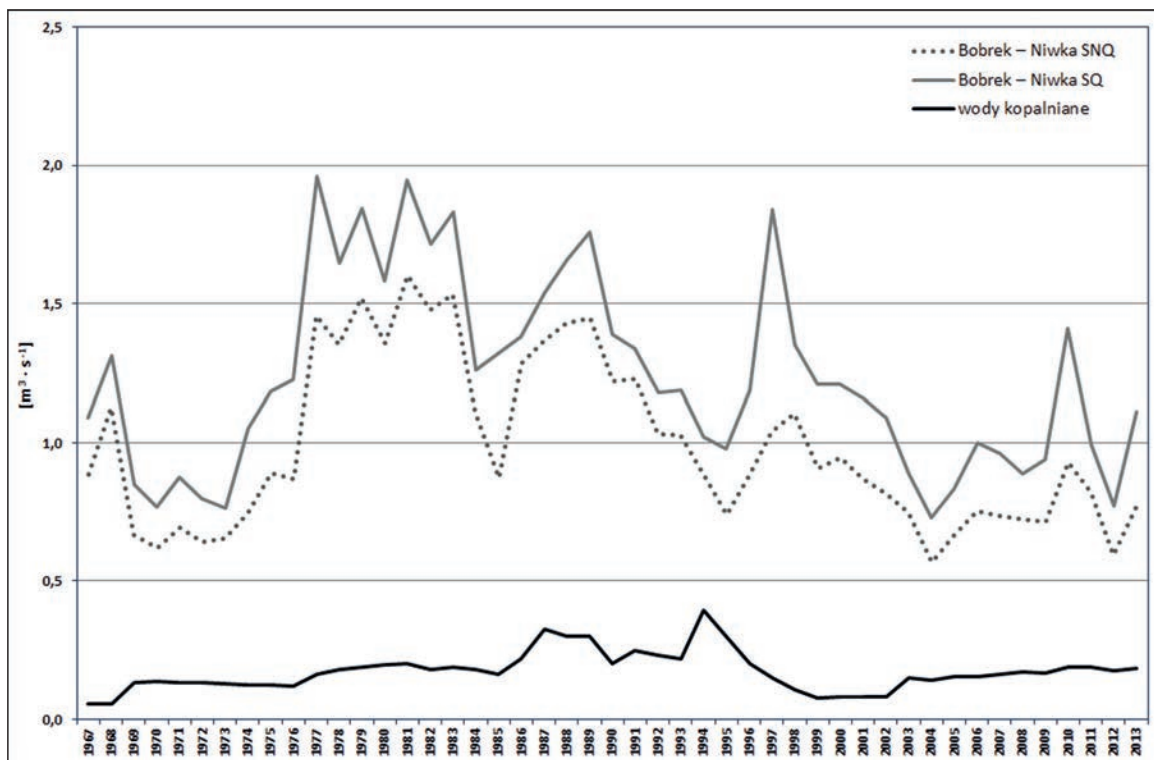
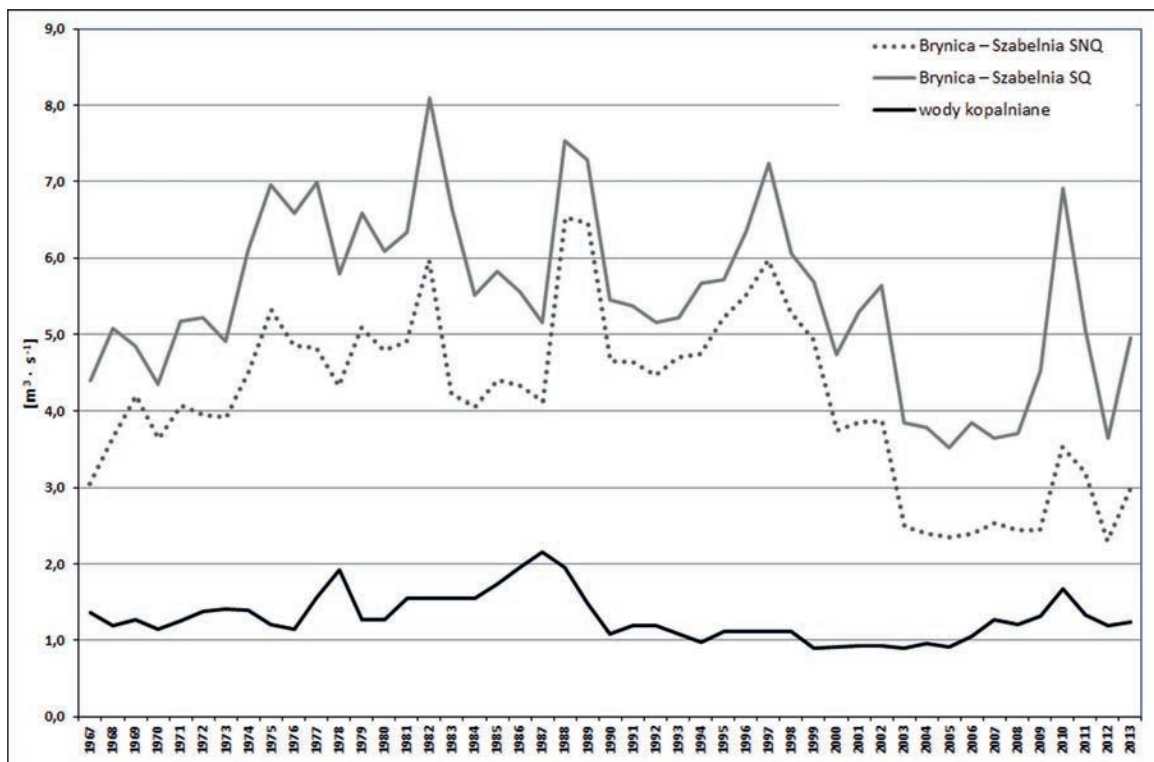


Fot. 6. Zmiany położenia ujściowego odcinka rzeki Białej na terenie Przedsiębiorstwa Górniczego „Silesia” oraz zbiornik retencyjno–dozujący wody kopalniane „Kaniów”

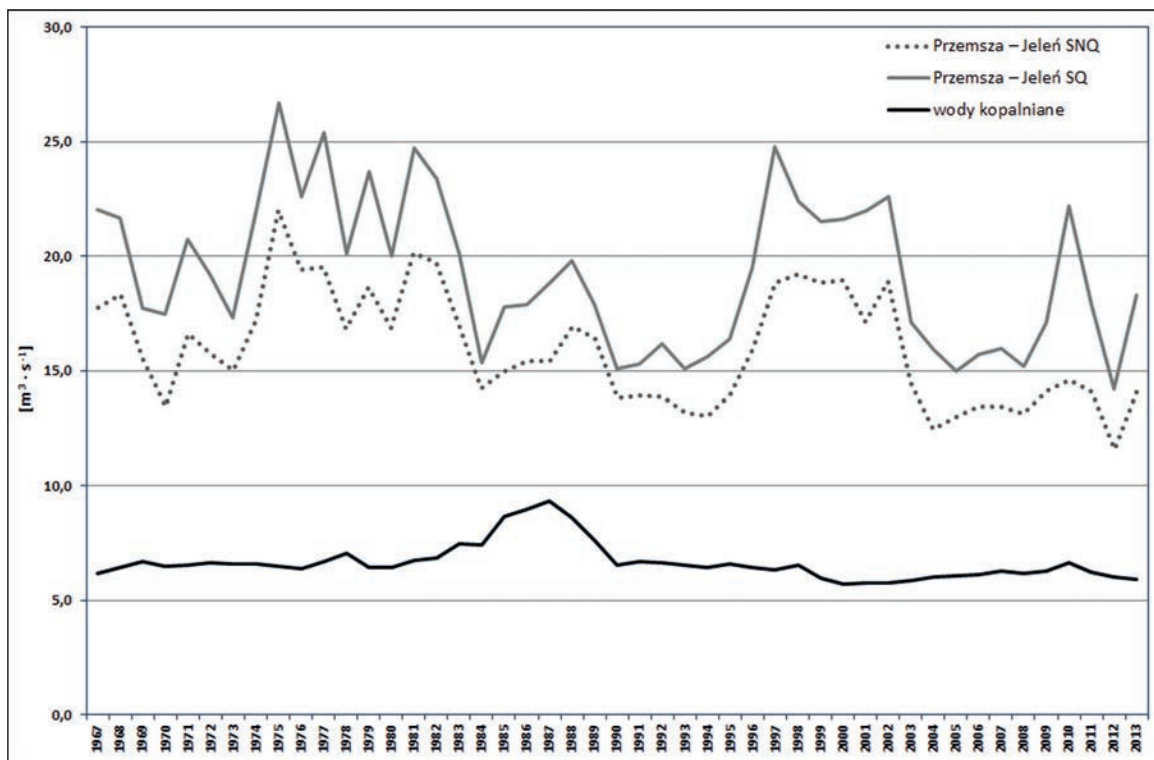
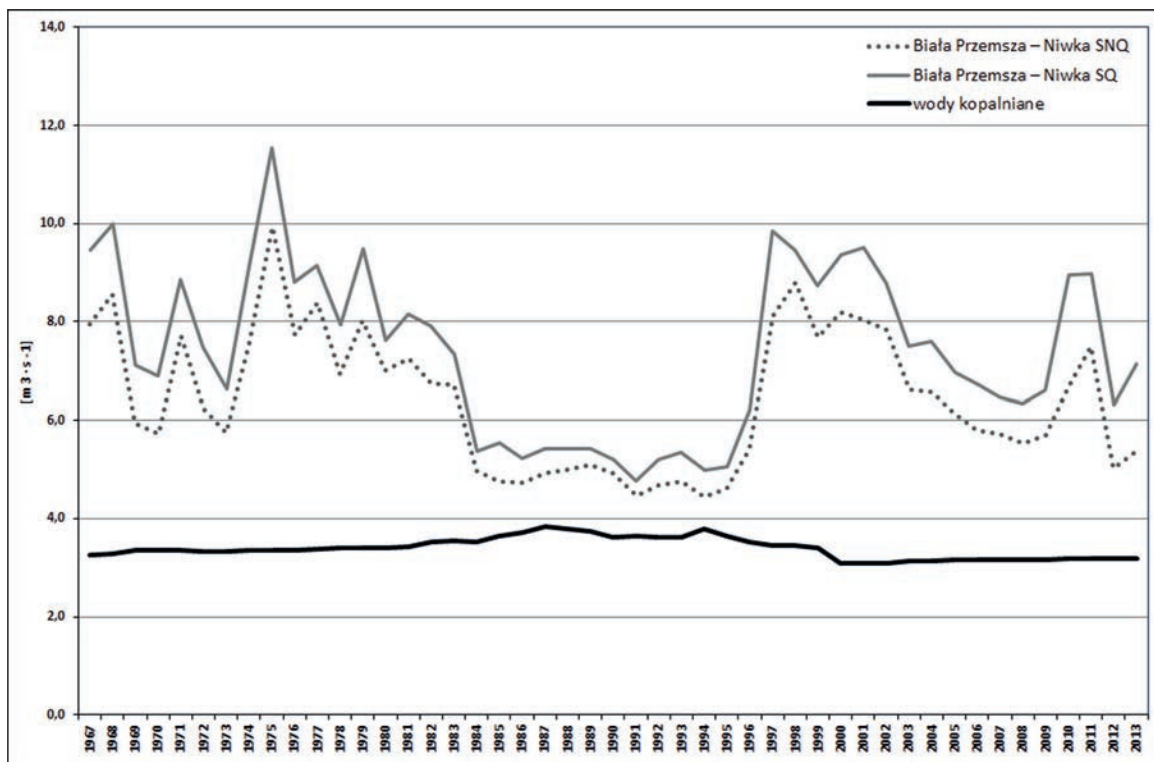
Źródło: Opracowano na podstawie <http://www.geoportal.gov.pl/> oraz fotografii M. Matysik.



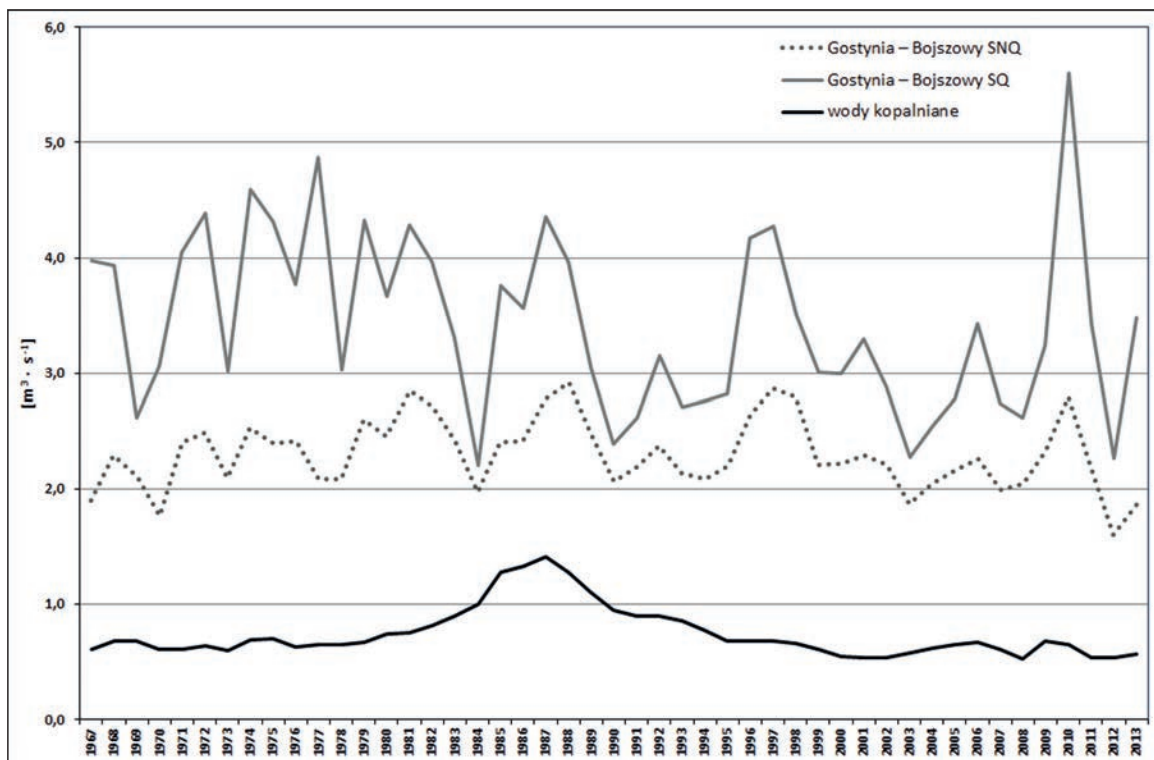
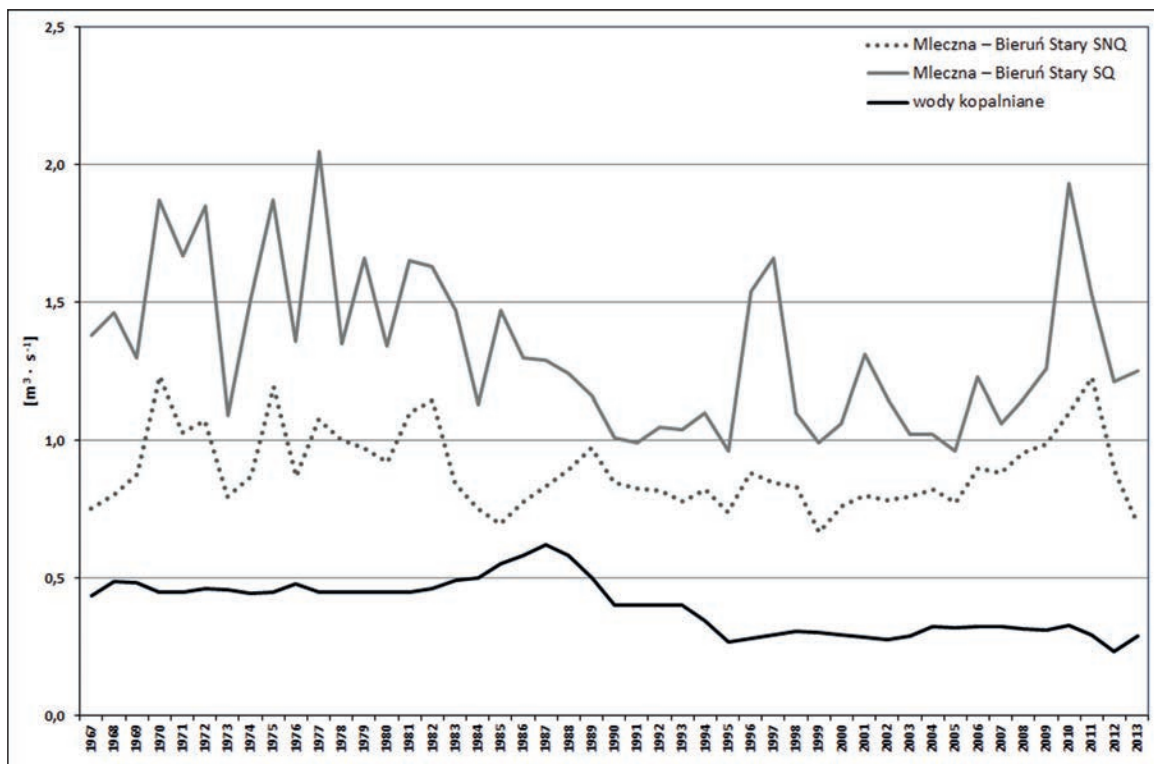
Ryc. 18. a. b. Przebieg SNQ_R , SQ_R i zrzutów wód kopalnianych w latach 1967–2013 w wybranych przekrojach wodowskazowych na terenie GZW w zlewni Wisły



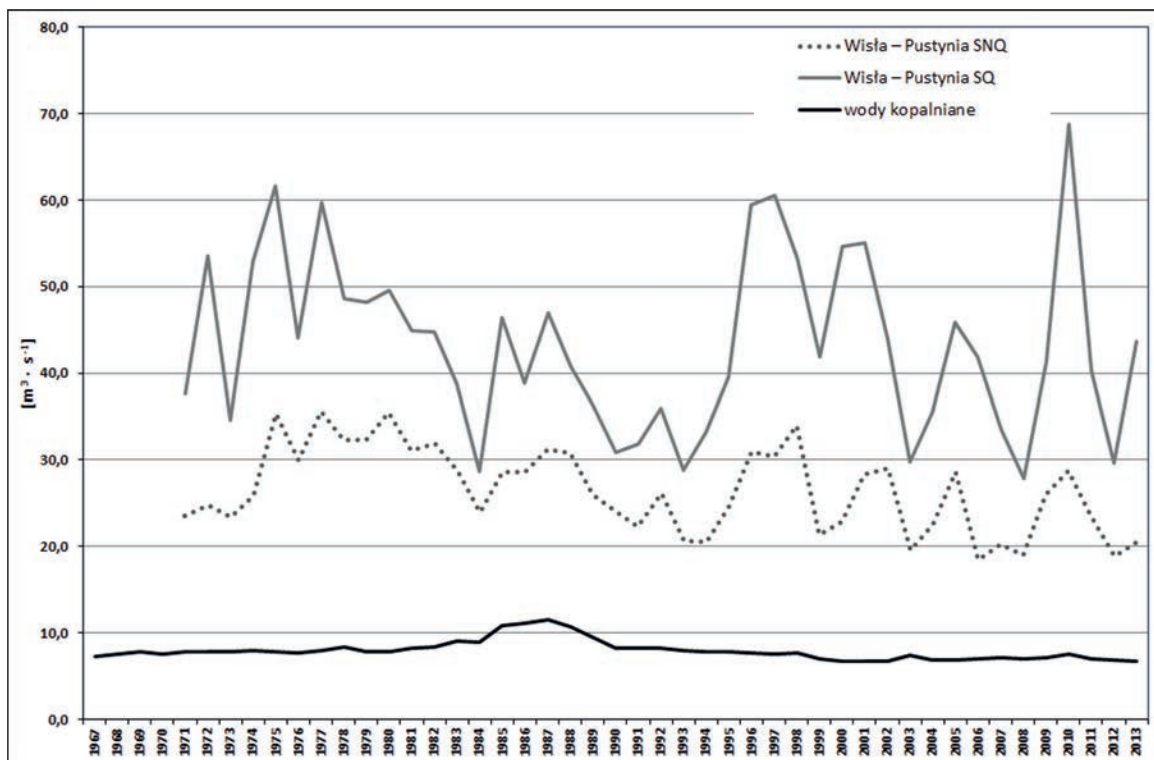
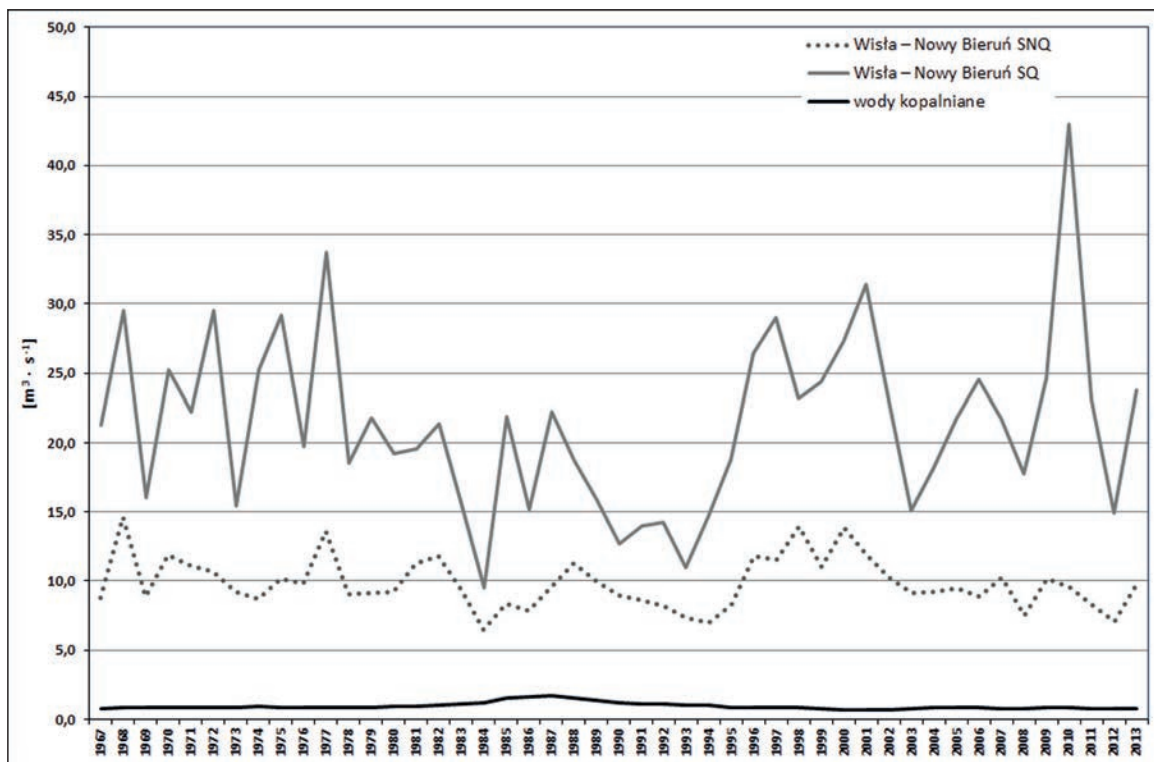
Ryc. 18. c. d. Przebieg SNQ_R , SQ_R i zrzutów wód kopalnianych w latach 1967–2013 w wybranych przekrojach wodowskazowych na terenie GZW w zlewni Wisły



Ryc. 18. e. f. Przebieg SNQ_R , SQ_R i zrzutów wód kopalnianych w latach 1967–2013 w wybranych przekrojach wodowskazowych na terenie GZW w zlewni Wisły



Ryc. 18. g. h. Przebieg SNQ_R , SQ_R i zrzutów wód kopalnianych w latach 1967–2013 w wybranych przekrojach wodowskazowych na terenie GZW w zlewni Wisły



Ryc. 18. i. j. Przebieg SNQ_R , SQ_R i zrzutów wód kopalnianych w latach 1967–2013 w wybranych przekrojach wodowskazowych na terenie GZW w zlewni Wisły

W przebiegu średnich rocznych niskich i średnich rocznych przepływów rzek przyjmujących największe ilości wód kopalnianych (Brynica, Przemsza, Pogoria, Bobrek, Gostynia, Mleczna, Wisła) zauważalne są pewne prawidłowości. Duże objętości zrzutów wód kopalnianych w okresie 1984–1988 spowodowały wyraźny wzrost przepływów. W tym czasie w większości analizowanych przekrojów odnotowano najwyższy udział procentowy wód kopalnianych w SNQ_R i SQ_R . Podobną sytuację zaobserwowano na Brynicy w okresie 2007–2011. Odmienne kształtuje się przebieg rocznych SQ_R i SNQ_R w przekroju Niwka na Białej Przemszy. W latach 1983–1994 wystąpił wyraźny spadek ich wartości, mimo wysokich zrzutów wód dołowych. Mogło być to spowodowane zwiększonym poborem wód lub większymi ucieczkami wody z koryta. Okres największego wydobycia węgla w latach 80. XX wieku generował większe zapotrzebowanie na piaski podsadzkowe, co powodowało powiększanie obszaru ich wydobycia. Sukcesywne zwiększanie wielkości drenażu w kopalniach piasku położonych bezpośrednio w dolinie Białej Przemszy mogło potęgować to zjawisko (ryc. 18).

Bezpośrednio do Odry wody kopalniane odprowadzane są systemem retencyjno-dozującym – tzw. „Kolektorem Olza”. System ten gromadzi wody z 7 czynnych i 2 nieczynnych stale odwadnianych kopalń. Eksploatacja systemu prowadzona jest od marca 2004 roku. Instalacja zrzutowa składa się z 51 dysz rozlokowanych w dnio koryta Odry (na całej jego szerokości) poniżej ujścia Olzy, co zapewnia stosunkowo szybkie wymieszanie wód kopalnianych z wodami Odry. Ilość wód kopalnianych jest regulowana, tak aby nie doszło do przekroczenia dopuszczalnego stężenia chlorków i siarczanów w rzece. Wody kopalniane zarówno odprowadzane tym systemem, jak i dopływające z Republiki Czeskiej Odrą i Olzą są bilansowane w przekroju Odra – Krzyżanowice. Udział wód kopalnianych w SNQ_R nie przekraczał 6% (w roku 1984), w SQ_R – 3%. Podobnym udziałem wód kopalnianych charakteryzowała się Odra w Miedoni (ryc. 19).

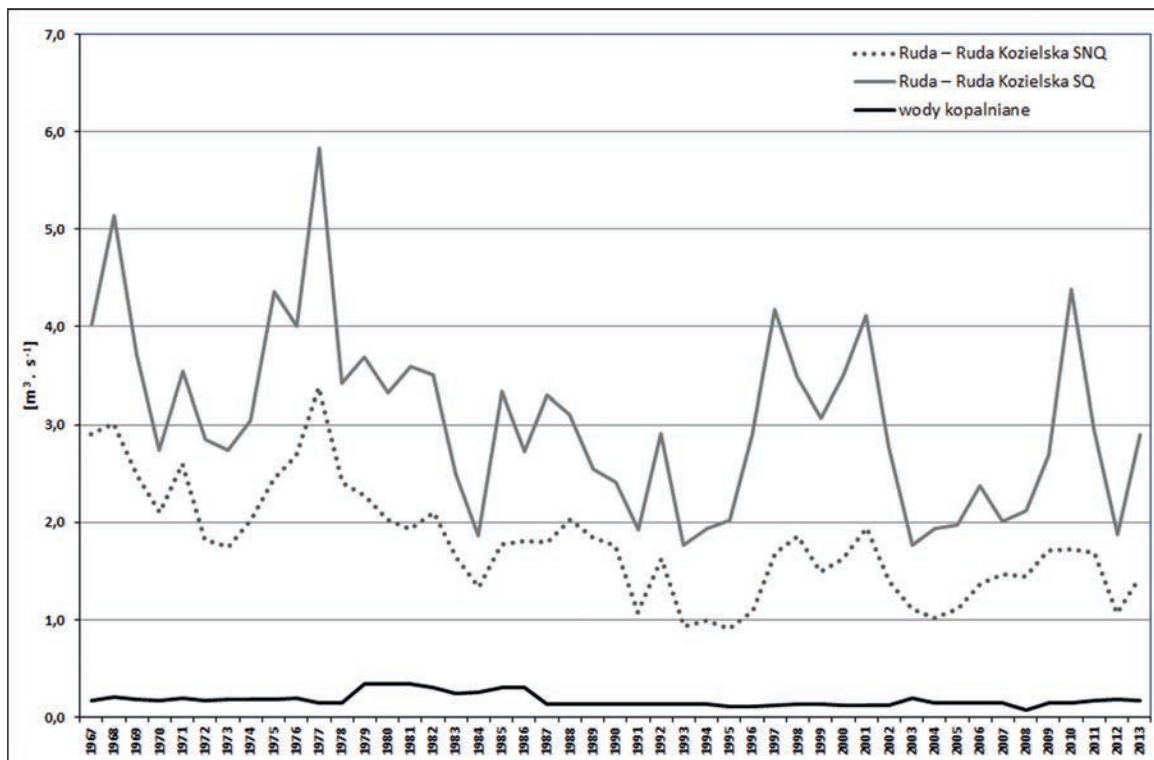
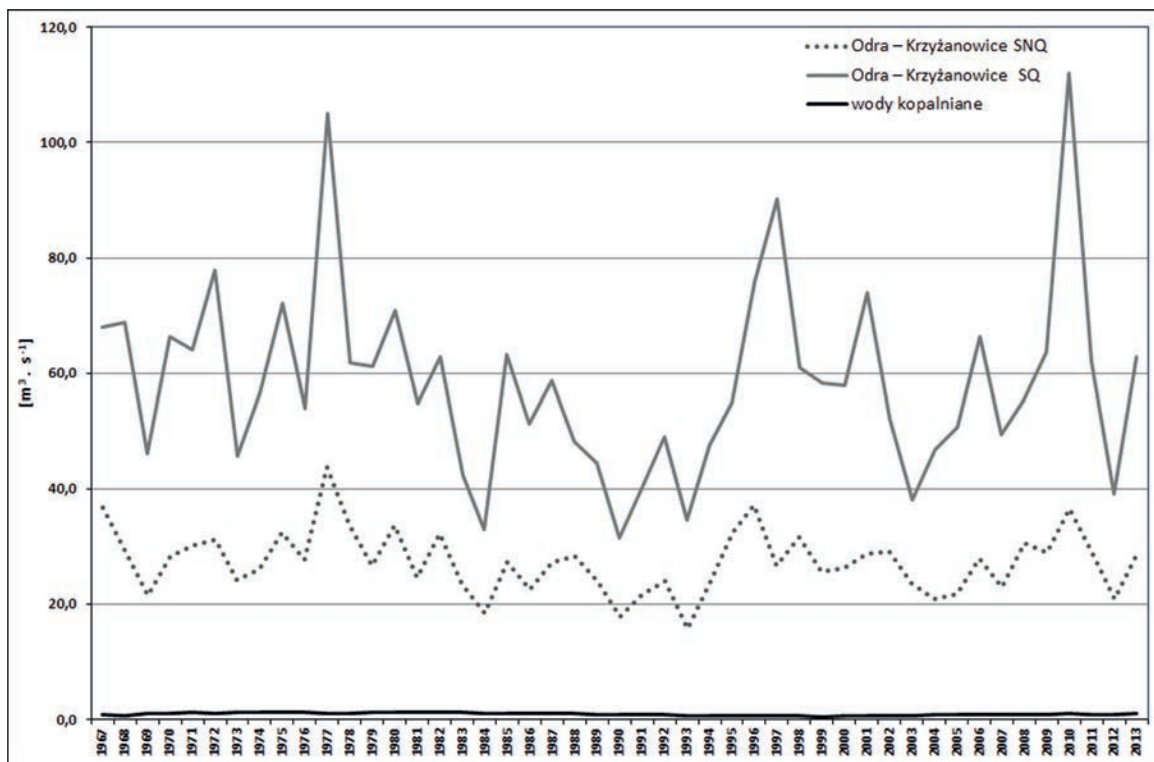
W dorzeczu Odry wody kopalniane o największej objętości zrzucano do Bytomki. Mak-

symalny udział wód kopalnianych w SNQ_R wyniósł 73% (w roku 2012), w SQ_R – 58% (w roku 2012). Objętość odprowadzanych wód dołowych do Bytomki ma tendencję rosnącą, w stosunku do okresu 1990–2000. Wyższy udział procentowy wód dołowych w odpływie jest wynikiem zmniejszenia się niskich i średnich rocznych przepływów tej rzeki.

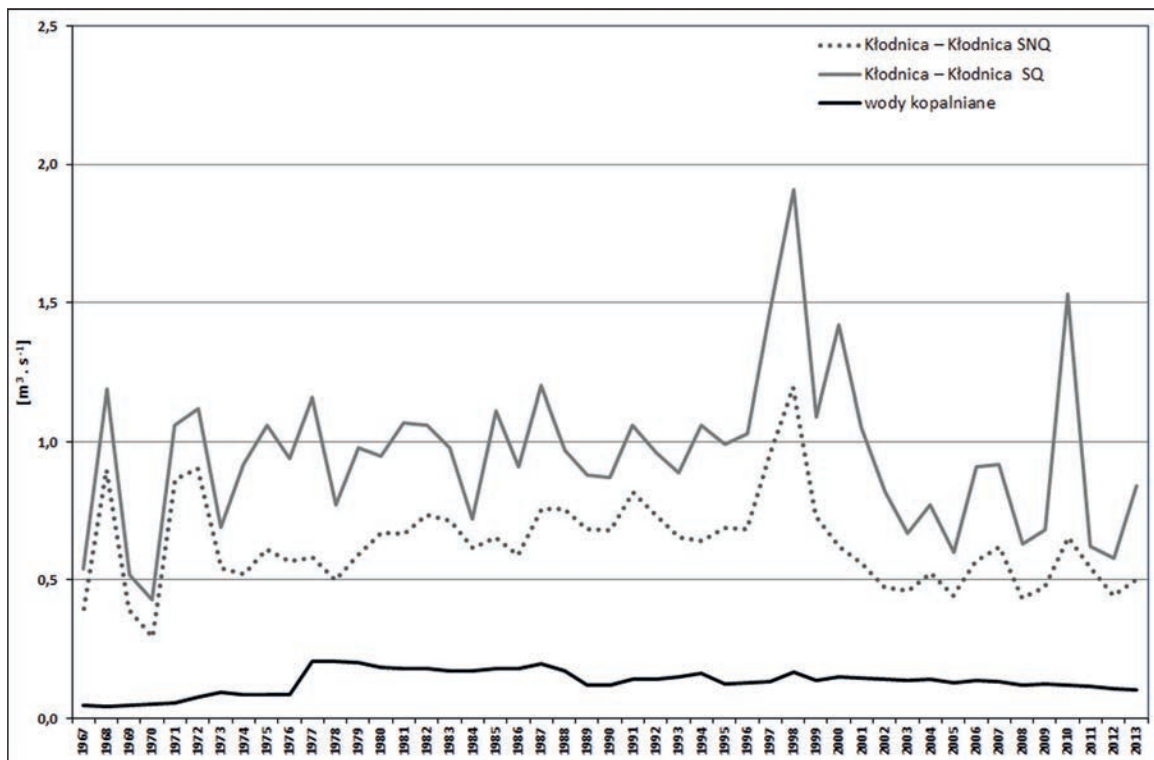
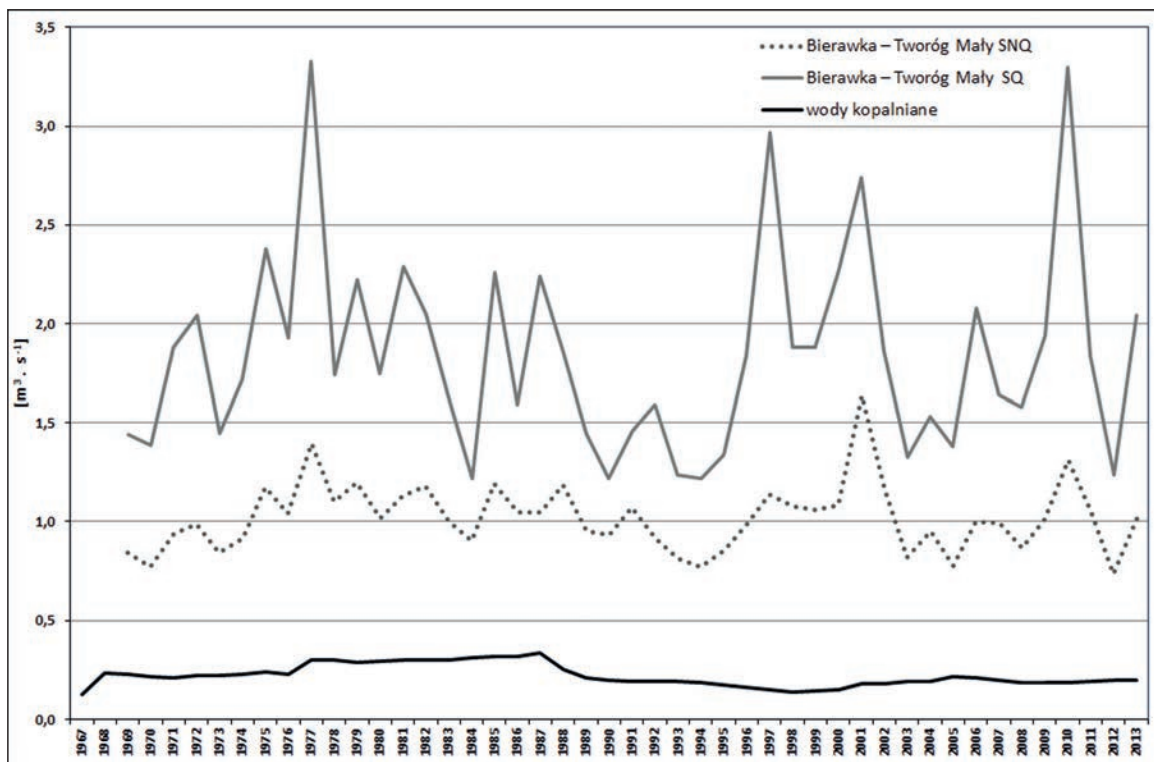
W przekroju Kłodnica – Kłodnica udział wód kopalnianych w SNQ_R maksymalnie wynosił 41% (w roku 1978), w SQ_R – 26% (w roku 1978), co związane było z uruchomieniem w tym okresie kopalni „Śląsk”. W Kłodnicy w przekroju w Gliwicach udział wód kopalnianych wzrastał. Maksymalnie wynosił w SNQ_R 41% (w roku 2012), a w SQ_R – 27% (w roku 2012).

W Bierawce oraz Rudzie w przekroju Ruda Kozielska maksymalny udział wód kopalnianych w SNQ_R zanotowano w roku 1984, w Nacynie – w roku 1986 oraz 2012. Najwyższym udziałem wód kopalnianych w tym czasie charakteryzowała się Nacyna – 60% w SNQ_R . W tych latach notowany był również najwyższy udział wód kopalnianych w SQ_R , co jest związane z przypadającym w tym czasie maksimum objętości zrzucanych wód kopalnianych oraz niższymi przepływami tych rzek.

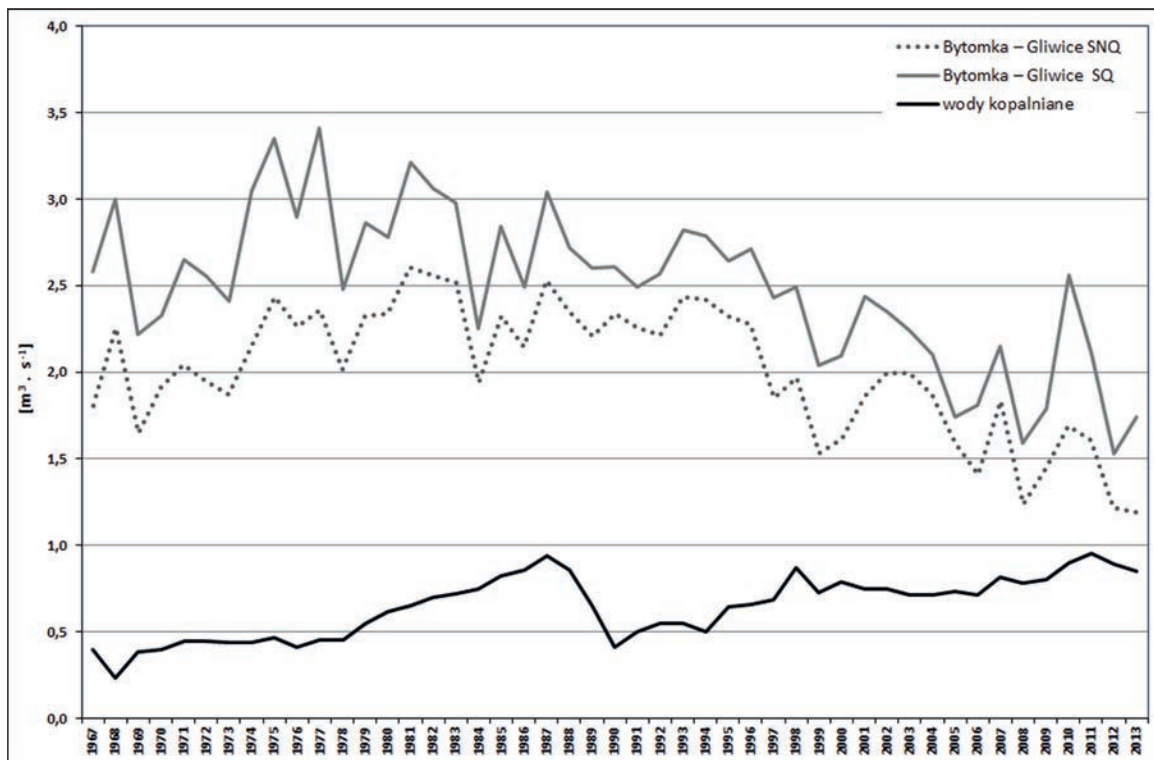
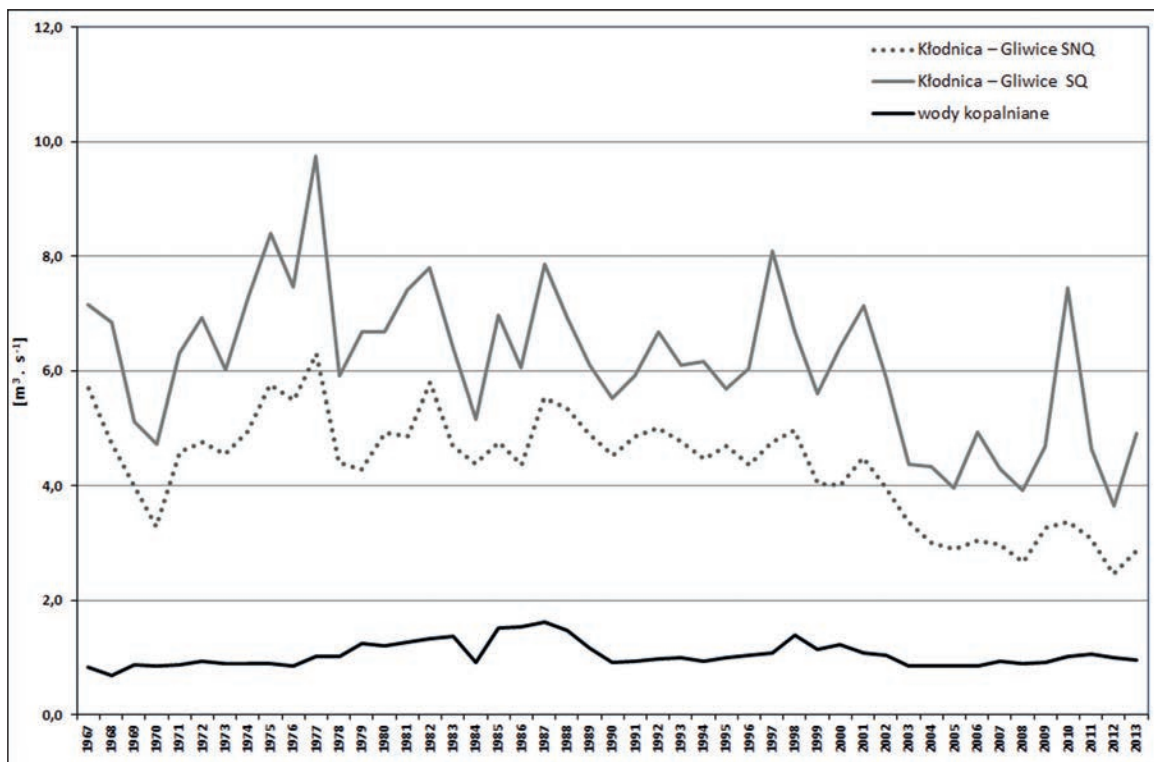
Interesująco przedstawia się relacja udziału wód kopalnianych i przepływów Bytomki. Zrzuty wód dołowych wyraźnie wzrastały w latach 2001–2013 – o 24% w stosunku do okresu 1990–2000 i o 13% w porównaniu z okresem 1977–1989 (ryc. 20.). Do połowy lat 90. XX wieku udział wód dołowych w rocznych SNQ_R i SQ_R nie przekraczał 40%. Od tego czasu udział wód dołowych w przepływach wykazywał wzrost, osiągając w latach 2012 i 2013 przeszło 70% wartości SNQ_R oraz 50% SQ_R . Spowodowane to zostało nie tylko wzrostem objętości wód dołowych odprowadzanych do Bytomki, ale głównie malejącymi przepływami. Może zadecydował o tym również wzrost retencyjności zlewni poprzez powstawanie wypełnionych wodą bezodpływowych niecek osiadań. Kolejnym powodem mógł być spadek objętości zrzucanych pozostałych ścieków lub rozszczelnienie koryta i ucieczki wody w głąb górotworu.



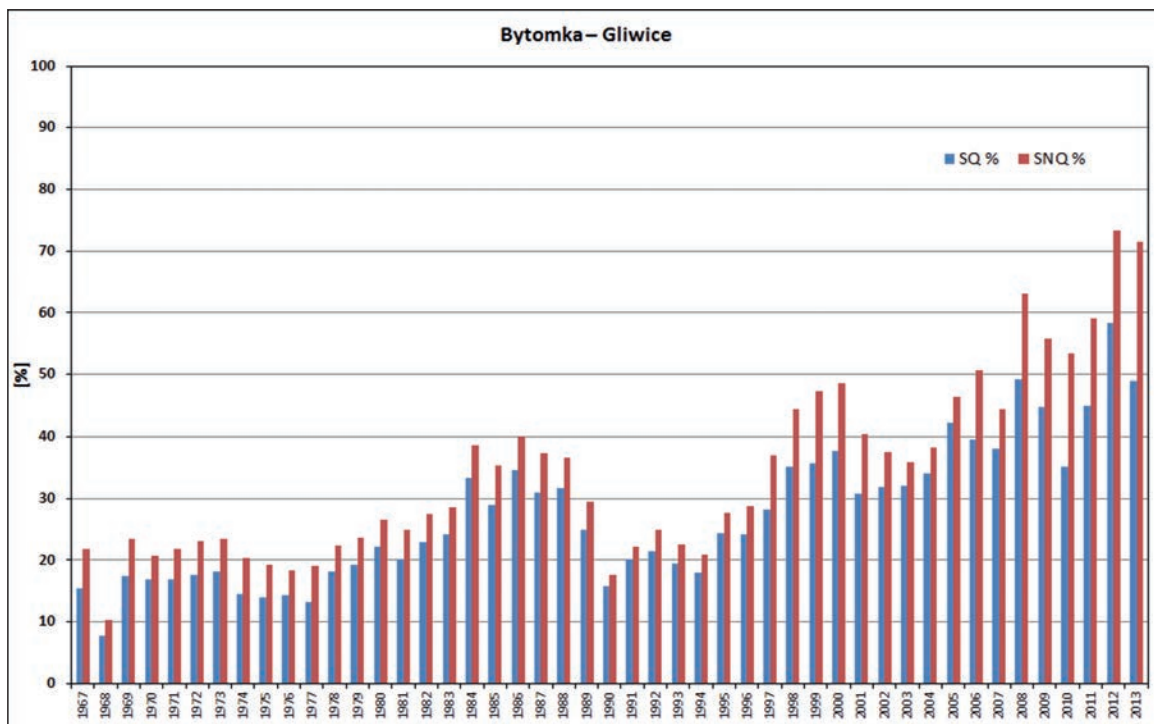
Ryc. 19. a. b. Przebieg SNQ_R , SQ_R i zrzutów wód kopalnianych w latach 1967–2013 w wybranych przekrojach wodowskazowych na terenie GZW w zlewni Odry



Ryc. 19. c. d. Przebieg SNQ_R , SQ_R i zrzutów wód kopalnianych w latach 1967–2013 w wybranych przekrojach wodowskazowych na terenie GZW w zlewni Odry



Ryc. 19. e. f. Przebieg SNQ_R , SQ_R i zrzutów wód kopalnianych w latach 1967–2013 w wybranych przekrojach wodowskazowych na terenie GZW w zlewni Odry

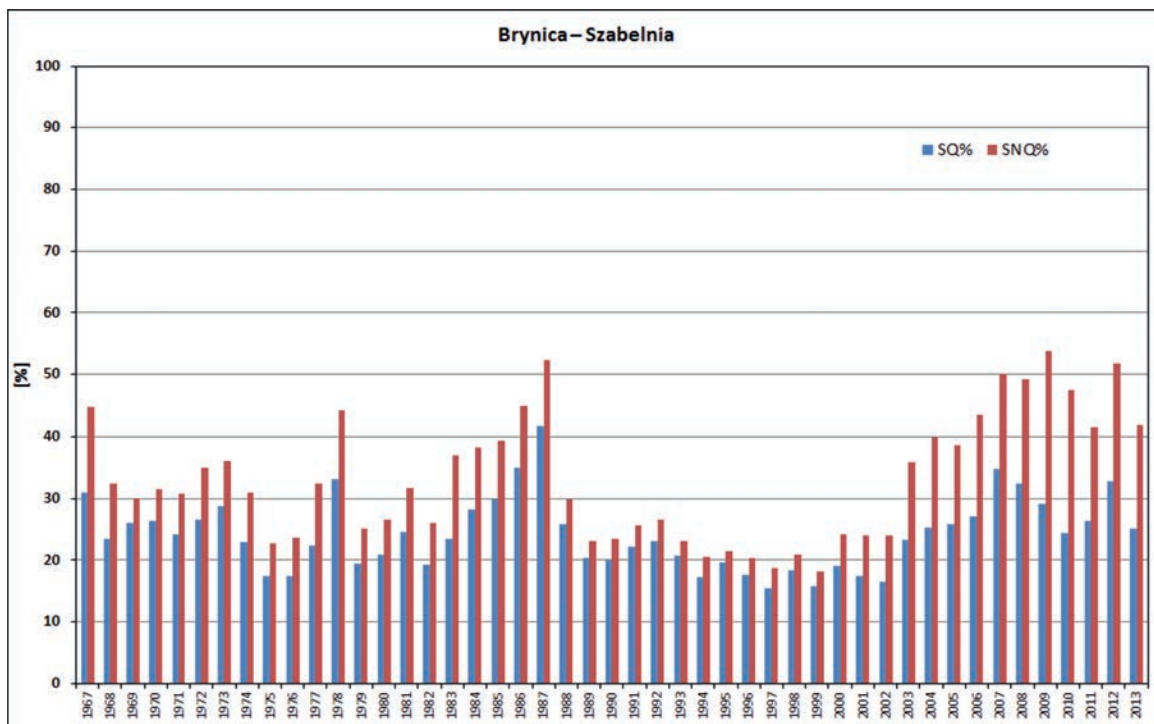


Ryc. 20. Udział wód kopalnianych w średnich rocznych niskich (SNQ_R) i średnich rocznych (SQ_R) przepływach Bytomki w Gliwicach w okresie 1967–2013

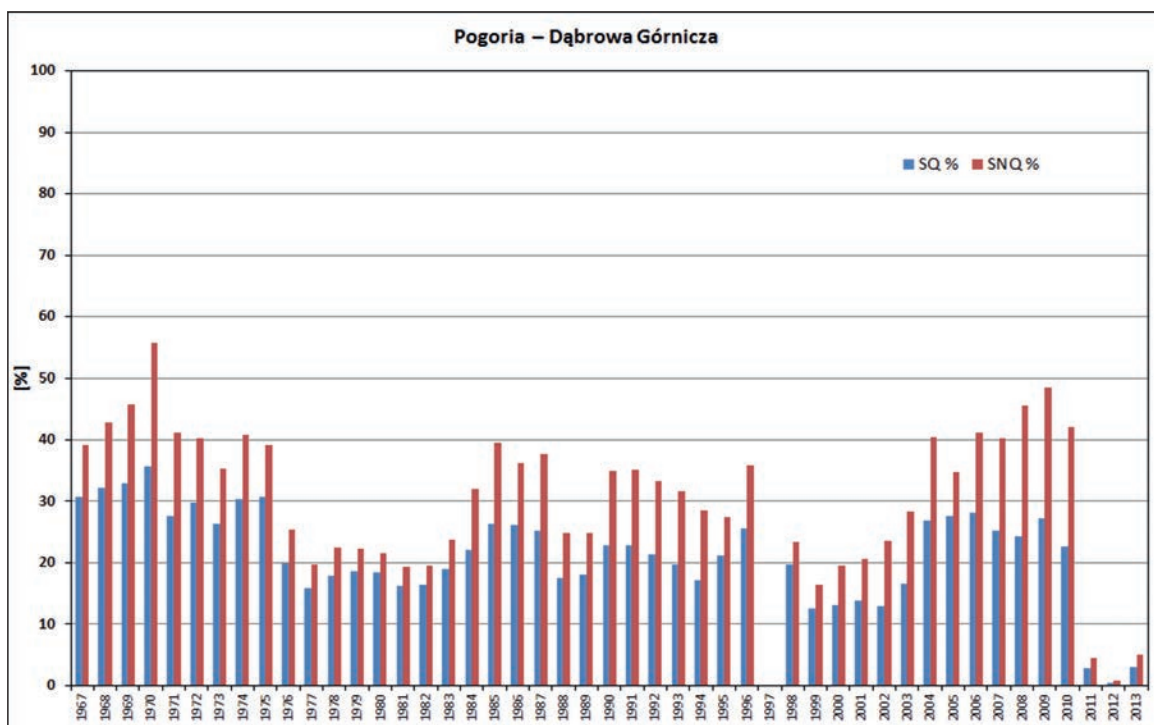
W dorzeczcu Wisły wzrost udziału wód kopalnianych zaobserwowano w przekroju Szabelnia na Brynicy. Objętość wód kopalnianych uległa zmniejszeniu w okresie 1999–2005 średnio o $0,452 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, czyli o 30% mniej w stosunku do lat 1967–1998. Od roku 2006 nastąpił ponowny wzrost objętości zrzucanych wód kopalnianych, który średnio wyniósł $0,369 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Wskutek jednoczesnego zmniejszenia przepływów udział wód kopalnianych w średnich rocznych niskich i średnich przepływach od roku 2007 przekroczył 40% (SNQ_R) i 25% (SQ_R) (ryc. 21.).

Najwyraźniejszą zmianę przepływów, którą można powiązać ze zmniejszeniem zrzutów wód dołowych, zaobserwowano w zlewni Po-

gorii. Od roku 1989 objętość zrzucanych wód dołowych zmniejszyła się o połowę. Średnio w okresie 1967–1988 zrzut wód kopalnianych wynosił $0,306 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, od roku 1989 średni zrzut – już tylko $0,170 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Zrzut ten od roku 2011 zmniejszył się do $0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Do roku 2011 udział wód kopalnianych osiągał 40% średnich rocznych niskich przepływów oraz przeszło 20% średnich rocznych przepływów. Wynikało to – podobnie jak w przypadku Bytomki oraz Brynicy (Szabelnia) – ze zmniejszających się przepływów. Wyraźnie mniejszy udział wód kopalnianych w średnich rocznych niskich i średnich przepływach notowano od roku 2011, w SNQ_R nie przekraczał on 5%, a w SQ_R – 3% (ryc. 22.).



Ryc. 21. Udział wód kopalnianych w rocznych średnich niskich (SNQ_R) i średnich rocznych (SQ_R) przepływach Brynicy w Szabelni w okresie 1967–2013



Ryc. 22. Udział wód kopalnianych w średnich rocznych niskich (SNQ_R) i średnich rocznych (SQ_R) przepływach Pogorii w Dąbrowie Górniczej w okresie 1967–2013

4. Uwarunkowania klimatyczne odpływu rzek na terenie GZW

W celu określenia potencjalnego wpływu zrzutów wód kopalnianych na wielkość odpływu rzeczny dokonano także oceny uwarunkowań klimatycznych. Jednym z głównych elementów klimatu wpływających na wielkość odpływu są opady atmosferyczne.

O rozkładzie opadów na danym terenie decydują przede wszystkim czynniki meteorologiczne, modyfikowane przez lokalne warunki geograficzne, z których największą rolę odgrywają: położenie geograficzne, konfiguracja i pokrycie terenu (CZAJA, JANKOWSKI, 1991a).

Charakterystykę zmian rocznych sum opadów w wieloleciu 1961–2013 wykonano dla 19 posterunków opadowych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej: 9 posterunków położonych w dorzeczu górnej Odry i 10 posterunków zlokalizowanych w dorzeczu Wisły (tabela 4.).

W dorzeczu górnej Odry najwyższą średnią roczną sumą opadów charakteryzował się posterunek Kaczyce w zlewni Piotrówki – 814 mm. Tam też w 2010 roku zanotowano najwyższą roczną sumę opadów – 1202 mm. Najniższą średnią roczną sumę opadów zaobserwowano w Raciborzu. W analizowanym okresie wynosiła ona 638 mm. Najwyższą roczną sumę opadów w Raciborzu – sięgającą 1035 mm – zanotowano w roku 1977, najniższą – mającą wartość 468 mm – w 1983 roku.

W dorzeczu górnej Wisły najwyższą średnią sumą opadów charakteryzował się posterunek w Bielsku Białej (983 mm). Najniższe średnie sumy rocznych opadów wystąpiły w Czeladzi 703 mm (zlewnia Brynicy), i w Dzieńkowicach 704 mm (zlewnia Przemszy). Na obu tych posterunkach

najniższa średnia roczna suma opadów – odnotowana w roku 1984 – wynosiła 445 mm. Najwyższa średnia roczna suma opadów na tych posterunkach w roku 2010 osiągnęła wartość 1051 mm.

Analiza rozkładu występowania lat normalnych, suchych i wilgotnych, obliczonych na podstawie współczynnika n (nadmiaru/niedoboru opadu), wskazuje, że bardzo suche według tej klasyfikacji były lata: 1961 i 1969 w Pszczynie, 1964 w Makoszowicach i Katowicach, 1982 i 1984 w Jawiszowicach, 1984 w Rybniku, Rokitnicy i Dzieńkowicach, 1986 w Czeladzi. Na większości posterunków latami suchymi były: 1961, 1964, 1969, 1973, 1979, 1982–1984, 1986, 1988–1993, 2003, 2004, 2011 i 2012. Nie stwierdzono występowania lat skrajnie suchych (tabela 5.).

Rok ekstremalnie wilgotny zanotowano tylko w Raciborzu (rok 1977) oraz w Jawiszowicach (rok 2010). W większości zlewni jako bardzo wilgotne odnotowano lata: 1966, 1968, 1977, 2001 i 2010, z kolei jako wilgotne: 1962, 1972, 1974, 1975, 1996, 1997, 2009. Lata: 1967, 1980–1982, 1985, 1987, 1995, 1998–2000, 2005–2008 i 2013 w większości zlewni określano jako normalne ze względu na wysokość opadów.

Analizę tendencji opadów atmosferycznych poprzedzono sprawdzeniem jednorodności ciągów rocznych sum opadów. Szeregi czasowe zostały przeanalizowane za pomocą testu Pettitta na poziomie istotności 0,05. Na posterunkach: Adamowice, Chałupki, Racibórz i Rybnik szeregi rocznych sum opadów okazały się statystycznie niejednorodne. Zerwanie ciągów nastąpiło w Raciborzu w 1980 roku, w Adamowicach

Tabela. 4. Podstawowe charakterystyki opadów w okresie 1961–2013

Stacja opadowa	Zlewnia	Wysokość w m n.p.m.	Średnia roczna suma opadu w mm	Minimalna roczna suma opadu w mm (rok wystąpienia)	Maksymalna roczna suma opadu w mm (rok wystąpienia)
Dorzecze Odry					
Chałupki	Odra	205	647	475 (2003)	955 (2010)
Kaczyce	Piotrówka	280	814	591 (1993)	1202 (2010)
Racibórz	Odra	205	638	468 (1983)	1035 (1977)
Rybnik	Nacyna	245	749	494 (1984)	1076 (1968)
Adamowice	Sumina	240	729	569 (1984)	1103 (2010)
Stanowice	Bierawka	260	721	517 (1982)	1055 (2010)
Makoszowy	Kłodnica	230	706	487 (1964)	1138 (2010)
Rokitnica	Bytomka	275	720	501 (1984)	994 (2001)
Ujazd Śląski	Kłodnica	185	675	486 (1990)	923 (1977)
Dorzecze Wisły					
Skoczów	Wisła	295	942	688 (2003)	1395 (1966)
Bielsko Biała	Biała	398	983	759 (1979)	1460 (1966)
Pszczyna	Pszczynka	270	780	530 (1969)	1138 (2010)
Jawiszowice	Wisła	250	799	542 (1982)	1110 (1966)
Bieruń Stary	Mleczna/Gostynia	255	765	569 (1984)	1051 (1968)
Świerklaniec	Brynica	285	721	530 (1976)	1055 (2010)
Czeladź	Brynica	280	703	445 (1984)	1051 (2010)
Katowice	Brynica	284	728	498 (1964)	1019 (1977)
Maczki	Biała Przemsza	260	756	548 (1964)	1123 (1974)
Dzieńkowice	Przemsza	250	704	445 (1984)	1051 (2010)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMGW-PIB.

w 1977 roku, w Chałupkach w 1994 roku, w Rybniku w 1995 roku.

Tendencje rocznych sum opadów przeanalizowano za pomocą trendów liniowych, których istotność badano, przy użyciu testów t-Studenta i τ -Manna-Kendalla na poziomie istotności 0,05 (95%) (tabela 6.).

Na analizowanych posterunkach opadowych nie stwierdzono istotnych statystycznie tendencji zmian rocznych sum opadów (ryc. 24.). Wyjątek stanowi Racibórz, położony na skraju Płaskowyżu Głubczyckiego i Doliny Odry, gdzie istotność statystyczną tendencji potwierdzono za pomocą testów monotonicznych: t-Studenta i nieparametrycznego testu Manna-Kendalla na poziomie 0,05 i 0,1 (ryc. 23.). W tym przypadku stwierdzo-

no jednak trudne do wyjaśnienia zerwanie szeregu danych w roku 1980. Na pobliskich posterunkach opadowych, np. w Chałupkach (Kotlina Ostrawska), Rybniku (Płaskowyż Rybnicki), Adamowicach (Kotlina Raciborska), zerwania ciągów wystąpiły w różnych latach, tam tendencje opadów były dodatnie, ale nieistotne statystycznie. Prawdopodobną przyczyną tej sytuacji może być np. zmiana rodzaju urządzeń pomiarowych lub zmiana ich lokalizacji.

Uzyskane wyniki są częściowo zbieżne z wynikami tendencji rocznych i sezonowych zmian wysokości opadów w dorzeczu Górnej Odry w okresie 1951–2009 (KAZIMIERCZAK, KOTOWSKI, WDOIWKOWSKI, 2014), gdzie wykazano malejący trend opadów, jednak nieistotny statystycznie.








Tabela 5. Roczne współczynniki nadmiaru/niedoboru opadu (nP) w analizowanych zlewniach w okresie 1961–2013

Rok	Zlewnia Odry								
	Chałupki	Kaczyce	Racibórz	Rybnik	Adamo- wice	Stanowice	Mako- szowy	Rokitnica	Ujazd Śląski
	Odra	Piotrówka	Odra	Nacyna	Sumina	Bierawka	Kłodnica	Bytomka	Kłodnica
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1961	-16,4	-6,3	-13,8	-22,4	-18,3	-14,5	-14,9	-10,2	-17,8
1962	16,4	10,1	19,7	12,2	20,9	30,2	17,8	11,8	5,5
1963	0,3	-4,7	16,5	4,0	13,3	4,1	-2,1	-8,8	-12,3
1964	-21,5	-23,7	1,3	-22,3	-14,1	-27,4	-31,1	-21,9	-22,2
1965	1,9	6,0	19,0	-3,7	8,2	-4,8	-6,0	-6,2	-10,3
1966	19,3	28,0	47,8	16,5	37,3	11,3	-0,3	21,9	23,1
1967	1,1	0,9	3,4	3,2	1,9	-4,1	-0,8	0,4	0,4
1968	26,3	30,6	45,8	43,8	30,5	25,6	19,7	31,3	21,3
1969	-15,4	-11,3	-14,4	-9,0	-21,6	-27,6	-23,6	-23,1	-26,2
1970	-4,9	10,9	10,0	-4,0	5,2	-10,9	-7,1	8,1	-2,9
1971	-10,3	-3,0	0,2	-8,9	3,3	-2,3	-4,6	5,2	33,1
1972	8,2	19,2	12,2	9,8	19,4	6,5	14,8	2,5	10,0
1973	-13,3	-21,1	-17,2	-14,3	-2,7	-20,8	-12,2	-6,2	-15,2
1974	0,9	11,0	12,6	17,2	15,4	16,2	10,6	24,7	18,7
1975	21,5	9,6	13,7	32,6	44,1	23,8	17,0	23,8	25,3
1976	-13,6	-0,1	-6,4	-3,5	7,4	-15,6	-15,4	-11,5	-2,3
1977	43,6	35,5	62,3	24,9	45,8	19,9	39,2	33,0	36,7
1978	-15,1	-5,3	-5,5	-6,4	-15,5	-15,7	5,4	-10,4	3,8
1979	-18,4	-11,1	-8,5	-20,3	-6,7	-1,0	-11,6	-13,3	3,4
1980	-4,2	-5,5	4,5	-5,5	1,4	0,4	1,6	3,5	7,1
1981	-1,7	-3,7	-7,0	7,0	-5,9	0,0	10,1	12,8	25,5
1982	-23,8	-13,7	-18,3	-20,8	-20,8	-28,3	-9,2	-10,3	-14,9
1983	-22,1	-12,2	-26,6	-7,2	-15,1	-12,0	6,4	-9,4	-5,9
1984	-8,2	-19,9	-17,5	-34,1	-21,3	-19,2	-20,5	-30,4	-5,4
1985	8,1	3,8	-2,4	5,6	4,7	11,6	14,4	-0,9	-2,6
1986	-11,7	-16,6	-14,9	-18,5	-11,2	-13,7	-3,9	-15,8	-4,3
1987	6,1	2,5	-1,9	-2,5	3,6	3,3	3,0	-4,8	-3,4
1988	-11,3	-2,8	-14,6	-13,0	-18,3	-4,0	-12,5	-13,9	-14,5
1989	-15,5	-16,6	-23,3	-13,0	-14,8	-6,3	-16,0	-15,3	-14,4
1990	-19,5	-10,1	-21,1	-17,4	-23,6	-10,3	-28,2	-21,9	-27,9
1991	-7,1	-20,6	-13,9	-17,4	-16,8	-16,3	-12,7	-10,7	-16,4
1992	-17,2	-7,7	-16,8	-16,8	-20,4	-13,0	-10,5	-16,9	-3,1
1993	-23,2	-27,3	-26,0	-29,6	-20,5	-25,7	-25,0	-16,1	-14,9
1994	-7,9	-7,2	-14,8	-10,7	-12,0	-4,6	2,2	-5,7	-2,7

Zlewnia Wisły									
Skoczów	Bielsko Biała	Pszczyna	Jawiszowice	Bieruń Stary	Świerklaniec	Czeladź	Katowice	Maczki	Dzieńkowice
Wisła	Biała	Pszczynka	Wisła	Mleczna Gostynia	Brynica	Brynica	Brynica	Biała Przemsa	Przemsa
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
-21,3	-9,3	-30,7	-9,3	-22,5	-1,7	-14,3	-7,1	-22,1	-16,2
15,6	19,9	18,2	22,7	10,4	20,3	14,1	14,6	12,7	17,9
21,8	8,4	15,3	13,0	1,2	-14,9	-7,1	-0,3	1,1	7,5
-20,1	-10,4	-23,3	-7,4	-21,0	-19,7	-29,0	-31,6	-27,5	-20,5
14,5	13,9	-0,6	22,6	-2,8	-3,3	5,8	-6,7	6,5	16,3
48,0	48,6	19,5	38,0	10,0	6,8	19,2	11,7	19,5	19,4
18,0	4,9	-7,7	-0,3	9,4	-4,4	13,9	-2,2	17,8	8,5
21,9	46,7	29,6	34,2	37,4	18,4	11,3	11,7	24,1	21,6
-15,1	-8,4	-32,0	-13,7	-21,1	-15,8	-26,2	-27,2	-17,6	-14,3
16,1	23,2	7,5	17,9	-0,6	-3,2	-0,2	-1,1	11,1	4,1
-9,1	-8,3	-21,2	-12,2	-11,7	-7,6	1,9	-8,2	13,4	4,0
13,3	23,1	8,9	12,2	11,7	-0,9	14,5	25,9	6,7	6,0
-21,1	-20,6	-24,3	-15,5	-24,2	-23,1	-9,2	-8,9	-16,5	-14,2
8,5	12,5	8,4	10,6	16,7	23,2	44,2	32,6	48,5	35,5
1,6	9,8	4,6	13,8	14,8	13,1	29,8	29,6	22,3	21,1
-15,1	-13,3	2,4	-16,9	-23,0	-26,4	-16,3	-7,8	-19,1	-6,7
14,2	11,9	22,7	23,6	25,5	29,7	41,3	40,0	31,1	21,0
-10,0	-12,7	8,7	-5,7	-5,8	-7,0	-2,5	-2,1	6,4	1,2
-5,3	-22,8	3,0	-11,4	-9,3	-13,0	4,5	-6,7	-3,0	-13,2
3,1	-0,3	-13,4	0,2	-8,4	-2,7	5,4	0,3	0,6	-8,1
3,7	-9,0	6,2	3,2	5,2	12,5	7,9	10,3	15,4	3,6
-1,7	-6,4	-20,1	-32,6	-20,4	-24,1	-28,4	-21,6	-10,7	-24,0
-6,2	-11,6	-15,6	-10,8	-16,3	2,9	-6,7	1,1	-10,5	-9,9
4,4	-20,7	-13,2	-30,4	-25,7	-17,9	-24,4	-23,1	-24,7	-36,8
6,9	1,1	9,0	-5,1	-6,9	11,0	2,9	6,3	7,0	-1,8
-26,4	-11,2	0,7	-4,3	-11,8	0,1	-42,7	-11,8	-8,8	-16,9
-13,3	-4,8	7,1	-5,9	5,7	-3,7	-21,5	-8,0	-2,1	-14,8
-6,9	-17,9	-10,1	-17,6	-2,5	-14,5	-12,4	-10,7	-10,1	-20,7
0,1	3,9	-15,3	-19,7	-7,8	-9,3	-11,8	-14,8	-26,2	-25,8
-15,7	-18,5	-1,6	-18,8	-5,4	-18,9	-20,3	-11,5	-7,5	-18,5
-17,9	-14,5	-17,8	-7,3	-10,6	3,9	-19,9	-17,1	-13,2	-19,7
-20,6	-21,3	-9,7	-23,5	-15,8	2,8	-5,4	-13,3	-15,9	-22,9
-23,9	-21,4	-17,1	-24,5	-16,3	-11,1	-20,9	-25,7	-16,0	-29,3
0,5	-7,2	-4,8	3,4	14,7	2,2	1,6	4,4	8,7	3,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1995	5,0	-3,5	8,9	-4,6	-7,2	8,3	-8,7	-6,1	5,2
1996	23,9	12,6	18,7	4,1	17,4	11,4	7,9	14,6	16,9
1997	25,9	6,8	16,9	32,2	30,0	24,5	16,2	24,9	10,7
1998	11,0	9,4	9,6	6,2	1,0	4,7	14,0	19,4	3,6
1999	-8,1	0,8	-10,0	3,1	-17,0	-7,5	-0,3	7,3	-15,0
2000	2,6	4,4	0,7	9,9	-1,4	10,0	10,5	23,9	10,4
2001	22,2	38,4	25,5	30,6	16,5	30,4	30,1	38,1	20,8
2002	9,9	5,8	-14,6	12,0	-13,1	-2,6	17,6	17,7	-6,7
2003	-26,6	-21,7	-19,4	-23,3	-28,0	-23,9	-19,9	-24,3	-18,8
2004	-5,5	-11,9	-21,7	-12,0	-15,2	-9,4	-9,7	-4,1	-8,2
2005	2,1	3,0	-1,4	2,6	-8,2	-6,6	-21,9	-26,3	-7,1
2006	8,8	6,2	-2,8	19,3	8,7	11,2	6,9	0,5	-4,7
2007	6,0	2,2	-5,5	5,8	1,4	15,7	4,7	-4,6	1,5
2008	9,5	-6,3	2,5	13,5	5,3	11,1	15,2	2,6	1,6
2009	14,6	6,1	3,3	5,7	11,0	12,5	7,7	10,1	14,2
2010	47,6	47,6	29,9	42,3	37,3	46,3	41,7	37,2	28,5
2011	4,3	5,7	-5,6	-2,6	-6,3	-11,0	-13,9	-14,2	-12,8
2012	-6,8	-15,5	-15,2	-4,2	-13,7	4,3	-0,3	1,3	-13,9
2013	1,6	-7,6	-4,0	3,8	-1,4	15,7	8,2	-13,5	-0,3

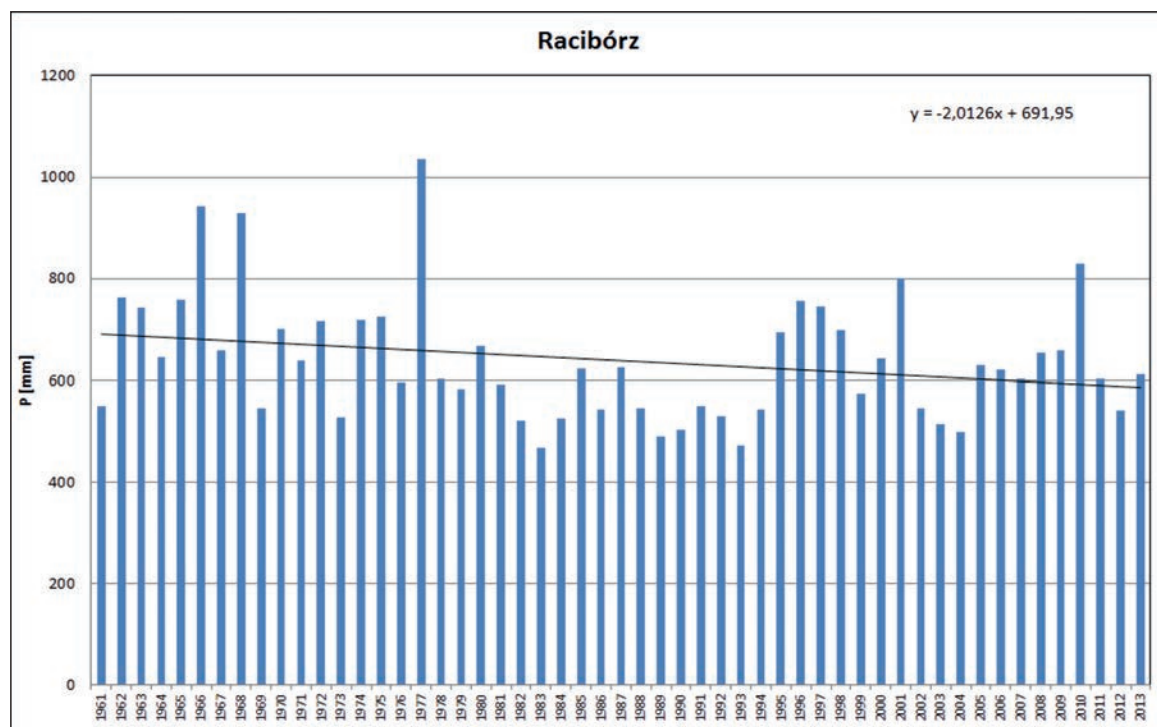
Źródło: Obliczenia własne.

	współczynnik n coefficient	rok	year
	$n < -50$	skrajnie suchy	extremely arid
	$-30,1 > n \geq -50$	bardzo suchy	very arid
	$-10,1 > n \geq -30$	suchy	arid
	$-10 \leq n \leq 10$	normalny	normal
	$10,1 < n \leq 30$	wilgotny	humid
	$30,1 < n \leq 50$	bardzo wilgotny	very humid
	$n > 50$	skrajnie wilgotny	extremely humid

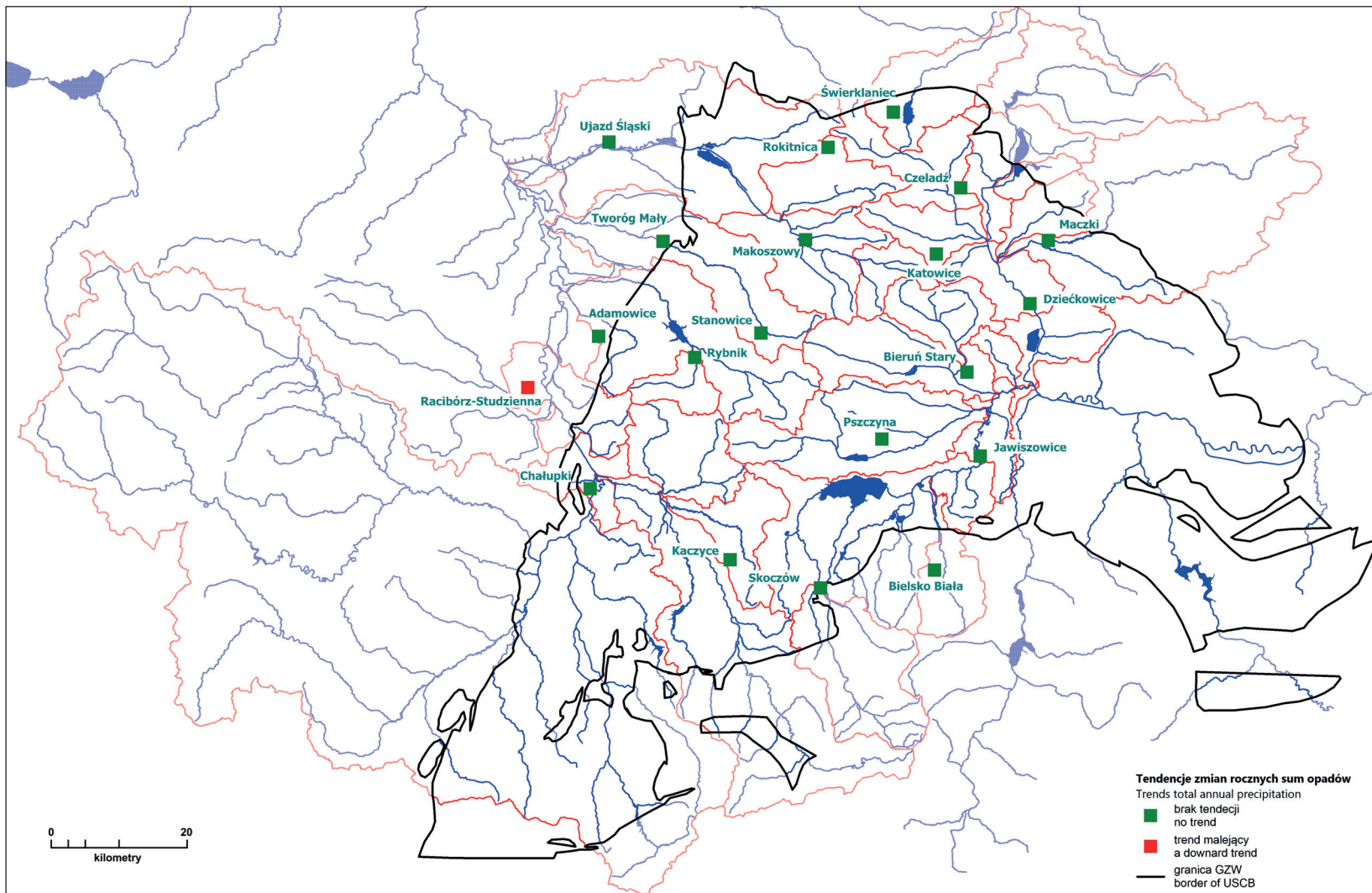
Zgodnie z prognozami w bieżącym stuleciu temperatura może podnieść się od 1,7°C do 4,4°C, a wzrost temperatury o 1°C może zwiększać intensywność opadów atmosferycznych o około 7% (LANDERINK, MEIJGAARD, 2008). Prognozy zmian klimatu dla Polski do końca XXI wieku przewidują wzrost średniej rocznej temperatury o 3–3,5°C, wzrost temperatury zimy o 3,5–5°C, wzrost temperatury lata o 3–3,5°C. Progno-

zy zmian opadów są znacznie trudniejsze i zależą w istotny sposób od scenariusza emisji gazów cieplarnianych. Decyduje o nich także przyjęty model. W okresach letnich niektóre modele przewidują wzrost opadów, inne zaś ich obniżenie. W zimie wszystkie modele przewidują wzrost opadów, przy czym wzrosnąć ma częstość opadów deszczu, a zmaleć częstość opadów śniegu (GUTRY-KORYCKA i in., 2014). W ostatnich dzie-

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4,4	-4,0	-10,6	-3,9	-0,6	-2,4	-9,1	-0,4	-9,4	-7,9
3,9	11,7	15,4	20,1	19,9	12,9	27,8	6,4	4,5	11,7
8,1	10,8	14,5	3,7	10,0	12,1	31,2	24,1	22,4	8,2
7,5	23,4	4,8	4,2	7,4	4,3	1,6	4,3	-1,5	-0,8
-7,2	7,9	-3,9	3,1	2,1	-2,1	-4,9	1,6	3,2	0,3
0,1	12,6	4,5	11,6	4,6	20,7	7,7	9,5	-5,9	11,7
26,1	25,9	32,1	21,9	29,8	35,0	25,9	26,6	29,4	39,3
-6,8	11,2	5,0	8,0	24,1	25,7	12,1	10,3	4,1	16,5
-27,0	-22,2	-18,1	-26,6	-15,2	-20,1	-20,6	-22,9	-25,3	-22,0
-8,0	-9,4	-10,6	-5,9	-4,7	-7,4	-13,9	-10,3	-23,7	-10,8
-3,7	5,2	-4,8	-6,1	-10,6	-18,6	-26,7	-15,1	-19,0	-11,5
2,2	-12,9	4,4	6,2	14,5	1,7	12,0	10,8	3,1	16,6
8,3	-13,7	8,6	1,3	14,5	-2,9	10,1	14,0	-0,6	12,5
-8,8	-14,5	-3,5	-10,1	-6,1	4,1	6,8	5,1	-11,1	1,9
9,9	1,5	20,1	3,5	12,2	13,9	14,1	9,3	9,2	13,5
47,0	34,7	45,9	58,8	44,2	38,6	43,7	31,2	31,9	49,2
-0,4	0,1	6,6	-12,8	-1,7	-12,2	-13,3	-11,4	-14,6	-5,4
-13,5	-19,5	-15,3	-12,9	-16,7	-4,5	-5,6	-7,8	-8,6	-5,9
-4,3	-5,7	11,7	13,4	-0,5	-2,8	2,1	-6,1	10,6	25,5



Ryc. 23. Roczne sumy opadów oraz linia trendu na posterunku Racibórz w wieloleciu 1961–2013



Ryc. 24. Lokalizacja posterunków opadowych i tendencje rocznych sum opadów na terenie GZW

Tabela. 6. Trendy rocznych sum opadów atmosferycznych na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w wieloleciu 1961–2013 oraz ocena zmian skokowych za pomocą testu Pettitta

Posterunek	Test Manna-Kendalla	Istotność statystyczna test Manna-Kendalla (0,05)	Kierunek liniowych trendów rocznych sum opadów	Istotność statystyczna test t-Studenta (0,05, 0,1)	Zmiana/zerwanie test Pettitta (0,05)
Chałupki	+	nieistotny	+	nieistotny	1994
Kaczyce	+	nieistotny	–	nieistotny	jednorodny
Racibórz	–	nieistotny	–	90%	1980
Rybnik	+	nieistotny	+	nieistotny	1995
Adamowice	–	nieistotny	–	nieistotny	1977
Stanowice	+	nieistotny	+	nieistotny	jednorodny
Makoszowy	+	nieistotny	+	nieistotny	jednorodny
Rokitnica	+	nieistotny	+	nieistotny	jednorodny
Ujazd Śląski	–	nieistotny	–	nieistotny	jednorodny
Skoczów	–	nieistotny	–	nieistotny	jednorodny
Bielsko Biała	–	nieistotny	–	nieistotny	jednorodny
Pszczyna	+	nieistotny	+	nieistotny	jednorodny
Jawiszowice	–	nieistotny	–	nieistotny	jednorodny
Bieruń Stary	+	nieistotny	+	nieistotny	jednorodny
Świerklaniec	+	nieistotny	+	nieistotny	jednorodny
Czeladź	+	nieistotny	+	nieistotny	jednorodny
Katowice	+	nieistotny	+	nieistotny	jednorodny
Maczki	+	nieistotny	–	nieistotny	jednorodny
Dzieńkowice	+	nieistotny	–	nieistotny	jednorodny

„+” oznacza tendencję dodatnią, czyli wzrost wartości, „–” oznacza tendencję ujemną, czyli spadek wartości

Źródło: Obliczenia własne.

sięciuleciach wyraźnie zaobserwowano w Polsce wzrost częstości opadów intensywnych, przekładający się na wzrost zagrożenia powodziowego, erozji wodnej, osuwisk. Częstsze niż kiedyś opady nawalne stają się problemem w szybko rozrastających się aglomeracjach miejskich, gdzie kanalizacja deszczowa zaprojektowana i wykonana była przed wielu laty, a w międzyczasie wystąpił znaczny wzrost liczby ludności i przybyło powierzchni

nieprzepuszczalnych. Wskutek redukcji pokrywy śnieżnej zwiększa się prawdopodobieństwo wystąpienia susz wiosennych i erozji wietrznej gleby niepokrytej roślinnością (KUNDZEWICZ, 2014). Uzyskane wyniki nie potwierdzają tych prognoz, gdyż opady na omawianym terenie charakteryzują się dość dużą stabilnością, zwłaszcza na obszarach najbardziej zurbanizowanych.

5. Kształtowanie się odpływu rzeczno- pod wpływem wód kopalnianych

5.1. Tendencje zmian przepływów

Dysponując półwieczną seria pomiarową, można dokonać próby odkrycia lub zaprzeczenia istnienia składowej systematycznej, realizującej się w postaci trendu lub zmian okresowych (Tomaszewski, 2012). Przeprowadzona analiza trendów zmian przepływów ma na celu głównie określenie tendencji, a także próby ustalenia zmian okresowych w poszczególnych zlewniach. W celu scharakteryzowania wieloletniego przebiegu rocznych niskich, średnich niskich i średnich przepływów wybrano funkcje liniowe i nieliniowe, w zależności od stopnia dopasowania.

Analizy tendencji przepływów w większości zlewni obejmowały okres 1961–2013 i uwzględniały przepływy minimalne roczne NQ_R , średnie roczne z minimów miesięcznych SNQ_R i średnie roczne SQ_R . Najkrótszym i niepełnym ciągiem pomiarowym charakteryzuje się Nacyna w Rybniku, gdzie obserwacje prowadzono w latach 1979–2012.

Niskie przepływy kształtowane są w wyniku oddziaływania różnych czynników klimatycznych, fizycznogeograficznych oraz antropogenicznych. Czynniki antropogeniczne mogą oddziaływać bezpośrednio lub pośrednio na proces odpływu poprzez zmiany jednego bądź wielu czynników fizjograficznych (TŁAŁKA, 1979). Oddziaływanie bezpośrednie powoduje zmiany wartości odpływu i jego rozkładu w czasie. W zlewniach dużych rzek odpływ formuje się pod wpływem czynników klimatycz-

nych, natomiast w zlewniach małych w znacznie większym stopniu uwidacznia się wpływ czynników lokalnych nieklimatycznych. Niskie przepływy są najbardziej wrażliwe na zmiany pod wpływem wymienionych czynników (BARTNIK, 2005).

Niskie roczne przepływy notowane na wszystkich posterunkach wodowskazowych w dorzeczu Odry charakteryzują się ujemnym trendem na poziomie istotności od 95% do 99,9%, z wyjątkiem Odry w Miedoni i Bierawki w Tworogu Małym, gdzie istotność statystyczna wynosi 90%. W dorzeczu Wisły w trzech przypadkach dla przebiegu niskich rocznych przepływów trend okazał się dodatni. Na Gostyni w przekroju Bojszowy, na Brynicy w Namiarkach i Czeladzi istotność statystyczna jest na poziomie 99% i 99,9%. Ujemny trend zaobserwowano na Wiśle w Jawiszowicach, Nowym Bieruniu i w Pustyni, na Białej, Pszczynce, Pogorii, na Brynicy w Szabelni, na Czarnej Przemszy w przekroju Radocha, na Bobrku w Niwce, na Przemszy w Jeleniu na poziomie istotności 99% i 99,9%. W przekrojach: Wisła – Skoczów, Mleczna – Bieruń Stary, Czarna Przemsza – Przeczyce, Biała Przemsza – Niwka nie zanotowano istotnej statystycznie tendencji NQ_R w analizowanym wieloleciu (tabela 7., ryc. 29.).

Głównymi przyczynami stwierdzonych, zmniejszających się rocznych NQ_R są czynniki antropogeniczne. Dotyczy to: Kłodnicy, Bytomki, Szotkówki, Nacyny, Rudy, Bierawki, Wisły w Jawiszowicach, Nowym Bieruniu, Białej, Pogorii, Czarnej Przemszy w przekroju Radocha, Brynicy w przekroju Sza-

belnia, Bobrka i Przemszy. Spadek rocznych NQ_R jest wynikiem znaczącego ograniczenia zrzutów ścieków, w tym wód kopalnianych do rzek. W rzekach będących pod wpływem silnej antropopresji stwierdzono wysokie dopasowanie funkcji do danych empirycznych, wyrażające się wynoszącym ponad 40% udziałem wariancji wyjaśnionej.

Wzrost rocznych NQ_R stwierdzony w Brynicy w przekrojach Namiarki oraz Czeladź związany jest z zaprzestaniem poboru wody ze zbiornika „Kozłowa Góra”. W przypadku Gostyni wzrost rocznych NQ_R spowodowany został przez zrzuty wód kopalnianych. Brak tendencji NQ_R stwierdzony dla Białej Przemszy oraz Mlecznej wynika z ich wyrównania przez stałą dostawę wód kopalnianych. O spadku minimalnych przepływów w Odrze oraz Piotrówce zadecydowały głównie czynniki klimatyczne.

Średnie roczne niskie przepływy w analizowanych zlewniach zamkniętych przekrojami wo-

dowskazowymi w dorzeczu Odry charakteryzowały się ujemnym trendem na wysokim poziomie istotności statystycznej 99–99,9%. Brak trendu wystąpił na Odrze oraz na Bierawce (tabela 7.). Wysokie dopasowanie funkcji do danych empirycznych, które wyraża się wynoszącym ponad 50% udziałem wariancji wyjaśnionej, zanotowano w Bytomce i Kłodnicy w Gliwicach, rzekach najbardziej obciążonych zrzutami wód kopalnianych.

W dorzeczu Wisły brak trendu SNQ_R wystąpił w Mlecznej, Czarnej Przemszy w Przeczycach, Wiśle w Jawiszowicach i Nowym Bieruniu. Dodatni trend istotny na poziomie 99,9% zanotowano na Brynicy w przekrojach Namiarki i Czeladź oraz na poziomie istotności 90% w Gostyni. Na pozostałych rzekach ujemny trend rocznych średnich niskich przepływów okazał się istotny statystycznie od 95% (Wisła – Skoczów, Czarna Przemsza – Radocha, Biała Przemsza – Niwka) do 99,9% w pozostałych rzekach (tabela 7., ryc. 35.).

Tabela 7. Tendencje zmian rocznych: niskich, średnich niskich i średnich przepływów

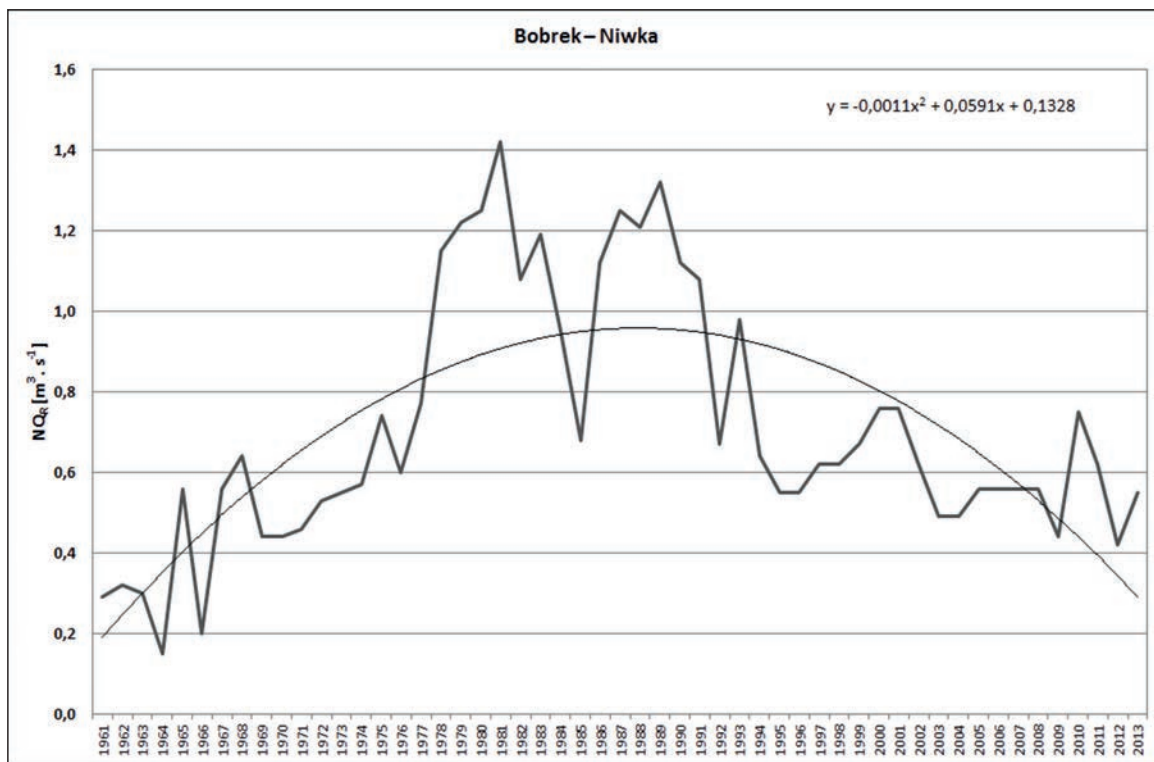
Przekrój wodowskazowy	Trend	Typ funkcji (równanie regresji)	Współczynnik determinacji R^2	Istotność statystyczna test t-Studenta	Liczba N
1	2	3	4	5	6
Dorzecze Odry NQ_R					
Odra – Chałupki	↓	$y = -0,0036x^2 + 0,1975x + 7,7906$	0,074	95%	53
Odra – Krzyżanowice	↓	$y = -0,0058x^2 + 0,332x + 11,034$	0,105	95%	53
Odra – Miedonia	↓	$y = -0,0049x^2 + 0,2592x + 14,646$	0,062	90%	53
Piotrówka – Zebrzydowice	↓	$y = -3E-05x^2 - 0,0032x + 0,3896$	0,274	99,9%	50
Szotkówka – Gołkowice	↓	$y = -0,0006x^2 + 0,0261x + 0,4923$	0,462	99,9%	51
Nacyna – Rybnik	↓	$y = -0,0049x + 0,4768$	0,194	99%	33
Ruda – Ruda Kozielska	↓	$y = -0,0219x + 1,8096$	0,591	99,9%	53
Bierawka – Tworóg Mały	↓	$y = -0,0002x^2 + 0,0108x + 0,5959$	0,062	90%	45
Bytomka – Gliwice	↓	$y = -0,0014x^2 + 0,07x + 1,051$	0,557	99,9%	53
Kłodnica – Kłodnica	↓	$y = -0,0004x^2 + 0,0246x + 0,177$	0,362	99,9%	53
Kłodnica – Gliwice	↓	$y = -0,0029x^2 + 0,1442x + 2,1858$	0,631	99,9%	53
Kłodnica – Lenartowice	↓	$y = -0,0371x + 3,4149$	0,326	99,9%	53
Dorzecze Odry SNQ_R					
Odra – Chałupki	0	$y = -0,0156x + 19,151$	0,003	nieistotny	53
Odra – Krzyżanowice	0	$y = -5E-05x^2 - 0,0136x + 27,487$	0,002	nieistotny	53
Odra – Miedonia	0	$y = -0,0003x^2 - 0,0169x + 31,795$	0,007	nieistotny	53

1	2	3	4	5	6
Piotrówka – Zebrzydowice	↓	$y = -3E-05x^2 - 0,0033x + 0,563$	0,285	99,9%	50
Szotkówka – Gołkowice	↓	$y = -0,0006x^2 + 0,0247x + 0,7009$	0,479	99,9%	51
Nacyna – Rybnik	↓	$y = -0,0051x + 0,6163$	0,200	99%	33
Ruda – Ruda Kozielska	↓	$y = -0,0207x + 2,2931$	0,334	99,9%	53
Bierawka – Tworóg Mały	0	$y = -0,0002x^2 + 0,0096x + 0,9464$	0,034	nieistotny	45
Bytomka – Gliwice	↓	$y = -0,0015x^2 + 0,0752x + 1,3735$	0,713	99,9%	53
Kłodnica – Kłodnica	↓	$y = -0,0004x^2 + 0,0242x + 0,3617$	0,290	99,9%	53
Kłodnica – Gliwice	↓	$y = -0,0031x^2 + 0,1437x + 3,3611$	0,672	99,9%	53
Kłodnica – Lenartowice	↓	$y = -0,0482x + 5,3157$	0,326	99,9%	53
Dorzecze Odry SQ _R					
Odra – Chałupki	0	$y = -0,0715x + 45,821$	0,007	nieistotny	53
Odra – Krzyżanowice	0	$y = -0,0592x + 60,272$	0,003	nieistotny	53
Odra – Miedonia	0	$y = -0,1309x + 70,12$	0,012	nieistotny	53
Piotrówka – Zebrzydowice	0	$y = -0,0003x + 1,1451$	0,000	nieistotny	50
Szotkówka – Gołkowice	↓	$y = -0,0715x + 45,821$	0,282	99,9%	51
Nacyna – Rybnik	↓	$y = -0,0592x + 60,272$	0,193	95%	33
Ruda – Ruda Kozielska	↓	$y = -0,1309x + 70,12$	0,205	99%	53
Bierawka – Tworóg Mały	0	$y = -0,0003x + 1,1451$	0,005	nieistotny	45
Bytomka – Gliwice	↓	$y = -0,0006x^2 + 0,018x + 1,3602$	0,570	99,9%	53
Kłodnica – Kłodnica	↓	$y = -0,0064x + 0,9041$	0,203	99,9%	53
Kłodnica – Gliwice	↓	$y = -0,0264x + 3,81$	0,362	99,9%	53
Kłodnica – Lenartowice	↓	$y = 0,0002x^2 - 0,0097x + 1,9178$	0,272	99,9%	53
Dorzecze Wisły NQ _R					
Wisła – Skoczów	0	$y = 0,0023x + 0,5387$	0,048	nieistotny	53
Wisła – Jawiszowice	↓	$y = -0,0006x^2 + 0,021x + 2,4487$	0,154	99%	53
Wisła – Nowy Bieruń	↓	$y = -0,0056x^2 + 0,3109x + 2,9197$	0,466	99,9%	52
Wisła – Pustynia	↓	$y = -0,0099x^2 + 0,1148x + 23,427$	0,491	99,9%	43
Biała – Czechowice Bestwina	↓	$y = -0,0019x^2 + 0,096x + 0,3649$	0,636	99,9%	53
Pszczynka – Pszczyna	↓	$y = -5E-06x^2 - 0,004x + 0,3234$	0,369	99,9%	53
Mleczna – Bieruń Stary	0	$y = 0,0016x + 0,5923$	0,025	nieistotny	52
Gostynia – Bojszowy	↑	$y = 0,011x + 1,4112$	0,179	99%	53
Czarna Przemsza – Przeczyce	0	$y = 0,0003x + 0,6201$	0,000	nieistotny	53
Pogoria – Dąbrowa Górnicza	↓	$y = -0,0004x^2 + 0,0092x + 0,7288$	0,706	99,9%	52
Brynica – Namiarki	↑	$y = 0,005x + 0,0465$	0,436	99,9%	53
Brynica – Czeladź	↑	$y = 0,0126x + 0,6682$	0,243	99,9%	53
Brynica – Szabelnia	↓	$y = -0,0032x^2 + 0,1873x + 1,4212$	0,552	99,9%	53
Czarna Przemsza – Radocha	↓	$y = -0,0014x^2 + 0,057x + 1,8515$	0,354	99,9%	53
Bobrek – Niwka	↓	$y = -0,0011x^2 + 0,0591x + 0,1328$	0,527	99,9%	53
Biała Przemsza – Niwka	0	$y = -7E-06x^2 - 0,0085x + 5,6374$	0,016	nieistotny	53

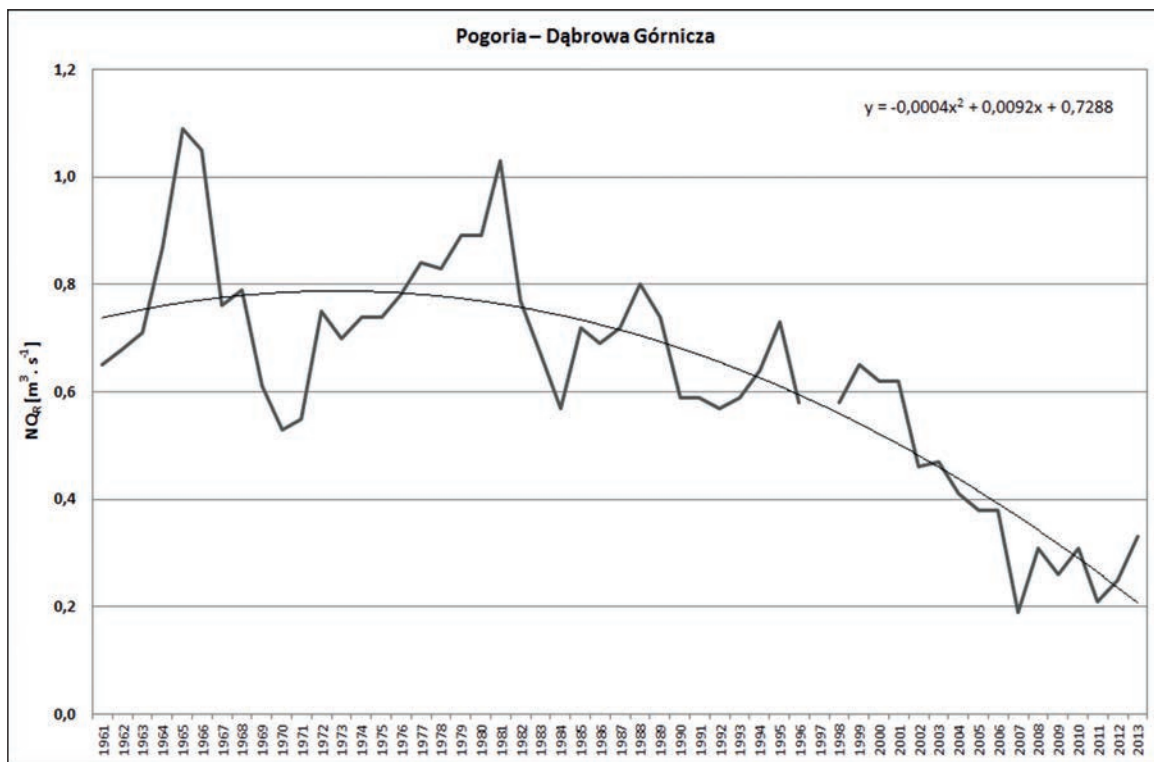
1	2	3	4	5	6
Przemsza – Jeleń	↓	$y = -0,0061x^2 + 0,3057x + 11,161$	0,354	99,9%	53
Dorzecze Wisły SNQ _R					
Wisła – Skoczów	↓	$y = -0,0002x^2 + 0,0008x + 1,8871$	0,101	95%	53
Wisła – Jawiszowice	0	$y = 0,0007x^2 - 0,0455x + 4,811$	0,034	nieistotny	53
Wisła – Nowy Bieruń	0	$y = -0,0019x^2 + 0,1077x + 8,5459$	0,043	nieistotny	52
Wisła – Pustynia	↓	$y = -0,0061x^2 + 0,073x + 28,834$	0,276	99,9%	43
Biała – Czechowice Bestwina	↓	$y = -0,0021x^2 + 0,0978x + 0,9112$	0,750	99,9%	53
Pszczynka – Pszczyna	↓	$y = -0,0097x + 0,7372$	0,519	99,9%	53
Mleczna – Bieruń Stary	0	$y = -2E-06x^2 - 0,0004x + 0,8946$	0,006	nieistotny	52
Gostynia – Bojszowy	↑	$y = 0,0063x + 2,0439$	0,064	90%	53
Czarna Przemsza – Przeczyce	0	$y = -0,0013x + 1,1859$	0,003	nieistotny	53
Pogoria – Dąbrowa Górnicza	↓	$y = -0,0002x^2 - 0,0039x + 1,0677$	0,735	99,9%	52
Brynica – Namiarki	↑	$y = 0,0002x^2 + 0,0007x + 0,1323$	0,650	99,9%	53
Brynica – Czeladź	↑	$y = 0,0205x + 0,9068$	0,362	99,9%	53
Brynica – Szabelnia	↓	$y = -0,004x^2 + 0,2033x + 2,3911$	0,607	99,9%	53
Czarna Przemsza – Radocha	↓	$y = -0,0011x^2 + 0,0449x + 2,8684$	0,173	95%	53
Bobrek – Niwka	↓	$y = -0,0011x^2 + 0,0587x + 0,3887$	0,512	99,9%	53
Biała Przemsza – Niwka	↓	$y = -0,0258x + 7,2193$	0,085	95%	53
Przemsza – Jeleń	↓	$y = -0,004x^2 + 0,1727x + 15,094$	0,211	99,9%	53
Dorzecze Wisły SQ _R					
Wisła – Skoczów	0	$y = -0,0006x^2 + 0,0331x + 5,9062$	0,007	nieistotny	53
Wisła – Jawiszowice	↑	$y = 0,0076x^2 - 0,3921x + 15,883$	0,125	99%	53
Wisła – Nowy Bieruń	↑	$y = 0,0075x^2 - 0,3865x + 24,662$	0,063	90%	52
Wisła – Pustynia	0	$y = -0,1288x + 46,18$	0,025	nieistotny	43
Biała – Czechowice Bestwina	↓	$y = -0,0019x^2 + 0,1057x + 2,1559$	0,208	99,9%	53
Pszczynka – Pszczyna	↓	$y = -0,0095x + 1,6915$	0,086	95%	53
Mleczna – Bieruń Stary	↓	$y = -0,0069x + 1,5246$	0,125	99%	52
Gostynia – Bojszowy	0	$y = -0,0088x + 3,6274$	0,032	nieistotny	53
Czarna Przemsza – Przeczyce	↓	$y = -0,0155x + 2,399$	0,100	95%	53
Pogoria – Dąbrowa Górnicza	↓	$y = -0,0034x^2 + 0,178x + 3,8221$	0,698	99,9%	52
Brynica – Namiarki	↑	$y = 0,0007x^2 - 0,0132x + 0,4023$	0,562	99,9%	53
Brynica – Czeladź	↑	$y = 0,0309x + 1,2866$	0,394	99,9%	53
Brynica – Szabelnia	↓	$y = -0,0034x^2 + 0,178x + 3,8221$	0,404	99,9%	53
Czarna Przemsza – Radocha	↓	$y = -0,0004x^2 - 0,0015x + 4,783$	0,094	95%	53
Bobrek – Niwka	↓	$y = -0,0011x^2 + 0,0605x + 0,6191$	0,419	99,9%	53
Biała Przemsza – Niwka	↓	$y = -0,0289x + 8,3092$	0,070	95%	53
Przemsza – Jeleń	↓	$y = -0,0024x^2 + 0,0712x + 19,643$	0,107	95%	53

„0” oznacza brak tendencji, „↑” oznacza tendencję dodatnią czyli wzrost wartości, „↓” oznacza tendencję ujemną czyli spadek wartości.

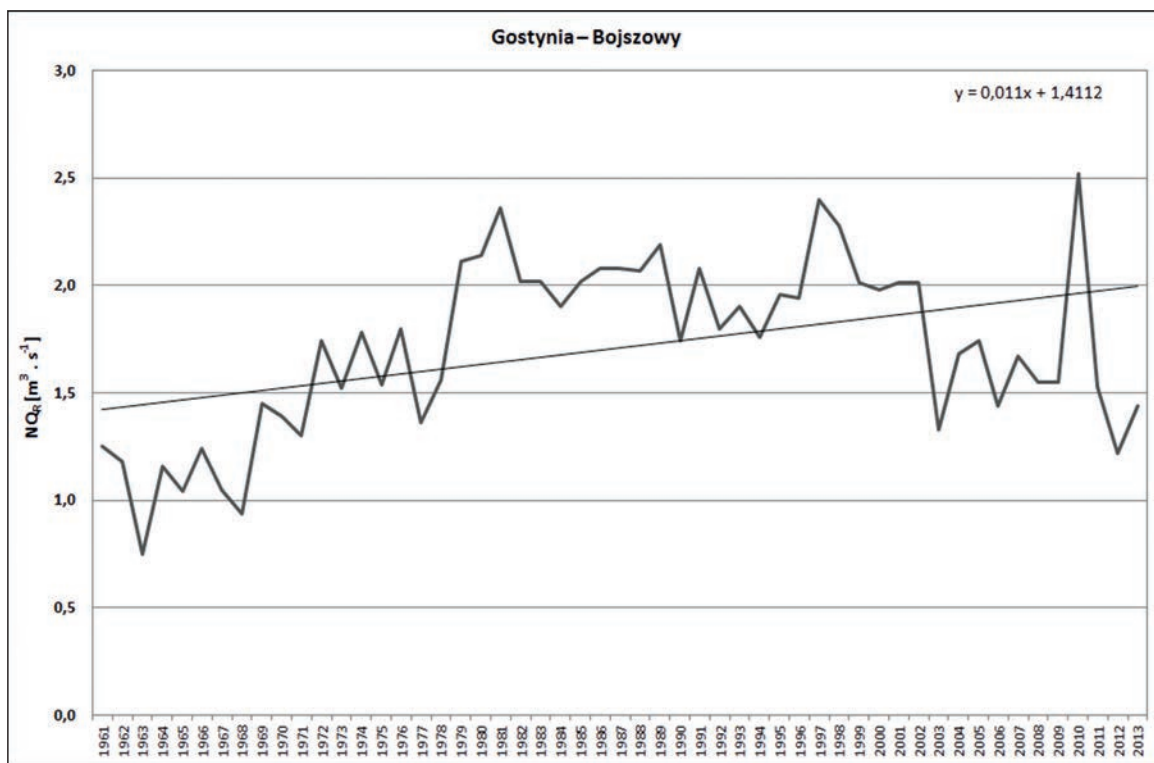
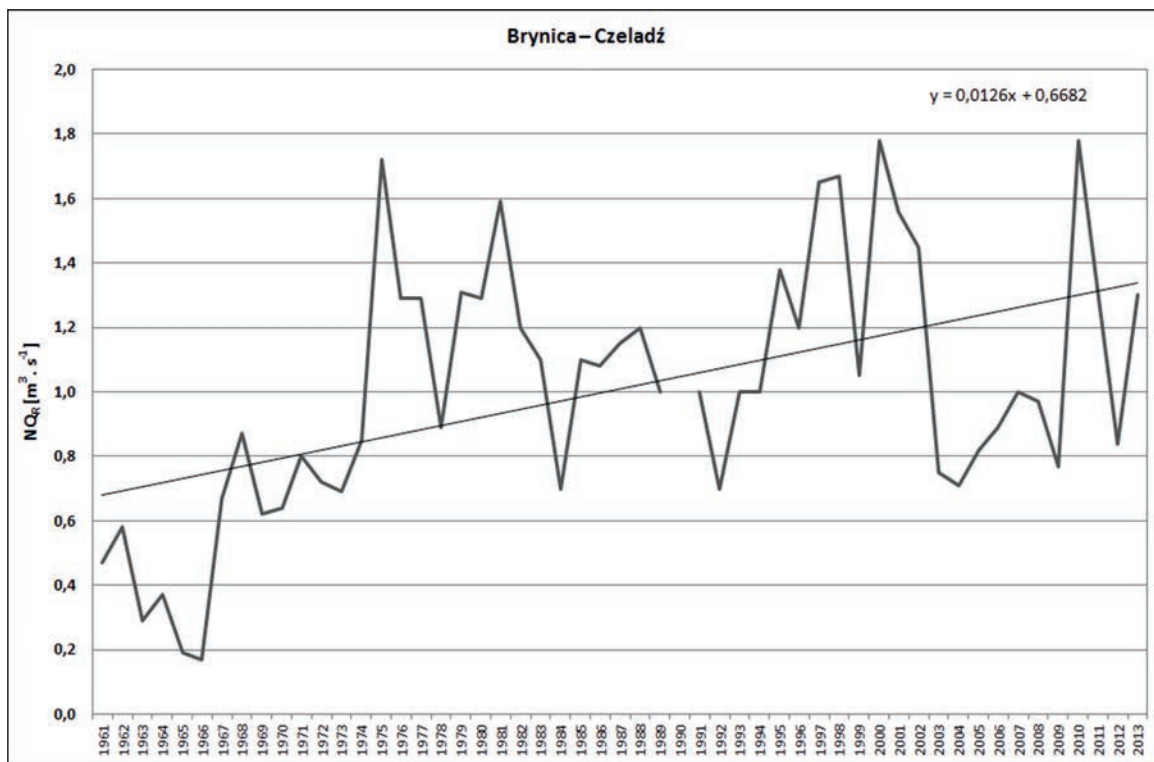
Ź r ó d ł o: Obliczenia własne.



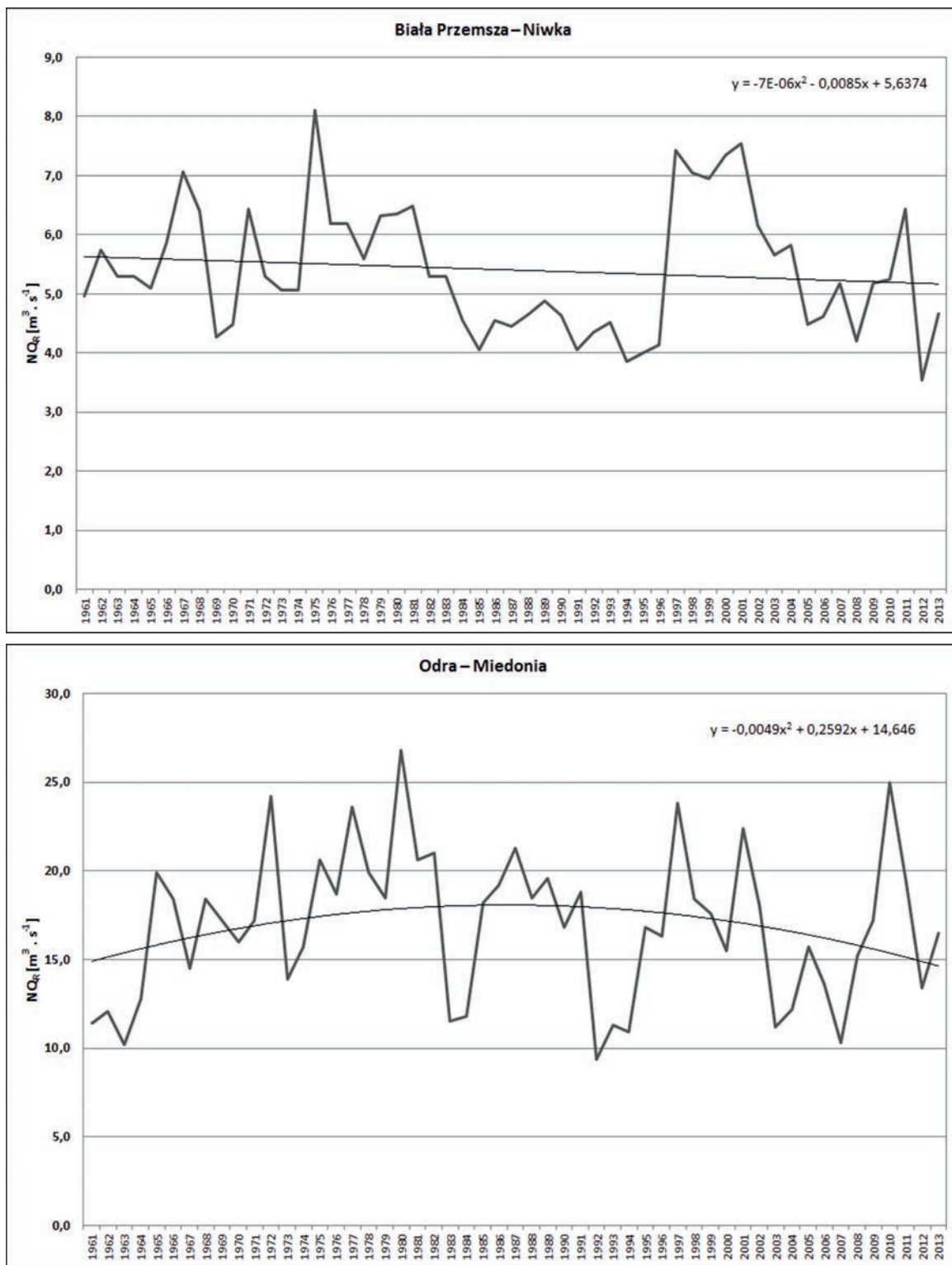
Ryc. 25. Przebieg przepływów NQ_R charakteryzujących się ujemnym trendem z maksymalnymi wartościami od początku lat 70. do końca lat 90. XX wieku



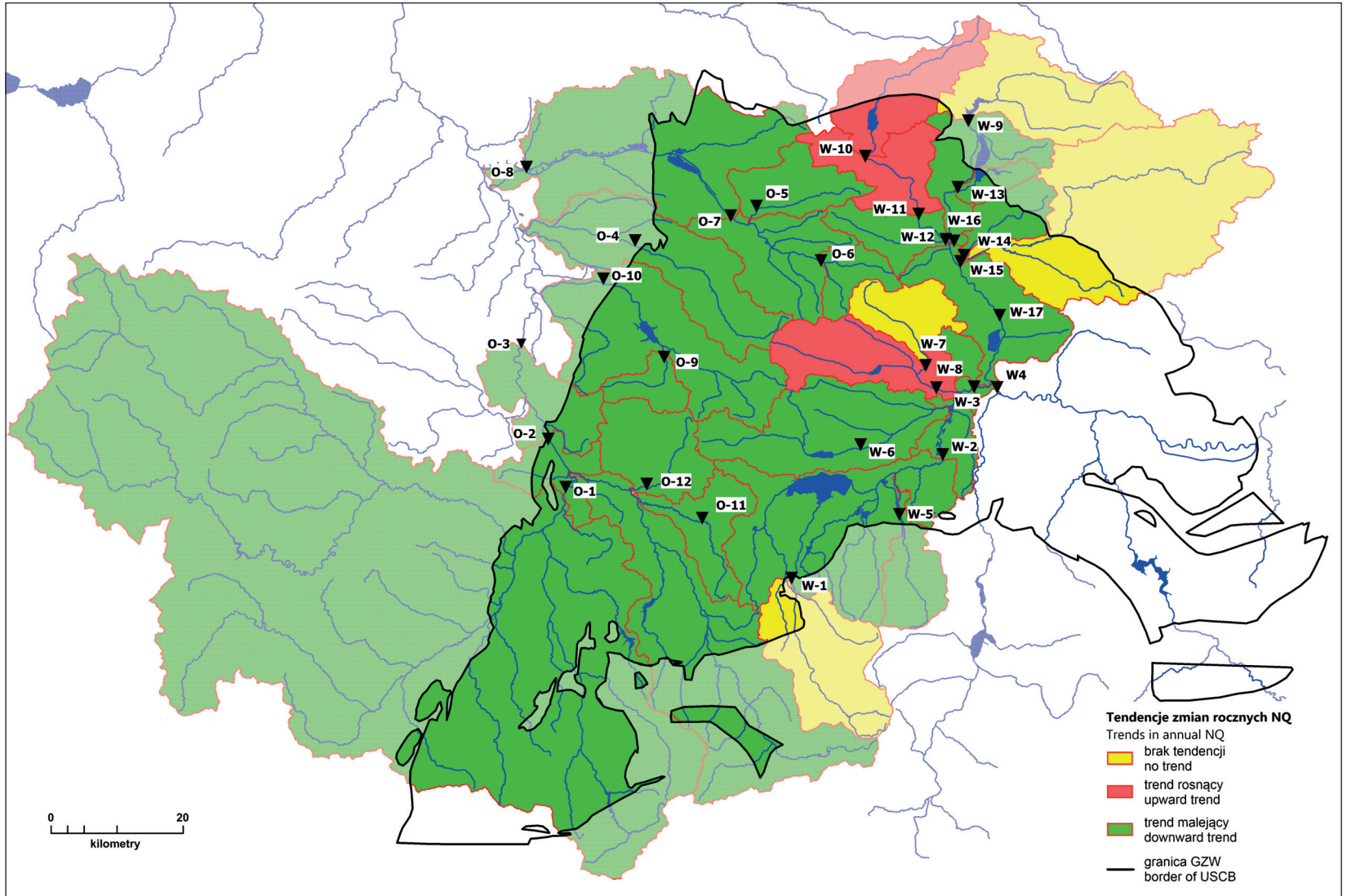
Ryc. 26. Przebieg przepływów NQ_R charakteryzujących się ujemnym trendem



Ryc. 27. Przebieg przepływów NQ_R charakteryzujących się dodatnim trendem



Ryc. 28. Przebieg przepływów NQ_R charakteryzujących się brakiem trendu z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1982–1997



Ryc. 29. Przestrzenne zróżnicowanie tendencji NQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW

Asymetria opisująca kształt rozkładu zmien-nych w większości analizowanych zlewni cechu-je się skośnością dodatnią. Najwyższą skośnością dodatnią ($A = 1,09$) charakteryzują się: Piotró-wka oraz Brynica (przekrój Namiarki), następnie Mleczna ($A = 1,00$) oraz Bierawka ($A = 0,99$). Świadczy to o tym, że większa część rocznych przepływów w analizowanym wieloleciu przy-jmowała wartości powyżej przeciętnej. Asymetrię ujemną (lewostronną) zanotowano tylko w By-tomce i Szotkówce ($A = -0,28$). Niewiele niż-sza wartość cechowała Gostynię ($A = -0,24$) oraz Kłodnicę w Gliwicach ($A = -0,05$).

Wartości kurtozy informującej o koncentracji i spłaszczeniu rozkładu w większości analiza-wanych zlewni są przeciętne, zawierające się w prze-dziale $K [-1 \div 1]$. Dodatnimi wartościami charak-teryzowały się w większości zlewnie w dorzeczu Odry, ujemnymi zlewnie w dorzeczu Wisły. Naj-wyższą wartość $K = 2,02$ odnotowano dla Bierawki oraz $K = 1,46$ dla Kłodnicy w przekroju Kłodnica, co miało związek z dużą koncentracją niskich prze-pływów wokół przeciętnej. Najniższa wartość kur-tozy wystąpiła w przekroju Pustynia na Wiśle ($K = -1,05$). Okazało się zatem, że wartości są równo-miernie rozłożone w całym przedziale zmienności.

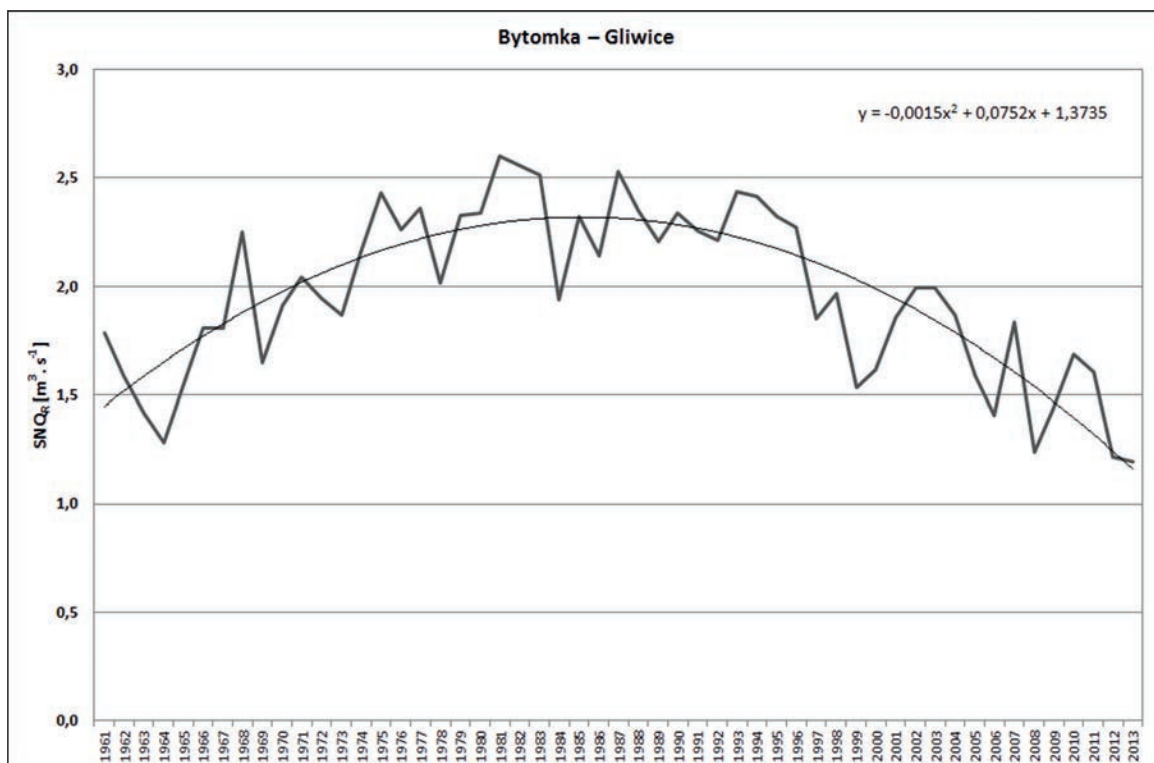
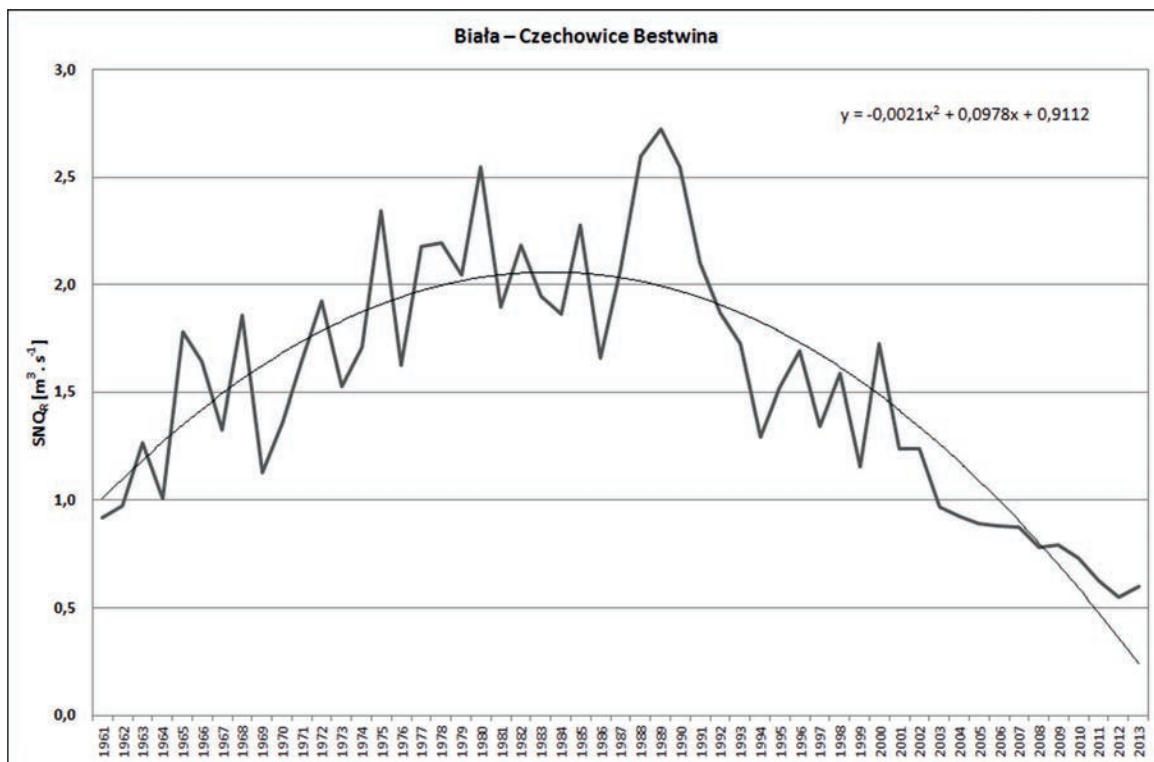
Stwierdzone ujemne tendencje średnich rocz-nych niskich przepływów w większości analiza-wanych zlewni spowodowane zostały czynnikami antropogenicznymi. Tylko w przypadku Piotró-wki oraz Wisły (Skoczów) wywołane były głównie przez czynniki klimatyczne. Wzrost SNQ_R podobnie jak w przypadku stwierdzonych dodat-nich tendencji dla NQ_R wywołały czynniki antro-pogeniczne, m.in.: zaprzestanie poboru wody ze zbiornika „Kozłowa Góra” na Brynicy oraz zrzu-ty wód kopalnianych do Gostyni. Z kolei stwier-dzony brak tendencji SNQ_R Mlecznej i Bierawki spowodowany był paradoksalnie przez zrzut wód kopalnianych. W przypadku Czarnej Przemszy (Przemyśl), Wisły (Jawiszowice i Nowy Bieruń) brak tendencji przebiegu średnich rocznych ni-skich przepływów wynikał z regulacyjnego wpły-wu zbiorników zaporowych położonych powyżej przekrojów wodowskazowych.

Ocena przebiegu niskich i średnich rocznych niskich przepływów analizowanych rzek wykaza-ła następujące prawidłowości:

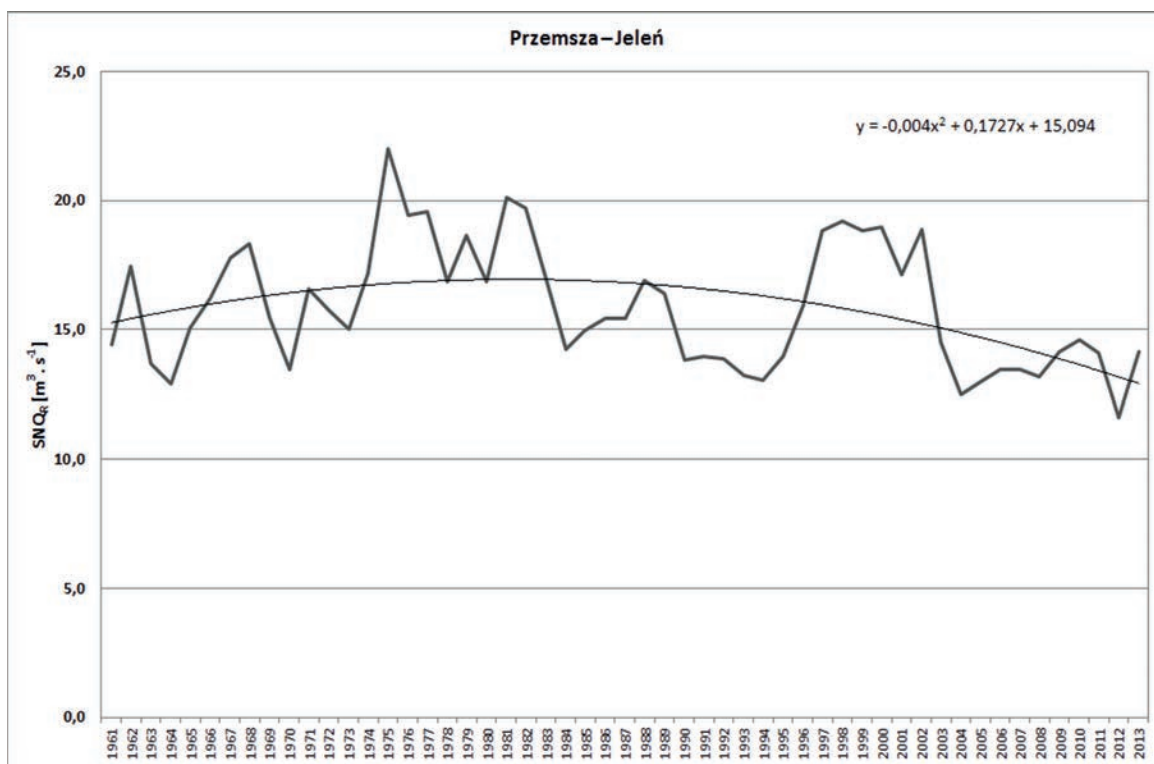
- brak trendu rocznych NQ_R , SNQ_R : Bierawka, Mleczna (ryc. 28.);
- brak trendu rocznych NQ_R , SNQ_R z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1982–1997: Czarna Przemsza – Przemyśl, Biała Przemsza – Niwka, Wisła – Jawiszowice, Wisła – Nowy Bieruń, Odra – Chałupki, Odra – Krzyżano-wice, Odra – Miedonia (ryc. 28., 32.);
- trend dodatni, wzrost wartości rocznych NQ_R , SNQ_R od 1997 roku: Brynica w Namiarkach i w Czeladzi (ryc. 27., 34.);
- trend dodatni, wzrost wartości rocznych NQ_R , SNQ_R od pierwszej połowy lat 70. XX wieku: Gostynia (ryc. 27.);
- trend ujemny, spadek wartości rocznych NQ_R , SNQ_R : Wisła – Pustynia, Kłodnica – Lenar-towice, Pogoria, Ruda, Nacyna, Pszczyńka, Piotrówka (ryc. 25., 33.);
- trend ujemny, z maksymalnymi wartościami rocznych NQ_R , SNQ_R od początku lat 70. do końca lat 90. XX wieku: Szotkówka, Bytom-ka, Kłodnica w Kłodnicy i Gliwicach, Bryni-ca w Szabelni, Bobrek (ryc. 26., 30.);
- trend ujemny z maksymalnymi wartościami rocznych NQ_R , SNQ_R od początku lat 70. do końca lat 90. XX wieku z wyraźnym ob-niżeniem przepływów w okresie 1982–1995: Przemsza – Jeleń, Czarna Przemsza – Rado-cha (ryc. 31.).

W wieloletnim przebiegu średnich rocznych przepływów trend nie występował na: Odrze, Piotrówce, Bierawce, Gostyni i Wiśle (w Skocz-owie i w Pustyni). Wzrost średnich rocznych prze-pływów zanotowano na: Brynicy (w Namiarkach i w Czeladzi) oraz na Wiśle (w Jawiszowicach i Nowym Bieruniu), przy czym istotność staty-styczna w Nowym Bieruniu okazała się niska – wynosiła tylko 90% (tabela 7.). W pozostałych zlewniach średnie roczne przepływy w analiza-wanym okresie zmniejszyły się (ryc. 41.).

W przypadku Piotrówki niskie przepływy w wieloleciu 1962–2013 wykazywały istotny sta-tystycznie trend ujemny, natomiast przebieg śred-nich przepływów był stabilny i nie wykazywał żadnych tendencji. Podobna sytuacja wystąpi-ła na Wiśle w Pustyni. Odwrotną sytuację zaob-serwowano na Wiśle w Jawiszowicach i Nowym Bieruniu.



Ryc. 30. Przebieg przepływów SNQR w zlewniach charakteryzujących się ujemnym trendem z maksymalnymi wartościami od początku lat 70. do końca lat 90. XX wieku



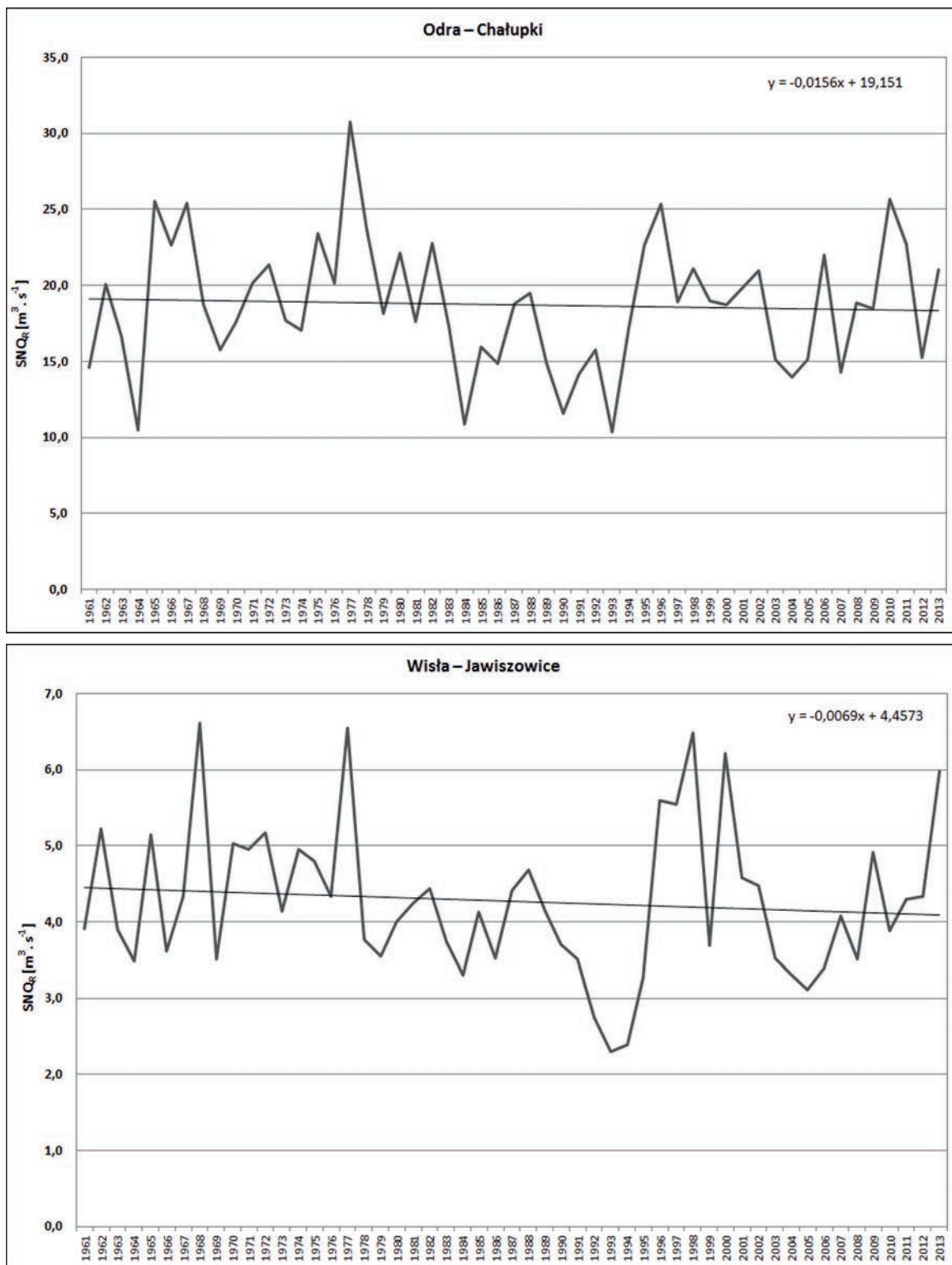
Ryc. 31. Przebieg przepływów SNQ_R charakteryzujących się ujemnym trendem z maksymalnymi wartościami od początku lat 70. do końca lat 90. XX wieku z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1982–1995

Średnie przepływy miały tendencję dodatnią, natomiast niskie nie wykazywały trendu. Powodem tego mógł być wpływ zbiornika „Goczalkowice”. Zbiornik „Przeczyce” na Czarnej Przemszy również wpływał na wyrównanie niskich przepływów, natomiast średnie przepływy na Czarnej Przemszy w Przeczycach wykazywały tendencję ujemną. W przypadku Mlecznej średnie przepływy charakteryzowały się w analizowanym wieloleciu ujemnym trendem, natomiast NQ_R i SNQ_R były stabilne. Odwrotnie sytuacja kształtowała się w przypadku będącej „odbiornikiem” Mlecznej Gostyni, w której średnie przepływy nie wykazywały trendu, a niskie miały tendencję dodatnią.

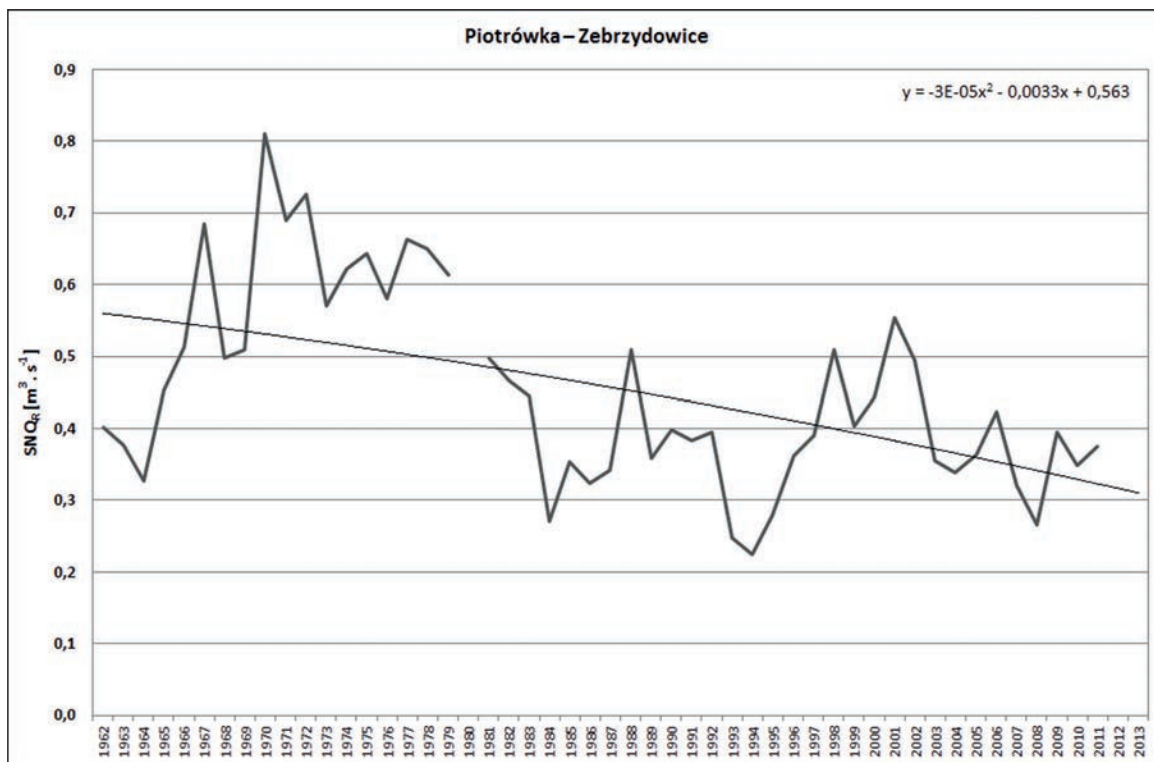
Tendencje średnich przepływów w Polsce w okresie 1951–2000 odmiennie przedstawił D. WRZESIŃSKI (2009), który wykazał wzrost przepływu w rzekach położonych we wschodnich częściach dorzecza Wisły i Odry, a jego spadek na rzekach zachodnich części tych dorzeczy. Wykazane tendencje okazały się jednak nieistotne statystycznie.

Asymetria opisująca kształt rozkładu zmiennych dla średnich rocznych przepływów w analizowanych zlewniach wykazuje skośność dodatnią. Najwyższą skośnością prawostronną charakteryzowała się Brynica w Namiarkach ($A = 1,42$), Bierawka ($A = 1,16$), Odra w Chałupkach ($A = 1,09$) oraz Odra w Miedoni ($A = 1,01$). Skośność lewostronną zanotowano w Bytomce ($A = -0,08$), niewiele niższą wartość $A = -0,06$ obliczono dla Pogorii.

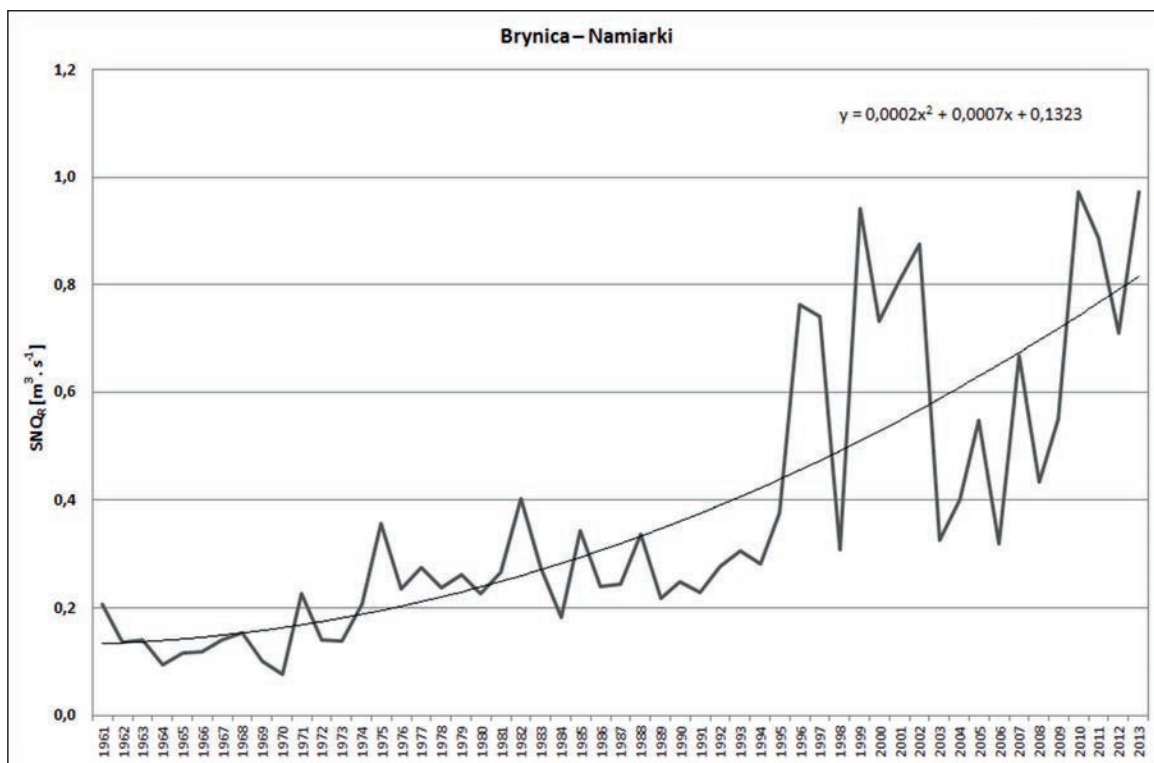
Wartości kurtozy w większości zlewni dorzecza Wisły i w pięciu zlewniach dorzecza Odry są przeciętne zawierają się w przedziale $K [-1 \div 1]$. Dodatnimi wartościami, podobnie jak w przypadku przepływów niskich, charakteryzowały się w większości zlewnie w dorzeczu Odry, ujemnymi zlewnie w dorzeczu Wisły. Ujemne wartości w dorzeczu Odry uzyskano dla Nacyny, Bytomki i Kłodnicy (w Gliwicach i Lenartowicach). Dodatnie wartości kurtozy w zlewniach dorzecza Wisły wykazano dla Wisły (w Nowym Bieruniu) i Brynicy (w Namiarkach oraz Czeladzi).



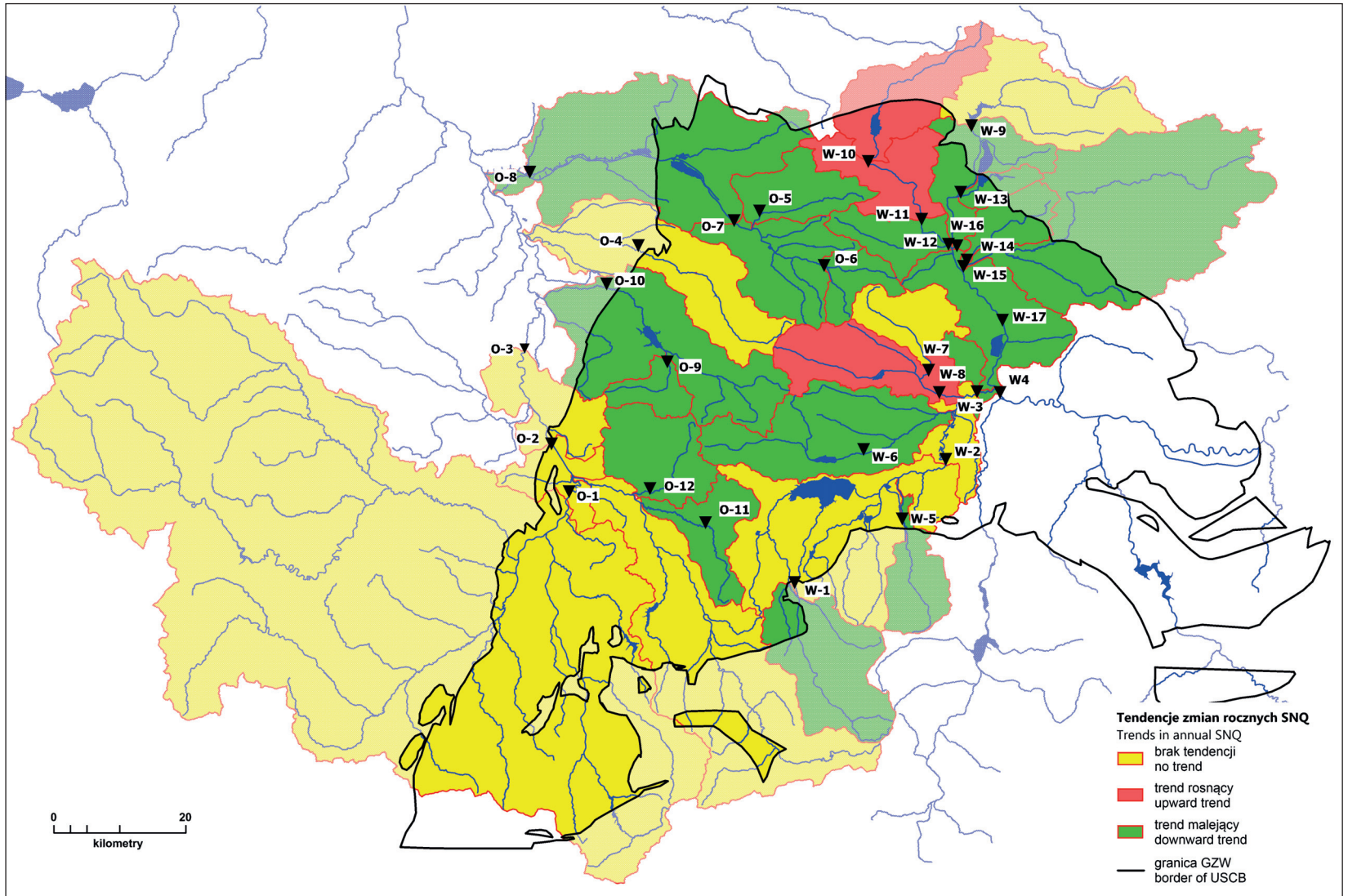
Ryc. 32. Przebieg przepływów SNQR w zlewniach charakteryzujących się brakiem trendu z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1982–1997



Ryc. 33. Przebieg przepływów SNQ_R charakteryzujących się ujemnym trendem



Ryc. 34. Przebieg przepływów SNQ_R charakteryzujących się dodatnim trendem



Ryc. 35. Przestrzenne zróżnicowanie tendencji SNQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW

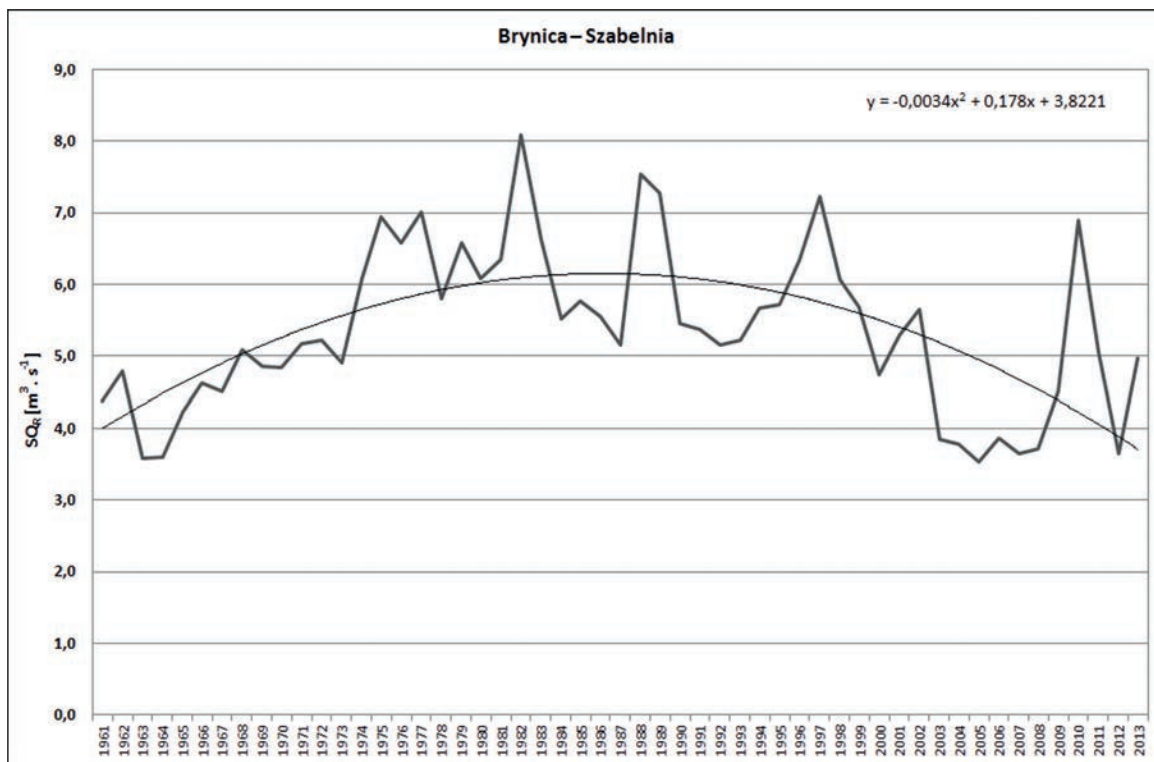
Najwyższa wartość została odnotowana w przekroju Chałupki na Odrze i w przekroju Kłodnica na Kłodnicy ($K=1,79$), w Miedoni na Odrze ($K=1,60$) i w Namiarkach na Brynicy ($K=1,56$), co miało związek z dużą koncentracją średnich rocznych przepływów wokół przeciętnej.

Najwyższym dopasowaniem funkcji do danych empirycznych, wyrażającym się udziałem wariancji wyjaśnionej wynoszącym ponad 50%, charakteryzowały się rzeki będące pod wpływem największej antropopresji: Bytomka, Pogoria, Biała oraz Brynica w Namiarkach. Rzeki: Bobrek, Brynica w Szabelni i Czeladzi, Szotkówka, Wisła w Pustyni, będące również pod wpływem silnej antropopresji, cechowały się wynoszącym 40% udziałem wariancji wyjaśnionej.

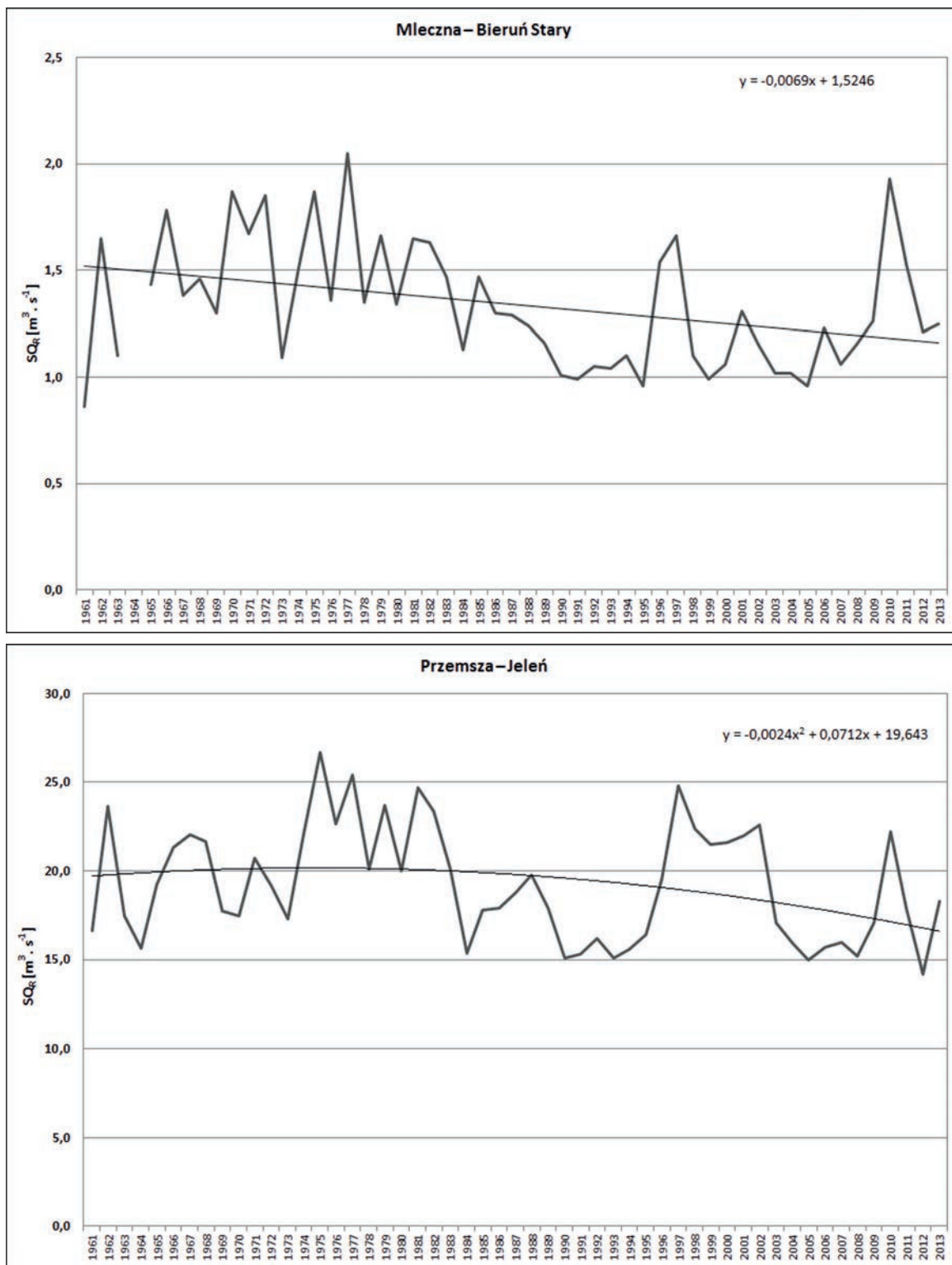
Stwierdzone ujemne i dodatnie tendencje średnich rocznych przepływów w analizowanych zlewniach były spowodowane głównie przez czynniki antropogeniczne: zrzuty wód kopalnianych oraz pozostałych ścieków, pobory wody, przerzuty wody, funkcjonowanie zbiorników zaporowych. Brak trendów dla średnich rocznych przepływów Wisły w przekroju Pustynia, Bierawki i Gostyni spowodowany został przez ich wyrównanie wynikające ze zrzutu wód kopalnianych.

Ocena przebiegu średnich rocznych przepływów analizowanych rzek wykazuje następujące prawidłowości:

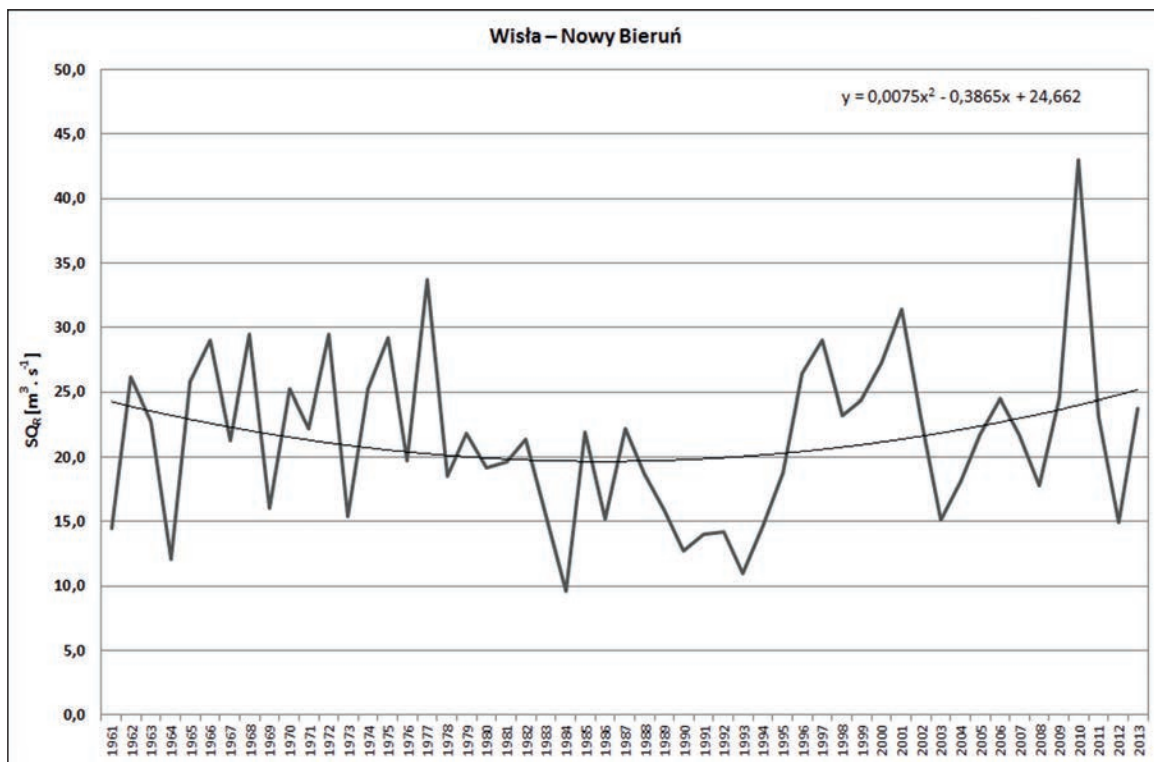
- brak trendu rocznych SQ_R : Wisła – Skoczów, Gostynia (ryc. 40.);
- brak trendu rocznych SQ_R z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1978–1996: Piotrówka, Pszczynka; w okresie 1982–1995: Odra w Chałupkach, Krzyżanowicach i Miedoni, Bierawka, Wisła – Pustynia;
- trend dodatni, wzrost wartości rocznych SQ_R od 1997 roku: Brynica w Namiarkach i Czeladzi;
- trend dodatni rocznych SQ_R , z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1978–1996: Wisła w Jawiszowicach i Nowym Bieruniu (ryc. 38.);
- trend ujemny, spadek wartości rocznych SQ_R (systematyczny spadek przepływów): Kłodnica – Lenartowice, Pogoria, Nacyna (ryc. 39.);
- trend ujemny z maksymalnymi wartościami rocznych SQ_R od początku lat 70. do końca lat 90. XX wieku z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1982–1995: Przemsza – Jeleń, Czarna Przemsza w przekrojach Radocha i Przeczyce, Biała Przemsza – Niwka, Ruda, Mleczna, Wisła – Pustynia (ryc. 37.);
- trend ujemny, z wysokimi wartościami rocznych SQ_R od początku lat 70. XX wieku do roku 2002: Szotkówka, Bytomka, Kłodnica w Kłodnicy i Gliwicach, Brynica – Szabelnia, Bobrek, Biała (ryc. 36.).



Ryc. 36. Przebieg przepływów SQ_R charakteryzujących się ujemnym z trendem z maksymalnymi wartościami od początku lat 70. do początku XXI wieku



Ryc. 37. Przebieg przepływów SQ_R charakteryzujących się ujemnym trendem z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1982–1995

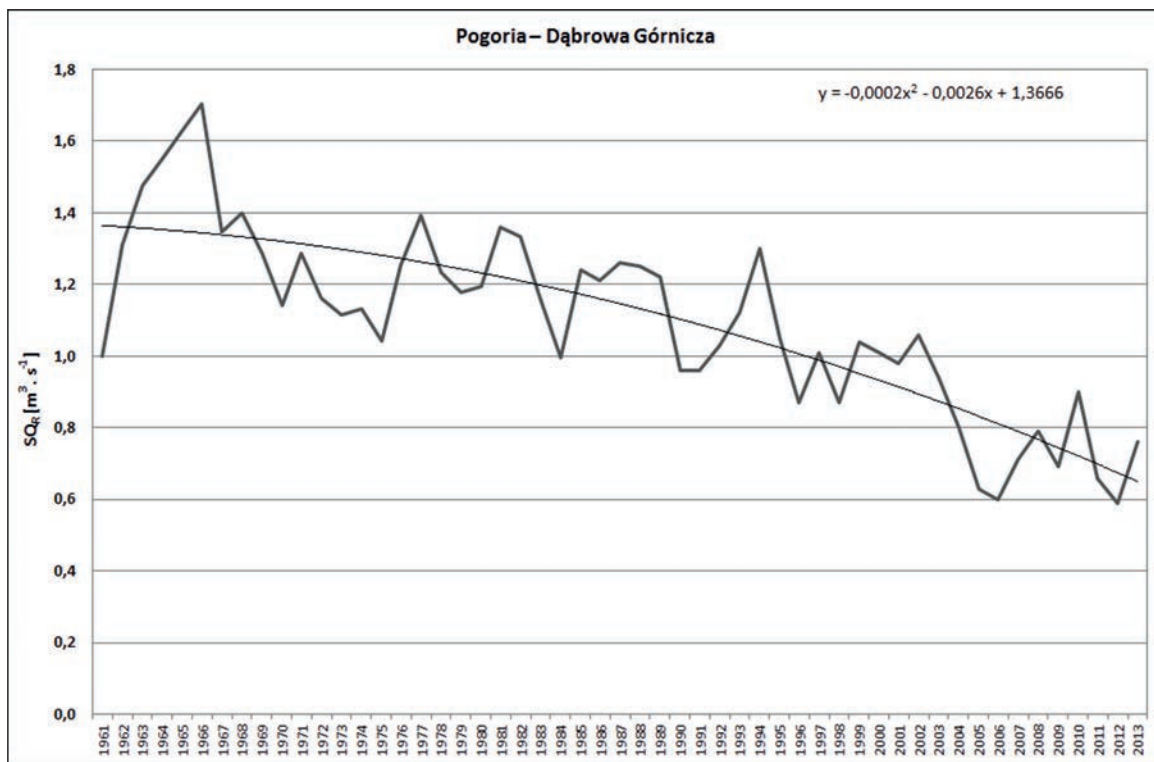


Ryc. 38. Przebieg przepływów SQ_R charakteryzujących się dodatnim trendem z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1978–1996

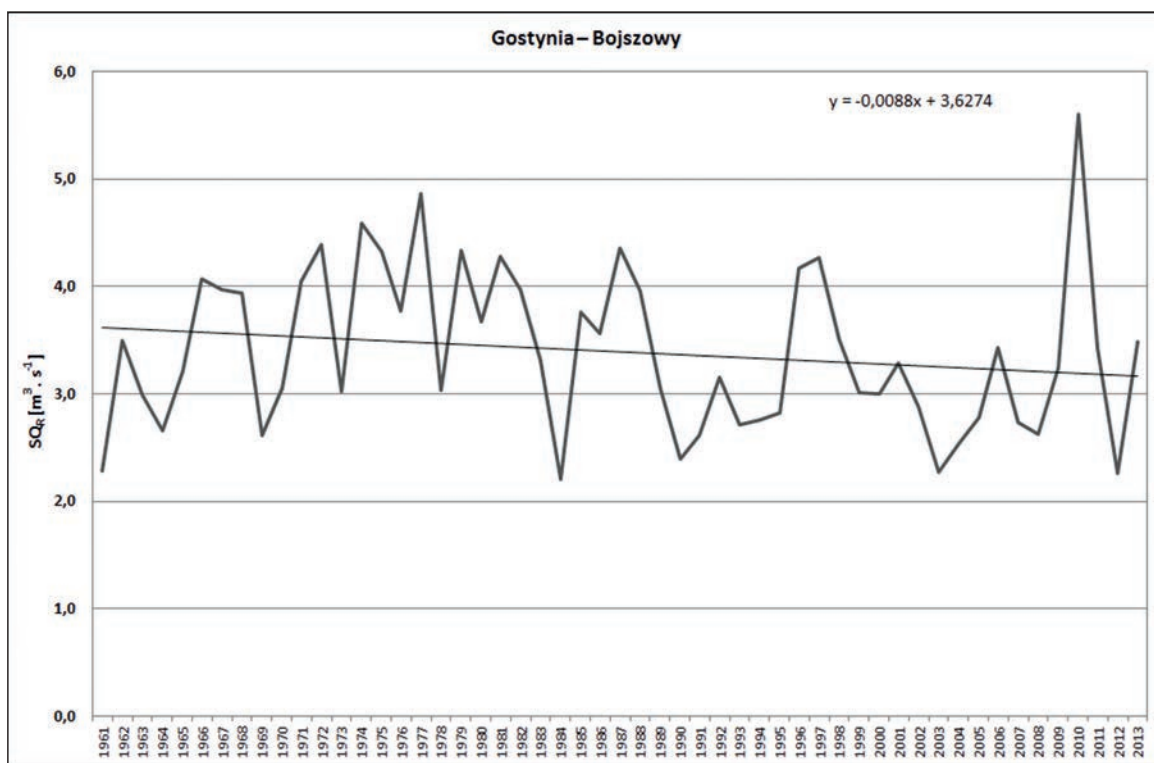
Najlepsze dopasowanie w przebiegu rocznych przepływów: NQ_R , SNQ_R i SQ_R w większości uzyskano za pomocą funkcji opisanej wielomianem 2-stopnia, co dodatkowo umożliwia ocenę tendencji rozwojowych. Istotność statystyczną testowano testem t-Studenta na poziomie 0,05 (95%) i 0,1 (90%).

Dla rzek będących głównymi „odbiornikami” wód kopalnianych i niepozostających pod wpływem zbiorników zaporowych i retencyjnych: Szotkówka, Bytomka, Kłodnica w Kłodnicy i Gliwicach, Brynica – Szabelnia, Bobrek, Przemsza – Jeleń, Czarna Przemsza – Radocha, Mleczna,

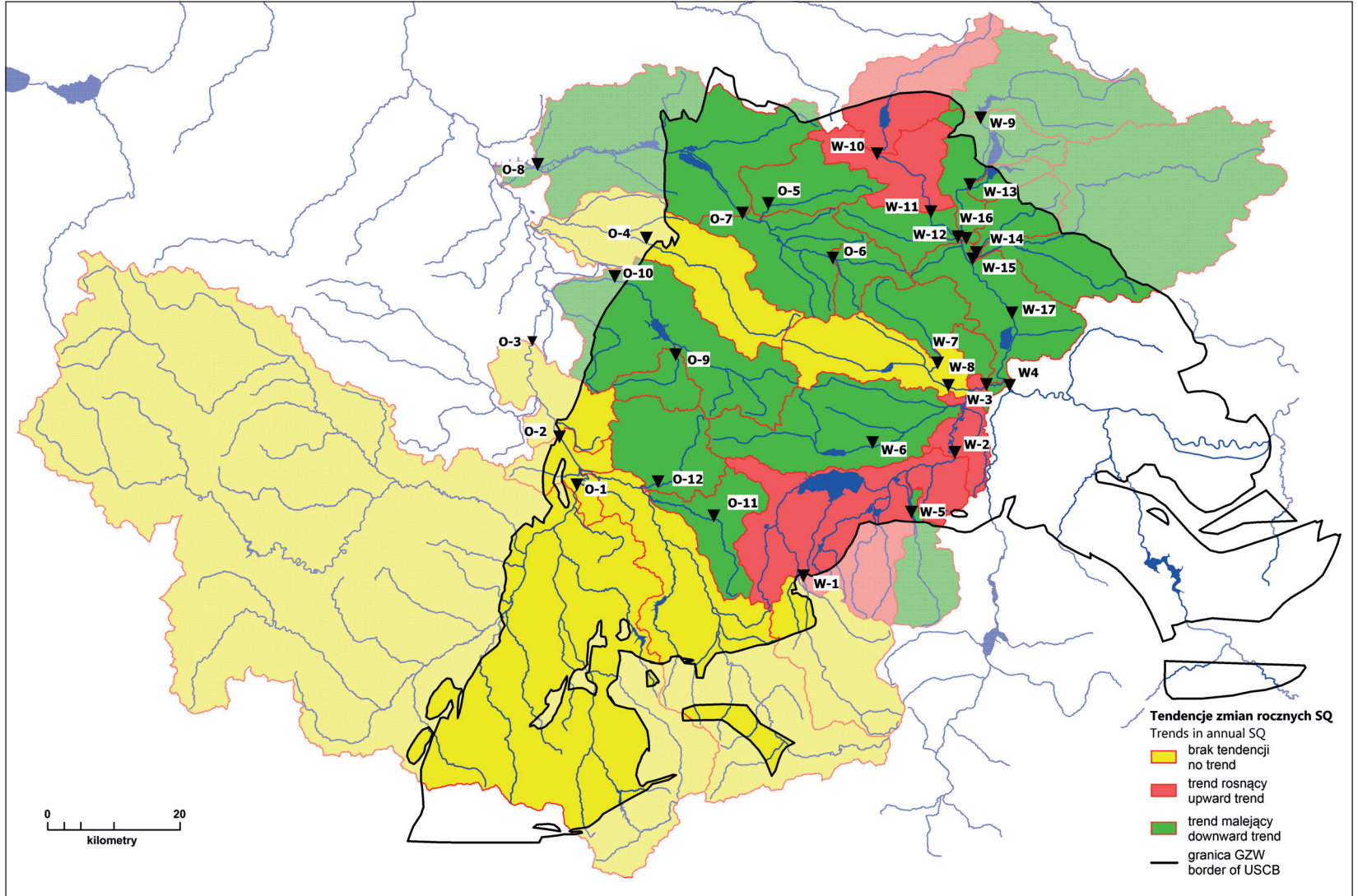
Wisła – Pustynia w przebiegu NQ_R , SNQ_R , SQ_R charakterystyczny był trend ujemny, opisany funkcją wielomianu 2-stopnia, z wysokimi wartościami rocznych SQ_R od początku lat 70. XX wieku do początku XXI wieku. Miało to ścisły związek z zrzutami wód kopalnianych, których maksymalna objętość odprowadzana do rzek przypadła na lata 80. XX wieku, co spowodowało maksymalne wartości NQ_R , SNQ_R , SQ_R . W wyniku restrukturyzacji górnictwa, a także innych gałęzi przemysłu znacząco ograniczono zrzuty ścieków do wód powierzchniowych. Spowodowało to systematyczny spadek przepływów.



Ryc. 39. Przebieg przepływów SQ_R charakteryzujących się ujemnym trendem



Ryc. 40. Przebieg przepływów SQ_R charakteryzujących się brakiem trendu



Ryc. 41. Przestrzenne zróżnicowanie tendencji SQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW

5.2. Ocena zmian odpływu metodą podwójnej krzywej kumulacyjnej

Problem oddzielenia różnokierunkowej ingerencji człowieka w procesie odpływu rzecznego od efektów wywołanych przez naturalną zmienność klimatu jest jednym z ważniejszych zadań, przed którymi stoi współczesna hydrologia. Przejściowość klimatu Polski sprawia, że czynniki kształtujące ilościową strukturę bilansu wodnego charakteryzują się naturalną niestabilnością. Rzeki Polski są bardzo wrażliwe na fluktuacje różnych zmiennych definiujących klimat, przy czym większy efekt wywołują okresowe nadwyżki i niedobory opadów niż podobne wahania parowania terenowego, związane ze zmianami średniej temperatury (BARTNIK, JOKIEL, 1997; JOKIEL, KOZUCHOWSKI, 1989).

W związku z uzyskanymi niejednoznacznymi trendami przepływów w stosunku do opadów oraz znacznym stopniem zmiany stosunków wodnych w niektórych zlewniach zmiany odpływu i opadu przeanalizowano także za pomocą podwójnych krzywych kumulacyjnych, które skonstruowano dla średnich i średnich niskich rocznych wartości odpływu. Metoda ta jest pomocna w szacowaniu bezwzględnych i względnych wartości zmian odpływu wywołanych zarówno przez czynniki klimatyczne, jak i przez człowieka (ABSALON, 1991; DYNOWSKA i in., 1985; KAŃOK, 1987, 1990b, 1994, 1997). Podwójna krzywa kumulacyjna odpływu i opadu wskazuje na lata, w których nastąpiły wyraźne zmiany, oraz pokazuje kierunek tych zmian (ABSALON, 1998). Hipotezy o odmiennym przebiegu odpływu przetestowano za pomocą nieparametrycznego testu Wilcoxa na poziomie istotności 0,05. Nie wszystkie wykryte załamania podwójnej krzywej kumulacyjnej okazały się istotne statystycznie. Te istotne statystycznie załamania charakteryzują przede wszystkim skokową zmianę wartości.

W przekroju Skoczów na rzece Wiśle nie stwierdzono różnic w przebiegu skumulowanych wartości odpływu średniego rocznego, średniego rocznego niskiego i opadu (ryc. 42.). Podobnie na podstawie przebiegu krzywej kumulacyjnej

nie stwierdzono różnic w przebiegu średniego rocznego odpływu i opadów w zlewni Piotrówki. W przypadku średnich rocznych niskich przepływów takie różnice nie występują w następujących zlewniach: Odra – Chałupki i Odra – Krzyżanowice, Bierawka – Tworóg Mały, Pszczynka – Pszczyna oraz Wisła w Jawiszowicach i Nowym Bieruniu. O ile na wyrównany przebieg średniego niskiego odpływu w trzech ostatnich zlewniach wpływają zbiorniki zaporowe („Goczałkowice” i „Łąka”), o tyle zastanawiający jest wyrównany przebieg krzywej dla Bierawki. Bierawka jest „odbiornikiem” wód dołowych z kopalni węgla zlokalizowanych w rejonie Knuruwa. Przyczyną nieujawnienia się „czynnika antropogenicznego” w przebiegu krzywej może być w tym przypadku krótszy okres obserwacyjny. W przekroju Tworóg Mały pomiary rozpoczęto w 1969 roku, a czynniki antropogeniczne (zrzuty wód kopalnianych) oddziaływały tu już wcześniej.

Analizując wyrównany przebieg krzywej średniego niskiego odpływu Odry (ryc. 42.) w przekrojach Chałupki oraz Krzyżanowice, należy stwierdzić, że nie udało się wykryć oddziaływań antropogenicznych tą metodą. W przekroju Odra – Miedonia przebieg krzywej skumulowanej dla średniego rocznego niskiego odpływu już nie był wyrównany – zaznaczał się wyraźny wzrost odpływu w roku 1976, a następnie jego spadek w roku 1983.

W przebiegu skumulowanych opadów i średnich rocznych odpływów w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry w zdecydowanej większości pierwsze załamanie krzywej, świadczące o wzroście odpływu, przypadło na okres 1975–1978. Taką sytuację odnotowano w: Białej, Pszczynce, Gostyni, Brynicy, Bobrku, Przemszy, Bytomce, Kłodnicy w Gliwicach, Szotkówce i Odrze w Miedoni. Najwcześniej wzrost odpływu wystąpił w Szotkówce, bo już w roku 1971, co potwierdzają badania A.T. JANKOWSKIEGO (1986), który wzrost odpływu w Szotkówce koreluje z eksploatacją węgla w nowych kopalniach. Spowodowało to wzrost objętości wód dołowych odprowadzanych do tej rzeki. Postępująca urbanizacja terenu zwiększyła z kolei zrzuty wód odprowadzanych siecią kanalizacyjną (zapotrzebowanie na wodę pokrywano głównie spoza zlewni). Podobna sytuacja wystąpi-

ła w Gostyni. Wzrost średniego rocznego odpływu w roku 1974 może być skorelowany z oddaniem do użytku KWK „Piast”. Podwójna krzywa kumulacyjna średnich rocznych i średnich rocznych niskich odpływów wykazała spadek odpływu w latach 1972–1973 tylko w Pogorii. Można to wiązać z napełnianiem zbiornika Pogoria III oraz przerzutem ścieków z huty „Katowice”, położonej w zlewni Pogorii, do sąsiedniej zlewni Bobrka.

W latach 1980–1982 wzrost średnich rocznych i średnich rocznych niskich odpływów wystąpił w: Mlecznej, Pogorii, Kłodnicy w przekroju Kłodnica, Czarnej Przemszy w przekroju Radocha. W tym ostatnim przypadku wzrost średniego rocznego niskiego odpływu zanotowano w roku 1974.

Zmiany odpływu w latach 70. i początku lat 80. XX wieku mają podwójną genezę. Na wzrost przepływów wpłynęły zarówno czynniki klimatyczne, jak i czynniki antropogeniczne. Wpływ tych pierwszych na wzrost przepływów w analizowanym okresie wykazali A. BARTNIK i P. JOKIEL (1997). Czynnikiem antropogenicznym były głównie: postępująca urbanizacja zlewni, eksploatacja nowych kopalń węgla, wzrastające zapotrzebowanie na wodę, pokrywane w znacznym stopniu z przerzutów wody między zlewniami, co powodowało systematyczny wzrost przepływów w tym czasie.

W pierwszej połowie lat 80. XX wieku wystąpił spadek średnich odpływów w: Czarnej Przemszy w Przeczycach, Białej Przemszy, Odrze w Krzyżanowicach i Miedoni. W drugiej połowie lat 80. spadek odpływu wystąpił w Gostyni i Odrze w Chałupkach. Na spadek odpływu oprócz czynników klimatycznych miały wpływ również czynniki antropogeniczne. W Białej Przemszy powodem spadku odpływu był między innymi intensywny pobór wód, w Czarnej Przemszy w Przeczycach – retencjonowanie wody w zbiorniku „Przeczycze” i przerzuty wody do zbiornika „Kozłowa Góra”, a w Gostyni zmniejszająca się objętość zrzucanych wód dołowych. Na spadek odpływu w Czarnej i Białej Przemszy w połowie lat 80. w porównaniu z okresem 1951–1970 wskazuje także D. WRZESIŃSKI (2016).

Trzecim okresem, w którym zaobserwowano „załamanie” podwójnej krzywej kumulacyjnej

opadów i odpływu, świadczące o wzroście odpływów, były lata 1995–1998. Zanotowano wówczas: pierwszy wzrost odpływu w: Bierawce, Wiśle w Nowym Bieruniu, Czarnej Przemszy w Przeczycach, drugi wzrost w: Brynicy w Namiarkach i Czeladzi oraz Czarnej Przemszy w przekroju Radocha. Wzrost odpływu w tym okresie spowodowany został głównie przez czynniki klimatyczne. Wyraźny wzrost odpływu w środkowej Polsce w okresie 1997–2003 stwierdził P. JOKIEL (2015). W analizowanych zlewniach rok 1995 był początkiem ośmioletniej serii lat normalnych i wilgotnych. W roku 2008 i 2009 średni roczny odpływ wzrósł tylko w Jawiszowicach na Wiśle oraz w rzece Gostyni.

Spadki średniego rocznego odpływu w większości analizowanych zlewni występowały, począwszy od roku 1990 do roku 1995. Tak było na Wiśle w Jawiszowicach i Nowym Bieruniu, Mlecznej, Bobrku, Czarnej Przemszy w przekroju Radocha, Przemszy, Kłodnicy, Rudzie i Szotkówce. W drugiej połowie lat 90. XX wieku spadki takie odnotowano na Brynicy w przekroju Szabelnia i w Bytomce. W przypadku Mlecznej spadek odpływu w pierwszej połowie lat 90. XX wieku był skutkiem zmniejszającego się zrzutu wód dołowych oraz pozostałych ścieków, zarówno przemysłowych, jak i komunalnych, a także wynikiem mniejszego zasilania atmosferycznego w okresie od 1984 do 1994 roku, na co wskazują badania A. BARTNIKA i P. JOKIELA (1997, 2005). Na Brynicy w Szabelni od roku 1998 nastąpił spadek odpływu, a powyżej w przekrojach Namiarki i Czeladź (ryc. 44.) w tym czasie odnotowano jego wzrost. Spowodowane to było głównie zmniejszającym się poborem wody ze zbiornika w „Kozłowa Góra”. Od końca lat 90. XX wieku w województwie śląskim stwierdza się coraz mniejsze zużycie wody, zarówno na potrzeby komunalne, jak i przemysłowe (ABSALON, 2007), a co się z tym wiąże znaczące ograniczenie ilości wody zrzucanej do rzek w postaci ścieków. Potwierdza to przebieg krzywej skumulowanych opadów i średnich rocznych odpływów wskazujących na spadki odpływu w tym okresie. Zależność ta została również poparta przez ujemne trendy przepływów. Zlewnie najbardziej przeobrażone: Kłodnicy, Bytomki, Szotkówki, Bobrka, Białej i Brynicy (w przekroju

Szabelnia), charakteryzowały się wysokimi przepływami do końca lat 90. W pozostałych zlewniach obserwowano wtedy wyraźne ich obniżenie. Wynikało to zarówno z niedoborów zasilania, jak i funkcjonujących ujęć, np. „Maczki” na Białej Przemszy, czy zbiorników retencyjnych, takich jak „Goczałkowice”, „Łąka”, „Przeczycze”, z których intensywnie czerpano wodę na potrzeby komunalne i przemysłowe.

W latach 2001 i 2002 spadek średniego rocznego przepływu nastąpił w Wiśle (Pustynia), Białej, Bierawce, Kłodnicy (Kłodnica). Średnie roczne niskie przepływy zmniejszyły się w tym czasie w Brynicy (Szabelnia) i w Gostyni. Kolejny spadek średnich przepływów przypadł na okres 2005–2010. Odnotowano go w Białej, Brynicy (Namiarki i Czeladź), Czarnej Przemszy (Przeczycze), Białej Przemszy, Przemszy i Kłodnicy (Gliwice). Zanotowane wówczas spadki nie były wynikiem zmniejszonego zasilania atmosferycznego. Początek XXI wieku w analizowanych zlewniach był wilgotny i bardzo wilgotny. Z kolei od roku 2003 do 2005 przeważały lata suche i normalne, zaś rok 2006 zwłaszcza w zlewniach: Brynicy, Przemszy, Gostyni Bierawki oraz Nacyny był wilgotny. Rok 2010 był bardzo wilgotny we wszystkich analizowanych zlewniach. Decydującą rolę w zaobserwowanych spadkach odpływu odegrały czynniki antropogeniczne, szczególnie że w większości wystąpiły one w najbardziej przeobrażonych zlewniach.

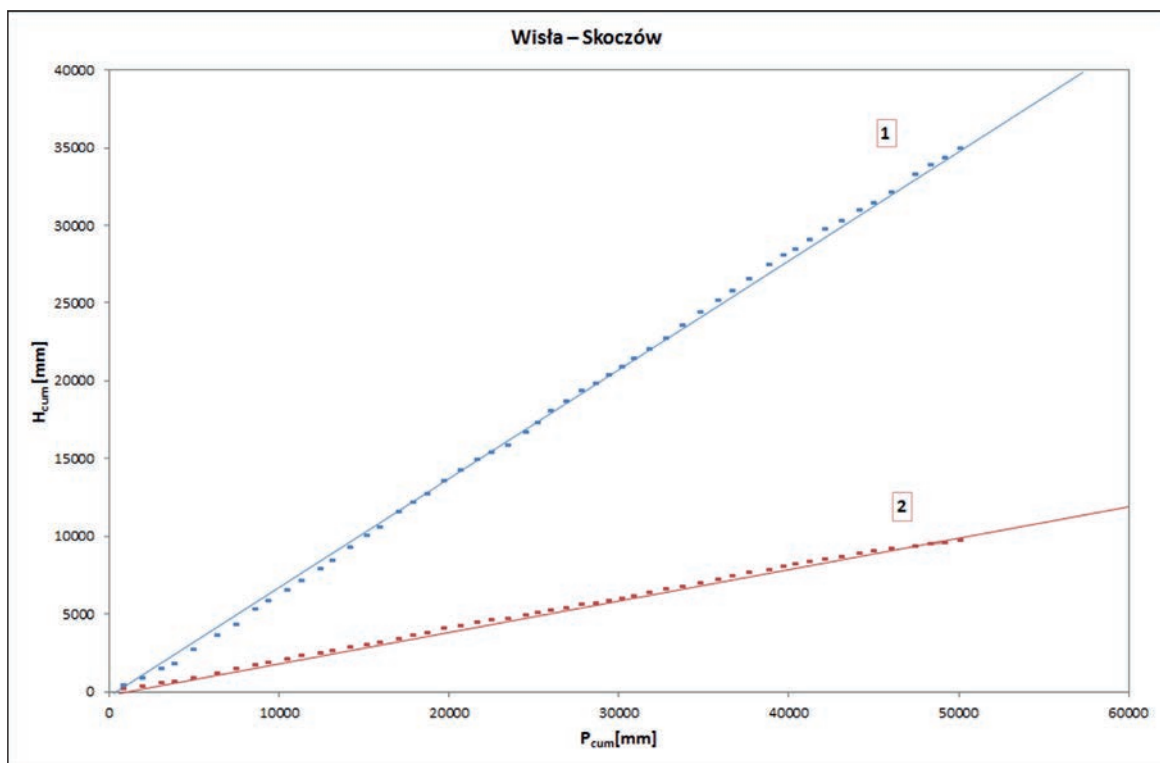
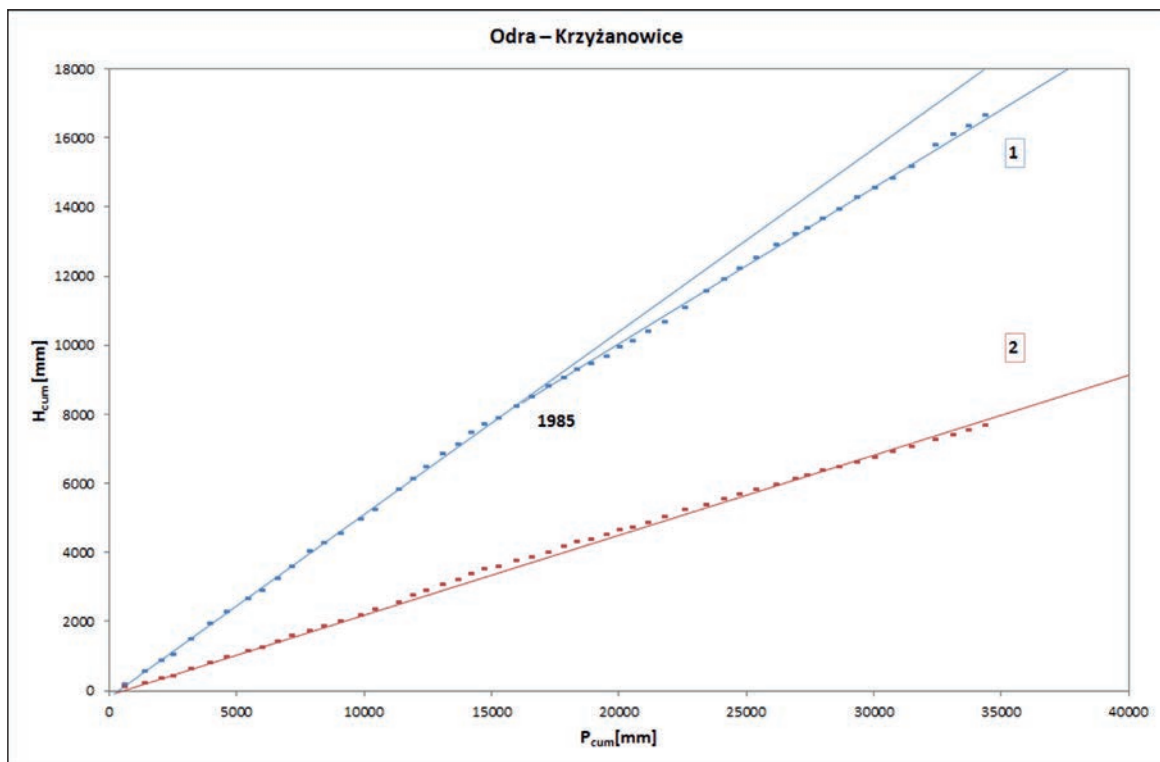
Krótsze serie pomiarowe na Nacynie, Bierawce oraz Wiśle w przekroju Pustynia nie pozwalają na uchwycenie wystąpienia pierwszej zmiany, zwłaszcza że czynniki antropogeniczne oddziaływały tam na odpływ wcześniej. Podobnie było w przypadku Rudy, Przemszy, Brynicy, Białej Przemszy, Bobrka i Pogorii. Pomimo długich serii pomiarowych nie zdołano uchwycić pierwszego okresu, w którym antropopresja, a przede wszystkim zrzuty wód dołowych zaczęły oddziaływać na odpływ rzeczny.

Początek takich oddziaływań stwierdzono w pierwszej połowie lat 70. w Szotkówce i Gostyni. Był to między innymi efekt rozpoczęcia eksploatacji w nowych kopalniach węgla kamiennego, np. „Piaś” w zlewni Gostyni, „Borynia-Zofiówka-Jastrzębie” oraz „Pniówek” w zlewni Szotkówki. Wyraźny wzrost odpływu zanotowany w roku 1976 w zlewni Bobrka spowodowany był rozpoczęciem w połowie lat 70. zrzutów ścieków przemysłowych z huty „Katowice”.

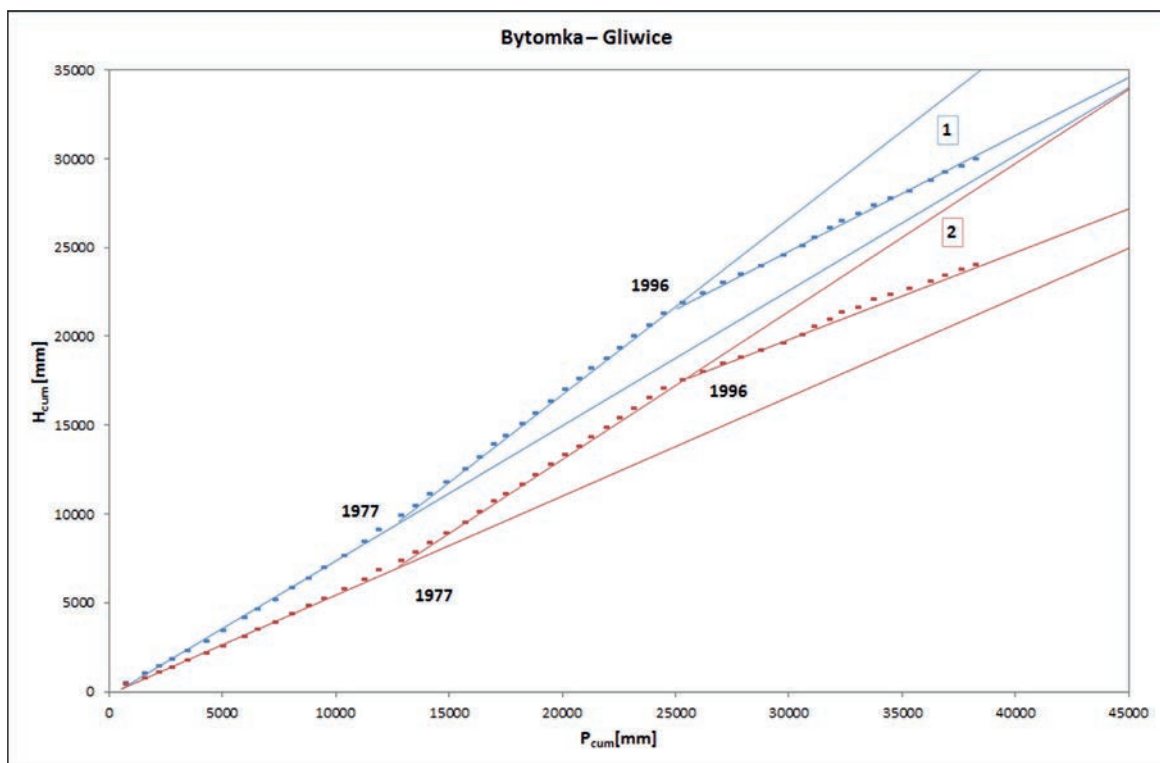
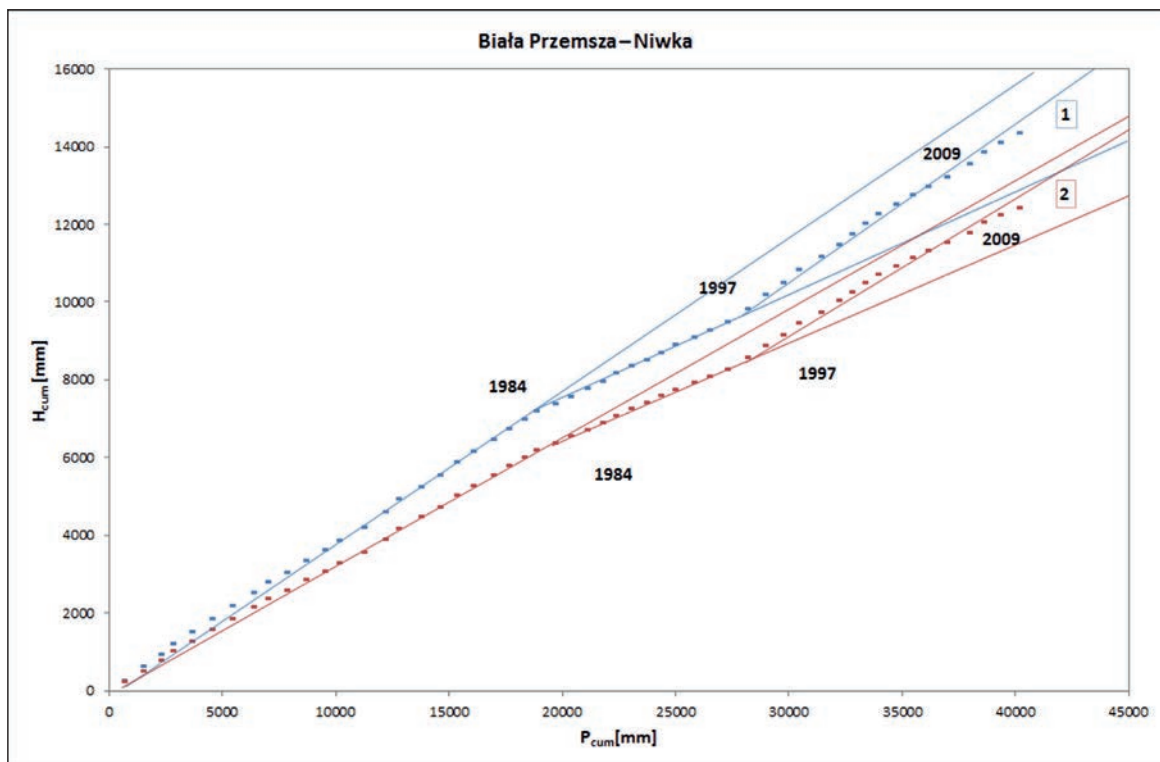
Na uwagę zwracają wysokie wartości średniego niskiego odpływu w rzekach o wysokim stopniu przeobrażenia, np. w: Białej Przemszy, Przemszy, Bobrku, Pogorii, Brynicy, Szotkówce, Kłodnicy i Bytomce (ryc. 43.). W tych zlewniach wartości średniego niskiego rocznego odpływu były zbliżone do wartości średniego odpływu.

Badania wieloletnich tendencji zmian odpływu Kłodnicy w Gliwicach (w okresie 1906–1985) wskazują, że w roku 1950 nastąpił wyraźny wzrost odpływu. Rok ten został uznany za początek wyraźnego oddziaływania antropopresji (HOŁDA, WOJTYŁAK, 1991). Udział wód obcych w roku 1951 wynosił 33%, a w roku 1985 wzrósł do 57%, przepływy zaś zwiększyły się średnio o $4,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ w ciągu 80 lat.

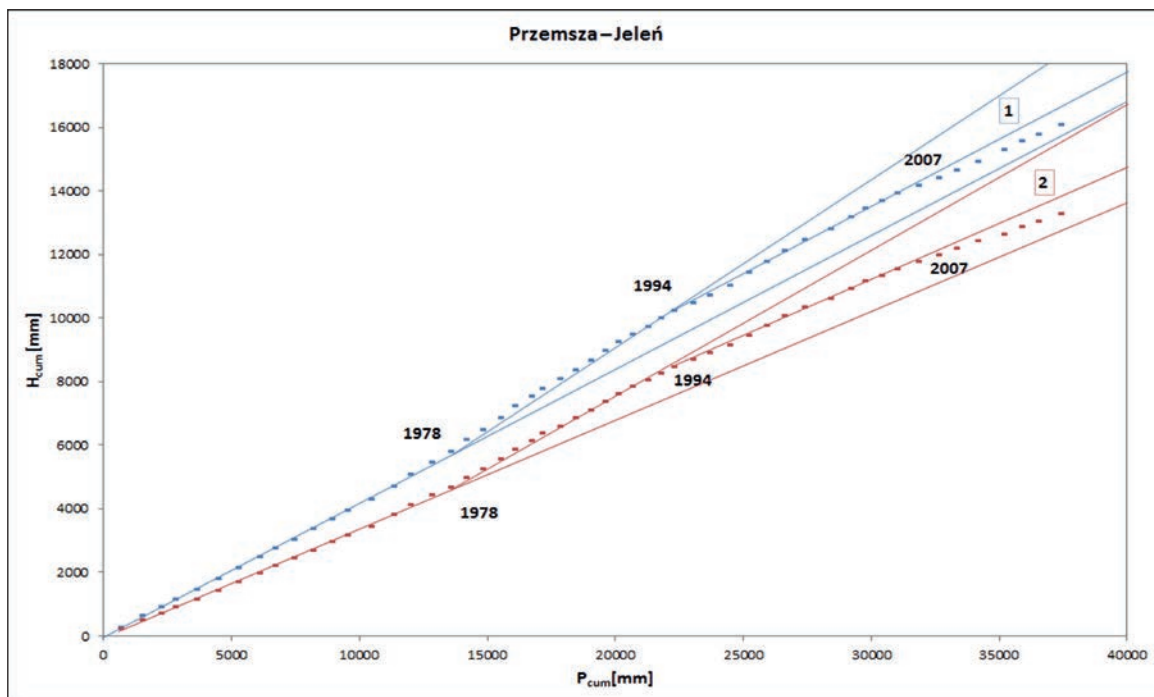
Analizując krzywą kumulacyjną przepływów w zlewni Szotkówki, która do roku 1983 była głównym „odbiornikiem” wód dołowych z ROW, a w całym analizowanym okresie – ścieków komunalnych i przemysłowych z Jastrzębia Zdroju, można jednoznacznie stwierdzić, że w roku 2009 przepływy „wróciły” do wartości sprzed stwierdzonej zmiany na początku lat 70. (ryc. 45.). Podobną sytuację można zauważyć w przebiegu średnich rocznych niskich przepływów w zlewniach Białej i Kłodnicy w Gliwicach. Ich wzrost nastąpił w połowie lat 70., a w roku 2013 średnie roczne niskie przepływy „wróciły” do wartości sprzed stwierdzonej zmiany (ryc. 45.).



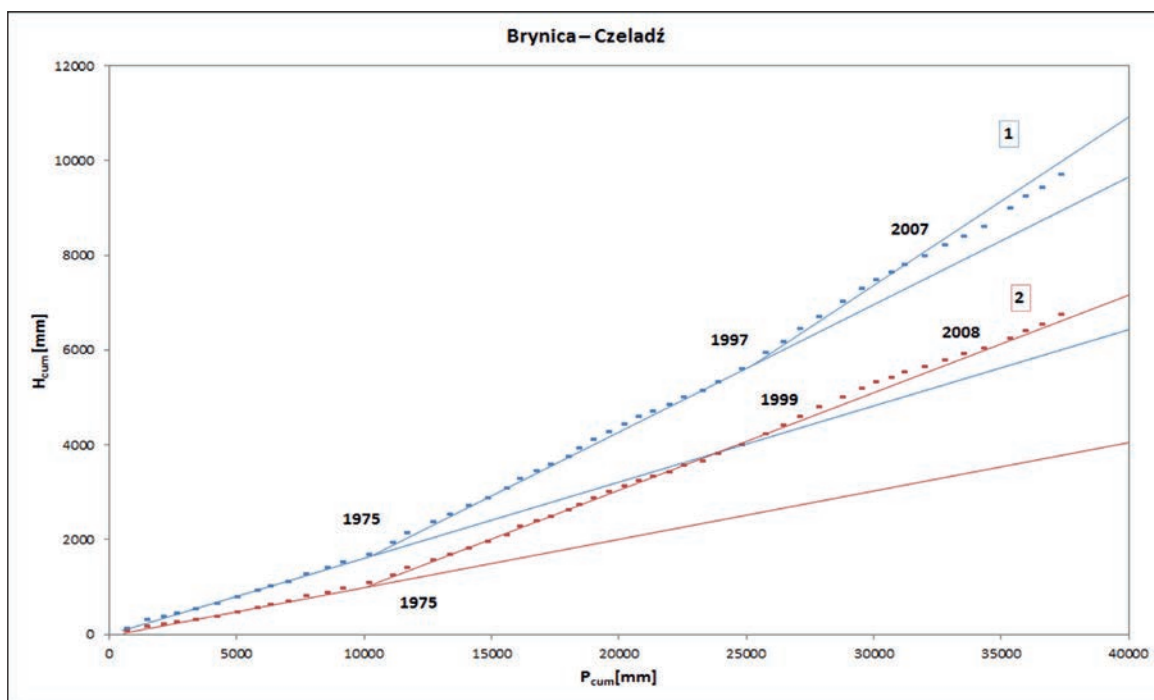
Ryc. 42. Podwójne krzywe kumulacyjne opadów P [mm] i odpływów H [mm] w zlewniach o wyrównanym przebiegu P i H : 1 – średni roczny wskaźnik odpływu, 2 – średni roczny niski wskaźnik odpływu



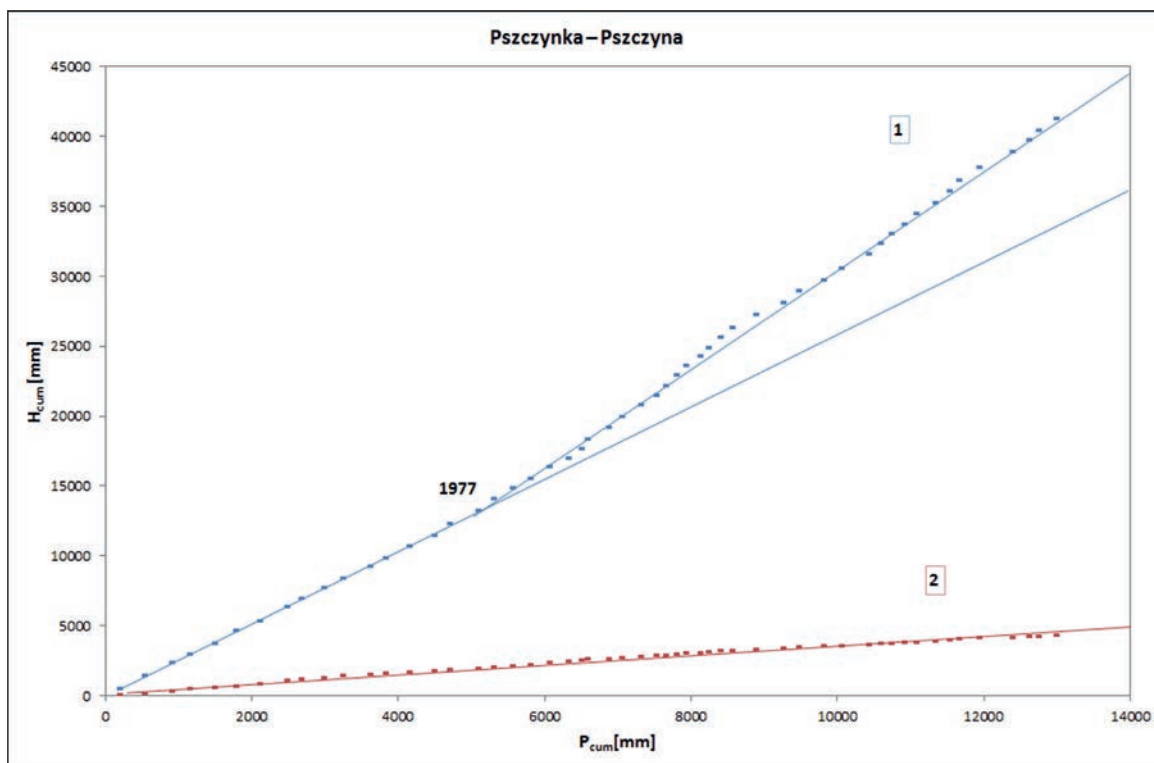
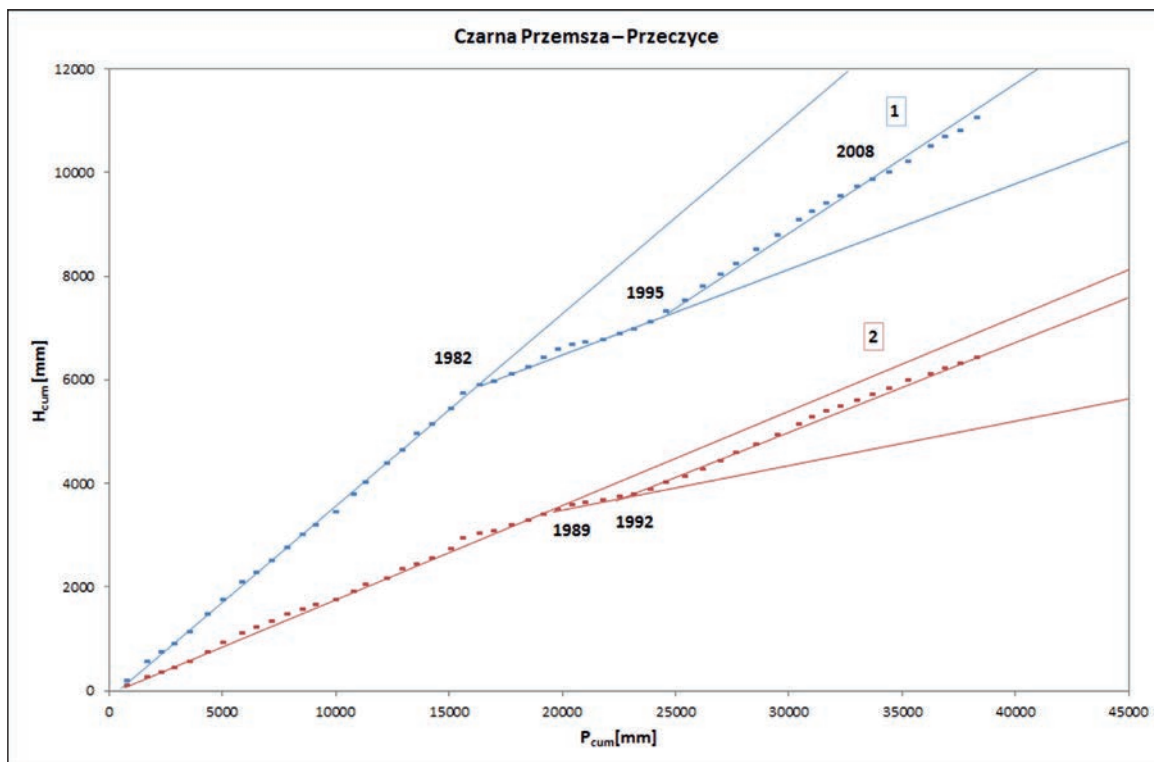
Ryc. 43a. Przykładowe podwójne krzywe kumulacyjne opadów P [mm] i odpływu H [mm] w zlewniach będących głównymi odbiornikami wód kopalnianych: 1 – średni roczny wskaźnik odpływu, 2 – średni roczny niski wskaźnik odpływu



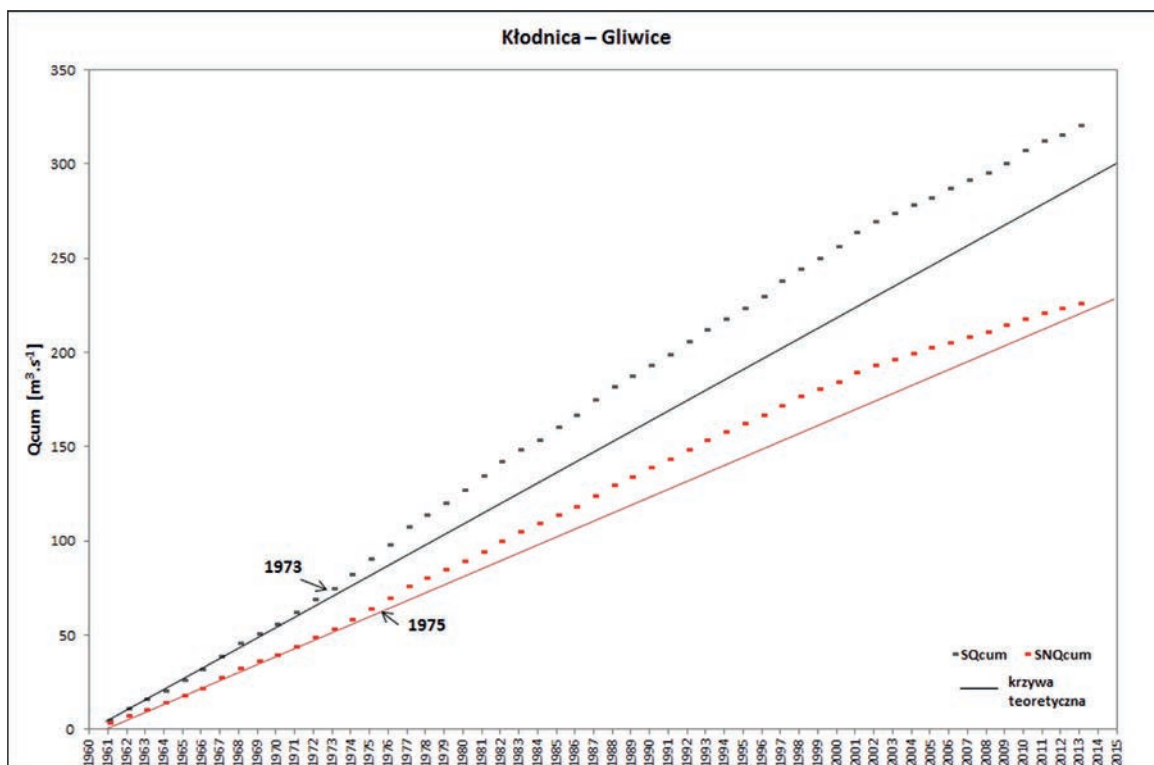
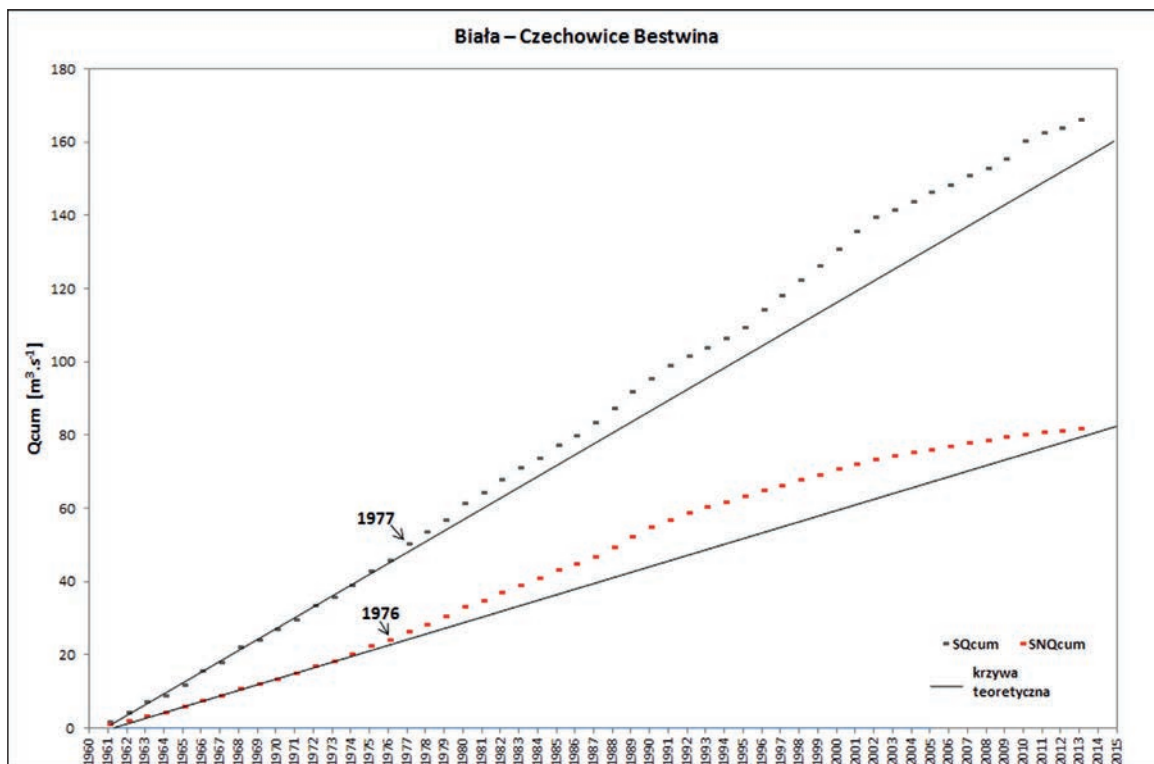
Ryc. 43b. Przykładowe podwójne krzywe kumulacyjne opadów P [mm] i odpływów H [mm] w zlewniach będących głównymi odbiornikami wód kopalnianych: 1 – średni roczny wskaźnik odpływu, 2 – średni roczny niski wskaźnik odpływu



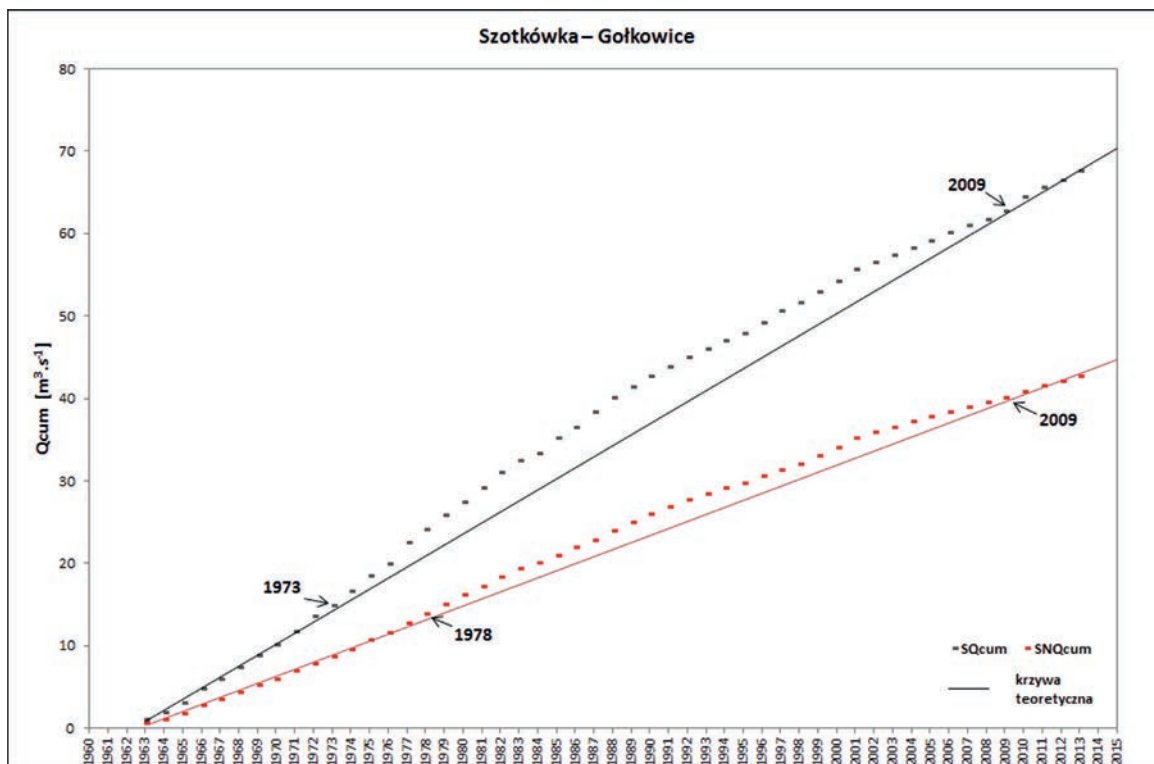
Ryc. 44a. Przykładowe podwójne krzywe kumulacyjne opadów P [mm] i odpływów H [mm] w zlewniach będących pod wpływem zbiorników zaporowych: 1 – średni roczny wskaźnik odpływu, 2 – średni roczny niski wskaźnik odpływu



Ryc. 44b. Przykładowe podwójne krzywe kumulacyjne opadów P [mm] i odpływów H [mm] w zlewniach będących pod wpływem zbiorników zaporowych: 1 – średni roczny wskaźnik odpływu, 2 – średni roczny niski wskaźnik odpływu



Ryc. 45a. Krzywe kumulacyjne średnich rocznych niskich i średnich przepływów w wieloleciu 1961–2013 w przekrojach: Szotkówka – Gołkowice, Kłodnica – Gliwice, Biała – Czechowice Bestwina



Ryc. 45b. Krzywe kumulacyjne średnich rocznych niskich i średnich przepływów w wieloleciu 1961–2013 w przekrojach: Szotkówka – Gołkowice, Kłodnica – Gliwice, Biała – Czechowice Bestwina

5.3. Identyfikacja skokowych zmian przepływów

Kolejnym krokiem w celu określenia zmian przepływów było wykrycie wzrostu lub spadku wartości przepływów w wyniku niejednorodności szeregu obserwacyjnego. Przepuszczalnie wskazuje to na istotne impulsy zmieniające warunki opadu i odpływu w zlewni. Mogą być one efektem zarówno zmian klimatycznych, jak i zmian będących wynikiem antropopresji. Zgodnie z badaniami A. BARTNIKA i P. JOKIELA (1997), którzy wskazują na różnicę pomiędzy niejednorodnością genetyczną i statystyczną przeprowadzonych obserwacji, podczas analizy szeregów czasowych zjawisk i procesów hydrologicznych można mieć do czynienia z obydwojoma rodzajami niejednorodności. Gdy są znane przyczyna i termin zerwania szeregu lub gdy dostępna jest przynajmniej jed-

na z tych informacji, wówczas dość łatwo można rozdzielić szereg na części genetyczne jednorodne (BARTNIK, JOKIEL, 1997). Presja wywierana przez człowieka na całe środowisko naturalne przynosi w efekcie zmiany odpływu, które są niekiedy trudno dostrzegalne, gdyż mają charakter swoistego, może nawet globalnego trendu. Niekiedy jednak w tej tendencji pojawia się nagle nieciągłość. Dochodzi wówczas do skokowej zmiany charakteru procesu lub warunków jego formowania. Zmiana ta często jest na tyle istotna, że pozwala wyróżnić dwa odmienne okresy (BARTNIK, JOKIEL, 1997; BARTNIK, 2005). Skokowe zmiany tendencji przepływów w latach 70. XX wieku zostały zaobserwowane między innymi przez D. WRZEŚNIEŚKIEGO (2009), który zwraca uwagę na potrzebę dalszych badań potwierdzających statystyczną istotność zmiany tendencji przepływów oraz terminów przejścia z trendów rosnących w malejące.

Do określenia punktów skokowej zmiany wykorzystano test Pettitta, a wykryte zmiany

potwierdzono dodatkowo testami: Buishand's test oraz „Standard normal homogeneity test” (SNHT).

W większości analizowanych zlewni zostały wykryte zmiany skokowe przepływów, istotne statystycznie na poziomie 0,05 i większym. Analizy takie przeprowadzono dla przepływów rocznych niskich, średnich niskich i średnich przepływów. Na podstawie stosunku wartości przepływu w okresie przed i po „skoku” określono zmianę wielkości odpływu. Zmian skokowych w analizowanych przepływach nie stwierdzono na Odrze, Bierawce i Wiśle w Skoczowie.

A. Bartnik i P. Jokiel (1997) w odniesieniu do odpływów ustalili, że zaznacza się tendencja do tworzenia serii lat z niskimi bądź wysokimi odpływami, przy czym serie lat suchych są dłuższe niż serie lat wilgotnych. Krótkotrwałe fluktuacje opadów znajdując odbicie w zmianach odpływów, tendencje wieloletnie zaś wywołują reakcję spóźnioną o kilka lat. Zjawisko to związane jest z inercją odpływu, a w szczególności z jego bezwładnością w stosunku do opadu. Tą swoistą „pamięcią hydrologiczną” obszaru jest jego strefa aktywnej wymiany, w której na czas dłuższy bądź krótszy są retencjonowane nadwyżki opadów, które w okresie suszy stają się źródłem zasilania rzek (BARTNIK, JOKIEL, 1997). Analizując zerwania jednorodności szeregów przepływów rzek w latach 1971–1990, A. Bartnik i P. Jokiel wykazali wzrost przepływów średnich i niskich w latach 1973–1974 oraz ich spadek w latach 1981–1982.

Celem analizy skokowych zmian rocznych przepływów niskich, średnich niskich i średnich w analizowanych zlewniach jest wskazanie przyczyny niejednorodności szeregów przepływów. Czy zerwanie ma genezę uwarunkowaną antropopresją, zwłaszcza zrzutami wód dołowych czy czynnikami klimatycznymi? Czy zmianę skokową wywołują oba te czynniki? Znając lata, w których oddawano do użytku nowe kopalnie węgla kamiennego, uruchamiano nowe zakłady przemysłowe, pobory i przerzuty między zlewniami, alimentowano zbiorniki zaporowe, można jednoznacznie określić, co i w jaki sposób wpływało na zmianę odpływu rzek na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

W pierwszej kolejności przeanalizowano roczne niskie przepływy, co pozwoliło ustalić największą liczbę zmian skokowych w zlewniach.

Wzrost rocznych przepływów minimalnych zanotowano w siedmiu przekrojach wodowskazo- wych (ryc. 46.). W pięciu zlewniach (Wiśle w Nowym Bieruniu, Mlecznej, Brynicy w Czeladzi, Bobrku, Kłodnicy w Kłodnicy) skokowa zmiana nastąpiła w pierwszej połowie lat 70. XX wieku. W przypadku Gostyni doszło do niej w roku 1978, a na Brynicy w Namiarkach – w roku 1991. W roku 1970 i 1971 stwierdzone wzrosty roczne NQ_R wiążą się z uruchomieniem nowych kopalń, co spowodowało wzrost przepływów NQR na Kłodnicy w Kłodnicy o 66%, a na Mlecznej oraz Wiśle w Nowym Bieruniu o 57% (tabela 8.).

Skokowe zmiany niskich przepływów w Bobrku (wzrost o 89%) i Brynicy w Czeladzi (wzrost o 107%) były wynikiem zarówno wzrostu odpływów w tym czasie (BARTNIK, JOKIEL, 1997), jak i oddziaływania czynników antropogenicznych. Główną przyczyną wzrostu niskich rocznych przepływów w Bobrku był oprócz zrzutu wód dołowych zrzut ścieków z uruchomionej w pierwszej połowie lat 70. XX wieku huty „Katowice”, której zaopatrzenie w wodę technologiczną pochodzi spoza tej zlewni (ABSALON, 1991). W Brynicy w Czeladzi zmianę w tym czasie można powiązać również z intensywnymi zrzutami ścieków przemysłowych, komunalnych i wód dołowych (bilansowanych na tym posterunku), których ilość od roku 1973 w stosunku do lat wcześniejszych zaczęła systematycznie wzrastać. Skokowy wzrost o 42% niskich przepływów w Gostyni, do której swoje wody prowadzi Mleczna, nastąpił dopiero w roku 1978. Również w tym przypadku zmiana była spowodowana wpływem zarówno antropopresji, jak i czynników klimatycznych. Najwyższy wzrost rocznych niskich przepływów – aż o 166% – wystąpił w Brynicy w przekroju Namiarki w roku 1991, co miało ścisły związek z ograniczeniem poboru wody ze zbiornika „Kozłowa Góra”.

W pozostałych zlewniach wystąpiły spadki wartości rocznych NQ_R . Spadek wartości przepływów minimalnych o 40% w Pogorii zanotowano w roku 1989, co sugeruje wpływ długiego okresu niedoborów opadów oraz świadczy o tym, że od

Tabela 8. Zmiany wartości niskich rocznych przepływów w zlewniach objętych zmianami skokowymi

Przekrój wodowskazowy	Okres I	Średnia NQ [m ³ ·s ⁻¹]	Okres II	Średnia NQ [m ³ ·s ⁻¹]	Stosunek NQ Okres I/Okres II	Zmiana wartości w %
Wisła – Jawiszowice	1961–1991	2,65	1992–2013	2,21	0,833	-17
Wisła – Nowy Bieruń	1962–1971	4,09	1972–2013	6,41	1,569	57
Wisła – Pustynia	1971–1998	23,1	1999–2013	13,1	0,569	-43
Biała – Czechowice Bestwina	1961–1996	1,32	1997–2013	0,691	0,523	-48
Pszczynka – Pszczyna	1961–1982	0,295	1983–2013	0,151	0,512	-49
Mleczna – Bieruń Stary	1961–1970	0,433	1971–2013	0,679	1,568	57
Gostynia – Bojszowy	1961–1978	1,34	1979–2013	1,90	1,423	42
Brynica – Namiarki	1961–1991	0,207	1992–2013	0,551	2,662	166
Brynica – Czeladź	1961–1974	0,566	1975–2013	1,17	2,069	107
Brynica – Szabelnia	1961–1999	3,73	2000–2013	2,292	0,614	-39
Pogoria – Dąbrowa Górnicza	1961–1989	0,764	1990–2013	0,460	0,602	-40
Bobrek – Niwka	1961–1974	0,429	1975–2013	0,810	1,888	89
Czarna Przemsza – Radocha	1961–2002	2,32	2003–2013	1,21	0,519	-48
Przemsza – Jeleń	1961–2002	14,2	2003–2013	11,2	0,788	-21
Bytomka – Gliwice	1961–1996	1,77	1997–2013	1,29	0,731	-27
Kłodnica – Kłodnica	1961–1971	0,275	1972–2013	0,457	1,662	66
Kłodnica – Gliwice	1961–1996	3,58	1997–2013	2,58	0,721	-28
Kłodnica – Lenartowice	1961–1990	2,94	1991–2013	1,72	0,585	-41
Ruda – Ruda Kozielska	1961–1990	1,50	1991–2013	0,849	0,566	-43
Piotrówka – Zebrzydowice	1962–1983	0,383	1983–2013	0,200	0,522	-48
Szotkówka – Gołkowice	1961–2001	0,719	2002–2013	0,435	0,605	-39

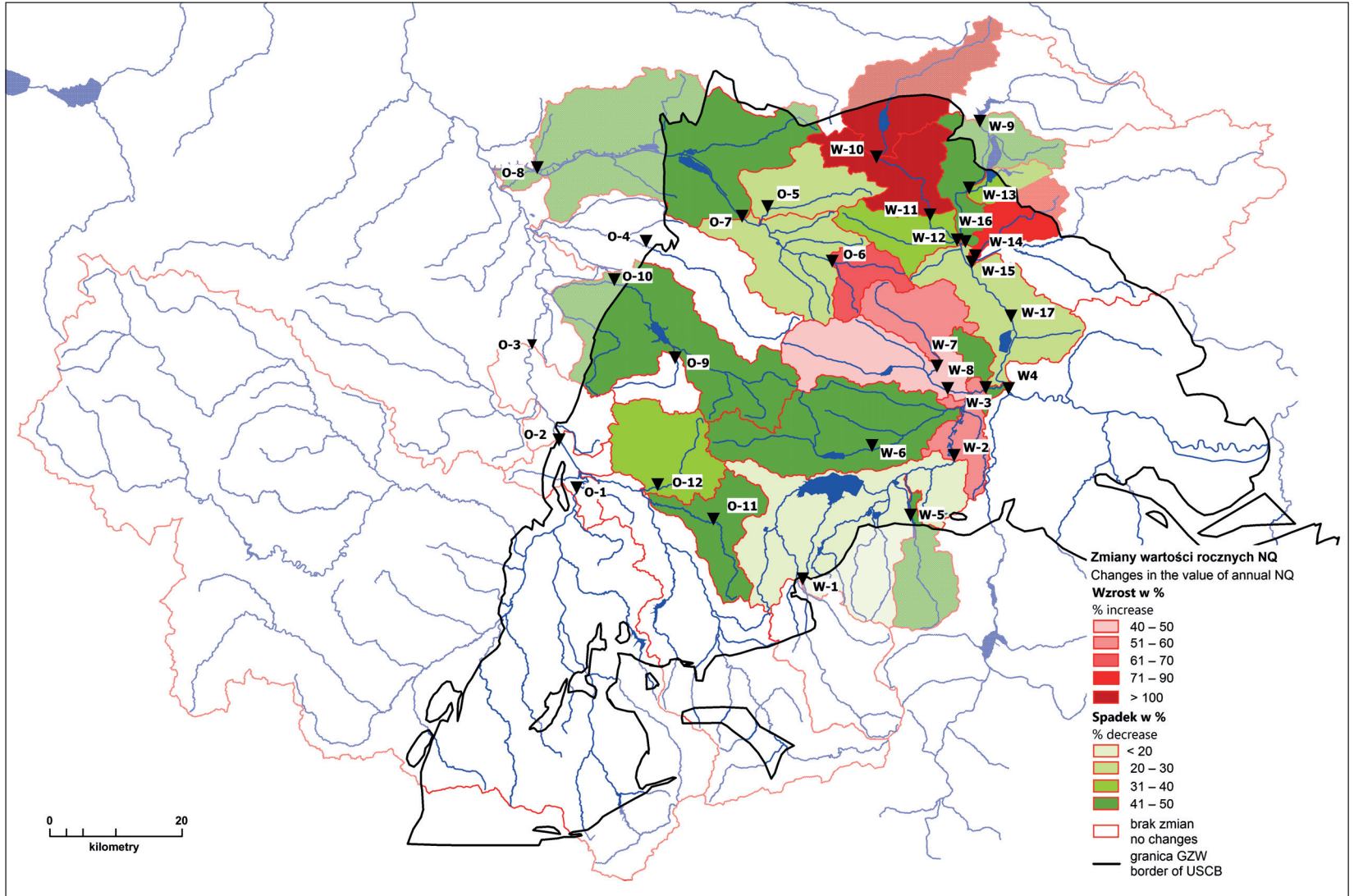
Źródło: Obliczenia własne.

tego roku zrzut wód dołowych został zmniejszony o połowę. W roku 1990 zmiana skokowa wystąpiła w Wiśle w Jawiszowicach, Kłodnicy w Lenartowicach oraz w Rudzie, co było wynikiem długiego okresu niedoborów opadów, rozpoczynającego się w połowie lat 80. Przyczyn można dopatrywać się również w tym, że Wisła w Jawiszowicach oraz Ruda pozostają pod wpływem zbiorników zaporowych, a na Kłodnicę w Lenartowicach dodatkowo oddziałuje pobór wody na potrzeby Kanału Gliwickiego.

Kolejne zmiany skokowe niskich przepływów wystąpiły w 1996 roku – spadek o 28% w Kłodnicy w Gliwicach, o 27% w Bytomce, o 48% w Białej. W 1998 roku spadek niskich przepływów o 43% zanotowano w Wiśle Pustyni, a w roku 1999 stwierdzono wynoszący 39% spadek rocznych

NQ_R w Brynicy w przekroju Szabelnia. Na początku XXI wieku skokowe zmiany wystąpiły w: Szotkówce (spadek o 39%), Czarnej Przemszy w przekroju Radocha (spadek o 48%) i Przemszy w Jeleniu (spadek o 21%).

Spadki niskich przepływów w drugiej połowie lat 90. oraz na początku XXI wieku – mimo że był to okres występowania lat wilgotnych i bardzo wilgotnych – należy wiązać z coraz mniejszą objętością zrzucanych ścieków zarówno komunalnych, jak i przemysłowych, w tym wód dołowych. Zmiany polityczne i transformacja systemowa rozpoczęta w 1990 roku spowodowały od 1992 roku zmniejszenie poboru wody przypadającego na jednostkę wytworzonego produktu narodowego brutto (GRACZYK, 1994; GUTRY-KORYCKA i in. 2014). Objętość ścieków przemysłowych



Ryc. 46. Zmiany wartości NQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW

i komunalnych odprowadzanych do rzek ulegała systematycznemu zmniejszeniu, co wynikało z załamania gospodarczego przemysłu i zmniejszenia objętości ścieków wymagających oczyszczania (ABSALON, 2007; GUTRY-KORYCKA i in. 2014). Zarówno producenci, jak i konsumenci wody musieli przystosować się do wzrostu cen, co doprowadziło do wyraźnego obniżenia zużycia wody.

Tylko w Piotrówce i Pszczynce skokowa zmiana nastąpiła w roku 1983, co wpisuje się w stwierdzony przez A. BARTNIKA i P. JOKIELA (1997) spadek przepływów w tym czasie. Dodatkowo na Pszczynce rozpoczęto wówczas napełnianie zbiornika „Łąka”.

Skokowych zmian średnich rocznych niskich przepływów w analizowanym wieloleciu nie zanotowano w Wiśle w Jawiszowicach i w Nowym Bieruniu oraz w Mlecznej. Natomiast zmiana taka

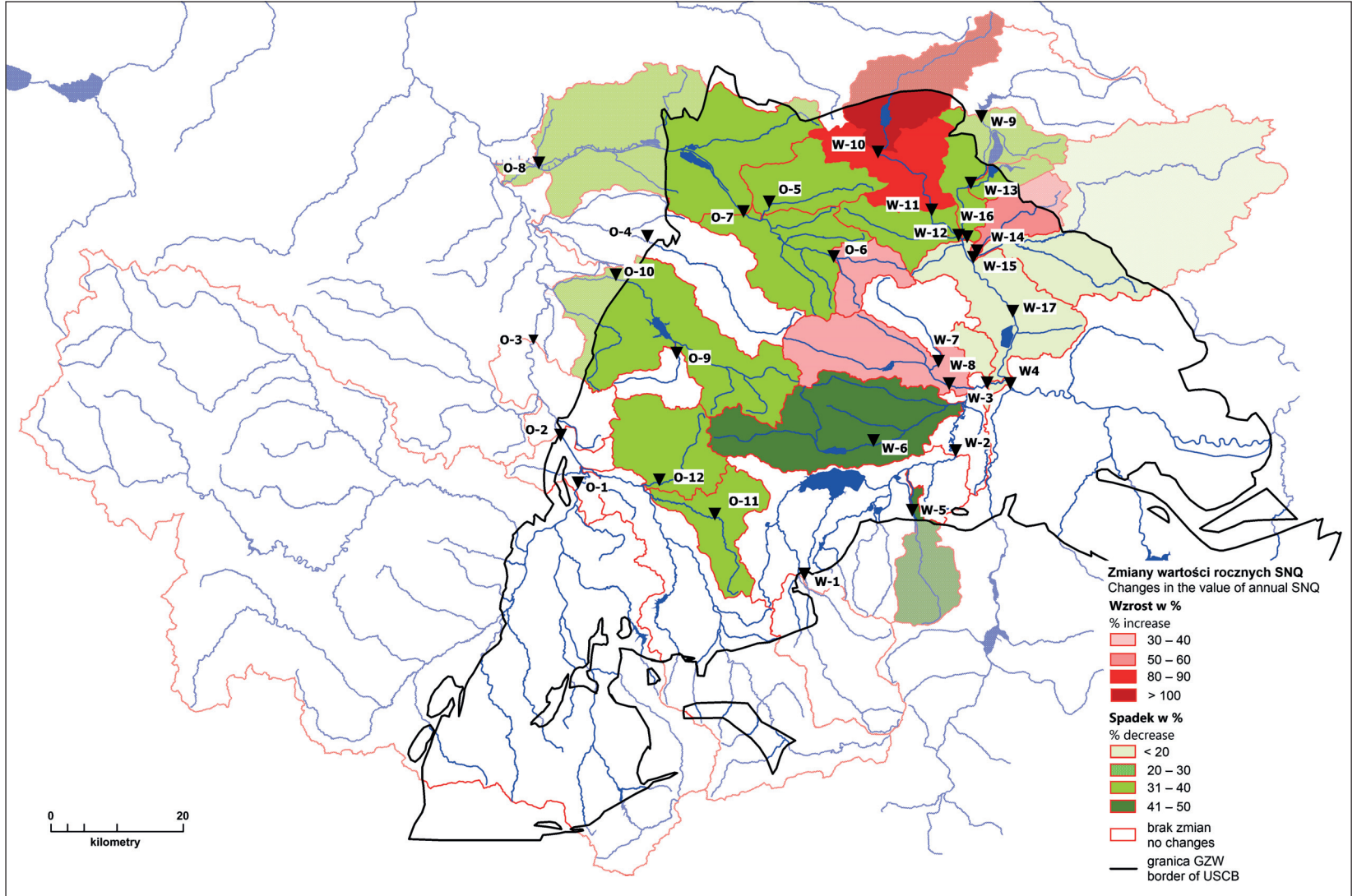
wystąpiła w Białej Przemszy, czego nie odnotowano w przypadku rocznych niskich przepływów (ryc. 47.). Na Wiśle w Pustyni tego typu zmiana średnich rocznych niskich przepływów wystąpiła w roku 1988, kiedy nastąpił ich spadek o 18%, natomiast przepływy minimalne obniżyły się o 43% dopiero w 1998 roku. Identyczny spadek średnich niskich przepływów w roku 2002 wystąpił w Przemszy w Jeleniu (tabela 9.).

Przekrój Wisła – Pustynia zamyka dorzecze tzw. Małej Wisły. W tym przekroju bilansowane są wody kopalniane dopływające zarówno Przemszą, jak i bezpośrednio Wisłą. W roku 1988 zakończył się okres największych objętości zrzucanych wód kopalnianych, które w tym czasie wynosiły $10,66 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a w latach 1986–1987 ilość dopływających wód kopalnianych przekraczała $11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. W tym czasie powinien być zauważalny wzrost średnich niskich przepływów w tym przekroju.

Tabela 9. Zmiany wartości średnich rocznych niskich przepływów w zlewniach objętych zmianami skokowymi

Przekrój wodowskazowy	Okres I	Średnia SNQ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Okres II	Średnia SNQ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Stosunek SNQ Okres I/Okres II	Zmiana wartości w %
Wisła – Pustynia	1971–1988	29,7	1989–2013	24,3	0,820	–18
Biała – Czechowice Bestwina	1961–1993	1,83	1994–2013	1,07	0,585	–42
Pszczynka – Pszczyna	1961–1983	0,652	1984–2013	0,341	0,523	–48
Gostynia – Bojszowy	1961–1970	1,74	1971–2013	2,32	1,336	34
Brynica – Namiarki	1961–1991	0,212	1992–2013	0,600	2,830	183
Brynica – Czeladź	1961–1974	0,894	1975–2013	1,69	1,890	89
Brynica – Szabelnia	1961–1999	4,46	2000–2013	2,90	0,649	–35
Pogoria – Dąbrowa Górnicza	1961–1989	0,967	1990–2013	0,579	0,599	–40
Bobrek – Niwka	1961–1974	0,670	1975–2013	1,033	1,542	54
Biała Przemsza – Niwka	1976–1983	7,28	1984–2013	5,94	0,815	–18
Czarna Przemsza – Radocha	1961–2002	3,24	2003–2013	2,07	0,637	–36
Przemsza – Jeleń	1961–2002	16,5	2003–2013	13,5	0,819	–18
Bytomka – Gliwice	1961–1996	2,12	1997–2013	1,64	0,776	–22
Kłodnica – Kłodnica	1961–1970	0,460	1971–2013	0,643	1,398	40
Kłodnica – Gliwice	1961–1998	4,64	1999–2013	3,30	0,711	–29
Kłodnica – Lenartowice	1961–1990	4,73	1991–2013	3,08	0,650	–35
Ruda – Ruda Kozielska	1961–1982	2,36	1983–2013	1,48	0,625	–37
Piotrówka – Zebrzydowice	1962–1983	0,559	1984–2013	0,370	0,662	–34
Szotkówka – Gołkowice	1961–1991	0,925	1992–2013	0,724	0,783	–22

Ź r ó d ł o: Obliczenia własne.



Ryc. 47. Zmiany wartości SNQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW

Ich spadek pod koniec lat 80. XX wieku jest wynikiem niedoborów zasilania atmosferycznego rozpoczętego na początku tej dekady. Zarazem był to okres szczytowego zapotrzebowania na wodę – duża ilość wody pobieranej w dorzeczu Wisły na potrzeby komunalne i przemysłowe mogła zrównoważyć tę różnicę.

Odwrotna sytuacja została zaobserwowana na Rudzie w Rudzie Kozielskiej. Spadek średnich niskich przepływów o 37% nastąpił w roku 1982, natomiast do zmiany przepływów minimalnych doszło w roku 1990, kiedy zanotowano spadek NQ_R o 48%, na co wpłynęło przede wszystkim oddziaływanie zbiornika „Rybnik”. Wykorzystanie wód zbiornika rybnickiego do celów chłodniczych przez elektrownię „Rybnik” powoduje znaczne straty wody. Według D. ABSALONA (1998) straty na parowanie w roku 1991 osiągały 5000 mm, co odpowiadało $0,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ i stanowiło 56% wartości odpływu ze zbiornika. W niektórych miesiącach roku 1991 straty wynosiły 97–98% wartości odpływu ze zbiornika.

W przypadku Szotkówki skokowa zmiana średnich niskich przepływów wystąpiła w roku 1991, kiedy zanotowano ich spadek wynoszący 22%. Przepływy minimalne uległy obniżeniu o 39% dopiero w 2001 roku.

W Białej Przemszy brak skokowych zmian w minimalnych przepływach świadczy o stałej dostawie wód pochodzących z odwadniania kopalń: piasków czwartorzędowych, olkuskiego rejonu złożowego oraz węgla kamiennego. Biała Przemsza charakteryzuje się wyraźnie „podniesionymi” rocznymi niskimi i średnimi niskimi przepływami. Stwierdzone ucieczki wody z koryta oraz duże ujęcia wody, między innymi w Maczkach, spowodowały spadek średnich niskich przepływów o 18% w okresie szczytowego zapotrzebowania na wodę.

W pozostałych zlewniach zmiany skokowe średnich rocznych niskich przepływów wystąpiły w tym samym czasie co zmiany rocznych niskich przepływów.

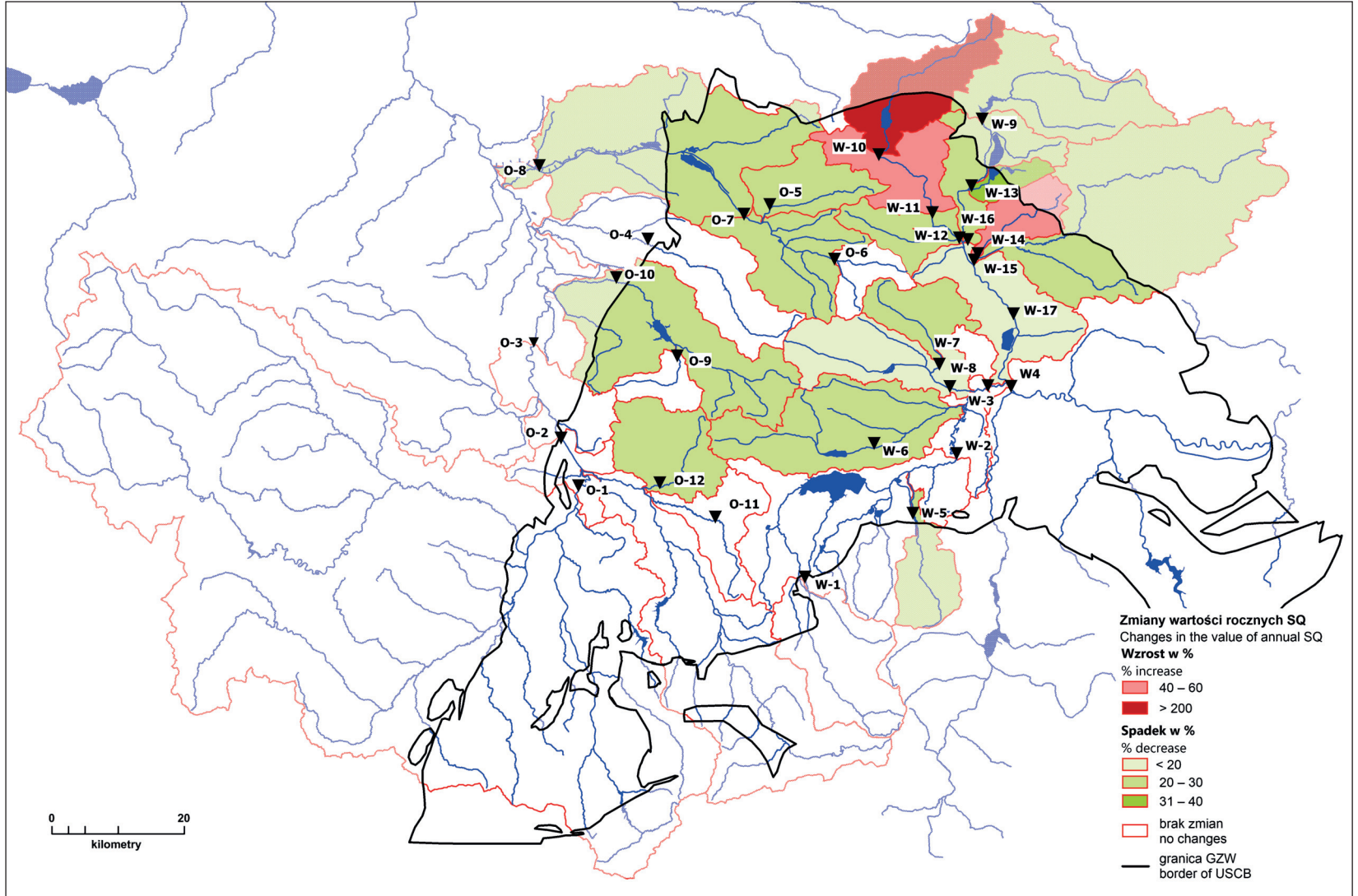
Zmiany skokowe średnich rocznych przepływów wystąpiły w 18 zlewniach, jednak w większości przypadków nie były one wynikiem zmian objętości odprowadzanych wód kopalnianych (ryc. 48.). W przypadku średnich rocznych prze-

pływów w zlewni Brynicy skokowy wzrost odnotowano tylko w przekroju Namiarki i w Czeladzi. Do zmiany tej doszło w roku 1994, co pokrywa się z zakończeniem poboru wody ze zbiornika „Kozłowa Góra”, położonego powyżej rozpatrywanych przekrojów (tabela 10.). Spadek średnich przepływów w Czarnej Przemszy w Przeczycach od roku 1983 łączyć można z przerzutami wody ze zbiornika „Przeczycze” w okresie od października 1982 do sierpnia 1994 roku w średniej ilości $11,5 \text{ hm}^3/\text{rok}$ (RZĘTAŁA, 2008). W tym przekroju nie stwierdzono zmian skokowych przepływów niskich, co było wynikiem funkcjonowania zbiornika „Przeczycze”. W Bobrku skokowa zmiana średnich rocznych przepływów podobnie jak przepływów średnich niskich i niskich rocznych wystąpiła w roku 1974, a średnie przepływy wzrosły o 46%.

W pozostałych zlewniach nastąpił spadek średnich rocznych przepływów. W roku 1982 w Białej Przemszy w przekroju Niwka przepływy zmniejszyły się o 20%, a w roku 1983 w Przemszy w Jeleniu o 14%, w Czarnej Przemszy w przekroju Radocha o 24%. Przyczyną jednoczesnego spadku w tych zlewniach był zarówno intensywny pobór wód ze zbiornika „Przeczycze” oraz ujęć na Czarnej i Białej Przemszy, jak i stwierdzone zmniejszenie się średnich przepływów na terenie Polski (BARTNIK, JOKIEL, 1997). W tym samym czasie nastąpił spadek średnich przepływów w Rudzie o 27% oraz Pszczynce o 25%. Skokowe zmiany przepływów, które wystąpiły w tym okresie, charakteryzują się bardzo podobnymi wartościami SQ_R na poziomie 20–27%, z wyjątkiem Przemszy, gdzie spadek wyniósł 14%.

W latach 1986 i 1988 nastąpił spadek średnich przepływów w Gostyni o 14% i Mlecznej o 20%. Spadek średnich przepływów w tych zlewniach wynikał z długiego okresu niedoboru opadów atmosferycznych od roku 1982. Drugą możliwą przyczynę stanowiło systematyczne zmniejszanie się od roku 1988 ilości zrzucanych do tych rzek wód kopalnianych.

W pozostałych zlewniach spadki średnich przepływów zanotowano w drugiej połowie lat 90. XX wieku. Nie mają one uzasadnienia klimatycznego (były to lata wilgotne i bardzo wilgotne), a zjawisko można tłumaczyć znaczącym spadkiem



Ryc. 48. Zmiany wartości SQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW

Tabela. 10. Zmiany wartości średnich rocznych przepływów w zlewniach objętych zmianami skokowymi

Przekrój wodowskazowy	Okres I	Średnia SQ [m ³ ·s ⁻¹]	Okres II	Średnia SQ [m ³ ·s ⁻¹]	Stosunek SQ Okres I/Okres II	Zmiana wartości w %
Biała – Czechowice Bestwina	1961–2002	3,32	2003–2013	2,42	0,729	-27
Pszczynka – Pszczyna	1961–1982	1,67	1983–2013	1,26	0,754	-25
Mleczna – Bieruń Stary	1961–1986	1,49	1987–2013	1,20	0,803	-20
Gostynia – Bojszowy	1961–1988	3,63	1989–2013	3,12	0,859	-14
Czarna Przemsza – Przeczyce	1961–1982	1,67	1983–2013	1,26	0,754	-25
Brynica – Namiarki	1961–1994	0,400	1995–2013	1,24	3,105	211
Brynica – Czeladź	1961–1994	1,76	1995–2013	2,78	1,580	58
Brynica – Szabelnia	1961–1999	5,64	2000–2013	4,51	0,799	-20
Pogoria – Dąbrowa Górnicza	1961–1989	1,24	1990–2013	0,818	0,661	-34
Bobrek – Niwka	1961–1974	0,888	1975–2013	1,30	1,459	46
Biała Przemsza – Niwka	1961–1982	8,52	1983–2013	6,85	0,805	-20
Czarna Przemsza – Radocha	1961–1983	4,84	1984–2013	3,69	0,763	-24
Przemsza – Jeleń	1961–1983	20,8	1984–2013	18,0	0,865	-14
Bytomka – Gliwice	1961–1998	2,63	1999–2013	2,02	0,769	-23
Kłodnica – Gliwice	1961–2001	6,43	2002–2013	4,75	0,740	-26
Kłodnica – Lenartowice	1961–1989	7,62	1990–2013	5,41	0,711	-29
Ruda – Ruda Kozielska	1961–1982	3,68	1983–2013	2,69	0,731	-27
Szotkówka – Gołkowice	1961–1989	1,53	1990–2013	1,09	0,713	-29

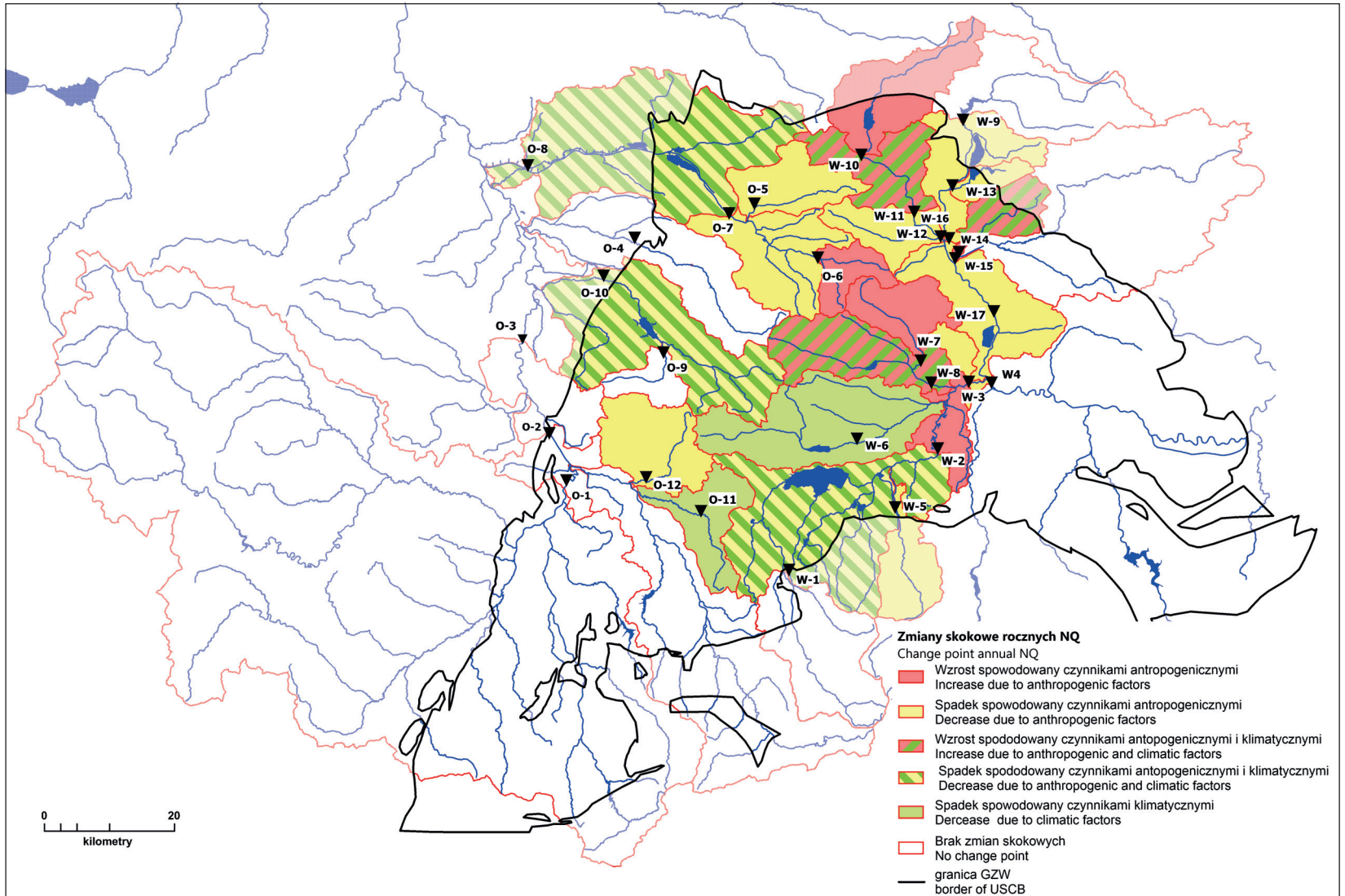
Źródło: Obliczenia własne.

zrzutów wód kopalnianych i ścieków przemysłowych w wyniku restrukturyzacji i zmniejszenia wodochłonności przemysłu. Po roku 1990 znacząco spadło również zapotrzebowanie na wodę, w wyniku wzrostu jej cen, co spowodowało racjonalizację zużycia wody przez gospodarke komunalną oraz wpłynęło na zmniejszenie objętości ścieków komunalnych odprowadzanych do rzek (ABSALON, 2007).

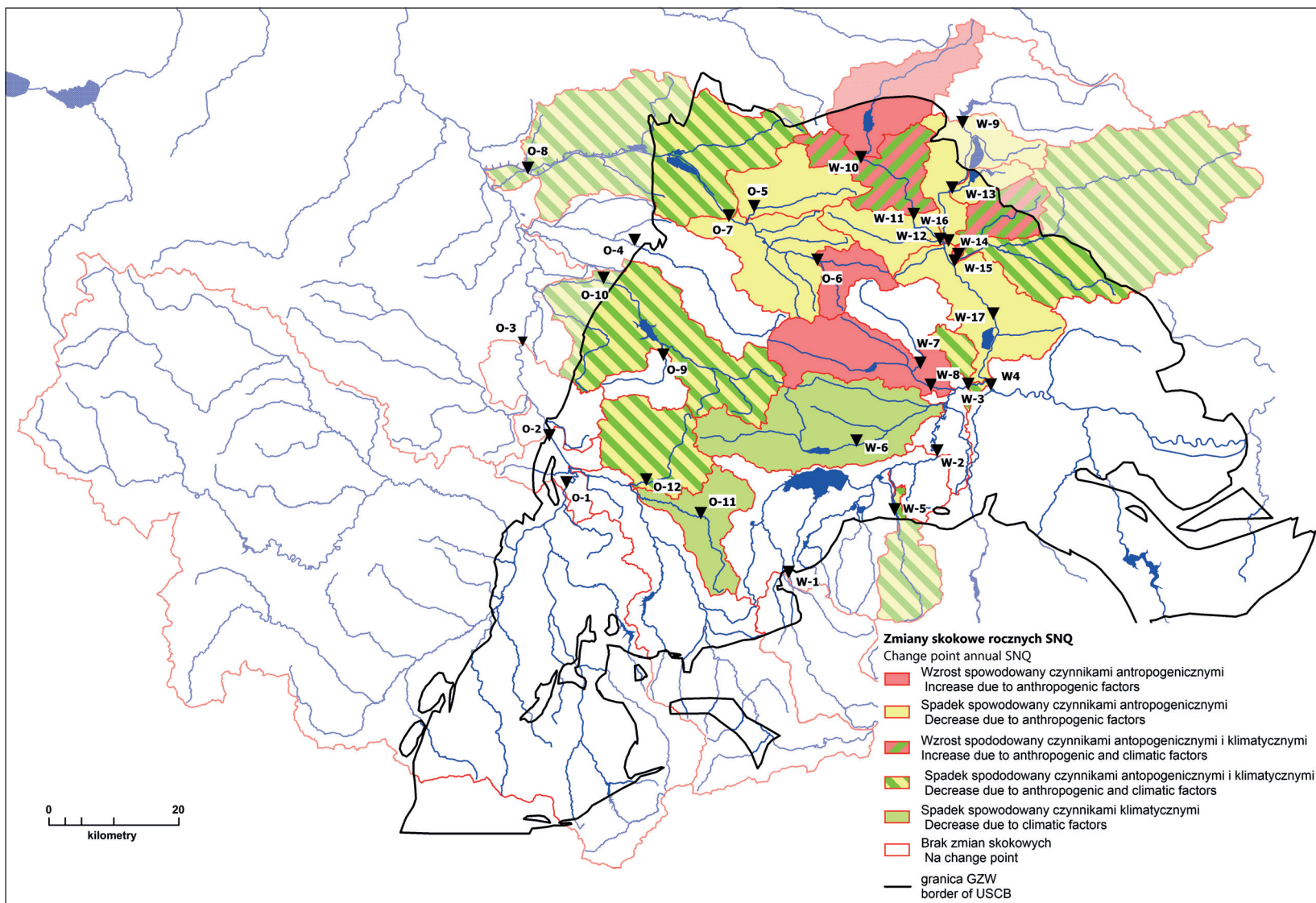
Zaobserwowane zmiany skokowe średnich rocznych przepływów w większości przypadków nie są indukowane przez zmiany objętości odprowadzanych wód kopalnianych. Tylko w niektórych rzekach (Mleczna, Gostynia, Pogoria, Brynica w przekroju Szabelnia i Kłodnica w Gliwicach) można z pewnością stwierdzić istotny wpływ zmian objętości wód kopalnianych w zaobserwowanych zmianach skokowych.

Przyczyny zaobserwowanych skokowych zmian w przepływach poszczególnych rzek można podzielić na następujące grupy (ryc. 49., 50., 51.):

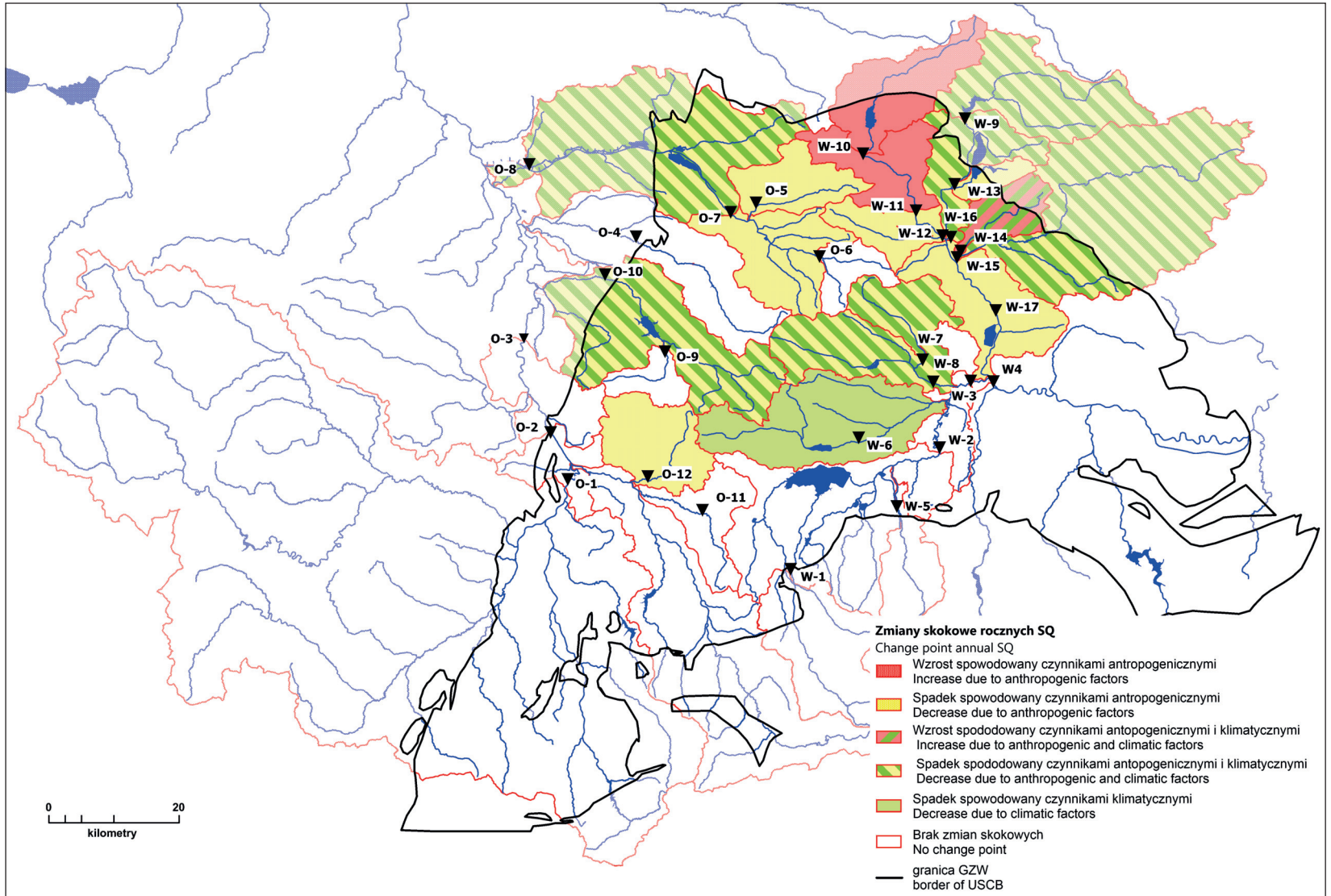
- Wzrost przepływów spowodowany przez oddziaływania antropogeniczne:
 - zrzuty wód kopalnianych: Wisła – Nowy Bieruń, Mleczna, Gostynia, Kłodnica;
 - zrzuty ścieków przemysłowych i kopalnianych: Bobrek;
 - zaniechanie poboru wody: Brynica – Namiarki i Brynica – Czeladź.
- Wzrost przepływów spowodowany przez oddziaływania antropogeniczne i klimatyczne: Gostynia, Mleczna, Bobrek, Brynica w Czeladzi;
- Spadek przepływów spowodowany przez oddziaływania antropogeniczne:
 - zmniejszenie ilości zrzucanych ścieków przemysłowych, w tym wód kopalnianych i komunalnych, po roku 1990: Brynica – Szabelnia,



Ryc. 49. Przyczyny zmiany wartości NQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW



Ryc. 50. Przyczyny zmiany wartości SNQ_r w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW



Ryc. 51. Przyczyny zmiany wartości SQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW

- Biała, Kłodnica – Gliwice, Bytomka, Szotkówka, Pogoria, Biała Przemsza, Czarna Przemsza;
- wpływ zbiorników oraz innych obiektów hydrotechnicznych i prowadzonej gospodarki wodnej: Pogoria, Pszczyńska, Czarna Przemsza – Przeczyce, Wisła – Jawiszowice, Kłodnica – Lenartowice, Ruda;
- intensywne pobory wody w pierwszej połowie lat 80. XX wieku: Biała Przemsza, Czarna Przemsza – Przeczyce, Czarna Przemsza – Radocha, Przemsza – Jeleń.
- Spadek przepływów spowodowany przez oddziaływania antropogeniczne i klimatyczne: Wisła – Pustynia, Czarna Przemsza, Biała Przemsza, Przemsza – Jeleń, Mleczna, Gostynia, Ruda, Pszczyńska.

Podsumowując, należy stwierdzić, że okres 1982–1994 charakteryzował się w analizowanych zlewniach występowaniem lat suchych, sporadycznie były to lata skrajnie suche. Zaznaczył się duży niedobór opadów, a dodatkowo okres ten zbiegł się z maksymalnym zapotrzebowaniem na wodę przez przemysł i na potrzeby komunalne. Wykryte zmiany skokowe niskich i średnich przepływów zwłaszcza w latach 80. XX wieku były spowodowane generalnie przez czynniki klimatyczne. W tym okresie nastąpił przeważnie spadek wartości przepływów, który dodatkowo był pogłębiany przez intensywne pobory wód powierzchniowych. Na lata 1984–1988 przypadło maksimum zrzutów wód kopalnianych. Analizując przebieg średnich i niskich rocznych przepływów oraz ilość zrzucanych wód dołowych do rzek, które są głównymi „odbiornikami” wód dołowych, zwłaszcza w dorzeczu Wisły, można stwierdzić, że wysokie zrzuty wód dołowych korelują z podwyższonymi w tym czasie przepływami: Brynicy, Przemszy, Pogorii, Bobrka, Gostyni, Mlecznej i Wisły w przekroju Pustynia. Zależności takiej nie stwierdzono w analizowanych zlewniach dorzecza górnej Odry.

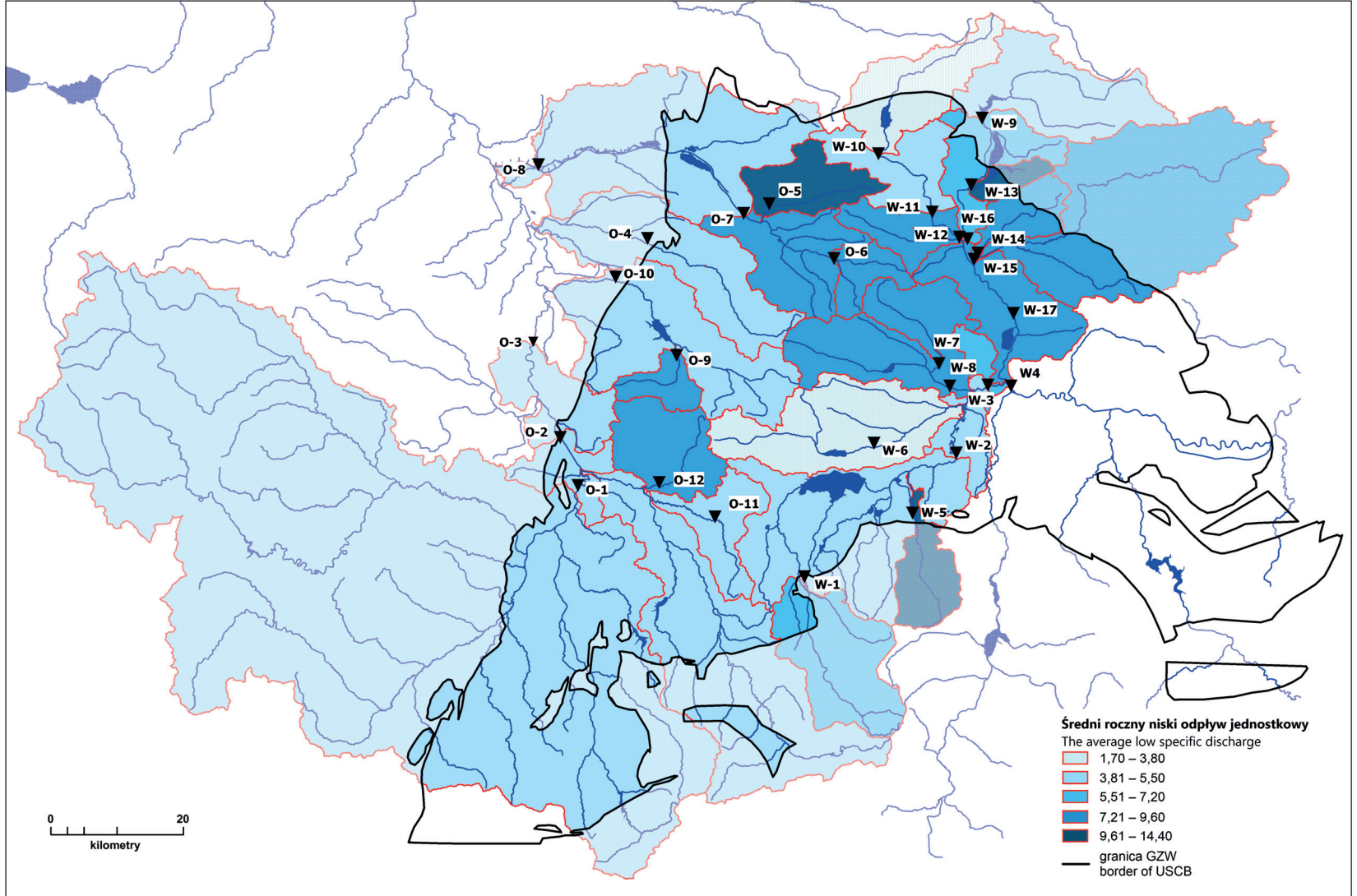
Mimo niewątpliwego wpływu czynników klimatycznych na kształtowanie się przepływów w tym czasie, wody dołowe stanowią czynnik w znaczącym stopniu modyfikujący wielkość odpływu w rzekach będących ich głównymi „odbiornikami”. Można przypuszczać, że gdyby nie ciągła dostawa dużych objętości wód dołowych zanotowane spadki przepływów byłyby znacznie więk-

sze, tym bardziej że większość głównych ujęć powierzchniowych zlokalizowana jest w dorzeczu górnej Wisły, a część wód przerzucana była do dorzecza górnej Odry.

5.4. Wpływ antropopresji na wielkość odpływu jednostkowego

Wielkość zasobów wodnych obszaru najlepiej odzwierciedla moduł odpływu, czyli średnia ilość odpływającej wody z jednostki powierzchni w jednostce czasu. Średni odpływ jednostkowy z obszaru Polski w okresie 1901–2007 wynosił $5,54 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (MICHALCZYK, 2009). Odpływ jednostkowy na obszarze Polski charakteryzuje się dużą zmiennością przestrzenną. Najniższy średni odpływ jednostkowy występuje w Pasie Nizin Środkowopolskich, na Kujawach i w Wielkopolsce, gdzie wynosi on $2\text{--}4 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Na Pojezierzach i Przymorzu osiąga $8\text{--}10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (FAL, BOGDANOWICZ, 2002). Górskie dopływy Wisły charakteryzują się odpływem jednostkowym rzędu $12 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, a w Tatrach moduł odpływu ma wartość ponad $50 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (GUTRY-KORYCKA i in., 2014).

Na podstawie przeprowadzonej analizy przestrzennej stwierdzono, że tereny antropogeniczne w badanej części dorzecza Wisły zajmują obszar o powierzchni 869 km^2 , zaś dorzecza Odry – $1\,022,9 \text{ km}^2$. Dodatkowo stale odwadniane obszary górnicze w obu dorzeczach zajmują łączną powierzchnię $2\,180 \text{ km}^2$. Intensywny drenaż wód przez kopalnie węgla kamiennego doprowadził do zmiany charakteru licznych cieków, obniżenia lub zaniku czwartorzędowego poziomu wodonośnego, co zubożyło strefę aktywnej wymiany wód. Wynikiem tego jest również zmiana charakteru niektórych cieków z drenujących płytkie wody podziemne na infiltrujące. Inny skutek działalności górniczej stanowi zwiększenie retencyjności zlewni z powodu powstania licznych zbiorników wodnych w nieckach osiadania, które są terenami bezodpływowymi, co może powodować istotne zaburzenia odpływu ze zlewni.



Ryc. 52. Zróżnicowanie SNq ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW

Średni niski odpływ jednostkowy z terenu Polski w wieloleciu 1971–1990 wynosił $3,97 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (BARTNIK, 2005). Średnie niskie odpływy jednostkowe na terenie analizowanych zlewni były zróżnicowane (ryc. 52.). W dorzeczu górnej Odry średni niski odpływ jednostkowy wynosił $6,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, a w dorzeczu Małej Wisły $6,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Najwyższym średnim niskim odpływem jednostkowym charakteryzuje się Bytomka – $14,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (ryc. 53.), gdzie wystąpiły również jego maksymalne wartości $19,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (w roku 1981). Najniższy średni niski odpływ jednostkowy zanotowano w zlewni Kłodnicy zamkniętej przekrojem w Lenartowicach $3,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, gdzie zanotowano również najniższą wartość $1,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (w roku 2004).

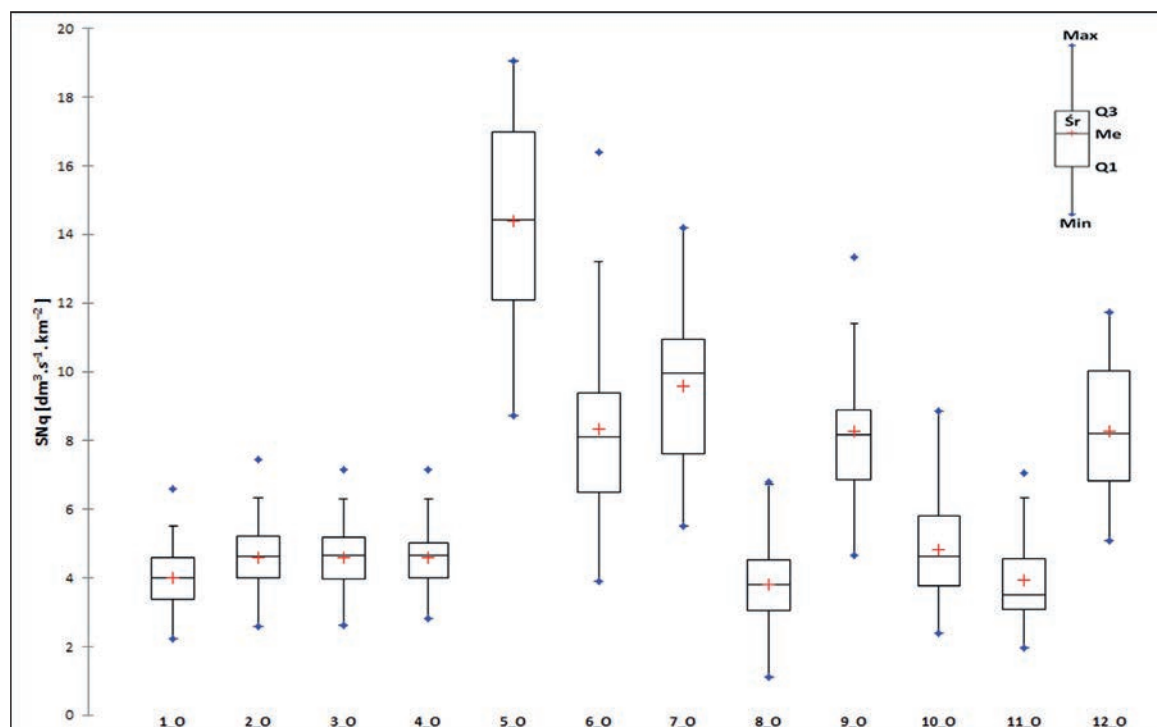
Na podstawie podziału naturalnego dokonano klasyfikacji średnich rocznych i średnich niskich rocznych odpływów jednostkowych w analizowanych zlewniach dorzeczy Wisły i Odry (rys. 51.). Podział naturalny wykorzystuje średnią wartość

każdego przedziału do bardziej równomiernego rozmieszczenia wartości w przedziałach. Poszczególne wartości przypisywane są do przedziałów w taki sposób, że średnia dla każdego przedziału jak najmniej różni się od każdej wartości w danym przedziale.

Zgodnie z podziałem naturalnym średnie niskie odpływy jednostkowe w dorzeczu górnej Odry można zgrupować w następujących przedziałach:

- $3,8\text{--}4,60 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ – Kłodnica – Lenartowice, Piotrówka, Bierawka, Odra w Chałupkach i Miedoni,
- $4,61\text{--}4,90 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ – Odra w Krzyżanowicach, Ruda,
- $4,91\text{--}8,40 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ – Kłodnica – Kłodnica, Nacyna, Szotkówka,
- $8,41\text{--}9,60 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ – Kłodnica – Gliwice,
- $9,61\text{--}14,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ – Bytomka.

Zlewnie dorzecza Małej Wisły charakteryzują się większym zróżnicowaniem średnich ni-



Ryc. 53. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk średniego niskiego odpływu jednostkowego w zlewniach dorzecza Odry na terenie GZW (oznaczenia na osi x zgodne z ryc. 1.)

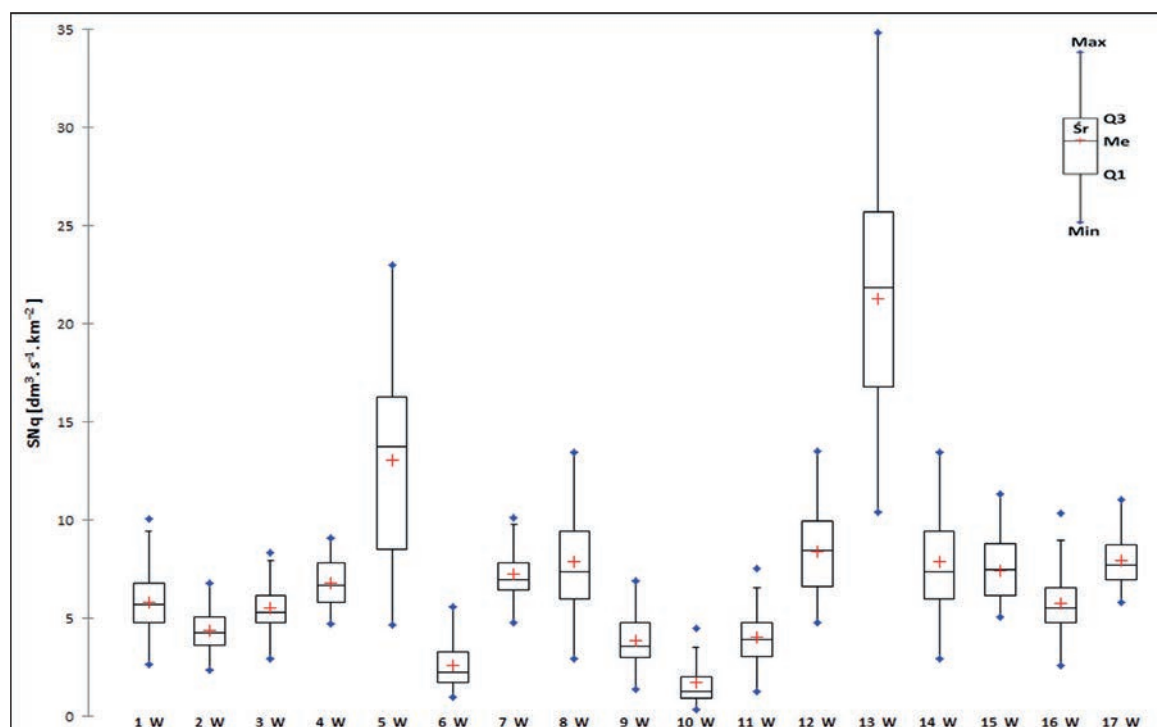
Max – wartość maksymalna, Q3 – trzeci kwartył, Me – mediana, Śr – średnia, Q1 – pierwszy kwartył, Min – wartość minimalna.

skich odpływów jednostkowych. Najwyższy średni niski odpływ zanotowano w zlewni Pogorii – jego wartość wynosiła $21,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, najniższy w zlewni Brynicy po przekrój Namiarki – $1,7 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (ryc. 53.). W tej ostatniej zlewni w roku 1970 wystąpił najniższy średni niski odpływ, mający wartość zaledwie $0,35 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

Średnie niskie odpływy jednostkowe w dorzezu Wisły można zgrupować według podziału naturalnego w następujących przedziałach:

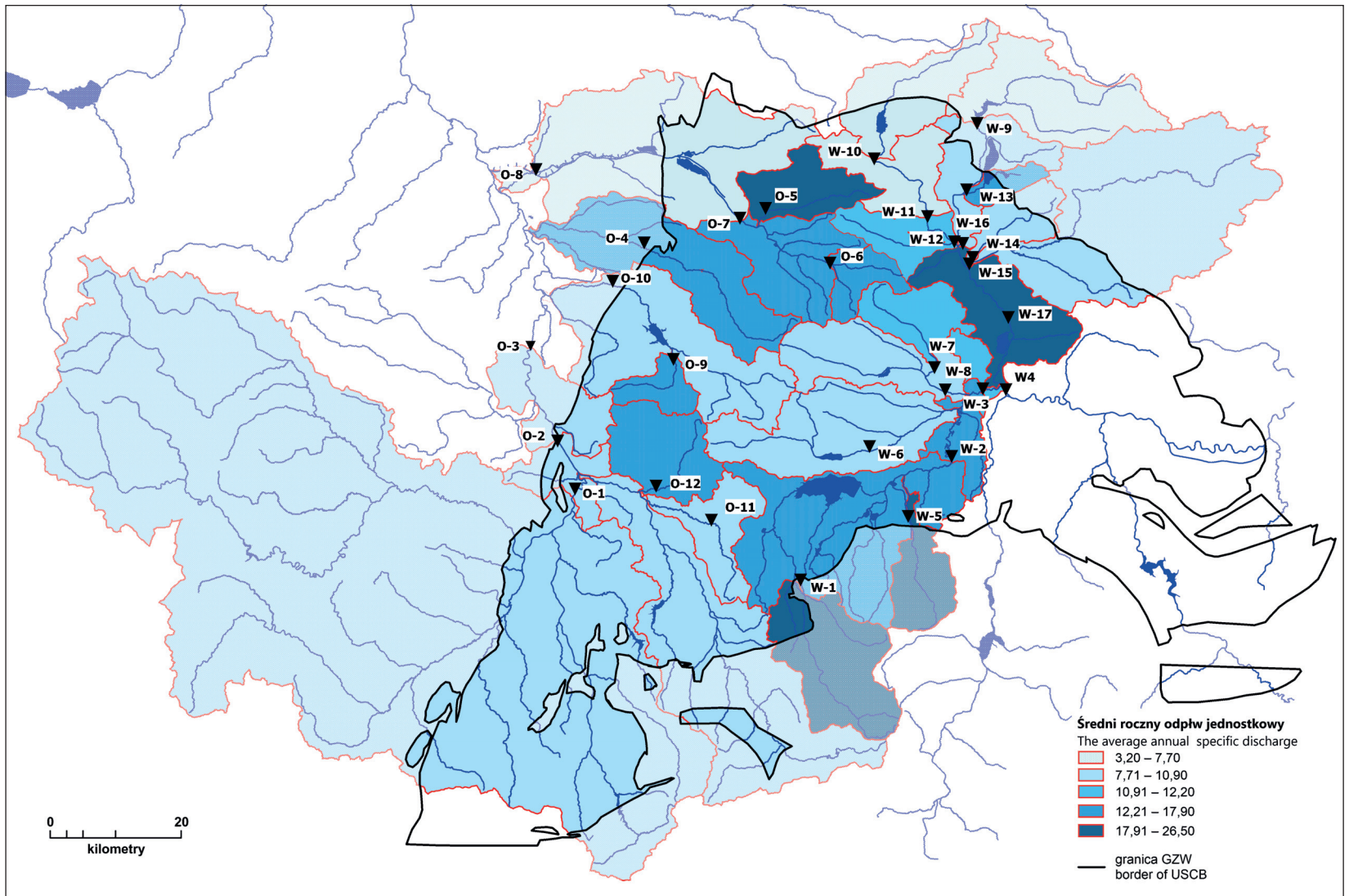
- $1,7\text{--}5,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ – Pszczynka, Czarna Przemsza – Przeczyce, Brynica – Namiarki, Brynica – Czeladź, Wisła – Jawiszowice, Wisła – Nowy Bieruń,
- $5,51\text{--}6,70 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ – Wisła – Skoczów, Czarna Przemsza – Radocha,
- $6,71\text{--}7,80 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ – Wisła – Pustynia, Mleczna, Biała Przemsza,
- $7,81\text{--}13,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ – Przemsza, Bobrek, Gostynia,
- $13,1\text{--}21,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ – Biała, Pogoria.

Analizując średnie niskie odpływy jednostkowe w zlewniach, można zauważyć istotny wpływ kształtujących je czynników. Najwyraźniej zaznacza się wpływ zbiorników wodnych oraz obiektów hydrotechnicznych na wartości SNq_R – dotyczy to Czarnej Przemszy w Przeczycach, Pszczynki, Brynicy w Namiarkach, Wisły w Jawiszowicach i Kłodnicy w Lenartowicach. Ekstremalnie niskie wartości SNq_R w przekroju Namiarki na Brynicy były wynikiem intensywnego poboru wód ze zbiornika „Kozłowa Góra” eksploatowanego przez Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów. Z kolei głównym czynnikiem powodującym wysokie wartości SNq_R był duży udział wód obcych, na który składają się zarówno zrzuty wód pochodzących spoza zlewni, jak i wody kopalniane (Bytomka, Kłodnica – Kłodnica, Kłodnica – Gliwice, Nacyna, Szotkówka, Mleczna, Gostynia, Brynica – Szabelnia, Pogoria, Bobrek, Biała Przemsza i Przemsza). Wysoki średni niski odpływ jednostkowy w Białej ($13,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) wynikał



Ryc. 54. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk średniego niskiego odpływu jednostkowego w zlewniach dorzeza Wisły na terenie GZW (oznaczenia na osi x zgodne z ryc. 1.)

Max – wartość maksymalna, Q3 – trzeci kwartył, Me – mediana, $\bar{S}r$ – średnia, Q1 – pierwszy kwartył, Min – wartość minimalna.



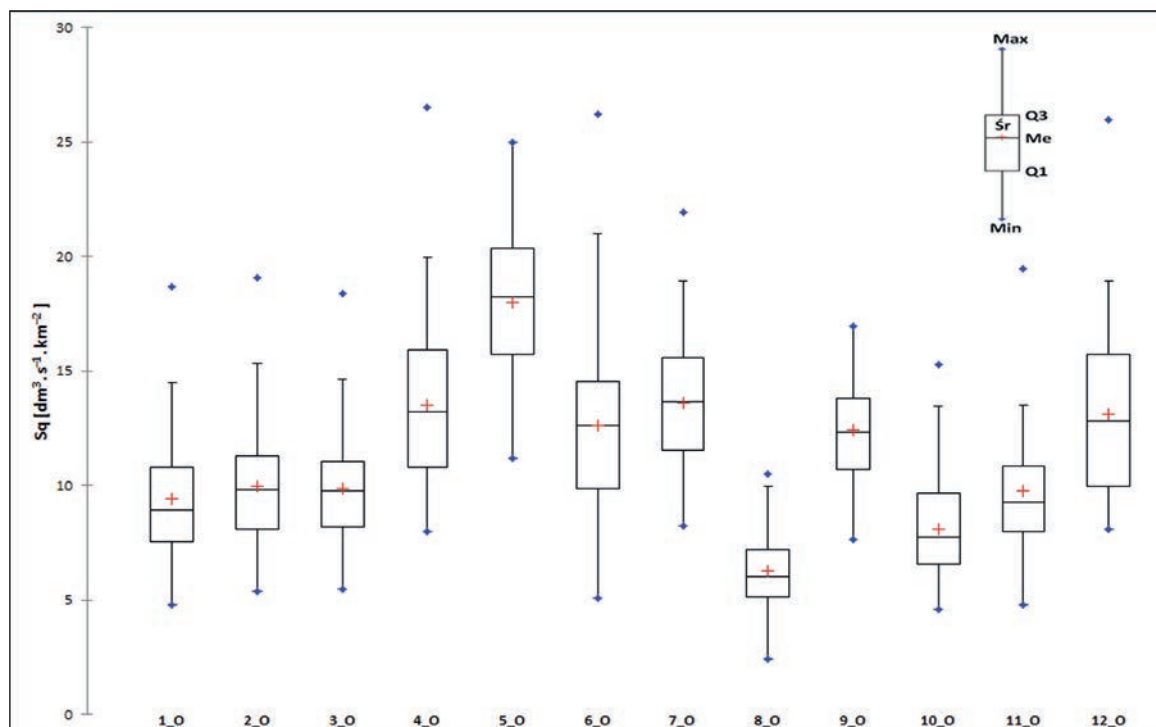
Ryc. 55. Zróżnicowanie średniego odpływu jednostkowego ($\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$) w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW

z charakteru rzeki (rzeka góraska w górnej i podgóraska w dolnej części zlewni), stopnia zurbanizowania zlewni oraz zrzutów wód pochodzących spoza zlewni. Średni niski odpływ jednostkowy w Białej przewyższał średni odpływ zaobserwowany przez T. CIUPĘ (2009) w Silnicy poniżej centrum Kielc – $10,89 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Współczynniki zmienności C_v średnich niskich odpływów jednostkowych są zróżnicowane, przy czym w dorzeczu Odry zawierają się w przedziale od 0,19 (Bierawka) do 0,32 (Kłodnica – Lenartowice). W dorzeczu Wisły najwyższą wartość C_v – wynoszącą 0,69 – osiąga Brynica w Namiarkach. Najniższa wartość charakteryzuje Przemszę w Jeleniu 0,15. Wartości współczynnika zmienności SNq poniżej 0,20 występują w rzekach o największym udziale wód dołowych – w zlewni Przemszy oraz Wisły zamkniętej przekrojem w Pustyni (0,18), co świadczy o stabilności niskich odpływów, wspomaganych przez duży udział wód dołowych. Podobną wartość osiąga współczynnik zmienności

w Mlecznej (0,16), a w jej „odbiorniku” Gostyni jego wartość zwiększa się dwukrotnie – 0,34. Wartości współczynnika zmienności powyżej 0,30 (Piotrówka, Ruda, Gostynia) oprócz wpływów antropogenicznych można dodatkowo tłumaczyć szybką reakcją zasilania poziomów wodonośnych na zasilanie i szybkim szczytowaniem zasobów.

Zlewnie: Białej, Pogorii, Bobrka, Brynicy w Czeladzi charakteryzują się dużym udziałem terenów antropogenicznych. Tereny zurbanizowane powodują zmniejszenie intercepcji, retencji powierzchniowej, infiltracji i transpiracji, a jednocześnie oddziałują na wzrost spływu powierzchniowego i przyspieszonego drenażu systemem dróg i kanalizacji deszczowej (CIUPA, 2009). To również wpływa na podwyższone wartości współczynnika zmienności C_v wynoszące 0,27 w Brynicy zamkniętej przekrojem Szabelnia oraz Czarnej Przemszy w przekroju Radocha.

Średnie niskie odpływy jednostkowe w zlewni Odry (przekroje w Chałupkach, Krzyżanowi-



Ryc. 56. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk średniego rocznego odpływu jednostkowego w zlewniach dorzecza Odry na terenie GZW (oznaczenia na osi x zgodne z ryc. 1.)

Max – wartość maksymalna, Q3 – trzeci kwartył, Me – mediana, \bar{S}_r – średnia, Q1 – pierwszy kwartył, Min – wartość minimalna.

cach i Miedoni – $4,01\text{--}4,61 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$) oraz Piotrówki ($3,92 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$) są zgodne z wynikami uzyskanymi przez A. BARTNIKA (2005) oraz przez B. FAL i E. BOGDANOWICZA (2002).

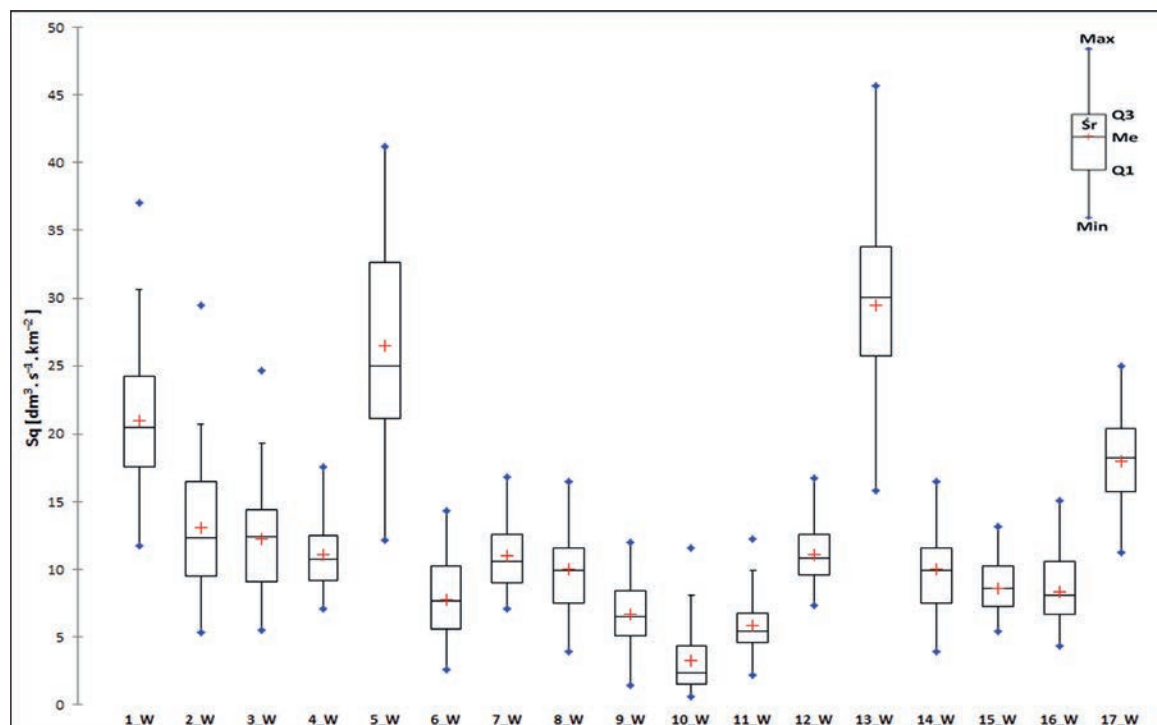
Średni roczny odpływ jednostkowy w dorzeczu górnej Odry w wieloletiu 1961–2013 wynosił 11,4, a w dorzeczu Małej Wisły – $12,6 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$. Najwyższym średnim odpływem jednostkowym charakteryzuje się Bytomka $17,98 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$, najniższym zaś – $6,28 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ – Kłodnica w Lenartowiczach (ryc. 56.). Średnie roczne odpływy jednostkowe w zlewniach dorzecza Odry można pogrupować według podziału naturalnego w następujących przedziałach (ryc. 55.):

- $6,2\text{--}9,40 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ – Ruda, Kłodnica – Lenartowice,
- $9,41\text{--}12,40 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ – Odra, Piotrówka,
- $12,41\text{--}13,00 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ – Nacyna, Kłodnica – Kłodnica,
- $13,10\text{--}17,90 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ – Szotkówka, Bierawka, Kłodnica – Gliwice,

- $17,91\text{--}18,0 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ – Bytomka.

Najwyższym średnim rocznym odpływem jednostkowym w dorzeczu górnej Wisły charakteryzuje się Pogoria – $29,4 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$. Z kolei najniższy odpływ jednostkowy, podobnie jak w przypadku średnich niskich odpływów, zanotowano w zlewni Brynicy zamkniętej przekrojem w Namiarkach – $3,23 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ (ryc. 57.). Średnie roczne odpływy jednostkowe w zlewniach dorzecza Wisły można pogrupować według podziału naturalnego w następujących przedziałach (ryc. 55.):

- $3,2\text{--}7,70 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ – Brynica – Namiarki,
- $7,71\text{--}9,90 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ – Brynica – Czeladź, Czarna Przemsza – Przeczycze, Czarna Przemsza – Radocha, Biała Przemsza, Pszczyńska,
- $9,91\text{--}17,90 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ – Wisła – Pustynia, Gostynia, Bobrek, Mleczna, Brynica – Szabelnia, Wisła – Nowy Bieruń,
- $17,91\text{--}26,50 \text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ – Przemsza – Jeleń, Wisła – Skoczów, Biała,



Ryc. 57. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk średniego rocznego odpływu jednostkowego w zlewniach dorzecza Wisły na terenie GZW (oznaczenia na osi x zgodne z ryc. 1.)

Max – wartość maksymalna, Q3 – trzeci kwartył, Me – mediana, Śr – średnia, Q1 – pierwszy kwartył, Min – wartość minimalna.

– 26,51–29,5 $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ – Pogoria.

Współczynniki zmienności C_v średnich rocznych odpływów jednostkowych w dorzeczu górnej Odry nie przekraczają 0,30. Najniższe zanotowano dla rzek będących odbiornikami wód kopalnianych: Nacyny (0,17), Bytomki (0,18) i Kłodnicy w Gliwicach (0,21). W pozostałych zlewniach dorzecza górnej Odry zawierają się one w przedziale 0,28–0,30.

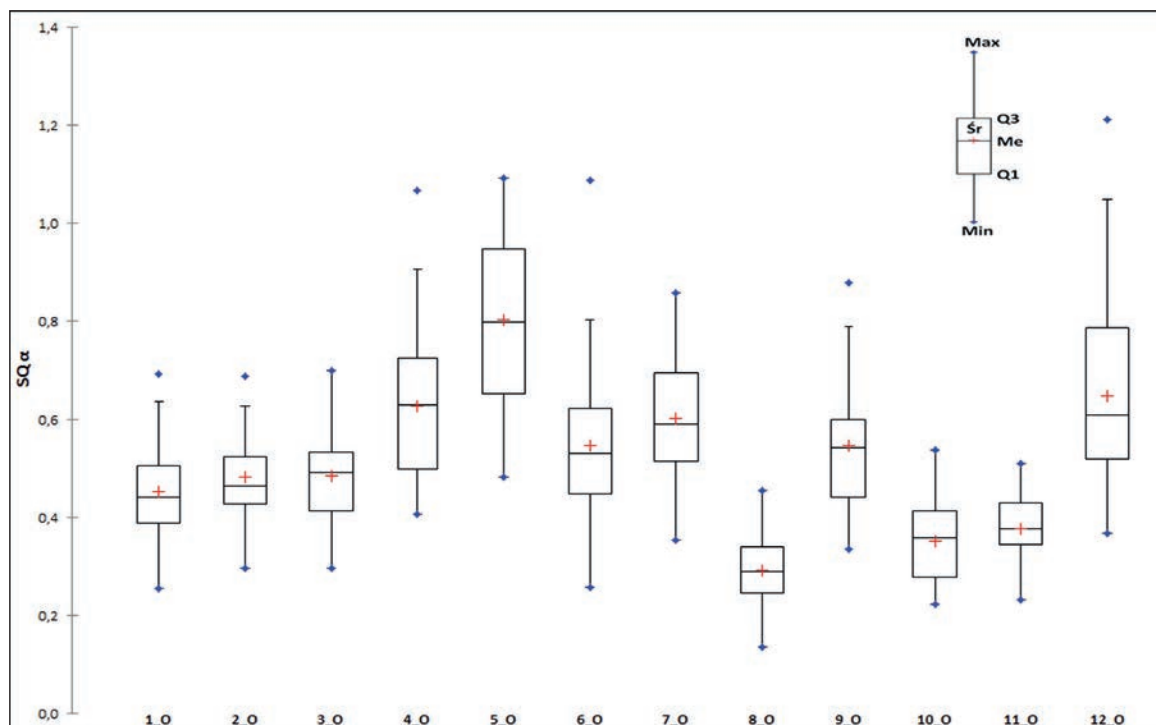
W dorzeczu górnej Wisły zróżnicowanie współczynników zmienności C_v rocznych odpływów jednostkowych jest większe. Mały i przeciętny współczynnik cechuje rzeki obciążone wodami kopalnianymi: Przemszą (przekrój Jeleń), Wisłę (przekrój Pustynia), Mleczną, Pogorię, Brynicę (przekrój w Szabelni), Białą Przemszą.

Uzyskane wartości rocznych średnich odpływów jednostkowych w większości analizowanych zlewni są wartościami, które osiągają zlewnie rzek górskich (GUTRY-KORYCKA i in., 2014; MICHALCZYK, 2009). Tylko w zlewniach Wisły

(przekrój Skoczów), Odry, Piotrówki odpływ zależy w głównej mierze od warunków środowiska geograficznego. W pozostałych analizowanych zlewniach jest wyraźnie zaburzony i kształtowany przez czynniki antropogeniczne.

5.5. Zmiany współczynnika odpływu

Często przedstawianą charakterystyką obiegu wody w zlewni jest współczynnik odpływu (α), będący miarą, która określa, jaka część opadów uległa transformacji w odpływ rzeczny. Współczynnik odpływu dla Polski wynosi 28% (WRZEŚŃSKI, 2013). W wieloleciu 1961–2013 średni roczny współczynnik odpływu w analizowanym dorzeczu Odry osiągnął wartość 51,6%, a w dorzeczu Wisły 44,8%.



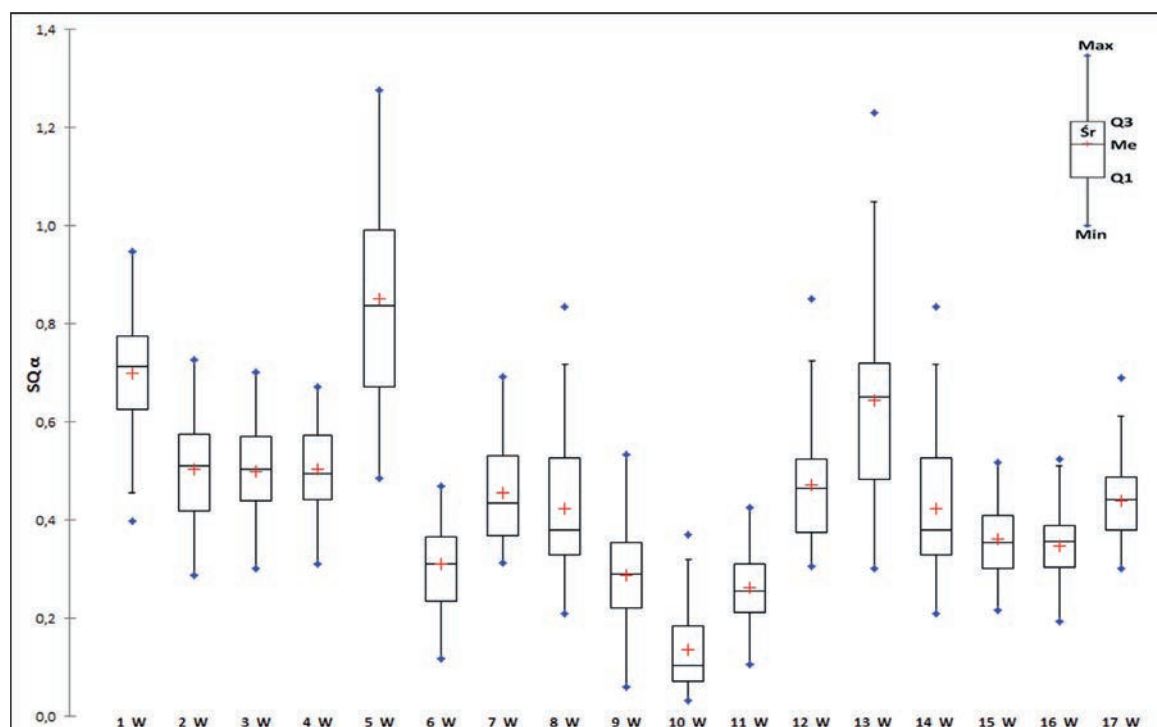
Ryc. 58. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk średniego rocznego współczynnika odpływu (α) w zlewniach dorzecza Odry na terenie GZW (oznaczenia na osi x zgodne z ryc. 1.)

Max – wartość maksymalna, Q3 – trzeci kwartył, Me – mediana, \bar{S} – średnia, Q1 – pierwszy kwartył, Min – wartość minimalna.

Najwyższym średnim współczynnikiem odpływu w wieloleciu 1961–2013 w analizowanych zlewniach dorzecza Odry charakteryzuje się zlewnia Bytomki (0,80). W zlewni Szotkówki, Kłodnicy (przekrój Gliwice) oraz Bierawki średni współczynnik odpływu zawiera się w przedziale 0,60–0,65 (ryc. 60.). W zlewni Kłodnicy (zamkniętej przekrojem Kłodnica) i Nacyny jego wartość wynosi 0,55. W zlewni Odry, Piotrówki i Rudy współczynnik odpływu nie przekracza 0,50 – zawiera się w przedziale 0,35–0,49. Najniższe wartości współczynnika odpływu występują w zlewni Kłodnicy (po Lenartowice) 0,29 (ryc. 58.).

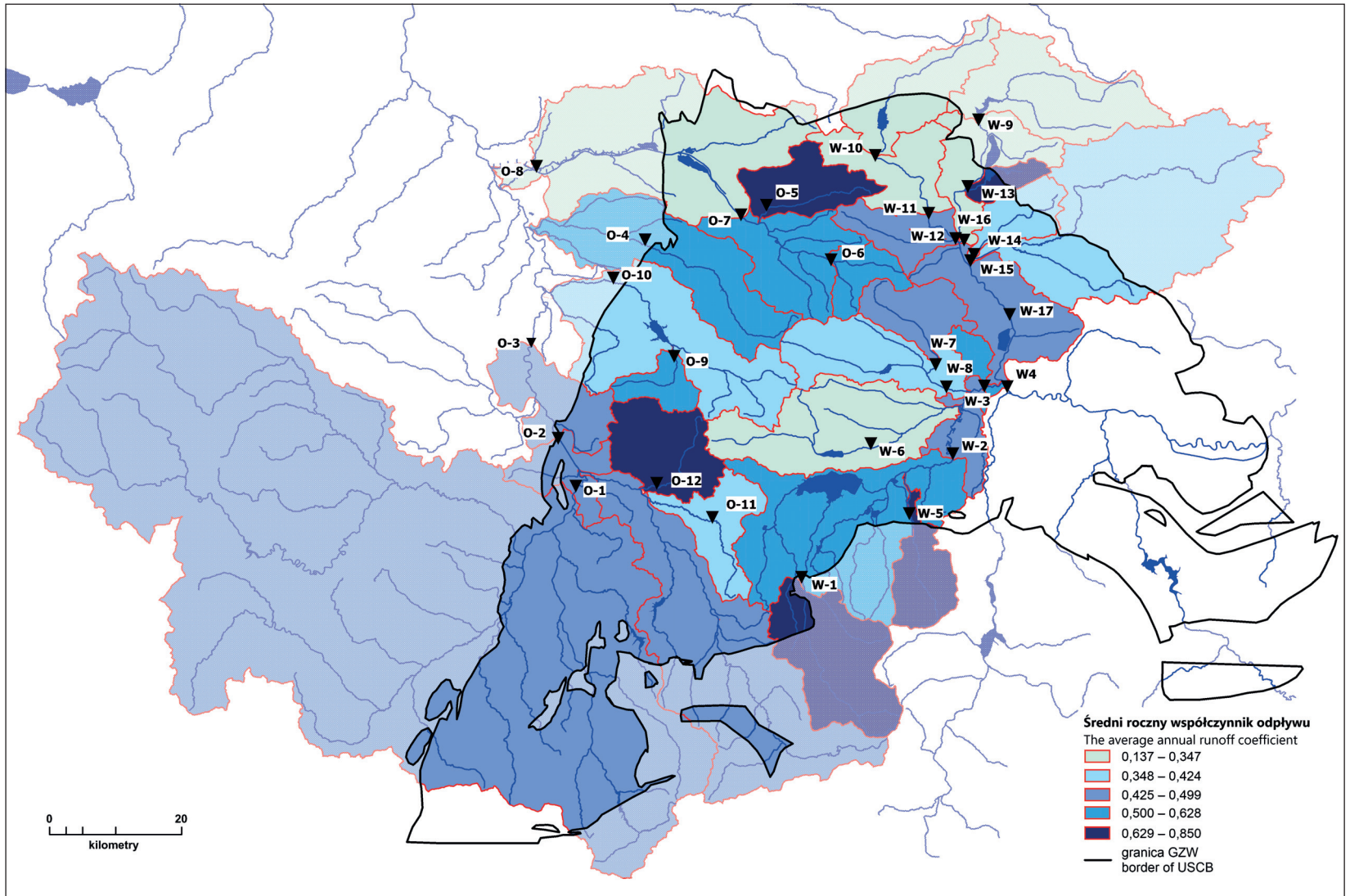
Analizowane zlewnie dorzecza Wisły charakteryzują się większym zróżnicowaniem współczynnika odpływu. Najwyższe średnie wartości α notowane są w zlewni Białej. W wieloleciu 1961–2013 średnia wartość współczynnika wynosiła 0,85 (ryc. 59.). W przypadku zlewni Wisły zamkniętej przekrojem w Skoczowie – zlewni o podobnym charakterze – współczynnik odpły-

wu wynosił 0,70. Wysokie wartości współczynnika odpływu w Białej wynikają z położenia zlewni, dużego udziału terenów antropogenicznych, które wynoszą 31,3% powierzchni zlewni, oraz zrzutów wód pochodzących spoza zlewni. Wysoką wartością współczynnika odpływu charakteryzuje się Pogoria. Jego średnia wartość w analizowanym wieloleciu wynosiła 0,64. Skrajnie niski średni współczynnik odpływu α zanotowano w zlewni Brynicy (po Namiarki), gdzie w analizowanym wieloleciu miał on wartość 0,14 (ryc. 60.). Tak niskie wartości w zlewni rzeki wyżynnej spowodowane były poborem wody ze zbiornika „Kozłowa Góra”. Jego oddziaływanie uwidacznia się również w przekroju Czeladź, gdzie średnia wartość współczynnika odpływu wynosi 0,26, mimo znacznego udziału wód kopalnianych, stanowiących aż 43% SSQ w okresie 1967–2013. W zlewni Brynicy po przekrój w Szabelni średni współczynnik odpływu ma już wartość 0,47. W zlewni Rawy (dopływ Brynicy) współczynnik odpływu w okresie 1976–



Ryc. 59. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk średniego rocznego współczynnika odpływu (α) w zlewniach dorzecza Wisły na terenie GZW (oznaczenia na osi x zgodne z ryc. 1.)

Max – wartość maksymalna, Q3 – trzeci kwartył, Me – mediana, \bar{S} – średnia, Q1 – pierwszy kwartył, Min – wartość minimalna.



Ryc. 60. Zróżnicowanie średniego współczynnika odpływu (α) w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW

1980 osiągał 1,50 (CZAJA, JANKOWSKI, 1991a). W przypadku Brynicy duże znaczenie w formowaniu się odpływu mają również – stwierdzone przez S. CZAJĘ (1988) – ucieczki wody z koryta.

W zlewni Białej Przemszy oraz w zlewni Czarnej Przemszy współczynnik odpływu jest niższy (0,35 – Radocha, 0,36 – Niwka), niż wynikałoby to z ilości wód obcych odprowadzanych do tych rzek. Najprawdopodobniej jest to spowodowane ujęciami wód oraz prawdopodobnymi ucieczkami wody z koryta.

Dla porównania, średni roczny współczynnik odpływu w zlewni Silnicy (miasto Kielce) najwyższe wartości osiągnął w zurbanizowanej części zlewni (0,57 Pakosz, 0,50 Białogon), co według T. CIUPY (2009) świadczy o przyspieszonym obiegu wody. Zgodnie z badaniami tego samego autora najniższe wartości współczynnika odpływu notowane są w tej części zlewni Silnicy, gdzie znajduje się zbiornik wodny, który powoduje zwiększone straty na parowanie.

Analizowane zlewnie w dorzeczu Odry charakteryzują się mniejszą zmiennością współczynnika odpływu niż analizowane zlewnie w dorzeczu Wisły. Rzeki w dorzeczu Odry obciążone wodami kopalnianymi charakteryzują się przeciętnym i małym współczynnikiem zmienności C_v , nieprzekraczającym 0,30.

W dorzeczu Wisły rzeki będące odbiornikami wód kopalnianych charakteryzują się przeciętnym współczynnikiem zmienności C_v w zakresie od 0,31 do 0,34 Gostynia, Pogoria, Brynica w Czeladzi i Bobrek, oraz małym $C_v < 0,20$ Wisła w Pustyni i Przemsza.

Dla wszystkich przekrojów wodowskazowych wykonano krzywe skumulowane średnich rocznych współczynników odpływu w celu wykrycia okresu, kiedy została zaburzona relacja opad odpływ. Określono również zmiany skokowe, wykorzystując do tego celu te same metody, za pomocą których określono zmiany skokowe przepływów.

W większości zlewni zostały wykryte zmiany skokowe szeregów średniego rocznego współczynnika odpływu, istotne statystycznie na poziomie 0,05 i większym. Na podstawie stosunku wartości α w okresie przed i po zmianie określono zmianę wielkości współczynnika odpływu. Stwierdzono zmiany skokowe szeregów współczynnika od-

pływu w rzekach, dla których nie stwierdzono zmian skokowych w średnich rocznych przepływach: Odrze (Chałupki, Krzyżanowice), Bierawce, Kłodnicy w Kłodnicy i Wiśle w Nowym Bieruniu oraz w Pustyni (tabela 11., ryc. 61.).

Najwcześniej zmiany skokowe współczynnika odpływu zostały zanotowane w 1974 roku (Brynica – Szabelnia) i 1975 roku (Bobrek). Współczynnik odpływu wzrósł odpowiednio o 27% i 58%. W przypadku Brynicy czas zmiany skokowej współczynnika odpływu nie pokrywa się z wykrytą zmianą skokową w wartościach średnich rocznych przepływów, która wystąpiła w roku 1999. Lata 1973–1974 – według A. BARTNIKA i P. JOKIELA (1997) – charakteryzowały się istotnym wzrostem współczynnika odpływu w zlewniach na terenie Polski. W przypadku Bobrka i Brynicy główną przyczyną jego wzrostu były jednak czynniki antropogeniczne: postępująca urbanizacja zlewni powodująca przyspieszony obieg wody oraz zwiększająca się objętość zrzucanych ścieków, w tym wód kopalnianych.

W roku 1978 została wykryta zmiana skokowa współczynnika odpływu w zlewni Kłodnicy zamkniętej przekrojem Kłodnica (wzrost o 29%). W zlewni tej nie zanotowano takiej zmiany dla średnich rocznych przepływów. W przypadku średnich niskich przepływów skokowa zmiana wystąpiła w roku 1970 (ryc. 62.).

W zlewni Brynicy (przekrój Szabelnia) oraz Bobrka współczynnik odpływu od czasu stwierdzonej zmiany skokowej utrzymywał się na wysokim poziomie aż do początku lat 90. XX wieku. Nie zanotowano jego wzrostu w wilgotnych latach 1997–1998 oraz w roku 2010.

W roku 1981 wzrost współczynnika odpływu o 0,11 (54%) wystąpił w Brynicy (przekrój Czeladź), natomiast zmiana skokowa średnich przepływów została stwierdzona dopiero w roku 1994 (ryc. 64.). W tym przypadku wyraźny wzrost ilości zrzucanych wód kopalnianych o 32% (średnio o $0,280 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) notowano od roku 1977, jednak Brynica w Czeladzi pozostaje pod wpływem zbiornika „Kozłowa Góra”, który istotnie wpływał na zmniejszenie wartości współczynnika odpływu mimo wysokiego udziału wód kopalnianych w odpływie. W przebiegu rocznych współczynników odpływu można zauważyć również, że wyso-

kie jego wartości utrzymywały się do końca lat 80. XX wieku, a jego ponowny wzrost nastąpił od połowy lat 90. (ryc. 63.) i był skorelowany ze zmianą skokową w Brynicy (przekrój Namiarki), wykrytą w roku 1994.

W pozostałych przekrojach zanotowano spadki współczynnika odpływu. Pierwszym okresem tych spadków były lata 1982–1983. Skokowe zmiany współczynnika odpływu w Pszczynce, Czarnej Przemszy (przekrój Przeczyce), Białej Przemszy i Rudzie stwierdzono w tym samym czasie (w 1982

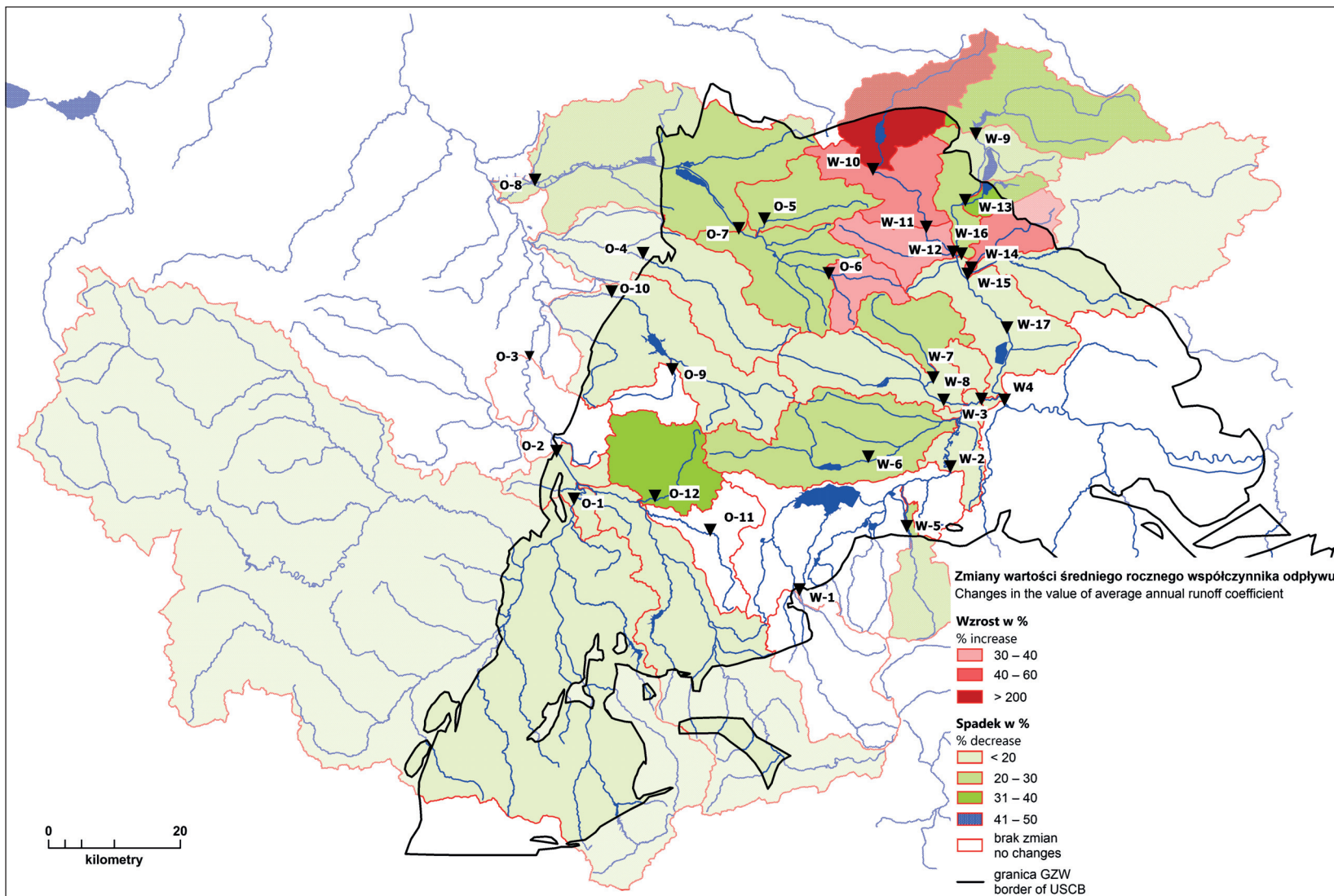
roku), co zanotowane zmiany skokowe w szeregach średnich rocznych przepływów. W przypadku Wisły w Jawiszowicach oraz Odry w Chałupkach i Krzyżanowicach zmiany te nie wystąpiły. W zlewni Wisły (po Nowy Bieruń) współczynnik odpływu zmniejszył się o 12%, natomiast w Odrze w Chałupkach – o 17%, a w Krzyżanowicach – o 15% (ryc. 64.). W pozostałych przekrojach największy spadek współczynnika odpływu wystąpił w Czarnej Przemszy w przekroju Przeczyce (o 38%), najniższy zaś w Białej Przemszy (o 13%).

Tabela. 11. Zmiany wartości średniego rocznego współczynnika odpływu – w zlewniach objętych zmianami skokowymi

Przekrój wodowskazowy	Rok zmiany skokowej SQ_R	Kierunek zmiany SQ_R	Okres I	Średni współczynnik α SQ	Okres II	Średni współczynnik α SQ	Stosunek α Okres I/Okres II	Zmiana wartości w %
Wisła – Nowy Bieruń	brak	–	1961–1982	0,54	1983–2013	0,47	0,879	–12
Wisła – Pustynia	brak	–	1970–2000	0,54	2001–2013	0,43	0,809	–19
Biała – Czechowice Bestwina	2002	↓	1961–2002	1,12	2003–2013	0,79	0,702	–30
Pszczynka – Pszczyna	1982	↓	1961–1982	0,37	1983–2013	0,27	0,722	–28
Mleczna – Bieruń Stary	1986	↓	1961–1986	0,52	1987–2013	0,39	0,746	–25
Gostynia – Bojszowy	1988	↓	1961–1988	0,46	1989–2013	0,38	0,826	–17
Czarna Przemsza – Przeczyce	1982	↓	1961–1982	0,37	1983–2013	0,23	0,624	–38
Brynica – Namiarki	1994	↑	1961–1994	0,08	1995–2013	0,24	2,831	183
Brynica – Czeladź	1994	↑	1961–1981	0,20	1982–2013	0,31	1,540	54
Brynica – Szabelnia	1999	↓	1961–1974	0,39	1975–2013	0,50	1,269	27
Pogoria – Dąbrowa Górnicza	1989	↓	1961–1994	0,75	1995–2013	0,46	0,614	–39
Bobrek – Niwka	1974	↑	1961–1975	0,30	1976–2013	0,47	1,577	58
Biała Przemsza – Niwka	1982	↓	1961–1983	0,39	1984–2013	0,34	0,870	–13
Czarna Przemsza – Radocha	1983	↓	1961–2002	0,37	2003–2013	0,28	0,759	–24
Przemsza – Jeleń	1983	↓	1961–1999	0,50	2000–2013	0,40	0,803	–20
Bytomka – Gliwice	1998	↓	1961–1995	0,88	1996–2013	0,65	0,733	–27
Kłodnica – Kłodnica	brak	–	1961–1978	0,46	1979–2013	0,59	1,287	29
Kłodnica – Gliwice	2001	↓	1961–1995	0,66	1996–2013	0,50	0,760	–24
Kłodnica – Lenartowice	1989	↓	1961–1989	0,34	1990–2013	0,24	0,713	–29
Ruda – Ruda Kozielska	1982	↓	1961–1982	0,40	1983–2013	0,32	0,808	–19
Szotkówka – Gołkowice	1989	↓	1962–1993	0,75	1994–2013	0,49	0,645	–36
Bierawka – Tworóg Mały	brak	–	1969–1990	0,69	1991–2013	0,57	0,814	–19
Odra – Chałupki	brak	–	1961–1983	0,50	1984–2013	0,42	0,835	–17
Odra – Krzyżanowice	brak	–	1961–1983	0,53	1984–2013	0,45	0,847	–15

„↓” oznacza spadek wartości, „↑” oznacza wzrost wartości, „–” oznacza brak zmiany wartości.

Ź r ó d ł o: Obliczenia własne.



Ryc. 61. Zmiany wartości współczynnika odpływu (α) w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW

Okres 1981–1982 został także wskazany przez A. BARTNIKA i P. JOKIELA (1997). Odnotowano wtedy istotne zerwania ciągłości szeregów serii współczynnika odpływu na terenie Polski ze spadkami wartości.

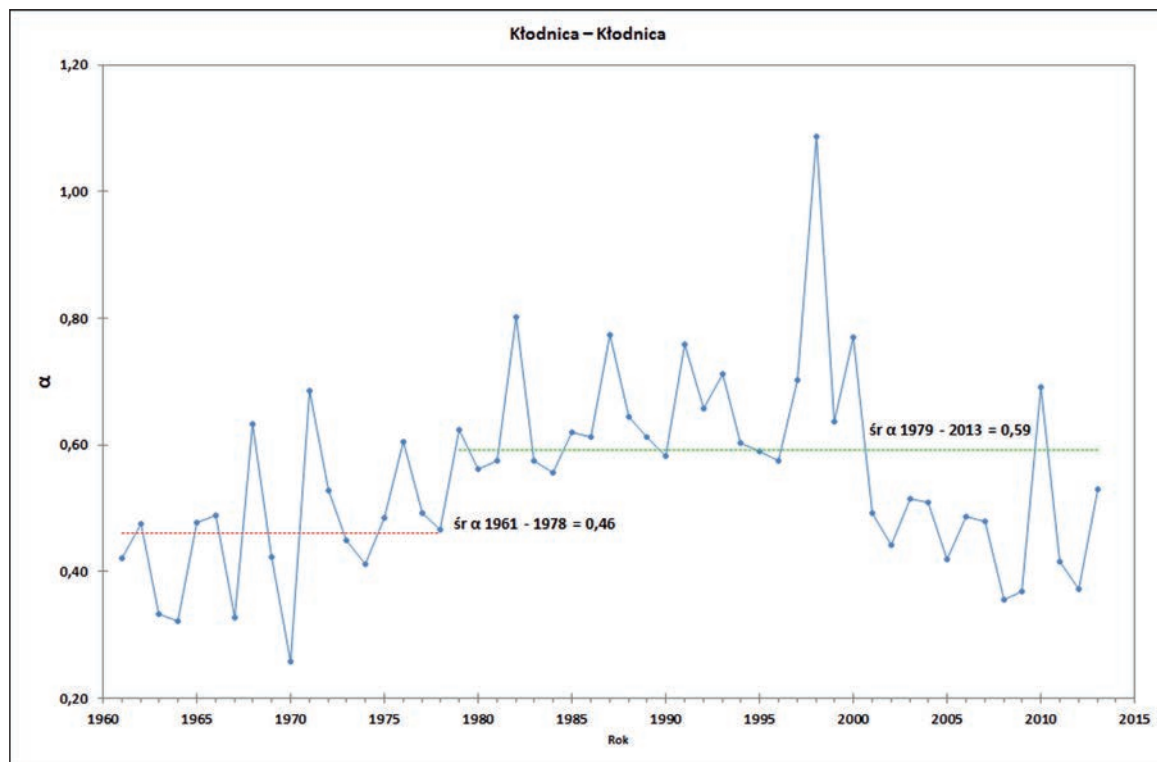
Kolejne zmiany skokowe w analizowanych zlewniach wystąpiły w okresie 1986–1990. W Mlecznej, Gostyni i Kłodnicy (przekrój Le-nartowice) rok zmiany skokowej współczynnika odpływu pokrywa się z rokiem wystąpienia zmiany skokowej średnich rocznych przepływów. Ich spadek jest podobny jak w przypadku SQ_R . W zlewni Bierawki zmiana skokowa szeregu średnich przepływów nie została wykryta, natomiast w roku 1990 nastąpił spadek współczynnika odpływu o 19%. Zmiany skokowe w Gostyni i Mlecznej są opóźnione w stosunku do zmian skokowych wykrytych w sąsiednich zlewniach (Pszczynka, Wisła – Nowy Bieruń) o 3–5 lat. Prawdopodobną przyczyną tego są zrzuty wód dołowych, których maksymalna ilość przypadła na okres 1984–1988. Stanowiły one od 65% do 79% średniego

przepływu Mlecznej i od 44% do 55% średniego przepływu Gostyni. Podobną zależność można zauważyć w przypadku zlewni Bierawki, w której ilość zrzucanych wód dołowych zmniejszyła się o $0,14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, czyli aż o 50% w stosunku do ilości zrzucanej w latach 80. XX wieku (ryc. 65.).

W okresie 1993–1995 skokowe zmiany współczynnika odpływu zostały stwierdzone w zlewni Szotkówki (w 1993 roku), Pogorii (w 1994 roku), Bytomki i Kłodnicy w Gliwicach (w 1995 roku).

W przypadku Kłodnicy i Bytomki zmiany te wystąpiły wcześniej niż stwierdzone skokowe zmiany w wartościach średnich rocznych przepływów o 3 lata w zlewni Bytomki, o 6 lat w zlewni Kłodnicy (po przekrój w Gliwicach). Zarówno współczynnik odpływu, jak i średnie roczne przepływy zmniejszyły się o 23–26% (ryc. 66.).

W zlewniach Szotkówki i Pogorii zmiany skokowe współczynnika przepływu wystąpiły – odpowiednio – o 4 i 5 lat później niż zmiana skokowa w wartościach średnich rocznych przepływów. Na stwierdzone zmiany skokowe współczynnika



Ryc. 62. Przebieg średniego rocznego współczynnika odpływu (α) oraz stwierdzona zmiana skokowa w przekroju Kłodnica – Kłodnica

odpływu w mniejszym stopniu wpłynęły zrzuty wód kopalnianych. Szotkówka była ich odbiornikiem tylko do roku 1982. Średnia ilość wód dołowych zrzucana do Pogorii i Bytomki w tym czasie zmniejszyła się tylko o $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a do Kłodnicy w Gliwicach – o $0,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, co nie mogło wywrzeć wpływu na obniżenie się współczynnika odpływu o przeszło 20%. Prawdopodobną przyczyną tych zmian były zarówno czynniki klimatyczne, jak i malejący udział pozostałych ścieków odprowadzanych do tych rzek. W przebiegu średniego rocznego współczynnika odpływu w Pogorii i Bytomce wysokie ich wartości utrzymywały się od lat 70. aż do momentu wystąpienia zmiany skokowej, czyli do pierwszej połowy lat 90. XX wieku, co świadczyło o dużym udziale wód „obcych” w odpływie. Średni współczynnik odpływu w Szotkówce, Pogorii i Kłodnicy po zmianie skokowej osiągnął podobne wartości (0,46–0,50).

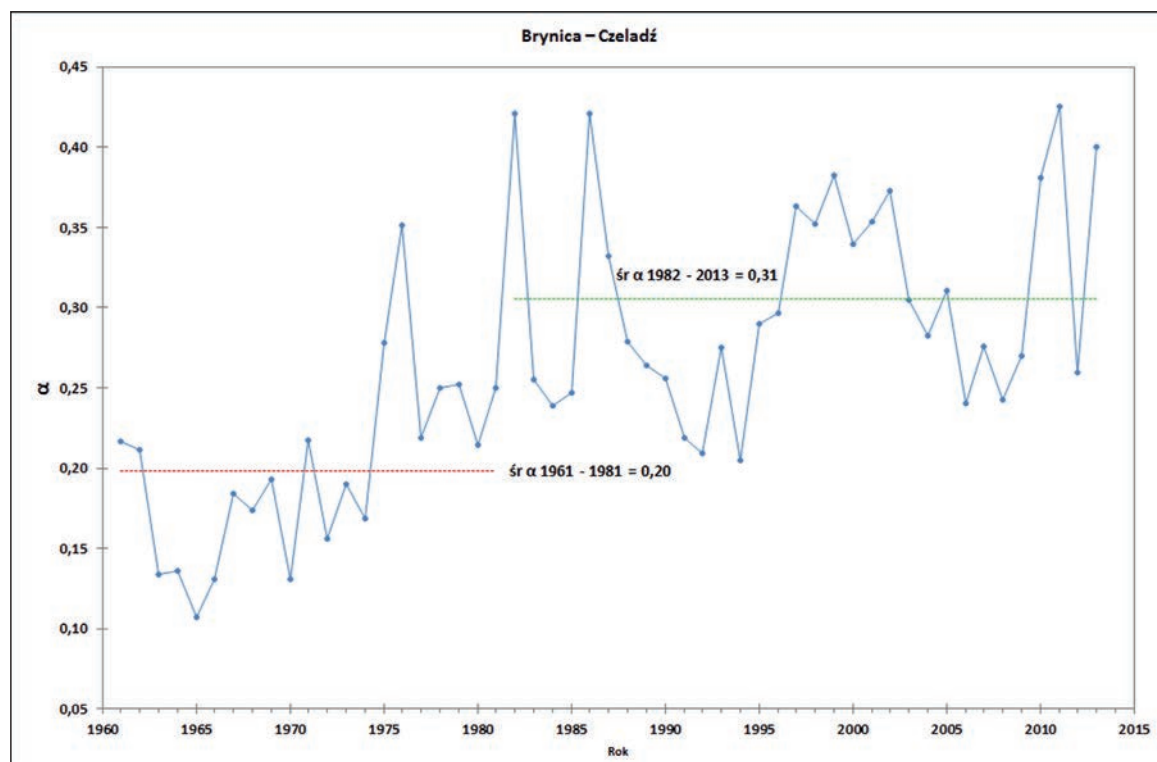
Ostatnim okresem, w którym stwierdzono zmiany skokowe współczynnika odpływu, są lata 1999–2002. W roku 1999 zmiana skokowa została

zanotowana w Przemszy w Jeleniu. Zaobserwowano spadek współczynnika odpływu o 20% (zmianę skokową szeregu średnich rocznych przepływów wykryto w roku 1983).

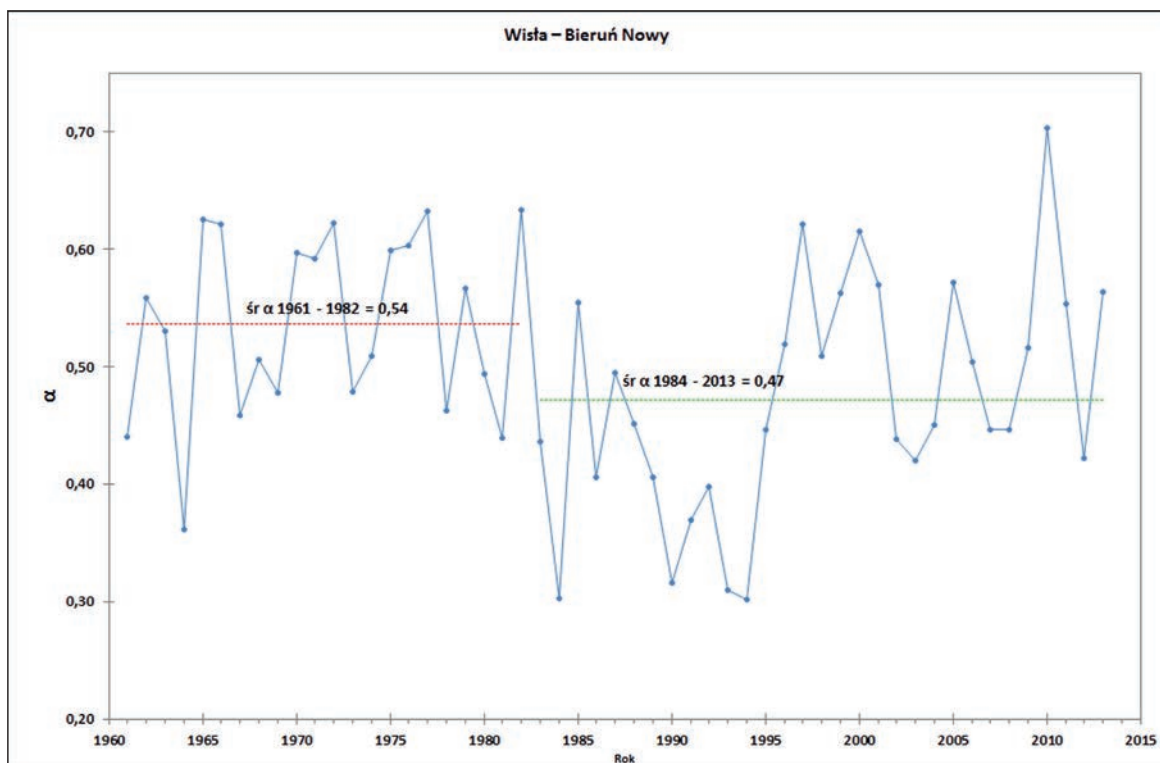
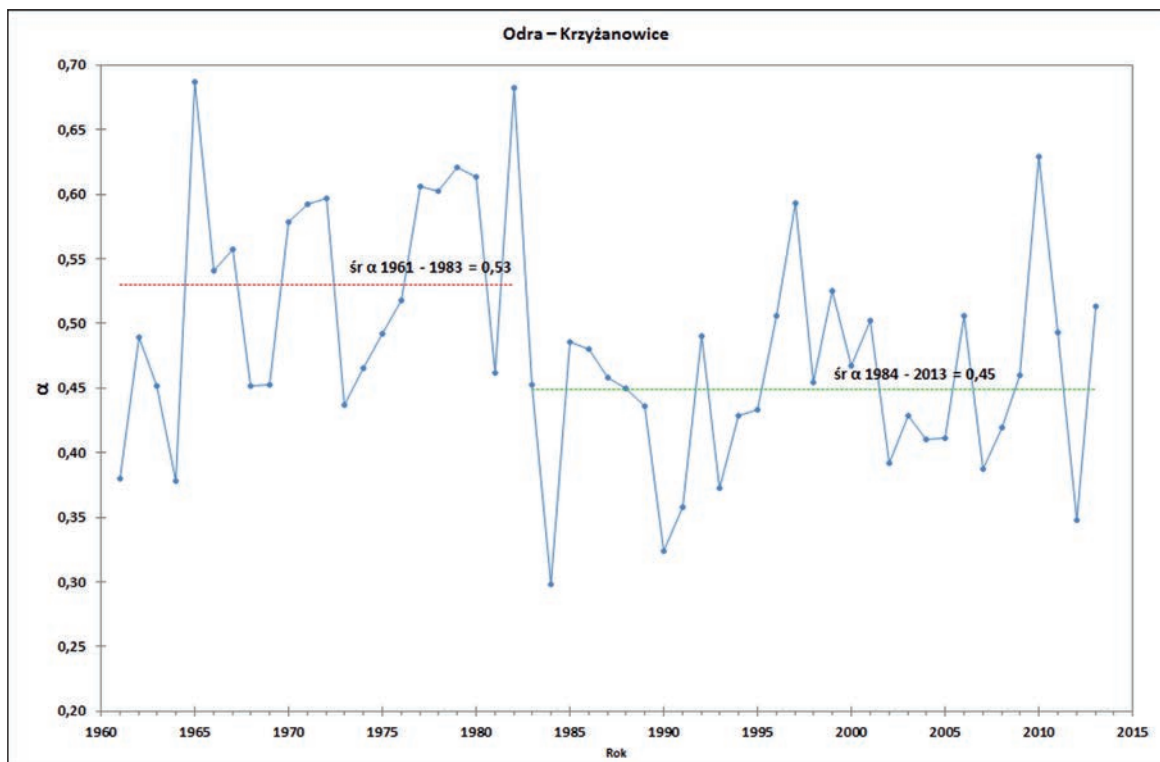
W roku 2000 zmiana zanotowana została na Wiśle w Pustyni, kiedy nastąpił spadek współczynnika odpływu o 19%, nie stwierdzono zaś zmiany skokowej średnich rocznych przepływów.

Zmiany te można powiązać z ilością wód kopalnianych, których objętość bilansowana w Przemszy w tym czasie zmniejszyła się w roku 1999 o $1,49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, czyli o 20% mniej w stosunku do średniej ilości zrzucanej w latach 80. i 90. XX wieku. Ilość wód kopalnianych bilansowana w przekroju Wisła Pustynia zmniejszyła się o $1,90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, co również stanowi 20% mniej niż średnio w latach 80. i 90. XX wieku. Mniejsze ilości wód kopalnianych odprowadzane do Przemszy i Wisły odpowiadają zatem za spadek współczynnika odpływu w tych zlewniach (ryc. 68.).

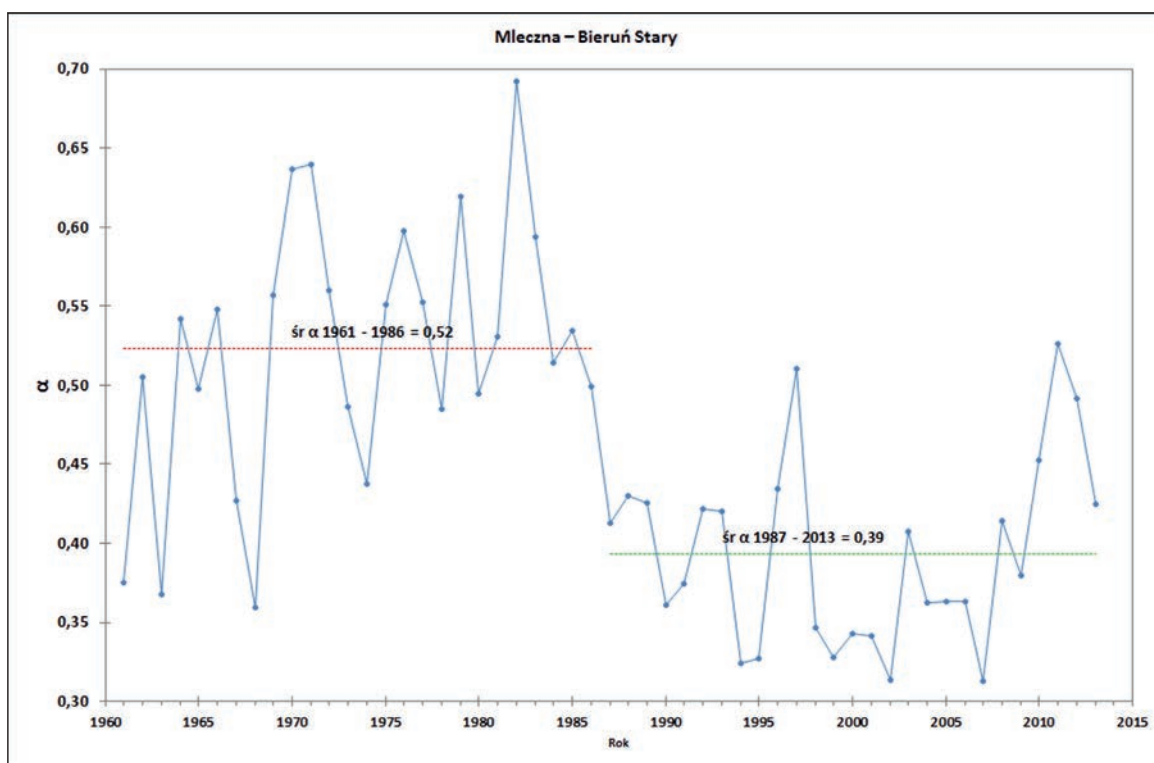
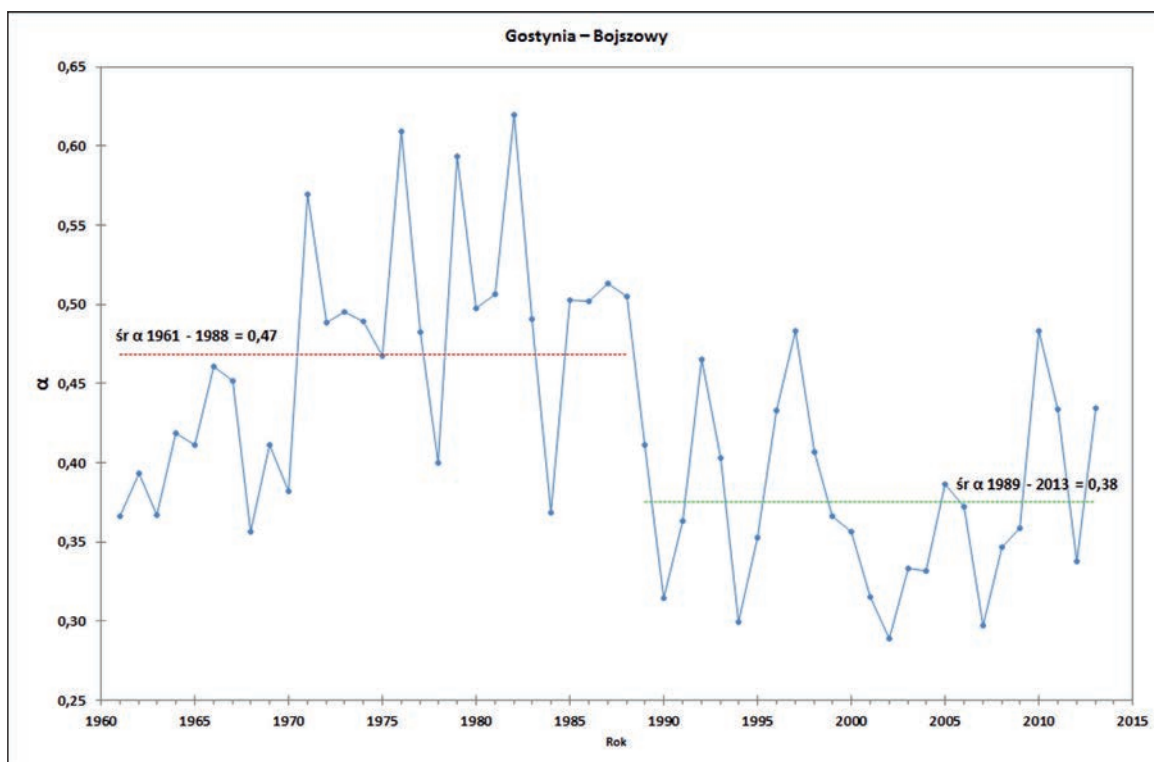
W roku 2002 wykryto zmiany skokowe szeregu współczynnika odpływu w Białej oraz Czarnej



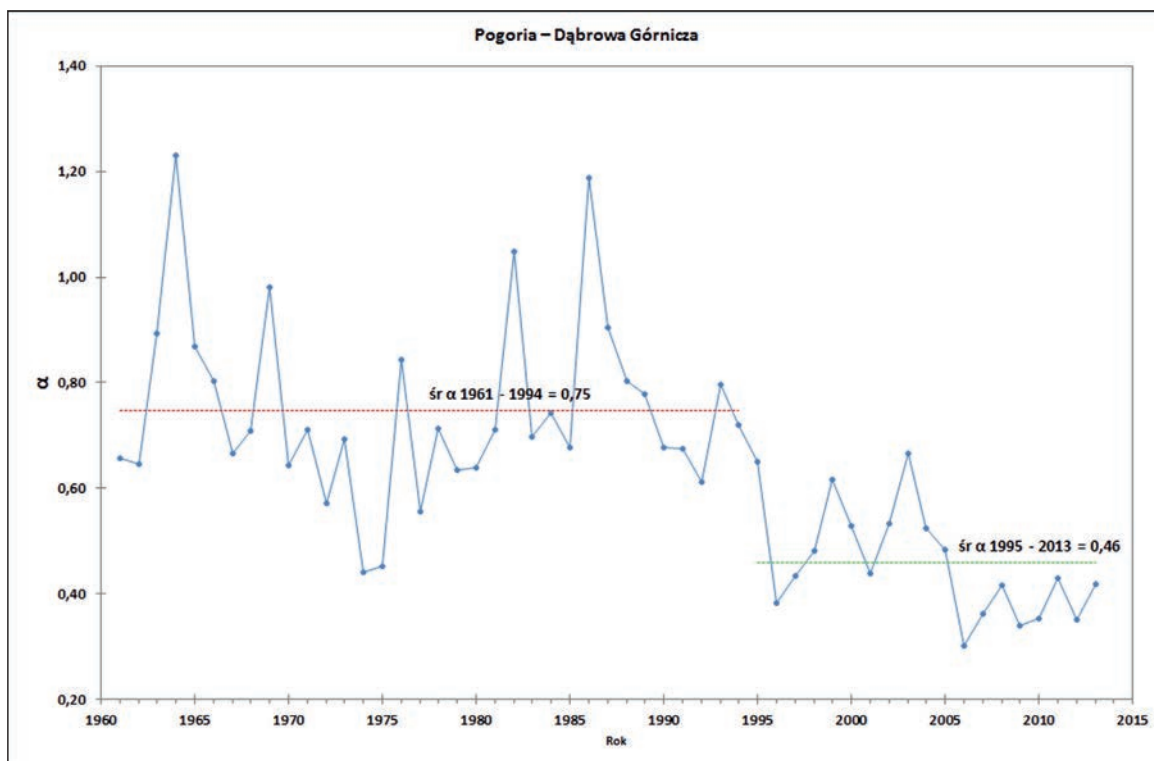
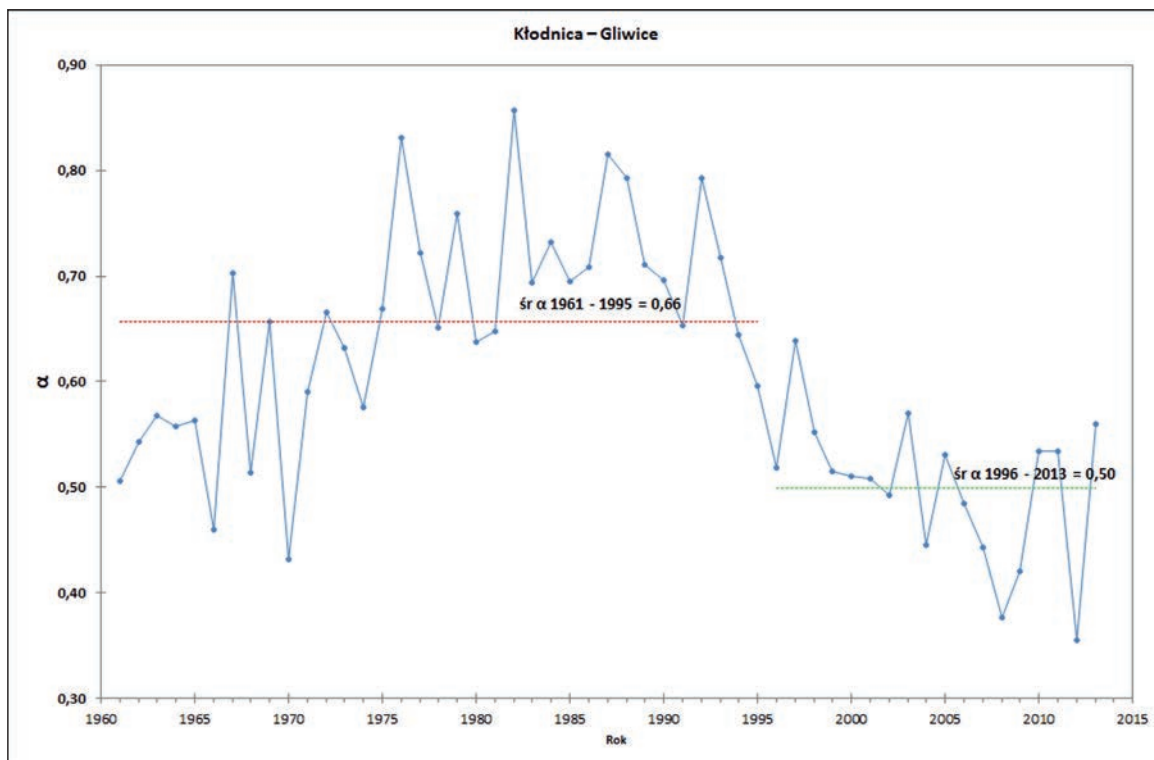
Ryc. 63. Przebieg średniego rocznego współczynnika odpływu (α) oraz stwierdzona zmiana skokowa w przekroju Brynica – Czeladź



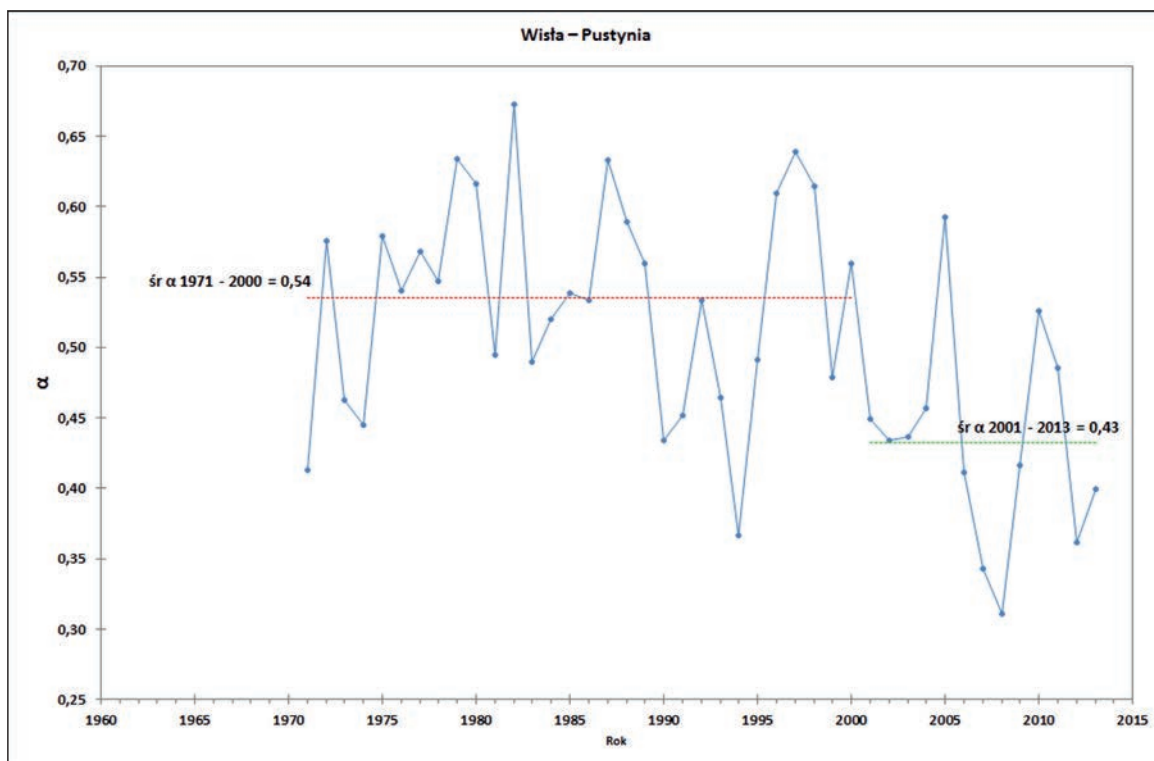
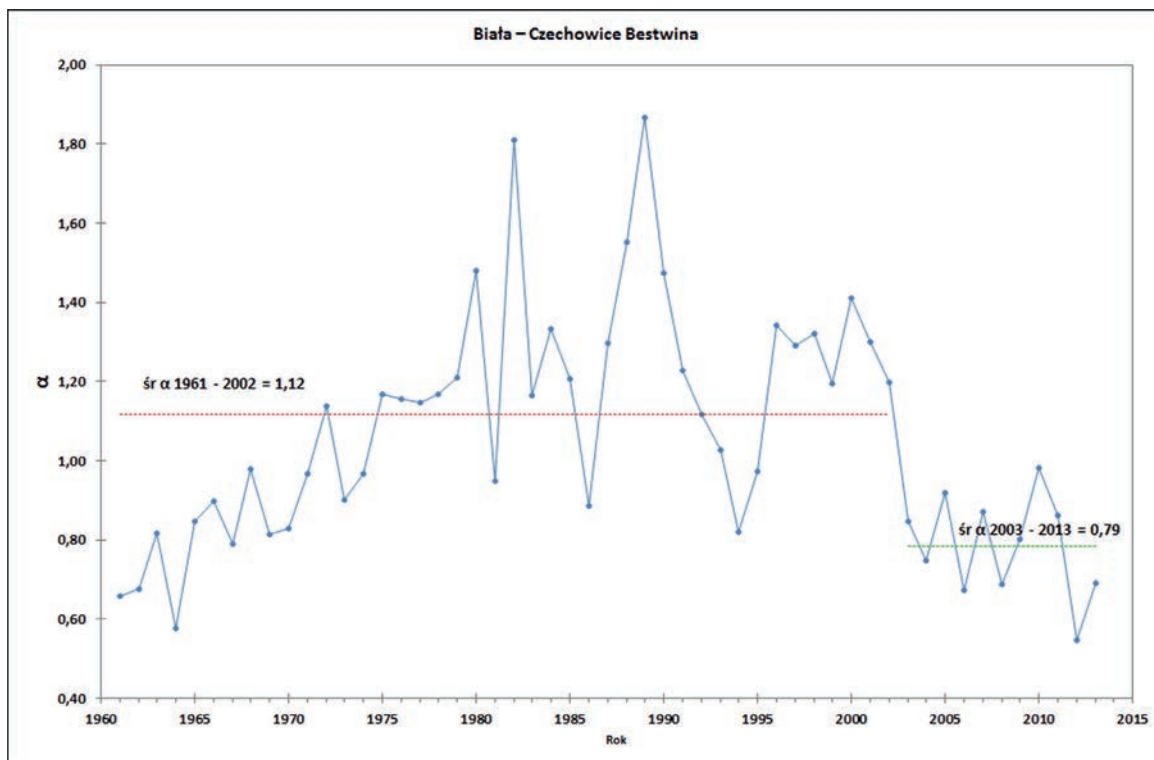
Ryc. 64. Przebieg średniego rocznego współczynnika odpływu (α) oraz stwierdzona zmiana skokowa w przekrojach: Wisła – Nowy Bieruń, Odra – Krzyżanowice



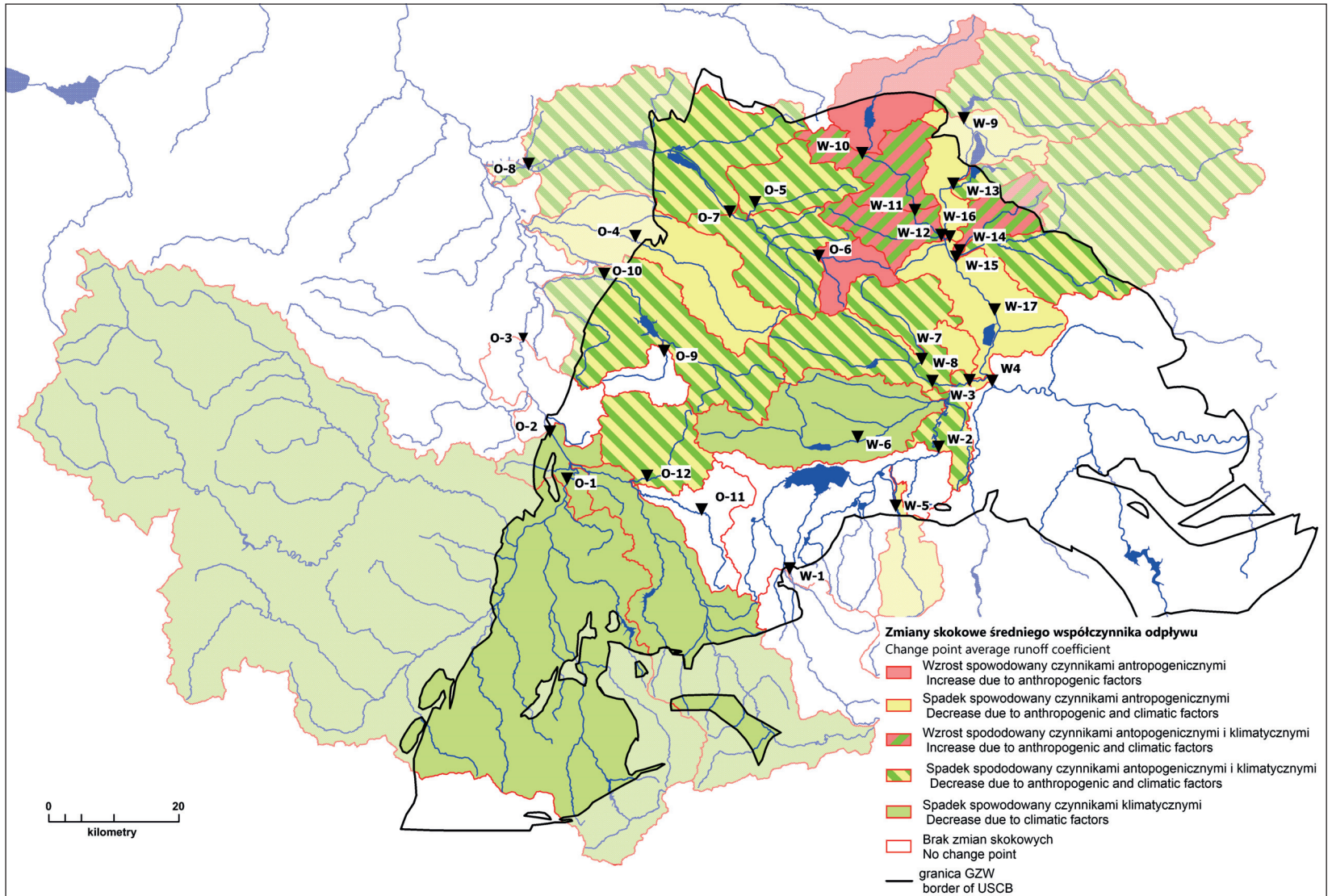
Ryc. 65. Przebieg średniego rocznego współczynnika odpływu (α) oraz stwierdzona zmiana skokowa w przekrojach: Mleczna – Bieruń Stary, Gostynia – Bojszowy



Ryc. 66. Przebieg średniego rocznego współczynnika odpływu (α) oraz stwierdzona zmiana skokowa w przekrojach: Kłodnica – Gliwice, Pogoria – Dąbrowa Górnicza



Ryc. 67. Przebieg średniego rocznego współczynnika odpływu (α) oraz stwierdzona zmiana skokowa w przekrojach: Wisła – Pustynia, Biała – Czechowice Bestwina



Ryc. 68. Przyczyny zmiany wartości współczynnika odpływu (α) w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW

Przemszy (przekrój Radocha). Udział wód kopalnianych w jej średnim przepływie wynosił tylko 7%, wykryta zmiana wykazała spadek współczynnika odpływu o 24% (ryc. 68.). Objętość zrzucanych wód kopalnianych zmniejszyła się średnio w tym czasie o $0,17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (spadek o 45%). Przebieg średnich rocznych wartości współczynnika odpływu kształtuje się w tym przypadku odmiennie niż w rzekach z wyższym udziałem wód kopalnianych w średnim przepływie. Główną przyczyną zmniejszenia się współczynnika odpływu, podobnie jak w Białej, było znaczące ograniczenie od końca lat 90. XX wieku zrzutów ścieków (ryc. 67.).

5.6. Zmiany wskaźnika koncentracji przepływów (GMO)

Wskaźnik koncentracji przepływów w polskiej literaturze hydrologicznej został zastosowany po raz pierwszy przez R. SOJĘ (2002), który wskazał na możliwość jego wykorzystania jako miernika zmian w obiegu wody. Wskaźnik koncentracji przepływów GMO pozwala ocenić stopień koncentracji odpływu w rocznym cyklu hydrologicznym, a analizowany dla długiej serii pomiarowej daje możliwość sprawdzenia, czy doszło do przekształcenia reżimu hydrologicznego. Wykorzystanie wskaźnika koncentracji do opisu reżimu hydrologicznego stwarza możliwość bezpośredniego i wymiernego porównywania różnych zlewni (SOJA, 2002). W przypadku jednej zlewni może służyć do wykrycia w badanym wieloleciu okresów o większym nasileniu antropopresji. Różnice wartości wskaźnika koncentracji GMO w poszczególnych zlewniach informują też o zróżnicowaniu przestrzennym nasilenia antropopresji (SZUMIŃSKA, 2014).

Obliczone średnie wartości wskaźnika koncentracji GMO w badanych zlewniach w analizowanym wieloleciu są zróżnicowane (ryc. 69.). Najniższe średnie wartości GMO – nieprzekraczające wartości 9 – wystąpiły w zlewniach: Pogorii (8,55), Białej Przemszy (8,57), Przemszy (8,63), Bytomki (8,68), Brynicy do przekroju w Szabel-

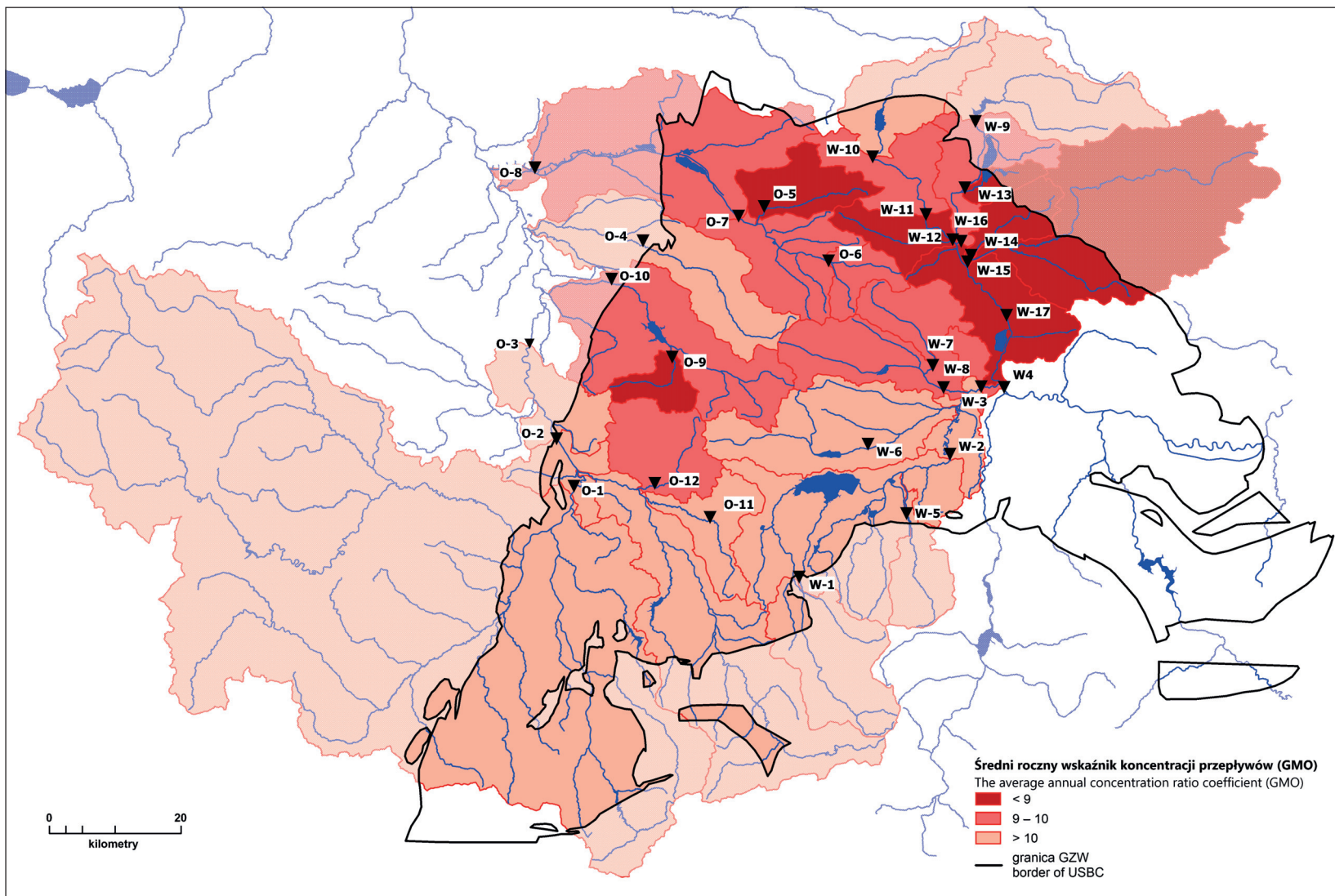
ni (8,71), Bobrka (8,90) i Nacyny (8,98). Świadczy to o tym, że średnie miesięczne przepływy tych rzek są prawie całkowicie wyrównane. Jak twierdzi R. SOJA (2002), podobne warunki odpływu występują jedynie w niewielkiej zlewni Prądnika zasilanej w 95% wodami podziemnymi. W zlewniach tych minimalne wartości współczynnika GMO są bliskie jego dolnej granicy – 8,33 (SOJA, 2002), w większości wynoszą 8,34 i 8,35 (ryc. 70., 71.).

Następną grupę zlewni charakteryzuje średni wskaźnik koncentracji przepływów GMO, zawierający się w przedziale od 9 do 10. Są to zlewnie: Wisły po przekrój Pustynia, Mlecznej, Gostyni, Brynicy po Czeladź, Czarnej Przemszy po Radochę, Kłodnicy, Rudy i Szotkówki. Najniższą wartością GMO w tej grupie charakteryzuje się Brynica w Czeladzi (9,19) i Kłodnica w Gliwicach (9,22). Natomiast najwyższą wartość GMO odnotowano dla Wisły w Pustyni (9,91). Wyższe wartości wskaźnika GMO wskazują, że zlewnie te mają bardziej skoncentrowany odpływ w cyklu rocznym. Ponadto charakteryzuje je już większa zmienność wskaźnika koncentracji GMO, współczynnik zmienności C_v zawiera się w przedziale od 0,09 (Brynica Czeladź) do 0,21 (Kłodnica Kłodnica). Minimalne wartości wskaźnika koncentracji w tej grupie zlewni są również zbliżone do dolnej granicy współczynnika GMO.

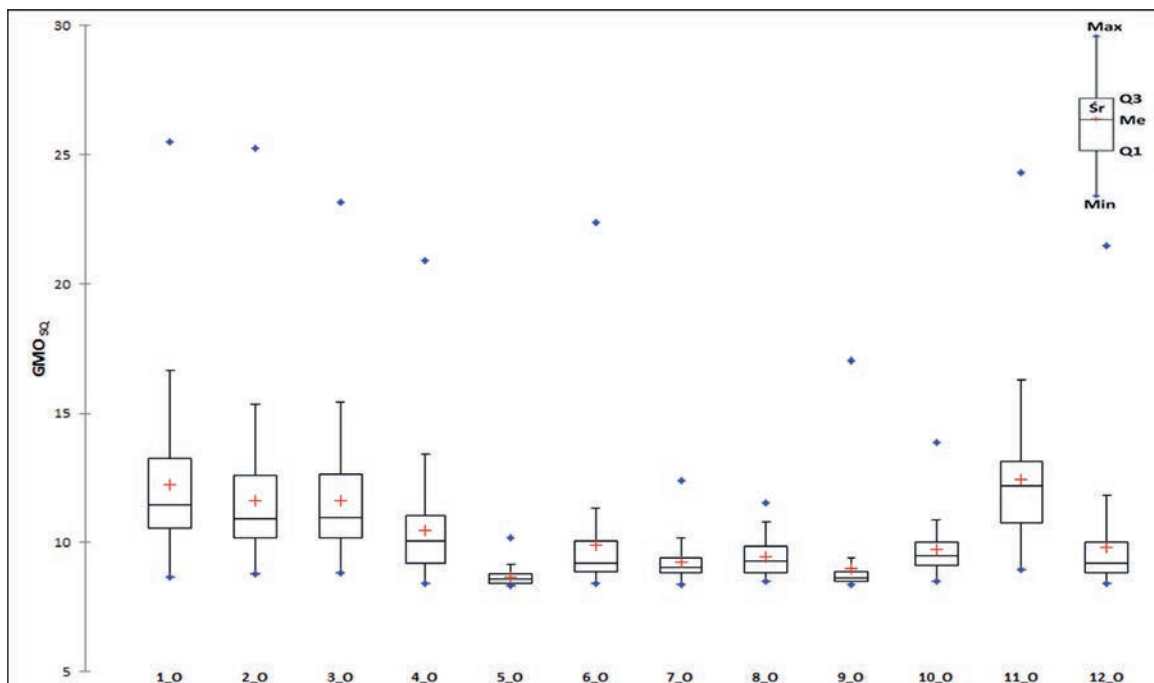
Wskaźnikiem koncentracji przepływów w przedziale od 10 do 11 charakteryzują się tylko dwie zlewnie: Czarnej Przemszy po Przeczycie oraz Bierawki po Tworóg Mały.

W przedziale GMO od 11 do 13 znalazły się zlewnie: Odry, Piotrówki, Wisły po Jawiszowice oraz Nowy Bieruń, Białej i Brynicy po Namiarce. Wartościami GMO w przedziale 13,10–13,54 charakteryzują się Pszczyńka oraz Wisła w Skoczowie. Zlewnie, które mają średni wskaźnik koncentracji GMO powyżej 10, z wyjątkiem zlewni, które są pod wpływem zbiorników wodnych, cechują się wyższą koncentracją przepływu, wynikającą z niewyrównanych średnich miesięcznych przepływów, co wpływa na ich zmienność w cyklu hydrologicznym.

Wyrównany przebieg średnich miesięcznych przepływów w zlewniach o najniższym średnim wskaźniku koncentracji (ryc. 72.) świadczy o przeobrażeniu reżimu tych rzek. S. CZAJA (1999) wy-

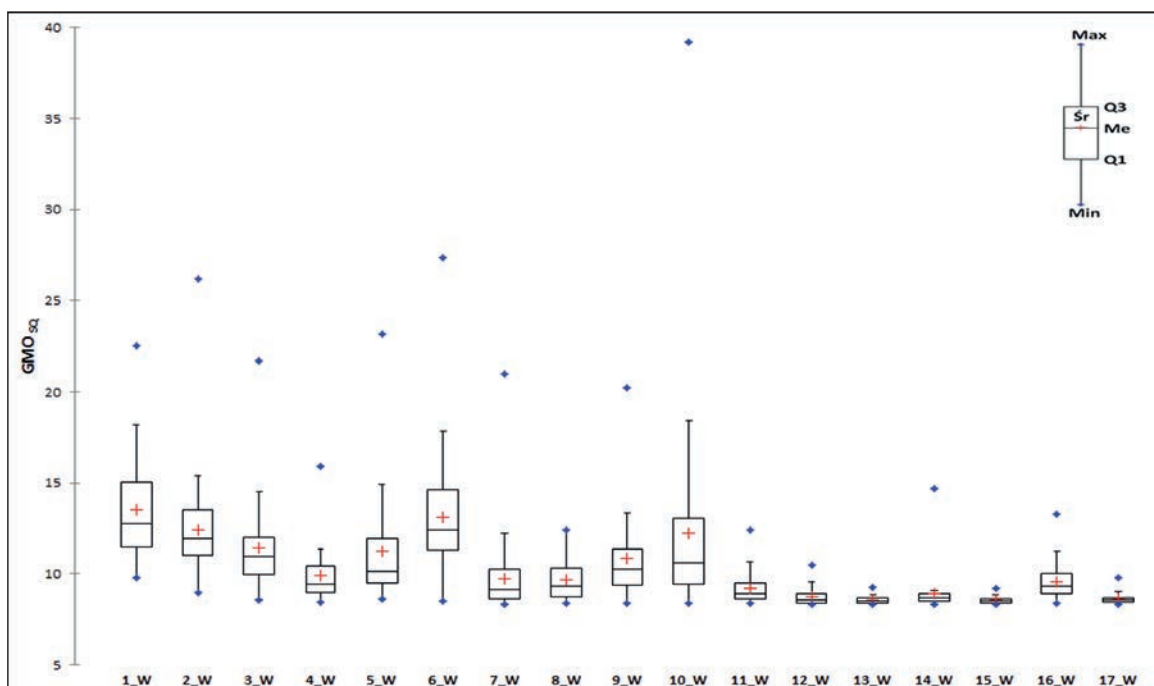


Ryc. 69. Zróżnicowanie średniego rocznego w wieloletniu 1961–2013 wskaźnika koncentracji przepływów GMO w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW



Ryc. 70. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk wskaźnika koncentracji przepływów (GMO) w zlewniach dorzecza Odry na terenie GZW (oznaczenia na osi x zgodne z ryc. 1.)

Max – wartość maksymalna, Q3 – trzeci kwartył, Me – mediana, Śr – średnia, Q1 – pierwszy kwartył, Min – wartość minimalna.



Ryc. 71. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk wskaźnika koncentracji przepływów (GMO) w zlewniach dorzecza Wisły na terenie GZW (oznaczenia na osi x zgodne z ryc. 1.)

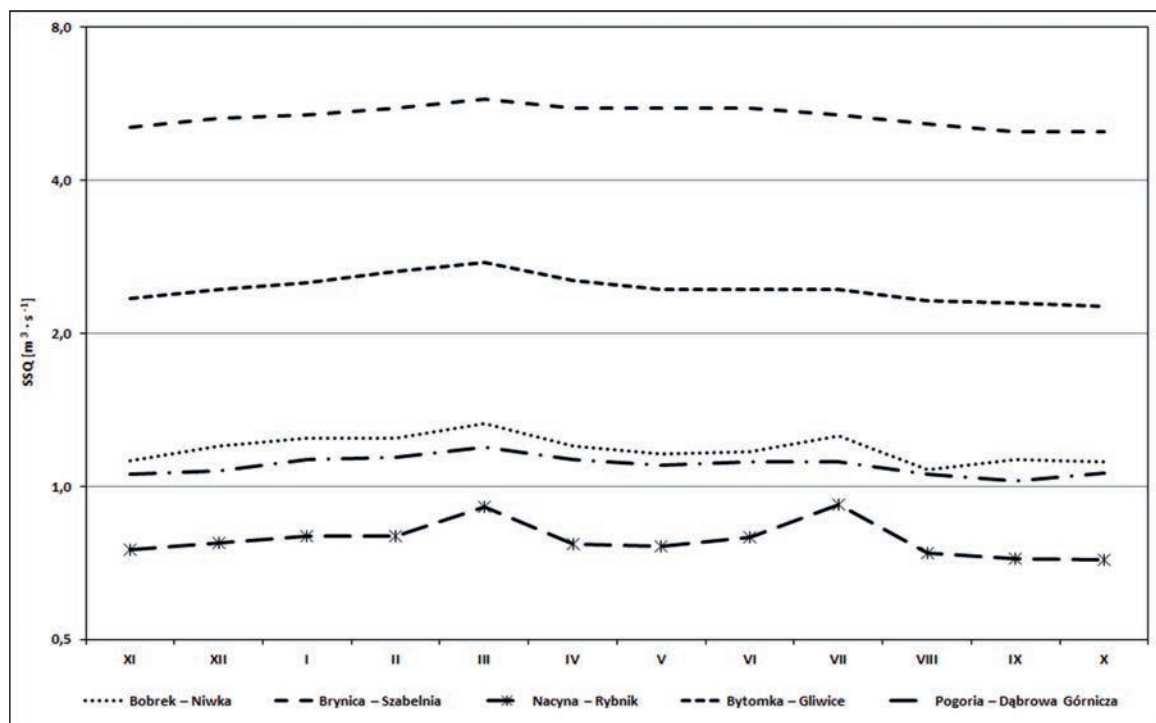
Max – wartość maksymalna, Q3 – trzeci kwartył, Me – mediana, Śr – średnia, Q1 – pierwszy kwartył, Min – wartość minimalna.

kazał, że w okresie współczesnych zmian gospodarczych doszło do ustabilizowania udziału wód obcych oraz wód dołowych na poziomie znacznie przekraczającym 50% odpływu rzek, co utrwaliło zmiany ich reżimu. Został ukształtowany nowy typ reżimu rzeczny z wysokimi i wyrównanymi przepływami niskimi i średnimi oraz z przewagą zasilania wodami pochodzenia antropogenicznego – reżim wybitnie wyrównany z zasilaniem antropogeniczno-deszczowo-śnieżnym.

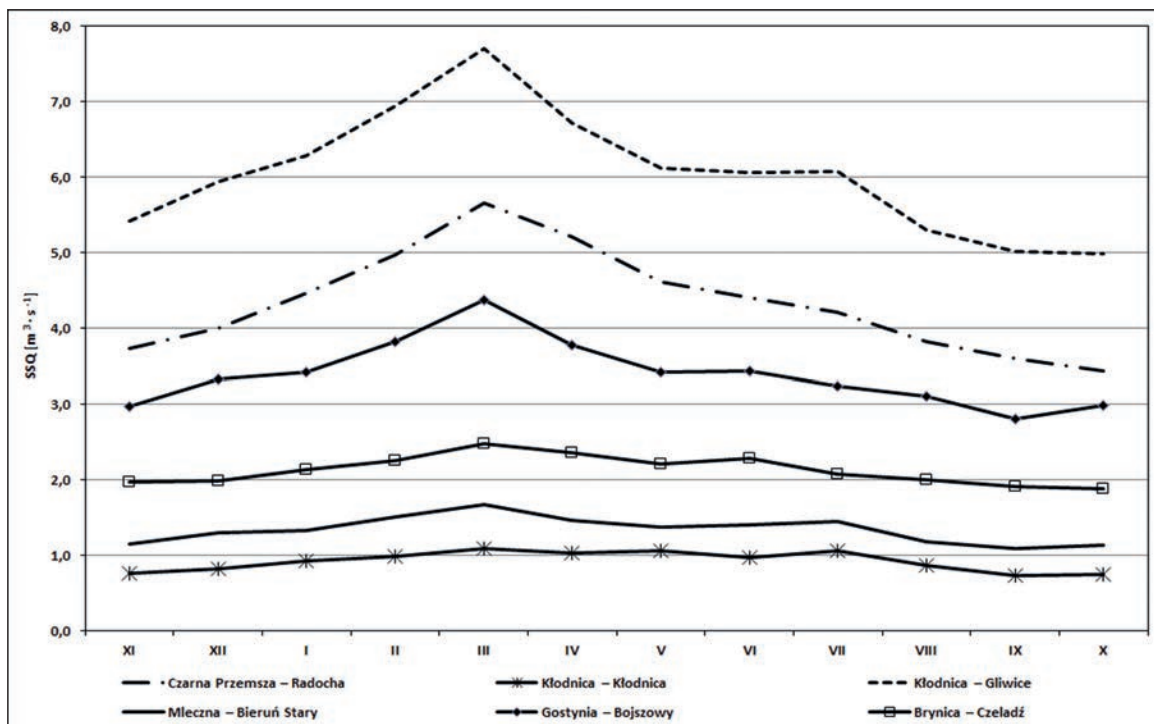
Zlewnie charakteryzujące się wskaźnikiem koncentracji GMO w przedziale 9–10 cechuje dość wyrównany przebieg średnich miesięcznych przepływów w analizowanym wieloleciu (ryc. 73.). Wyraźniej zaznacza się w nich wzrost odpływu w okresie wiosennym. W przypadku Kłodnicy i Szotkówki obserwuje się również niewielki wzrost odpływu w okresie letnim. Rzeki te są obciążone zrzutami wód dołowych oraz pozostałych ścieków, co powoduje wyrównanie odpływu w ciągu roku, niemniej jednak ważną rolę w kształtowaniu się ich reżimu odgrywają czynniki klimatyczne oraz użytkowanie tere-

nu zlewni. W przypadku Brynicy (po Czeladź), w której w okresie 1967–2013 wody dołowe stanowiły średnio 47% średnich rocznych przepływów, decydującą rolę w kształtowaniu się reżimu odgrywa zbiornik „Kozłowa Góra”.

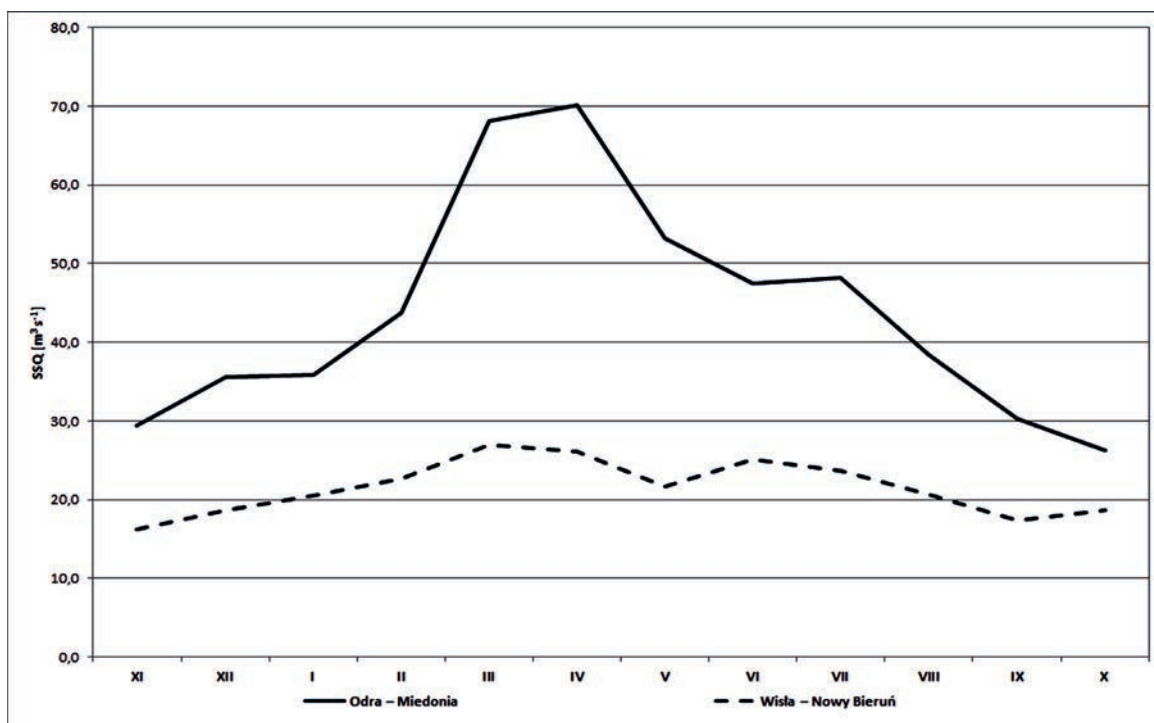
W zlewniach, w których średni wskaźnik koncentracji przepływów przekracza 10, w przebiegu średnich miesięcznych przepływów w wieloleciu zaznacza się wyraźnie dwudzielny okres wzmózonego odpływu oraz niskie odpływy jesienią (ryc. 74.), co stwierdza R. SOJA (2002) dla Wisły w Skoczowie. Taki przebieg SSQ w wieloleciu 1961–2013 charakteryzuje zlewnie w dorzeczu zarówno Odry, jak i Wisły, które nie podlegają istotnym wpływom antropopresji. W przypadku Odry w Miedoni oraz Wisły w Nowym Bieruniu udział wód dołowych stanowi 4% średniego przepływu. Podobna jest też średnia ilość wód dołowych bilansowana w tych przekrojach: $0,95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Nowy Bieruń) i $1,18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Miedonia). Wody te nie wpływają na zmianę reżimu tych rzek oraz na wyrównanie ich odpływu w ciągu roku.



Ryc. 72. Przebieg średnich miesięcznych przepływów w wieloleciu 1961–2013 w wybranych zlewniach charakteryzujących się średnim GMO – poniżej 9, będących odbiornikami wód kopalnianych



Ryc. 73. Przebieg średnich miesięcznych przepływów z wielolecia 1961–2013 w wybranych zlewniach charakteryzujących się średnim GMO – w przedziale 9–10, będących odbiornikami wód kopalnianych



Ryc. 74. Przebieg średnich miesięcznych przepływów z wielolecia 1961–2013 w wybranych zlewniach charakteryzujących się GMO powyżej 10, będących odbiornikami wód kopalnianych

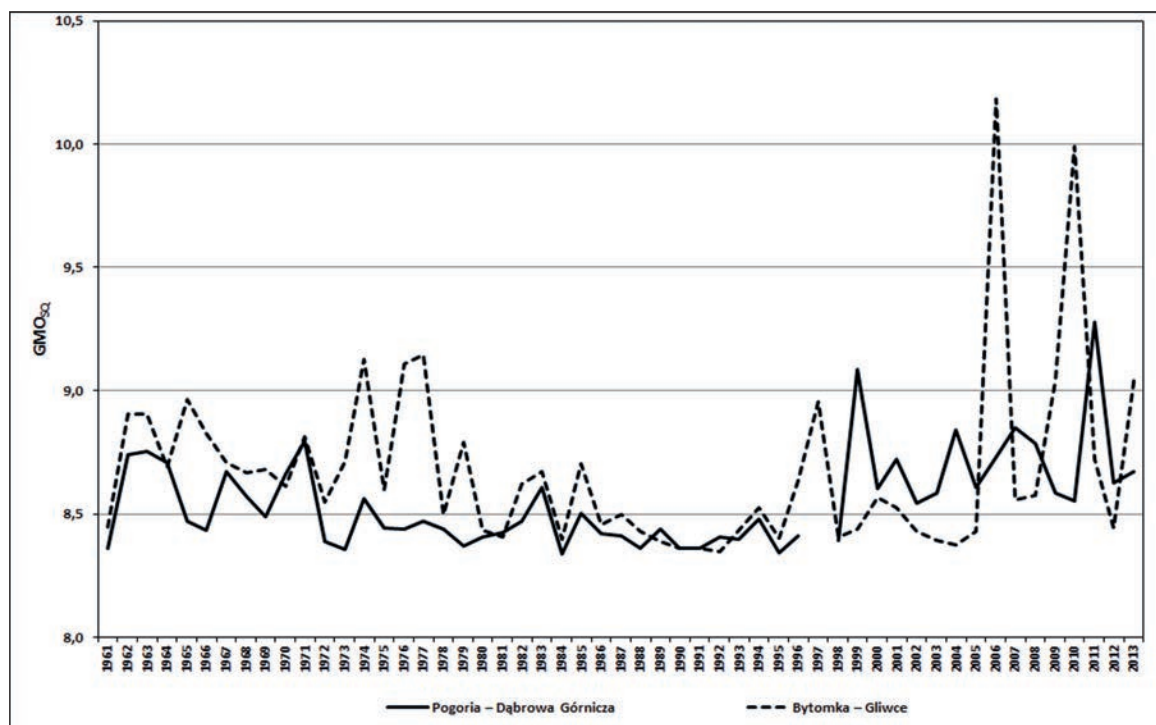
Najbardziej wyrównanym przebiegiem GMO charakteryzuje się Pogoria. Wartości tego wskaźnika w analizowanych rzekach w wieloleciu 1961–2013 wskazują na bardzo wyrównany jego poziom w okresie 1977–1996, często zbliżony do jego dolnej granicy – 8,33. Od roku 2005 w przebiegu wskaźnika koncentracji w rzekach można zauważyć większą zmienność – taką, jaka występowała w latach 60. XX wieku (ryc. 75.). Ma to związek ze zmniejszeniem odprowadzanych wód kopalnianych i ich malejącym udziałem w przepływach.

O wzroście GMO może świadczyć istotny statystycznie dodatni trend wskaźnika koncentracji przepływów dla Pogorii, który wynika z tego, że przepływy stają się bardziej zmienne w ciągu roku. W przypadku Pogorii dopływ wód dołowych, który do roku 2010 stanowił przeszło 20% średniego rocznego przepływu, zmniejszył się w okresie 2011–2013 do zaledwie 2% średniego rocznego przepływu. W pozostałych rzekach o GMO poniżej 9 obserwuje się również trend dodatni, jednak nieistotny statystycznie. Odwrotną sytuację zaobserwowano w przypadku Białej Przemysy.

W wieloleciu 1961–2013 nastąpił istotny statystycznie spadek wskaźnika koncentracji odpływu, w związku z czym należy spodziewać się dalszego wyrównania odpływu w ciągu roku. Prawdopodobnie na tę sytuację mają wpływ czynniki klimatyczne, powodujące zmniejszenie się średnich rocznych przepływów. Dopływ wód kopalnianych z kopalń piasków czwartorzędowych może być równoważony przez pobory wód.

Spośród zlewni charakteryzujących się wartościami wskaźnika GMO w przedziale 9–10 w dorzeczu Wisły najbardziej wyrównanym przebiegiem GMO charakteryzuje się Brynica w Czeladzi. W dorzeczu Odry najbardziej wyrównany przebieg wskaźnika koncentracji przepływów odnotowano dla zlewni Kłodnicy, zamkniętej przekrojem w Gliwicach, co spowodowane zostało przez wody kopalniane (ryc. 76.). W analizowanym okresie wszystkie zlewnie charakteryzujące się GMO w przedziale 9–10 nie wykazują żadnych tendencji.

W zlewniach, w których wskaźnik koncentracji odpływu GMO wynosi powyżej 10 obserwuje



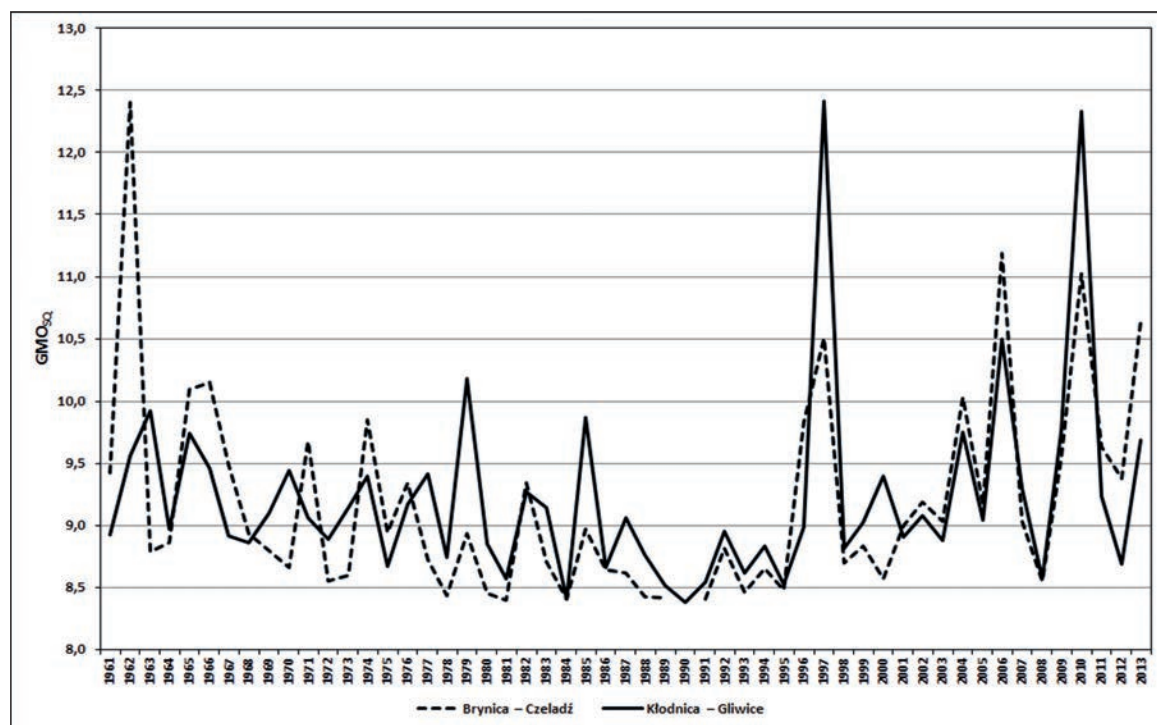
Ryc. 75. Przebieg wskaźnika koncentracji GMO w wieloleciu 1961–2013 w wybranych zlewniach charakteryzujących się średnim GMO – poniżej 9, będących odbiornikami wód kopalnianych

się jego dużą zmienność (ryc. 77.). W grupie tej znalazły się również rzeki będące odbiornikami wód kopalnianych: Bierawka, Odra, Wisła w Jawiszowicach i Nowym Bieruniu. O ile w przypadku Wisły i Odry udział wód kopalnianych w SSQ nie przekracza 4%, to w Bierawce stanowi już 12%. Wody kopalniane nie wpływają w ciągu roku na wyrównanie odpływu w tych rzekach. Główny wpływ na zmienność odpływu w ciągu roku mają czynniki klimatyczne oraz sposób użytkowania terenu zlewni. Istotny statystycznie dodatni trend wskaźnika koncentracji przepływów stwierdzono dla Białej.

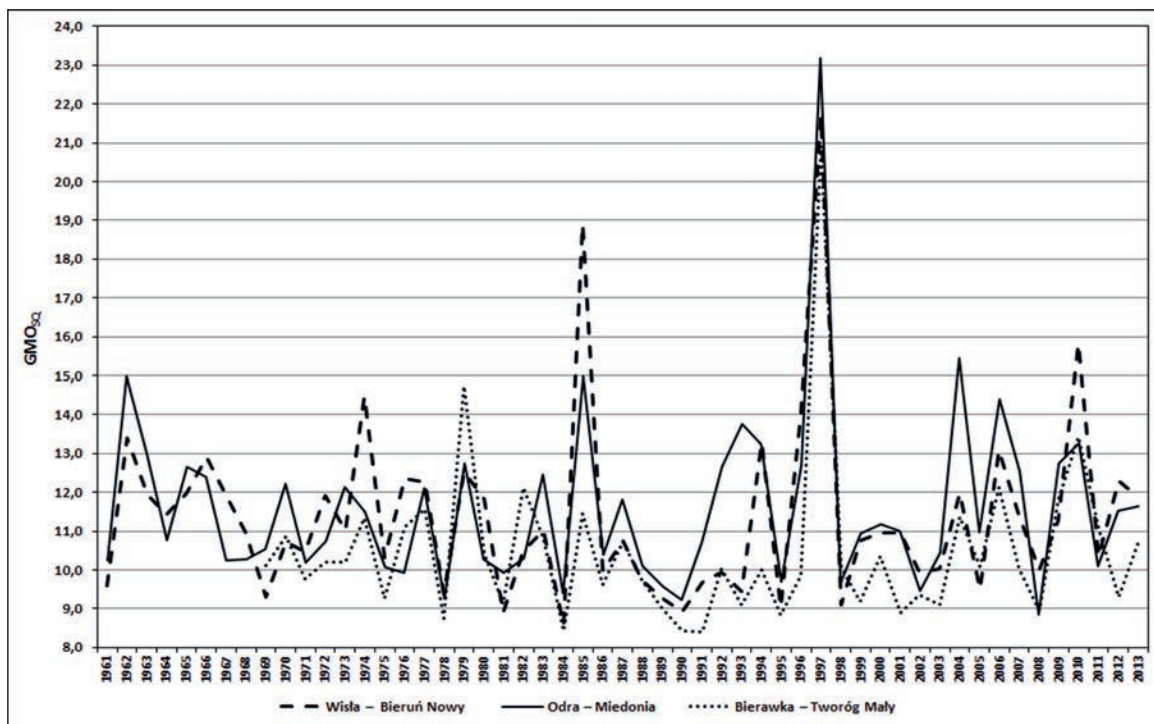
Istotny statystycznie wzrost wskaźnika koncentracji GMO w Białej i Pogorii świadczy o wzroście koncentracji odpływu w tych zlewniach. Wzrost ten nastąpił w obu zlewniach w tym samym okresie (w drugiej połowie lat 90. XX wieku). Od tego czasu w obu zlewniach rozkład odpływu w roku hydrologicznym wygląda bardzo podobnie. Nastąpił znaczny wzrost odpływu w okresie letnim, a wezbranie roztopowe wyraźnie się skróciło. Zlewnie te są położone w róż-

nych regionach fizycznogeograficznych, różnią się stopniem antropopresji oraz udziałem terenów antropogenicznych, których udział w zlewni Pogorii wynosi 58%, a w zlewni Białej – 32%.

Zarówno w Pogorii, jak i w Białej współczynnik odpływu (α) zmniejszył się o przeszło 30%, co wskazuje na spowolnienie odpływu ze zlewni. Natomiast wzrost wskaźnika koncentracji GMO sugeruje wyraźne przyspieszenie obiegu wody w wyniku działalności człowieka. Zgodnie ze stwierdzeniem R. Soł (2002) w przypadku osłabiania wpływu antropopresji, np. w wyniku wzrostu zalesienia zlewni, odpływ powinien być bardziej równomiernie rozłożony w czasie. Wzrost wskaźnika koncentracji nie jest tu jednak związany z użytkowaniem terenu, a zatem z przyspieszeniem obiegu wody, uzależnionego od sposobu użytkowania powierzchni zlewni. Wzrost koncentracji przepływu w omawianych zlewniach spowodowany został zmniejszeniem zrzutów wód kopalnianych oraz różnego rodzaju ścieków (w tym pochodzących spoza zlewni), o czym świadczą chociażby mniejsze współczynniki od-



Ryc. 76. Przebieg wskaźnika koncentracji GMO w wieloletniu 1961–2013 w wybranych zlewniach charakteryzujących się średnim wskaźnikiem GMO – w przedziale 9–10, będących odbiornikami wód kopalnianych



Ryc. 77. Przebieg wskaźnika koncentracji GMO w wieloletniu 1961–2013 w wybranych zlewniach charakteryzujących się GMO powyżej 10, będących odbiornikami wód kopalnianych

plywu (α). Dotyczy to zwłaszcza Białej, gdzie współczynnik odpływu zmniejszył się aż o 30%, a średni wskaźnik koncentracji GMO w latach 1999–2013 osiągnął wartość zbliżoną do średniego GMO dla Wisły w Skoczowie. Średni wskaźnik koncentracji GMO w zlewni Białej w latach 1994–2013 jest charakterystyczny dla zlewni beskidzkich i podbeskidzkich. Wzrost wskaźnika koncentracji GMO w zlewni Pogorii nie osiągnął aż tak wysokiego poziomu jak w przypadku Białej. Przyczyn wzrostu koncentracji odpływu w tej zlewni można również szukać w zmniejszających się zrzutach zarówno wód dołowych, jak i pozostałych ścieków, o czym świadczy też zmniejszenie się współczynnika odpływu (α) o 39% od połowy lat 90. XX wieku. Za powód wzrostu GMO trudno uznać zmianę zagospodarowania zlewni, w której udział terenów antropogenicznych jest jednym z największych wśród analizowanych zlewni.

Najniższym wskaźnikiem koncentracji, często osiągającym jego dolną granicę – 8,33, charakteryzującą się w analizowanych zlewniach rzeki będące głównymi odbiornikami wód dołowych: Brynica (Szabelnia), Pogoria, Bobrek, Biała Przemsza, Przemsza, Bytomka, Nacyna. Przynajmniej wzrost współczynnika koncentracji przepływów w tych zlewniach ma związek z ograniczeniem zrzutów zarówno wód dołowych, jak i pozostałych ścieków. Rzeki te powinny charakteryzować się średnim GMO w przedziale 9–11, uwzględniając ich położenie fizycznogeograficzne oraz pokrycie terenu zlewni.

Im wyższy jest wskaźnik koncentracji, tym bardziej decydującą rolę w kształtowaniu się reżimu odpływu odgrywają zbiorniki zaporowe, co można stwierdzić m.in. w Brynicy w Namiarkach i Czeladzi, gdzie mimo znacznego udziału wód kopalnianych istotne znaczenie ma gospodarka wodna prowadzona na zbiorniku „Kozłowa Góra”.

6. Dyskusja i wnioski

Działalność górnicza jest istotnym czynnikiem modyfikującym odpływ wód powierzchniowych na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. W szczytowym okresie wydobywania węgla w GZW funkcjonowały 83 zrzuty wód dołowych z kopalni węgla kamiennego do powierzchniowej sieci hydrograficznej. Obecnie na tym terenie są 64 zrzuty: 23 w polskiej i 8 w czeskiej części dorzecza Odry oraz 33 w dorzeczu Wisły. Głównymi „odbiornikami” odprowadzanych wód kopalnianych są: Odra, Ruda z Nacyną, Bierawka, Kłodnica z Bytomką, Czarna Przemsza, Pogoria, Brynica, Biała Przemsza z Bobrkiem, Przemsza, Mleczna, Gostynia oraz Wisła.

W latach 1967–2013 do rzek odprowadzano średnio $10,39 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ wód pochodzących z odwadniania kopalni węgla kamiennego w GZW, w tym do Odry zrzucano $2,46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a do Wisły $7,94 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Maksymalna objętość zrzucanych wód kopalnianych przypadła na lata 1985–1988. Średnia objętość odprowadzanych wód kopalnianych w tym czasie wynosiła $14,19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, z czego do zlewni Wisły trafiało $11,03 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a do zlewni Odry – $3,16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

W wyniku rozpoczętej w 1989 roku restrukturyzacji górnictwa notowano systematyczny spadek objętości zrzucanych wód kopalnianych. Ilość odprowadzanych wód kopalnianych zmniejszyła się o 26% w stosunku do szczytowego okresu zrzutów w latach 1977–1989. Wyjątkiem jest zlewnia Bytomki, gdzie nastąpił wzrost ilości odprowadzanych wód kopalnianych.

Największa objętość wód kopalnianych odprowadzana była do zlewni Przemszy (średnio $6,66$

$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). W dorzeczu Odry najwięcej wód kopalnianych było zrzucanych do Kłodnicy. Ich średnia objętość wynosiła $1,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Najwyższym udziałem wód dołowych w przepływach charakteryzowała się Brynica w Czelaździ, gdzie średni udział wód kopalnianych w SNQ wynosił 61%, a w SSQ 43%. Okresowo notowano nawet 100% udziału wód kopalnianych w średnich rocznych niskich przepływach – w okresach suchych oraz podczas maksymalnych poborów wody ze zbiornika „Kozłowa Góra”, ulokowanego powyżej tego przekroju. Rzeką płynęły właściwie tylko wody kopalniane. Dużym udziałem wód kopalnianych charakteryzuje się także Biała Przemsza, w której notuje się ponad 50% udziału wód kopalnianych w średnich rocznych niskich przepływach oraz 46% udziału w średnich rocznych przepływach. W przypadku Mlecznej, Gostyni, Przemszy, Pogorii, Brynicy (Szabelnia), Bytomki i Wisły (Pustynia) udział wód kopalnianych w średnich rocznych niskich i średnich rocznych przepływach kształtuje się na poziomie ponad 20%.

Najniższym udziałem wód kopalnianych – nieprzekraczającym 10% w SNQ_R i SQ_R – charakteryzowały się: Wisła w Jawiszowicach i Nowym Bieruniu, Czarna Przemsza w przekroju Radocha oraz Odra w przekrojach: Krzyżanowice i Miedonia.

Badania na temat wpływu wód kopalnianych na odpływy rzek prowadzone w latach 80. XX wieku m.in. przez A.T. JANKOWSKIEGO (1986, 1988), S. CZAJĘ (1988, 1999), S. CZAJĘ i A.T. JANKOWSKIEGO (1986, 1991b, 1992, 1993), J. WŁODARCZY-

KA i L. OŚRÓDKĘ (1988), I. HOŁDĘ i L. OŚRÓDKĘ (1989), I. HOŁDĘ i M. WOJTYŁAKA (1991) wykazywały, że przepływy rzek zwiększyły się w wyniku wprowadzenia w lokalny obieg wód kopalnianych. W przepływach m.in.: Brynicy, Przemszy, Gostyni, Mlecznej, Bytomki, Kłodnicy i Szotkówki obserwowano generalnie tendencje rosnące, zwłaszcza w latach 70. XX wieku. Stabilizacja nastąpiła w następnym dziesięcioleciu. Badacze obserwowali stałe osłabianie wpływu czynników hydro-meteorologicznych na reżim odpływu tych rzek przy rosnącym udziale w odpływie wód obcych. Jednym z przykładów może być Szotkówka, która w tamtym okresie była największym odbiornikiem wód obcych – ich udział w odpływie wynosił 66% (WŁODARCZYK, OŚRÓDKA, 1988; HOŁDA, OŚRÓDKA, 1989). Prognozy A.T. JANKOWSKIEGO (1986) przewidywały wzrost objętości wód kopalnianych zrzucanych do Szotkówki. Jednak w związku z restrukturyzacją górnictwa objętość wód kopalnianych zmniejszyła się, toteż przepływy Szotkówki „wróciły” do wartości sprzed ich wzrostu na początku lat 70.

Prognozy z lat 80. XX wieku zakładały także wzrost objętości zrzucanych wód kopalnianych w zlewni Brynicy, Czarnej i Białej Przemszy o około $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Miało to – zdaniem S. CZAI i A.T. JANKOWSKIEGO (1991) – nie podwyższyć ogólnej ilości wód obcych, ze względu na zaprzestanie odwadniania kopalń rud cynku i ołowiu. Zamykanie kopalń oraz zmniejszenie wydobywania węgla spowodowało zmniejszenie objętości zrzucanych wód kopalnianych. W zlewni Wisły spadek ten wyniósł 25%, a w zlewni Odry – 30% w stosunku do szczytowego okresu wydobywania węgla w latach 1977–1989.

Istotna zmiana przepływów, którą można połączyć ze zmniejszeniem zrzutów wód dołowych, zaszła w zlewni Pogorii. Wielkość przepływów wyraźnie spadła w roku 1989 – na samym początku okresu restrukturyzacji górnictwa. W tym czasie zrzuty wód kopalnianych zmniejszyły się o połowę. Wpłynęło to na spadek rocznych NQ_R i SNQ_R w latach 1990–2013. Z kolei spadek średnich rocznych przepływów, który można korelować z dalszym zmniejszeniem się objętości zrzucanych wód dołowych, obserwowany jest od końca lat 90. XX wieku.

We wszystkich badanych zlewniach w dorzeczu Odry roczne niskie przepływy (NQ_R) zmniejszyły się. W dorzeczu Wisły ujemne i statystycznie istotne tendencje zanotowano w 10 zlewniach. Tendencje dodatnie przebiegu niskich rocznych przepływów wystąpiły tylko w trzech przekrojach: Gostynia – Bojszowy, Brynica – Namiarki oraz Czeladź. W czterech przekrojach: Wisła Skoczów, Mleczna – Bieruń Stary, Czarna Przemsza – Przeczyce, Biała Przemsza – Niwka nie zanotowano istotnej statystycznie tendencji NQ_R .

Zaobserwowano także spadki wartości średnich rocznych niskich przepływów (SNQ_R) w 8 zlewniach w dorzeczu Odry. Brak trendu stwierdzono w przypadku Odry (przekroje: Chałupki, Krzyżanowice i Miedonia) oraz Bierawki. W dorzeczu Wisły tendencje ujemne średnich rocznych niskich przepływów odnotowano w 10 zlewniach. Trend dodatni zaobserwowano w zlewniach: Wisły (Jawiszowice), Gostyni, Brynicy (Namiarki i Czeladź). Trend nie wystąpił w zlewniach: Mlecznej oraz w Czarnej Przemszy w Przecycach.

W wieloletnim przebiegu średnich rocznych przepływów istotnego trendu nie zanotowano w zlewniach: Odry, Piotrówki, Bierawki, Gostyni oraz Wisły (Skoczów i Pustynia). Wzrost średnich rocznych przepływów zarejestrowano w przypadku Brynicy (Namiarki i Czeladź) oraz Wisły (Jawiszowice i Nowy Bieruń). W 17 zlewniach średnie roczne przepływy w analizowanym okresie charakteryzowały się istotną statystycznie, ujemną tendencją.

Główną przyczyną stwierdzonych tendencji są czynniki antropogeniczne, a wśród nich odprowadzanie wód kopalnianych do rzek. Paradoksalnie czasami brak tendencji w niektórych przekrojach także może być skutkiem czynników antropogenicznych. Do takich sytuacji dochodziło w zlewniach, w których obserwowany był spadek opadów lub zwiększony pobór wody, równoważony przez dopływ wód obcych, w tym wód kopalnianych.

Charakterystyczną cechą przebiegu odpływu w rzekach będących odbiornikami wód kopalnianych, w których stwierdzono ujemne tendencje, jest wyraźny wzrost wartości NQ_R , SNQ_R i SQ_R od początku lat 70. do końca lat 90. XX wieku z maksimum w połowie lat 80. W pozostałych, nieobciążonych wodami kopalnianymi zlewniach

okres 1982–1992 odznaczał się wyraźnym obniżeniem wartości przepływów.

Analiza zmian skokowych wykazała, że w badanych zlewniach przeważają spadki wartości przepływów. Wzrost przepływów odnotowano tylko w 7 przypadkach. Stwierdzony wzrost przepływów uwarunkowany jest głównie czynnikami antropogenicznymi, do których należą: zrzuty wód kopalnianych, zrzuty ścieków przemysłowych czy zaprzestanie poboru wód. Z kolei spadki wartości przepływów w latach 80. uwarunkowane były czynnikami klimatycznymi, a w latach 90. XX wieku i na początku XXI wieku spowodowane zostały głównie zmniejszeniem ilości zrzucanych ścieków przemysłowych, w tym wód kopalnianych.

Zmiany skokowe średnich rocznych współczynników odpływu α stwierdzone w latach 1999 i 2000 w przekrojach: Przemsza – Jeleń i Wisła – Pustynia, czyli tam, gdzie bilansowana jest sumaryczna objętość wód kopalnianych w dorzeczu Wisły, potwierdzają zmniejszający się udział tych wód w odpływie.

Odpowiadając na pytanie, czy w przebiegu wieloletnim niskich, średnich rocznych niskich i średnich przepływów obserwujemy wyłącznie wpływ odprowadzania wód kopalnianych, można stwierdzić, że tylko w przekroju Kłodnica – Kłodnica wzrost odpływu jest związany ze zwiększeniem ilości zrzucanych wód kopalnianych, natomiast tylko w Pogorii spadek odpływu można jednoznacznie połączyć ze zmniejszeniem ich ilości.

W zlewniach będących głównymi odbiornikami wód kopalnianych odpływ jednostkowy osiąga wartości, które obserwujemy w zlewniach rzek górskich. Odpływ jest wyraźnie zaburzony i kształtowany głównie przez czynniki antropogeniczne. Potwierdzają to wysokie wartości współczynnika odpływu (α), który w zlewniach Bytomki, Kłodnicy (Gliwice), Bierawki, Szotkówki i Pogorii osiąga ponad 60%, co świadczy o dużym udziale „wód obcych”, w tym wód kopalnianych, w ich odpływie.

Do analizy zmian w rocznym cyklu hydrologicznym wykorzystano także wskaźnik koncentracji GMO. Badania nad zmiennością reżimu rzek GZW prowadził pod koniec XX wieku

m.in. S. CZAJA (1999), który stwierdził, że w wielu rzekach doszło do ustabilizowania udziału wód obcych na poziomie znacznie przekraczającym 50% odpływu rzek, co utrwaliło zmiany ich reżimu. Na obszarze konurbacji katowickiej ukształtowany został nowy typ reżimu rzeczno (reżim wybitnie wyrównany z zasilaniem antropogeniczno-deszczowo-śnieżnym) z wysokimi i wyrównanymi przepływanymi niskimi i średnimi oraz z przewagą zasilania wodami pochodzenia antropogenicznego, w tym wodami kopalnianymi (CZAJA, 1999). Potwierdzają to również przeprowadzone przeze mnie badania. Najniższe średnie wartości GMO, często osiągające jego dolną granicę, wystąpiły w zlewniach będących głównymi odbiornikami wód kopalnianych: Pogorii, Białej Przemszy, Przemszy, Bytomki, Brynicy (Szabelnia), Bobrka i Nacyny. Świadczy to o tym, że średnie miesięczne przepływy tych rzek są bardzo wyrównane.

W pozostałych zlewniach, które również są i były odbiornikami wód kopalnianych, wartości GMO wskazują, że zlewnie te mają bardziej skoncentrowany odpływ w rocznym cyklu i wyraźniej zaznacza się w nich wzrost odpływu w okresie wiosennym. Mimo znacznego obciążenia zrzutami wód kopalnianych decydującą rolę w kształtowaniu ich reżimu – można stwierdzić – odgrywają czynniki klimatyczne.

W największych rzekach z niskim udziałem wód kopalnianych w przebiegu średnich miesięcznych przepływów zaznaczają się wyraźnie dwudzielny okres wzmożonego odpływu oraz niskie odpływy jesienią. Wody kopalniane nie wpływają na zmianę reżimu tych rzek oraz na wyrównanie odpływu w ciągu roku.

W pracy wykazano, że zmniejszający się udział wód kopalnianych oraz pozostałych ścieków ponownie zwiększa zmienność odpływu w ciągu roku. Zjawisko to zachodzi dość powoli. Obserwuje się je na razie w małych zlewniach, np. Pogorii czy Białej. Można przewidywać, że dalsze ograniczenie zrzutów wód kopalnianych w wyniku planowanych działań restrukturyzacyjnych w górnictwie węglowym będzie skutkować coraz większą zmiennością odpływu rzek. W perspektywie kilkudziesięciu lat całkowite zaprzestanie odwadniania kopalń węgla kamiennego spowoduje

duże, że odpływ będzie mniej wyrównany, a na jego zmienność w cyklu hydrologicznym ponownie w coraz większym stopniu będą oddziaływać czynniki klimatyczne.

Inne skutki wydobycia węgla odzwierciedlające się w postaci zmian sieci rzecznej, przebiegu działów wodnych, zmian zbiorników wodnych, wskazywane m.in. przez A.T. JANKOWSKIEGO (1986) oraz S. CZAJĘ (1999), mają charakter długotrwały i częściowo nieodwracalny. Zmiany te nadal będą występować zwłaszcza na obszarach, gdzie prowadzone jest wydobycie węgla metodą na zawał. Problem ten został zauważony i podejmowanych jest coraz więcej przedsięwzięć renturyzacyjnych w dolinach rzecznych. Przykład może stanowić dolina rzeki Szarlejki, gdzie wielowieko-

we wydobycie węgla spowodowało całkowite przeobrażenie doliny rzeki. W roku 2012 prace renaturyzacyjne zostały wykonane na jej najbardziej przekształconym odcinku (ABSALON, MATYSIK, 2009; MATYSIK, ABSALON, 2012).

Uzyskane w pracy wyniki i zaobserwowane prawidłowości można także wykorzystać w przypadku powstania nowych kopalń węgla kamiennego lub innych surowców, których wydobycie związane jest z odwadnianiem wyrobisk i odprowadzaniem wód do sieci hydrograficznej. W ocenach oddziaływania tych przedsięwzięć na środowisko można uwzględnić zaobserwowane wpływy związane z odprowadzaniem wód kopalnianych na obieg wody w zlewni w prowadzeniu racjonalnej gospodarki wodnej.

7. Literatura

- ABSALON D., 1991: *Zastosowanie metody krzywej skumulowanych różnic współczynników przepływu i opadu do oceny zmian wielkości odpływu pod wpływem antropopresji na przykładzie wybranych zlewni woj. katowickiego*. W: JANKOWSKI A.T., red.: *Przeobrażenia stosunków wodnych na obszarach silnej antropopresji. Materiały konferencyjne, Sosnowiec 16–18 września 1991*. Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Sosnowiec, s. 157–165.
- ABSALON D., 1998: *Antropogeniczne zmiany odpływu rzecznoego w zlewni Rudy*. Katowice, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, ss. 141.
- ABSALON D., 2007: *Water management in Poland at the turn the 21st century*. In: KEREKOVIČ D., ed.: *Richness and Diversity of GIS*. Zagreb, Hrvatski Informatički Zbor – GIS Forum, s. 252–259.
- ABSALON D., 2008: *Rzeki na obszarze GZM*. W: DULIAS R., HIBSZER A., red.: *Górnośląski Związek Metropolitalny*. PTG Oddział Katowicki, Sosnowiec, s. 56–70.
- ABSALON D., MATYSIK M., 2003: *Zastosowanie geograficznych systemów informacyjnych w badaniach i ochronie źródeł w dorzeczu górnej Odry*. W: *Problemy ochrony zasobów wodnych w dorzeczu Odry*. Wrocław, Wydawnictwo Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej we Wrocławiu, s. 167–176.
- ABSALON D., MATYSIK M., 2007: *Changes in water quality and runoff in the Upper Oder River Basin*. *Geomorphology*, 92, Elsevier, s. 106–118.
- ABSALON D., MATYSIK M., 2009: *Czysta rzeka Szarlejka – rekultywacja terenów doliny rzeki Szarlejki na cele przyrodnicze. Etap I. Dokumentacja hydrologiczna*. Urząd Miasta Radzionków. [Maszynopis], ss. 57.
- ABSALON D., MATYSIK M., 2016: *Zmiany odpływu w silnie zurbanizowanych zlewniach województwa śląskiego*. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, z. 39, s. 175–185.
- ABSALON D., JANKOWSKI A.T., MATYSIK M., 2002: *Application of GIS in research and protection of springs within Upper Oder river basin*. In: “GIS Odyssey 2002 Proceedings. GIS Forum Croatia”, Zagreb, s. 146–154.
- ABSALON D., CZAJA S., JANKOWSKI A.T., KAŃOK J., KRÍŽ V., 1997: *Trends of the river runoff in the Upper Oder basin*. *Universitas Ostraviensis Acta Facultatis Rerum Naturalium*, 167, č. 5: Geographia–Geologia, s. 47–86.
- ABSALON D., WAC M., 1992: *Antropogeniczne przeobrażenia stosunków wodnych w zlewni Mlecznej*. *Geographia. Studia et dissertationes*, T. 16, s. 9–23.
- ALEKSANDROWICZ S.W., 1964: *Przejawy tektoniki mioceńskiej w Zagłębiu Górnośląskim*. *Acta Geologica Polonica*, T. 14, nr 2, s. 173–225.
- BARTCZAK A., 2007: *Wieloletnia zmienność odpływu z dorzecza Zgławiańczyki*. *Prace Geograficzne IGiPZ PAN* 209, ss. 164.
- BARTNIK A., 2005: *Odpływ niski w Polsce*. *Acta Geographica Lodensia* nr 91. Łódź, Łódzkie Towarzystwo Naukowe, ss. 95.
- BARTNIK A., JOKIEL P., 1997: *Zmiany odpływu na obszarze Polski w latach 1971–1990 w świetle analiz jednorodności szeregów przepływu rzek*. *Wiadomości IMGW, XX (XLI)*, z. 4, s. 67–85.
- BARTNIK A., JOKIEL P., 2005: *Niektóre problemy zmian i zmienności rocznego hydrogramu przepływu rzeki na podstawie Pilicy w Przedborzu*. *Wiadomości IMGW, XXVIII (XLIX)* z. 2, s. 5–31.

- BRYKAŁA D., 2007: *Przestrzenne i czasowe zróżnicowanie odpływu rzecznego w dorzeczu Skrwy Lewej*. Prace Geograficzne IGiPZ PAN 221, ss. 142.
- BUŁA Z., KOTAS A., 1994: *Atlas Geologiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Cz. 3: Mapy Geologiczno-Strukturalne 1:100 000*. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny, ss. 19, tablic 6.
- CIUPA T., 2009: *Wpływ zagospodarowania terenu na odpływ i transport fluwalny w małych zlewniach, na przykładzie Surfagańca i Silnicy*. Kielce, Wydawnictwo Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego J. Kochanowskiego, ss. 251.
- CHMIEL S., MICHALCZYK Z., TURCZYŃSKI M., 2002: *Hydrological changes of waters in reservoirs formed and a result of mining deformations*. *Limnological Review*, 2, s. 57–62.
- CHMURA A., 1997: *Poziomy wodonośne czwartorzędu*. W: RÓŻKOWSKI A., CHMURA A., SIEMIŃSKI A., red.: *Użytkowe wody podziemne Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jego obrzeżenia*. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny, s. 51–53.
- CHOIŃSKI A., 1988: *Zróżnicowanie i uwarunkowania zmienności przepływów rzek polskich*. Poznań, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Adama Mickiewicza, Seria Geografia, 39, ss. 99.
- CZAJA S., 1987: *Wpływ działalności gospodarczej na strukturę i wielkość odpływu ze zlewni Brynicy*. *Gospodarka Wodna* 6, s. 132–135.
- CZAJA S., 1988: *Wpływ górnictwa i uprzemysłowienia na reżim odpływu rzek w górnośląskim okręgu przemysłowym na przykładzie zlewni Brynicy do profilu w Sosnowcu*. Dokumentacja Geograficzna, IGiPZ PAN 4, s. 65–77.
- CZAJA S., 1995: *Changes in natural rhythm, tendency and quantity of minimal runoff under the conditions of strong anthropopression*. In: WIĘZIK B., ed.: *Hydrological Processes in the Catchment*. Cracow University of Technology, s. 401–409.
- CZAJA S., 1999: *Zmiany stosunków wodnych w warunkach silnej antropopresji (na przykładzie kornurbacji katowickiej)*. Katowice, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, ss. 199.
- CZAJA S., 2005: *Changes In river discharge structure and regime in mining-industrial-urban areas*. *Regional Environmental Change*, s. 18–26.
- CZAJA S., JANKOWSKI A.T., 1986: *Anthropogenic changes of river run-off regime in the region of Katowice province*. In: *Hydrological Processes in the Catchment*. Part 2: *Cathment runoff*. Kraków, Politechnika Krakowska, s. 39–45.
- CZAJA S., JANKOWSKI A.T., 1991a: *Zmienność elementów bilansu wodnego*. W: JANKOWSKI A.T., TREMBACZOWSKI J., red.: *Zmiany środowiska w warunkach silnej antropopresji (wybrane zagadnienia)*. Cz. 2. Katowice, Uniwersytet Śląski, s. 57–105.
- CZAJA S., JANKOWSKI A.T., 1991b: *Udział wód kopalnianych w odpływie rzek woj. katowickiego w latach 1985–1987*. W: JANKOWSKI A.T., red.: *Przeobrażenia stosunków wodnych na obszarach silnej antropopresji. Materiały konferencyjne, Sosnowiec 16–18 września 1991*. Sosnowiec, Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, s. 145–156.
- CZAJA S., JANKOWSKI A.T., 1992: *The contribution of mine to the discharge and salinity of rivers in Katowice Province*. *Archiwum Ochrony Środowiska*, 2, s. 181–194.
- CZAJA S., JANKOWSKI A.T., 1993: *Changes of River Runoff from Urbanized and Industrialized Region of Upper Silesia*. In: *Runoff and Sediment Yield Modeling [RRSY-93]*. Proceedings of the International Symposium held at Warsaw Agricultural University, SGGW, s. 75–82.
- DROBEK W., 1984: *Zasilanie prawobrzeżnych dopływów górnej Odry zrzutem ścieków*. W: *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego PT Geofiz. „Problematyka hydrologiczna i meteorologiczna małych zlewni rzecznych”*, Wrocław, s. 53–54.
- DYNOWSKA I., JANKOWSKI A.T., SOJA R., 1985: *Metody oceny wpływu gospodarczej działalności człowieka na odpływ*. *Folia Geographica. Series: Geographica – Physica*, XVII, s. 105–119.
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego I Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Dz. U. UE L z dnia 22 grudnia 2000 r.).
- GRACZYK A., 1994: *Zmiany wodochłonności i ściekogenności gospodarki polskiej w okresie transformacji systemowej*. W: *Materiały I Ogólnopolskiej Konferencji „Ekonomika zasobów wodnych i ochrony wód”*. Warszawa, s. 131–140.
- GUTRY-KORYCKA M., SADURSKI A., KUNDZEWICZ Z.W., POCIASK-KARTECZKA J., SKRZYPCZYK L., 2014: *Zasoby wodne a ich wykorzystanie*. *Nauka* 1/2014, s. 77–98.
- FAL B., BOGDANOWICZ E., 2002: *Zasoby wód powierzchniowych Polski*. *Wiadomości IMGW*, 26, 2, Warszawa, s. 3–38.
- HARAT A., GRMELA A., 2008: *Wpływ wód kopalnianych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na*

- zmiany jakości wody w rzece Olza w latach 2000–2007. Monitoring Środowiska Przyrodniczego nr 9, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce, s. 57–62.
- HARAT A., GRMELA A., 2009: *Change of olza's water chemism as a result of mine water impact*. Podzemná Voda, XV 2/2009, s. 125–131.
- HOŁDA I., 1996: *Hydrologiczne aspekty ochrony zasobów wodnych w obszarach poddanych silnej antropopresji*. W: JANKOWSKI A.T., red.: *Metody badań wpływu czynników antropogenicznych na warunki klimatyczne i hydrologiczne w obszarach zurbanizowanych*. Materiały Konferencji Naukowej 12–14 września 1996 r. PTG, IMGW, Katowice, s. 33–40.
- HOŁDA I., OŚRÓDKA L., 1989: *Próba ustalenia odpływu antropogenicznego wybranych rzek województwa katowickiego*. Archiwum Ochrony Środowiska, 1/2, s. 73–89.
- HOŁDA I., WOJTYŁAK M., 1991: *Szacowanie wielkości zmian odpływu rzeki Kłodnicy w Gliwicach w latach 1906–1985*. W: JANKOWSKI A.T., red.: *Przeobrażenia stosunków wodnych na obszarach silnej antropopresji. Materiały konferencyjne, Sosnowiec 16–18 września 1991*. Sosnowiec, Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, s. 139–144.
- JANKOWSKI A.T., 1984a: *Udział wód kopalnianych w odpływie rzeczonym z terenu Rybnickiego Okręgu Węglowego*. Przegląd Geofizyczny 29, 4, s. 601–607.
- JANKOWSKI A.T., 1984b: *Wpływ procesów urbanizacyjnych i industrialnych na zmiany ilościowo-jakościowe Nacyny*. W: *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego PT Geofiz. „Problematyka hydrologiczna i meteorologiczna małych zlewni rzecznych”*. Wrocław, 61–63.
- JANKOWSKI A.T., 1986: *Antropogeniczne zmiany stosunków wodnych na obszarze uprzemysławianym i urbanizowanym (na przykładzie Rybnickiego Okręgu Węglowego)*. Katowice, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, ss. 278.
- JANKOWSKI A.T., 1988: *Wpływ przemysłu i urbanizacji na zmiany odpływu Rawy (próba oceny)*. Dokumentacja Geograficzna, IGiPZ PAN, 4, s. 51–63.
- JANKOWSKI A.T., 1991: *Główne kierunki antropogenicznych przekształceń obiegu wody na obszarze górnośląskim*. W: JANKOWSKI A.T., red.: *Przeobrażenia stosunków wodnych na obszarach silnej antropopresji. Materiały konferencyjne, Sosnowiec 16–18 września 1991*. Sosnowiec, Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, s. 5–13.
- JANKOWSKI A.T., 1995: *Tendencja zmian odpływu rzeki Rawy w warunkach antropopresji górniczej i urbanizacji terenu*. W: *Zagrożenia i szanse gospodarki wodnej*. T. 1. III Krajowa Konferencja Gospodarki Wodnej, Ustroń, 17–19 października 1995, s. 105–110.
- JANKOWSKI A.T., 1996a: *The effect of human impact connected with mining on changes in the geographical environment of the upper Silesia Region*. Geographia-Geologia, Sbornik Prací Přírodovědecké Fakulty Ostravské Univerzity, 157, č. 4, s. 7–21.
- JANKOWSKI A.T., red., 1996b: *Tendencje zmian obiegu wody w zlewni górnej Odry*. Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Sosnowiec, ss. 143.
- JANKOWSKI A.T., 1997: *The influence of waters from hard-coal mines on the hydrochemical relation of Upper Silesian Coal Basin (USCB)*. Geographia Polonica, 685, s. 51–64.
- JOKIEL P., 2015: *Analiza trendów wieloletnich na przykładzie odpływów ekstremalnych ze zlewni środkowej Polski*. W: JOKIEL P., red.: *Metody statystyczne w analizach hydrologicznych środkowej Polski*. Łódź, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, s. 68–85.
- JOKIEL P., BARTNIK A., 2001: *Zmiany w sezonowym rozkładzie odpływu w Polsce środkowej w wieloleciu 1951–1998*. Wiadomości IMGW, XXIV (XLV), s. 5–36.
- JOKIEL P., KOZUCHOWSKI K., 1989: *Zmiany wybranych charakterystyk hydroklimatycznych Polski w bieżącym stuleciu*. Dokumentacja Geograficzna, IGiPZ PAN, z. 6, ss. 96.
- JURECZKA J., KOTAS A., 1995: *Upper Silesian Coal Basin*. In: ZDANOWSKI A., ŻAKOWA H., eds.: *The carboniferous system in Poland*. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny, s. 164–172.
- JURECZKA J., DOPITA M., GAŁKA M., KRIEGER W., KWARCZYŃSKI J., MARTINEC P., 2005: *Atlas geologiczno-złożowy polskiej i czeskiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny, Ministerstwo Środowiska, ss. 31, tablic 14.
- KACZKOWSKA W., RÓŻKOWSKI A., 2004: *Eksploracja górnicza a zawodnienie kopalń węgla kamiennego*. W: RÓŻKOWSKI A., red.: *Środowisko hydrogeochemiczne karbonu produkcyjnego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Katowice, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, s. 20–26.

- KAŇOK J., 1987: *Problematika užití dvojn  sou tov   ary k ur en  po atku antropogenn ho na re im odtoku*. [in:] Sborn k referat  k XVII. sjezdu  SGS, Brno, s. 589–593.
- KAŇOK J., 1988: *Antropogenn  zm ny v odtokov m re imu řeky Olše*. Acta facultatis pedagogicae ostravensis, 112, series E-18, Praha, s. 103–118.
- KAŇOK J., 1990a: *Antropogenn  ovlivn n  velikosti pr tok  w povod  Ostravice*. [in:] *Civiliza n  vlivy w povod  Ostravice*.  PEK  SAV, Ostrava, s. 34–35.
- KAŇOK J., 1990b: *Antropogenn  ovlien n  velikosti pr tok  řek povod  Odry (metody statistick )*. [in:] Sborn k predn šek III.  eskoslovensk ch hydrologick ch dn .  esk  Bud jovice 1.–3 ř jna 1990,  VTS, s. 131–141.
- KAŇOK J., 1992: *D ln  vody jako sou st antropogenn  ovlivn n ho pr tok *. Universitas Ostraviensis Acta Facultatis Rerum Naturalium, 132, Ser. E-22, s. 199–216.
- KAŇOK J., 1994: *Corection Of Rainfalls Out Double Mass Curve Of Influenced Run-off*. Universitas Ostraviensis Acta Facultatis Rerum Naturalium, 137, Geographia-Geologia,  . 4, s. 23–42.
- KAŇOK J., 1997: *Antropogenn  ovlien n  velikosti pr tok  řek povod  Odry po profil Ko le*. Scripta Rerum Naturalium Universitas Ostraviensis, 103, Ostrava, ss. 188.
- KAŇOK J., 1999: *Tematick  kartografie*. Ostravsk  Univerzita, P rirodov deck  Fakulta, Ostrava, ss. 318.
- KAZIMIERCZAK B., KOTOWSKI A., WDWIKOWSKI M., 2014: *Analiza tendenci ro nnych i sezonn ch zmian wysoko ci w dorzeczu Odry*. Ochrona  rodoviska Vol. 36, Nr 3, s. 49–54.
- KENDALL M., 1975: *Multivariate Analysis*. Charles Griffin & Company, London, ss. 210.
- KOLEKTIV AUTOR , 1996: *Vy  i geomorfologick  jednotky  esk  republiky*. Geografick  n zvoslovn  sezany OSN- R.  esk   rad zem m řik  a katastr ln , Praha, ss. 54.
- KONDRACKI J., 2011: *Geografia regionalna Polski*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, ss. 468.
- KOWALCZYK A., 2003: *Formowanie si  zasob w w d podziemnych w utworach w glanowych triasu  lasko-krakowskiego w warunkach antropopresji*. Katowice, Wydawnictwo Uniwersytetu  laskiego, ss. 195.
- KOWALCZYK A., WITKOWSKI A., R ŻKOWSKI A., SZCZEPAŇSKI A., ROGO  M., PRZYBY EK J., STA KO S., 2010: *What Polish mining owes to Polish hydrogeology?* Przegl d Geologiczny, vol. 58, nr 9/1, s. 774–786.
- KOTAS A., 1972: *W niejsze cechy budowy geologicznej GZW na tle pozycji tektonicznej i g bokiego pod oza utwor w produktywnych*. Problemy geodynamiki i t pa . T. 1. Krak w, Komitet G rnicstwa PAN, s. 5–55.
- KOTAS A., 1982: *Zarys budowy geologicznej G rno laskiego Zag bia W glowego*. W: R ŻKOWSKI A., S SARZ J., red.: *Przewodnik 54 Zjazdu Naukowego PTG*. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne, s. 45–72.
- KOTAS A., ed., 1994: *Coal –Bed Methane Potential of the Uppper Silesian Coal Basin, Poland*. Warszawa, Pa stwowo Instytut Geologiczny, s. 81.
- KOTLICKA G.N., 1964: *Zarys ukszaltowania powierzchni podczwartorz dowej G rno lasko*. Przegl d Geologiczny, nr 7–8, s. 304–307.
- KO UCHOWSKI K.,  MUDZKA E., 2001: *Ocieplenie w Polsce. Skala i rozklad sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej po owie XX wieku*. Przegl d Geofizyczny, nr 46, s. 81–90.
- KRAAK M.-J., ORMELING F., 1998: *Kartografia wizualizacja danych przestrzennych*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, ss. 274.
- KROPKA J., 1986: *Warunki hydrogeologiczne dolnego odcinka Bialej Przemyszy w warunkach intensywnego drenazu g rniczego*. W: OSSOWSKI J., red.: *Problemy hydrogeologiczne po udniowo-zachodniej Polski*. Wroc w, Wydawnictwo Politechniki Wroc lskiej, s. 95–199.
- KŘ Ż V., 1981: *Vliv urbanizace a industrializace na vodn  re im ostravsk  pr myslov  oblasti*. Vodo-hospod rsk   asopis 29, SAV, Bratislava, nr 3, s. 256–288.
- KŘ Ż V., 1990: *Rozbor vlivu ostravsk  s deln  a pr myslov  oblasti na re im řek*. [in:] Sborn k predn šek III.  eskoslovensk ch hydrologick ch dn .  esk  Bud jovice 1.–3 ř jna 1990,  VTS, s. 81–88.
- KŘ Ż V., 1997: *Fizyckogeografick  charakteristika povod  horn ho toku Odry na  zem   R*. Universitas Ostraviensis Acta Rerum Naturalium Universitatis Ostraviensis  . 5, s. 7–45.
- KŘ Ż V., SCHNEIDER B., 1993: *Antropogenn  zm ny vodn  bilance ostravsk  pr myslov  oblasti*. Universitas Ostraviensis Acta Facultatis Rerum Naturalium, 136,  . 1, s. 3–19.
- KUNDZEWICZ Z.W., 2014: *Konsekwencje zmian klimatu dla zasob w wodnych*. W: MAGNUSZEWSKI A., red.: *Hydrologia w ochronie i ukszaltowaniu  rodoviska*

- wiska. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, T. 2, Z. 20, s. 7–16.
- KWARCIŃSKI J. i in., 1999: *Atlas Geologiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Mapy węglizależności*. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny, ss. 20.
- LANDERINK G., MEIJGAARD E.V., 2008: *Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes*. *Nature Geoscience* No 1, s. 511–514.
- LI J. TAN S., WEI Z., CHEN F., FENG P., 2014: *A new method of change point detection using variable fuzzy sets under environmental change*. *Water Resources Management* 28, s. 5125–5138.
- ŁYSZCZARZ L., BORCHULSKI Z., 1995: *Oddziaływanie wydobywania węgla kamiennego w Lubelskim Zagłębiu Węglowym na środowisko wodne Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego*. *Człowiek i Środowisko*, 3, 19: 163–184. Warszawa, IGPiK.
- MANN H.B., 1945: *Nonparametric tests against trend*. *Econometrica*, 13, s. 245–259.
- MAKSYMIAK-LACH H., LACH R., CARUK M., 2006: *Wpływ restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego na zasolenie wód powierzchniowych zlewni górnej Wisły*. *Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko* 2/26, s. 91–106.
- MATYSIK M., 2001a: *Antropogeniczne zmiany źródeł w zlewniach Piotrkówki i Szotkówki*. W: *Změny geografického prostředí v pohraničních oblastech hornu slezského a ostravského regionu*. Ostrava, s. 175–180.
- MATYSIK M., 2001b: *Badania naturalnych wypływów wód podziemnych w dorzeczu górnej Odry*. W: *Problemy oczyszczania ścieków i ochrony wód w dorzeczu Odry*. Wrocław, Wydawnictwo Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej we Wrocławiu, s. 329–338.
- MATYSIK M., SMOLAREK W., 2008: *Źródła na obszarze GZM*. W: DULIAS R., HIBSZER A., red.: *Górnośląski Związek Metropolitalny*. PTG oddział Katowicki, Sosnowiec, 50–55.
- MATYSIK M., ABSALON D., 2012: *Renaturalization Plan for a River Valley Subject to High Human Impact – Hydrological Aspects*. *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 21, No. 2, s. 249–257.
- MICHALCZYK Z., 2009: *Średnie i skrajne odpływy z obszaru Polski*. W: BOGDANOWICZ R., FAC-BENEDA J., red.: *Zasoby i ochrona wód. Obieg wody i materii w zlewniach rzecznych*. Gdańsk, Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego, s. 37–46.
- MICHALCZYK Z., CHMIEL S., 2005: *Stan i zmiany stosunków wodnych w rejonie Kopalni Węgla Kamiennego „Bogdanka”*. W: KRZOWSKI Z., red.: *Historia i współczesność górnictwa na terenie Lubelszczyzny*. Kazimierz Dolny n. Wisłą, 7–8 grudnia. Wydawnictwo PLib., Lublin, s. 89–96.
- MICHALCZYK Z., CHMIEL S., CHMIELEWSKI J., TURCZYŃSKI, M., 2007: *Hydrologiczne konsekwencje eksploatacji złoża węgla kamiennego w rejonie Bogdanki (LZW)*. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, nr 422, s. 113–135.
- MORMAN J., CZOP M., 2012: *Antropogeniczne przeobrażenia reżimu hydrogeologicznego rzeki Szotły w południowej części rejonu olkuskiego*. W: *Materiały Sympozjum „Warsztaty 2012 z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie”*, s. 248–258.
- MOTYKA J., WITCZAK S., 1975: *Zasięg drenażu jednej z kopalń piasku podsadzkowego w warunkach zasilania poziomu wodonośnego przez rzekę*. *Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica nr 524, Geologia z. 24*, s. 65–76, Kraków.
- PACZYŃSKI B., red., 1995: *Atlas hydrogeologiczny Polski w skali 1:500 000*. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny, tablic 14.
- PETTITT A.N., 1979: *A non-parametric approach to the change-point problem*. *Applied Statistics*, 28(2), s. 126–135.
- PETTITT A.N., 1980a: *A simple cumulative sum type statistics for the change-point problem with zero-one observations*. *Biometrika*, 67, s. 79–84.
- PETTITT A.N., 1980b: *Some results on estimating a change-point using nonparametric type statistics*. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 11, s. 261–272.
- Plan oblasti povodí Odry 2010–2015, Povodí Odry, Ostrava (<http://www.pod.cz/plan-oblasti-povodi-Odry/>).
- POCIASK-KARTECZKA J., LIMANÓWKA D., NIECKARZ Z., 2002–2003: *Wpływ oscylacji północnoatlantyckiej na przepływy rzek karpaccich (1951–2000)*. *Folia Geographica, Series Geographica Physica*, 33–34, s. 89–104.
- POSYŁEK E., ROGOŹ M., STASZEWSKI B., WILK Z., 2003: *Wpływ działalności górnictwa węgla kamiennego na środowisko wodne*. W: WILK Z., red.: *Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa*. Kraków, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, s. 290–320.

- ROGOŹ M., WILK Z., 2003: *Gospodarka wodami kopalnianymi*. W: WILK Z., red.: *Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa*. Kraków, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, s. 266–289.
- ROWAN F., SWEENEY J., 2005: *Detection of possible change point in atmospheric variability in the North Atlantic and its effect on Scandinavian glacier mass balance*. *International Journal of Climatology*, 25, s. 1819–1833.
- RÓŹKOWSKI A., 1965: *Charakterystyka hydrogeologiczna karbonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Biuletyn Instytutu Geologicznego T. 3: *Z badań hydrogeologicznych w Polsce*. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne, s. 104–154.
- RÓŹKOWSKI A., 1971: *Badania środowiska hydrochemicznego utworów dolnotortońskich w południowo-zachodniej części Zagłębia Górnośląskiego*. Biuletyn Instytutu Geologicznego 249: *Z badań hydrogeologicznych w Polsce*, T. 1, s. 549–553.
- RÓŹKOWSKI A., 1991: *Region krakowsko-śląski. Region górnośląski. Region kędzierzyński*. W: MALINOWSKI J., red.: *Budowa geologiczna Polski*. T. 7: *Hydrogeologia*. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne, s. 157–195.
- RÓŹKOWSKI A., 1996: *Bariery hydrodynamiczne kształtujące warunki hydrogeologiczne w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. W: VI Konferencja „Problemy geologii w ekologii i górnictwie podziemnym”, 9–11 października 1996. Katowice, Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, s. 267–273.
- RÓŹKOWSKI A., 2001: *Przyrodniczy model hydrogeologiczny piętra wodonośnego karbonu produktywnego w GZW*. Współczesne problemy hydrogeologii, T. 10, Wrocław, s. 201–213.
- RÓŹKOWSKI A., 2003: *Warunki hydrogeologiczne Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. W: WILK Z., red.: *Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa*. Kraków, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, s. 57–145.
- RÓŹKOWSKI K., 2004: *Kompleks wodonośny krakowskiej serii piaskowcowej*. W: RÓŹKOWSKI A., red.: *Środowisko hydrogeochemiczne karbonu produktywnego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Katowice, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, s. 89.
- RÓŹKOWSKI A., WILK Z., 1982: *Zagadnienia hydrogeologiczne Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jego północno-wschodniego obrzeżenia*. W: RÓŹKOWSKI A., SŁÓRSZ J., red.: *Przewodnik 54 Zjazdu Naukowego PTG*. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne, s. 72–101.
- RUDZIŃSKA-ZAPAŚNIK T., 1997: *Poziomy wodonośne trzeciorzędu*. W: RÓŹKOWSKI A., CHMURA A., SIEMIŃSKI A., red.: *Użytkowe wody podziemne Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jego obrzeżenia*. Warszawa, Państwowy Instytut Geologiczny, s. 29–33.
- RZĘTAŁA M., 2008: *Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie regionu górnośląskiego*. Katowice, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, ss. 171.
- SAWICKI J., GUTRY-KORYCKA M., 1993: *Wpływ kopalnictwa*. W: DYNOWSKA I., red.: *Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych*. Kraków, Uniwersytet Jagielloński, s. 354–371.
- SOJA R., 2002: *Hydrologiczne aspekty antropopresji w Polskich Karpatach*. *Prace Geograficzne IGIPZ PAN*, 186, 30, ss. 130.
- SOLIK-HELIASZ R., 1992: *Możliwości zwiększenia wykorzystania wód słabo zmineralizowanych z kopalni węgla kamiennego*. W: 4 Konferencja: „Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego”. Szczyrk, 7–10 października 1992 r. Katowice, Wydawnictwo Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa, Polska Akademia Nauk, Główny Instytut Górnictwa, s. 62–197.
- SZUMIŃSKA D., 2014: *Przebieg odpływu w zlewni Wdy na tle zmian intensywności użytkowania wód w drugiej połowie XX wieku*. Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Widecki Park Krajobrazowy, Bydgoszcz, Osie, ss. 175.
- TLAŁKA A., 1979: *Niżówki – warunki powstawania i metody ustalania*. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne* 47, s. 61–87.
- TOMALSKI P., TOMASZEWSKI E., 2015: *Metody, formuły i wzory obliczeniowe zastosowane w pracy*. W: JOKIEL P., red.: *Metody statystyczne w analizach hydrologicznych środkowej Polski*. Łódź, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, s. 215–271.
- TOMASZEWSKI E., 2012: *Wieloletnia i sezonowa dynamika niżówek w rzekach środkowej Polski*. Łódź, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, ss. 263.
- WILGAT T., JANIEC B., MICHALCZYK Z., WOJCIECHOWSKI K., 1987: *Wpływ górnictwa na stosunki wodne w Lubelskim Zagłębiu Węglowym*. W:

- Ekologiczno-gospodarcze problemy rozwoju górnictwa Lubelskiego Zagłębia Węglowego*. NOT, Lublin, s. 37–61.
- WILK Z., 2003: *Zawodnienie kopalń*. W: WILK Z., red.: *Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa*. Kraków, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, s. 200–223.
- WILK Z., ADAMCZYK A.F., NAŁĘCKI T., 1990: *Wpływ działalności górnictwa na środowisko wodne w Polsce*. Warszawa, Wydawnictwo SGGW-AR, ss. 220.
- WITKOWSKI A., 2005: *Contemporary reviews of mine water studies in Europe, part 2: Poland*. In: WOLKESDORFER CH., BOWELL R., eds.: *Contemporary reviews of mine water studies in Europe*. Mine and water and the Environment. Journal International Mine Water Association 24, Springer Verlag, s. 21–24.
- WITKOWSKI A., MOTYKA J., WRÓBEL J., 2003: *Assessment of potential risk of groundwater contamination in areas subjected to the intensive mining drainage. Case Study from Poland – Olkusz Zn-Pb ore mining region*. In: NEL P.J.L eds.: *Mine and water and the Environment*. (Proceedings, 8th International Mine Water Association Congress), Johannesburg, s. 221–234.
- WŁODARCZYK J., OŚRÓDKA L., 1988: *Udział wód obcych w przepływach rzek województwa katowickiego*. Archiwum Ochrony Środowiska T. 1–2, s. 39–53.
- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach 2000–2014: *Stan środowiska w województwie śląskim (raporty 2000–2013)*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Inspekcja ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach, Katowice.
- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Krakowie 2000–2014: *Raport o stanie środowiska w województwie małopolskim (raporty 2000–2013)*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Inspekcja ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Krakowie, Kraków.
- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Opolu 2000–2014: *Stan środowiska w województwie opolskim (raporty 2000–2013)*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Inspekcja ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Opolu, Opole.
- Woś A., 2010: *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku*. Poznań, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Adama Mickiewicza, ss. 489.
- WRZESIŃSKI D., 2009: *Tendencje zmian przepływu rzek Polski w drugiej połowie XX wieku*. Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Seria A – Geografia Fizyczna, 60, s. 147–162.
- WRZESIŃSKI D., 2010a: *Odptyw rzek w Polsce w różnych fazach Oscylacji Północnoatlantyckiej*. Badania Fizjograficzne, Seria A (61), s. 129–144.
- WRZESIŃSKI D., 2010b: *Przestrzenne zróżnicowanie stabilności reżimu odpływu rzek europejskich*. Studia i Prace z Geografii i Geologii, 3, ss. 220.
- WRZESIŃSKI D., 2013: *Entropia odpływu rzek w Polsce*. Studia i Prace z Geografii i Geologii nr 33. Poznań Bogucki wydawnictwo Naukowe, ss. 204.
- WRZESIŃSKI D., 2014: *Detekcja zmian reżimu odpływu rzek w Polsce*. W: CIUPA T., SULIGOWSKI R., red.: *Woda w mieście*. Monografie Komisji Hydrologicznej PTG, 2, s. 319–330.
- WRZESIŃSKI D., 2016: *Zmiany reżimu odpływu rzecznoego w Polsce*. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, z. 39, s. 63–75.

8. Spis rysunków

Ryc. 1. Rozmieszczenie posterunków opadowych i przekrojów wodowskazowych zamykających analizowane zlewnie	13
Ryc. 2. Przykładowy schemat rozdziału podwójnej krzywej kumulacyjnej przy wzroście odpływu i spadku opadów w zlewni (na podstawie: Kańok 1994)	15
Ryc. 3. Przykładowy schemat rozdziału podwójnej krzywej kumulacyjnej przy spadku odpływu i spadku opadów w zlewni (na podstawie: Kańok 1994)	15
Ryc. 4. Położenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na tle mezoregionów wg podziału J. Kondrackiego (polska część GZW) i jednostek geomorfologicznych (czeska część GZW)	19
Ryc. 5. Mapa geologiczna strukturalna karbonu produktywnego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego	20
Ryc. 6. Położenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na tle zlewni Małej Wisły i górnej Odry	23
Ryc. 7. Regionalizacja hydrogeologiczna obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego	27
Ryc. 8. Użytkowanie terenu w zlewniach Odry i Wisły	31
Ryc. 9. Udział procentowy użytkowania terenu w analizowanych zlewniach Odry i Wisły	32
Ryc. 10. Lokalizacja zrzutów wód kopalnianych oraz terenów górniczych czynnych i nieczynnych kopalń na terenie GZW	34
Ryc. 11. Zestawienie wydobywania węgla oraz objętości zrzucanych wód dołowych w latach 1967–2013	37
Ryc. 12. Schemat powiązań między rodzajami deformacji górotworu a skutkami dla stosunków wodnych po podziemnej eksploatacji węgla	41
Ryc. 13. Schemat powiązań wynikających z wpływu odwadniania kopalń węgla kamiennego na stosunki wodne	42
Ryc. 14. Udział wód kopalnianych w średnich rocznych niskich przepływach (SNQ) w latach 1967–2013	45
Ryc. 15. Udział wód kopalnianych w średnich rocznych przepływach (SSQ) w latach 1967–2013	45
Ryc. 16. Zrzut wód kopalnianych do Odry i Wisły w poszczególnych okresach wielolecia 1967–2013	46
Ryc. 17. Zrzut wód kopalnianych do rzek na terenie GZW w latach 1967–2013	47

Ryc. 18. Przebieg SNQ_R , SQ_R i zrzutów wód kopalnianych w latach 1967–2013 w wybranych przekrojach wodowskazowych na terenie GZW w zlewni Wisły	49–53
Ryc. 19. Przebieg SNQ_R , SQ_R i zrzutów wód kopalnianych w latach 1967–2013 w wybranych przekrojach wodowskazowych na terenie GZW w zlewni Odry	55–57
Ryc. 20. Udział wód kopalnianych w średnich rocznych niskich (SNQ_R) i średnich rocznych (SQ_R) przepływach Bytomki w Gliwicach w okresie 1967–2013	58
Ryc. 21. Udział wód kopalnianych w rocznych średnich niskich (SNQ_R) i średnich rocznych (SQ_R) przepływach Brynicy w Szabelni w okresie 1967–2013	59
Ryc. 22. Udział wód kopalnianych w średnich rocznych niskich (SNQ_R) i średnich rocznych (SQ_R) przepływach Pogorii w Dąbrowie Górniczej w okresie 1967–2013	59
Ryc. 23. Roczne sumy opadów oraz linia trendu na posterunku Racibórz w wieloleciu 1961–2013	65
Ryc. 24. Lokalizacja posterunków opadowych i tendencje rocznych sum opadów na terenie GZW	66
Ryc. 25. Przebieg przepływów NQ_R charakteryzujących się ujemnym trendem z maksymalnymi wartościami od początku lat 70. do końca lat 90. XX wieku	72
Ryc. 26. Przebieg przepływów NQ_R charakteryzujących się ujemnym trendem	73
Ryc. 27. Przebieg przepływów NQ_R charakteryzujących się dodatnim trendem	74
Ryc. 28. Przebieg przepływów NQ_R charakteryzujących się brakiem trendu z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1982–1997	75
Ryc. 29. Przestrzenne zróżnicowanie tendencji NQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	76
Ryc. 30. Przebieg przepływów SNQ_R w zlewniach charakteryzujących się ujemnym trendem z maksymalnymi wartościami od początku lat 70. do końca lat 90. XX wieku	78
Ryc. 31. Przebieg przepływów SNQ_R charakteryzujących się ujemnym trendem z maksymalnymi wartościami od początku lat 70. do końca lat 90. XX wieku z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1982–1995	79
Ryc. 32. Przebieg przepływów SNQ_R w zlewniach charakteryzujących się brakiem trendu z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1982–1997	79–80
Ryc. 33. Przebieg przepływów SNQ_R charakteryzujących się ujemnym trendem	81
Ryc. 34. Przebieg przepływów SNQ_R charakteryzujących się dodatnim trendem	81
Ryc. 35. Przestrzenne zróżnicowanie tendencji SNQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	82
Ryc. 36. Przebieg przepływów SQ_R charakteryzujących się ujemnym z trendem z maksymalnymi wartościami od początku lat 70. do początku XXI wieku	84
Ryc. 37. Przebieg przepływów SQ_R charakteryzujących się ujemnym trendem z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1982–1995	85
Ryc. 38. Przebieg przepływów SQ_R charakteryzujących się dodatnim trendem z wyraźnym obniżeniem przepływów w okresie 1978–1996	86
Ryc. 39. Przebieg przepływów SQ_R charakteryzujących się ujemnym trendem	87
Ryc. 40. Przebieg przepływów SQ_R charakteryzujących się brakiem trendu	87
Ryc. 41. Przestrzenne zróżnicowanie tendencji SQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	88

Ryc. 42. Podwójne krzywe kumulacyjne opadów P [mm] i odpływów H [mm] w zlewniach o wyrównanym przebiegu P i H	92
Ryc. 43. Przykładowe podwójne krzywe kumulacyjne opadów P [mm] i odpływów H [mm] w zlewniach będących głównymi odbiornikami wód kopalnianych	93–94
Ryc. 44. Przykładowe podwójne krzywe kumulacyjne opadów P [mm] i odpływów H [mm] w zlewniach będących pod wpływem zbiorników zaporowych	94–95
Ryc. 45. Krzywe kumulacyjne średnich rocznych niskich i średnich przepływów w wieloletciu 1961–2013 w przekrojach: Szotkówka – Gołkowice, Kłodnica – Gliwice, Biała – Czechowice Bestwina	96–97
Ryc. 46. Zmiany wartości NQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	100
Ryc. 47. Zmiany wartości SNQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	102
Ryc. 48. Zmiany wartości SQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	104
Ryc. 49. Przyczyny zmiany wartości NQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	106
Ryc. 50. Przyczyny zmiany wartości SNQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	107
Ryc. 51. Przyczyny zmiany wartości SQ_R w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	108
Ryc. 52. Zróżnicowanie SNq ($dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$) w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	110
Ryc. 53. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk średniego niskiego odpływu jednostkowego w zlewniach dorzecza Odry na terenie GZW	111
Ryc. 54. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk średniego niskiego odpływu jednostkowego w zlewniach dorzecza Wisły na terenie GZW	112
Ryc. 55. Zróżnicowanie średniego odpływu jednostkowego ($dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$) w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	113
Ryc. 56. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk średniego rocznego odpływu jednostkowego w zlewniach dorzecza Odry na terenie GZW	114
Ryc. 57. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk średniego rocznego odpływu jednostkowego w zlewniach dorzecza Wisły na terenie GZW	115
Ryc. 58. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk średniego rocznego współczynnika odpływu (α) w zlewniach dorzecza Odry na terenie GZW	116
Ryc. 59. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk średniego rocznego współczynnika odpływu (α) w zlewniach dorzecza Wisły na terenie GZW	117
Ryc. 60. Zróżnicowanie średniego współczynnika odpływu (α) w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	118
Ryc. 61. Zmiany wartości współczynnika odpływu (α) w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	121
Ryc. 62. Przebieg średniego rocznego współczynnika odpływu (α) oraz stwierdzona zmiana skokowa w przekroju Kłodnica – Kłodnica	122
Ryc. 63. Przebieg średniego rocznego współczynnika odpływu (α) oraz stwierdzona zmiana skokowa w przekroju Brynica – Czeladź	123
Ryc. 64. Przebieg średniego rocznego współczynnika odpływu (α) oraz stwierdzona zmiana skokowa w przekrojach: Wisła – Nowy Bieruń, Odra – Krzyżanowice	124
Ryc. 65. Przebieg średniego rocznego współczynnika odpływu (α) oraz stwierdzona zmiana skokowa w przekrojach: Mleczna – Bieruń Stary, Gostynia – Bojszowy	125

Ryc. 66. Przebieg średniego rocznego współczynnika odpływu (α) oraz stwierdzona zmiana skokowa w przekrojach: Kłodnica – Gliwice, Pogoria – Dąbrowa Górnicza	126
Ryc. 67. Przebieg średniego rocznego współczynnika odpływu (α) oraz stwierdzona zmiana skokowa w przekrojach: Wisła – Pustynia, Biała – Czechowice Bestwina	127
Ryc. 68. Przyczyny zmiany wartości współczynnika odpływu (α) w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	128
Ryc. 69. Zróżnicowanie średniego rocznego w wieloleciu 1961–2013 wskaźnika koncentracji przepływów GMO w zlewniach dorzeczy Wisły i Odry na terenie GZW	130
Ryc. 70. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk wskaźnika koncentracji przepływów (GMO) w zlewniach dorzecza Odry na terenie GZW	131
Ryc. 71. Zróżnicowanie wybranych charakterystyk wskaźnika koncentracji przepływów (GMO) w zlewniach dorzecza Wisły na terenie GZW	131
Ryc. 72. Przebieg średnich miesięcznych przepływów w wieloleciu 1961–2013 w wybranych zlewniach charakteryzujących się średnim GMO poniżej 9 i będących odbiornikami wód kopalnianych	132
Ryc. 73. Przebieg średnich miesięcznych przepływów z wielolecia 1961–2013 w wybranych zlewniach charakteryzujących się średnim GMO w przedziale 9–10 i będących odbiornikami wód kopalnianych	133
Ryc. 74. Przebieg średnich miesięcznych przepływów z wielolecia 1961–2013 w wybranych zlewniach charakteryzujących się GMO powyżej 10 i będących odbiornikami wód kopalnianych	133
Ryc. 75. Przebieg wskaźnika koncentracji (GMO) w wieloleciu 1961–2013 w wybranych zlewniach charakteryzujących się średnim GMO poniżej 9 i będących odbiornikami wód kopalnianych	134
Ryc. 76. Przebieg wskaźnika koncentracji (GMO) w wieloleciu 1961–2013 w wybranych zlewniach charakteryzujących się średnim wskaźnikiem GMO w przedziale 9–10 i będących odbiornikami wód kopalnianych	135
Ryc. 77. Przebieg wskaźnika koncentracji (GMO) w wieloleciu 1961–2013 w wybranych zlewniach charakteryzujących się GMO powyżej 10 i będących odbiornikami wód kopalnianych	136

Spis tabel

Tab. 1. Zestawienie zbiorników zaporowych na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego	24
Tab. 2. Przekroje wodowskazowe oraz wybrane charakterystyki przepływów w okresie 1961–2005	25–26
Tab. 3. Zestawienie zrzutów i objętości wód kopalnianych	39
Tab. 4. Podstawowe charakterystyki opadów w okresie 1961–2013	61
Tab. 5. Roczne współczynniki nadmiaru/niedoboru opadu (nP) w analizowanych zlewniach w okresie 1961–2013	62–65
Tab. 6. Trendy rocznych sum opadów atmosferycznych na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w wieloleciu 1961–2013 oraz ocena zmian skokowych za pomocą testu Pettitta	67
Tab. 7. Tendencje zmian rocznych: niskich, średnich niskich i średnich przepływów	69–71

Tab. 8. Zmiany wartości niskich rocznych przepływów w zlewniach objętych zmianami skokowymi	99
Tab. 9. Zmiany wartości średnich rocznych niskich przepływów w zlewniach objętych zmianami skokowymi	101
Tab. 10. Zmiany wartości średnich rocznych przepływów w zlewniach objętych zmianami skokowymi	105
Tab. 11. Zmiany wartości średniego rocznego współczynnika odpływu α w zlewniach objętych zmianami skokowymi	120

Spis fotografii

Fot. 1. Zrzut wód kopalnianych do Nacyny	35
Fot. 2. Zrzut wód kopalnianych oraz ujście Szarlejki do Brynicy poniżej przekroju wodowskazowego Namiarki	36
Fot. 3. A. Kopalnia piasków czwartorzędowych Maczki – Bór – w wyeksploatowanym wyrobisku składowana jest skała płonna. B. Zrzut wód z odwodnienia kopalni Maczki – Bór do Białej Przemszy	38
Fot. 4. Końcowy odcinek kolektora „Olza”, odprowadzającego zasolone wody kopalniane do Odry	40
Fot. 5. Przeobrażenie doliny Szarlejki przez składowanie skały płonnej. Fragment „rozregulowanego” koryta rzeki w wyniku działań prowadzących do renturyzacji rzeki Szarlejki	43
Fot. 6. Zmiany położenia ujściowego odcinka rzeki Białej na terenie Przedsiębiorstwa Górniczego „SILESIA” oraz zbiornik retencyjno-dozujący wody kopalniane „Kaniów”	48

9. Załączniki

Załącznik 1. Podstawowe statystyki szeregów średnich rocznych (SQ_R) i średnich niskich rocznych (SNQ_R) przepływów w wieloleciu 1961–2013

	Średnia Mean	Mediana Median	Średnia geometryczna Geometricmean	Maksimum Maximum	Minimum Minimum	Przedział zmienności max-min Range	Odchylenie standardowe Standard deviation	Kurtzoza (Pearson) Kurtosis (Pearson)	Asymetria (skośność Pearson) Skewness (Pearson)	Współczynnik zmienności Cv Variationcoefficient
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dorzecze Odry SNQ										
Odra – Chałupki	18,73	18,71	18,25	30,75	10,36	20,39	4,19	0,09	0,23	0,22
Odra – Krzyżanowice	27,07	27,21	26,48	43,81	15,15	28,65	5,62	0,34	0,32	0,21
Odra – Miedonia	31,04	31,34	30,42	48,25	17,63	30,62	6,18	0,10	0,26	0,20
Piotrówka – Zebrzydowice ¹	0,28	0,24	0,25	0,67	0,08	0,59	0,14	0,60	1,09	0,50
Szotkówka – Gołkowice ²	1,96	1,97	1,92	1,19	2,60	1,41	0,38	-0,93	-0,28	0,20
Nacyna – Rybnik ³	0,52	0,52	0,51	0,85	0,30	0,55	0,11	0,68	0,51	0,22
Ruda – Ruda Kozielska	1,84	1,77	1,76	3,38	0,91	2,47	0,57	-0,16	0,47	0,31
Bierawka – Tworóg Mały ⁴	1,02	1,01	1,01	1,64	0,73	0,90	0,17	2,02	0,99	0,17
Bytomka – Gliwice	1,96	1,97	1,92	2,60	1,19	1,41	0,38	-0,93	-0,28	0,20
Kłodnica – Kłodnica	0,61	0,59	0,59	1,20	0,28	0,91	0,17	1,46	0,81	0,28
Kłodnica – Gliwice	4,26	4,42	4,16	6,30	2,45	3,84	0,90	-0,72	-0,05	0,21
Kłodnica – Lenartowice	4,01	4,00	3,77	7,16	1,16	6,00	1,29	0,18	0,09	0,32
Dorzecze Wisły SNQ										
Wisła – Skoczów	1,73	1,69	1,66	0,79	0,80	2,19	0,47	0,15	0,54	0,27
Wisła – Jawiszowice	4,27	4,13	4,16	2,30	6,61	4,31	0,99	0,05	0,57	0,23
Wisła – Nowy Bieruń ⁵	9,60	9,22	9,43	14,62	5,10	9,52	1,92	0,37	0,53	0,20
Wisła – Pustynia ⁶	26,55	26,08	26,09	35,57	18,50	17,07	4,89	-1,05	0,10	0,18
Biała – Czechowice Bestwina	1,54	1,63	1,43	2,72	0,55	2,17	0,57	-0,89	0,11	0,37
Pszczynka – Pszczyna	0,48	0,40	0,44	1,03	0,18	0,85	0,21	0,27	1,00	0,43
Mleczna – Bieruń Stary ⁷	0,88	0,85	0,87	1,23	0,58	0,65	0,14	0,14	0,69	0,16
Gostynia – Bojszowy	1,71	1,74	1,66	2,52	0,75	1,77	0,40	-0,61	-0,24	0,23
Czarna Przemsza – Przeczyce	1,15	1,06	1,08	2,06	0,41	1,66	0,39	-0,46	0,42	0,34

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pogoria – Dąbrowa Górnicza	0,80	0,82	0,76	1,30	0,39	0,91	0,24	-0,72	0,15	0,31
Brynica – Namiarki	0,36	0,26	0,29	0,94	0,07	0,87	0,24	-0,06	1,09	0,68
Brynica – Czeladź ⁸	1,48	1,43	1,38	2,74	0,46	2,28	0,52	-0,40	0,31	0,35
Brynica – Szabelnia	4,05	4,07	3,90	6,53	2,31	4,23	1,09	-0,60	0,19	0,27
Czarna Przemsza – Radocha	3,00	2,85	2,89	5,39	1,36	4,03	0,81	0,37	0,61	0,27
Bobrek – Niwka	0,93	0,87	0,88	1,60	0,35	1,25	0,30	-0,66	0,48	0,33
Biała Przemsza – Niwka	6,51	6,57	6,37	9,80	4,43	5,36	1,34	-0,96	0,18	0,21
Przemsza – Jeleń	15,87	15,44	15,70	22,01	11,59	10,42	2,38	-0,70	0,45	0,15
Dorzecze Odry SQ										
Odra – Chałupki	43,88	41,50	42,02	87,30	22,40	64,90	13,39	1,79	1,09	0,31
Odra – Krzyżanowice	58,67	57,80	56,50	112,00	31,50	80,50	16,51	1,34	0,91	0,28
Odra – Miedonia	66,59	66,00	64,22	124,00	36,90	87,10	18,46	1,60	1,01	0,28
Piotrówka – Zebrzydowice ¹	1,14	1,09	1,09	2,23	0,55	1,68	0,34	1,27	0,97	0,30
Szotkówka – Gołkowice ²	1,33	1,30	1,28	2,63	0,82	1,81	0,37	1,01	0,80	0,28
Nacyna – Rybnik ³	0,79	0,75	0,78	1,08	0,49	0,59	0,14	-0,71	0,23	0,18
Ruda – Ruda Kozielska	3,10	2,96	2,97	5,83	1,76	4,07	0,89	0,24	0,56	0,29
Bierawka – Tworóg Mały ⁴	1,85	1,84	1,79	3,33	1,22	2,11	0,51	1,26	1,16	0,27
Bytomka – Gliwice	2,45	2,49	2,41	3,41	1,53	1,88	0,45	-0,50	-0,08	0,18
Kłodnica – Kłodnica	0,92	0,92	0,88	1,91	0,37	1,54	0,28	1,79	0,80	0,30
Kłodnica – Gliwice	6,05	6,06	5,92	9,74	3,65	6,09	1,26	-0,02	0,30	0,21
Kłodnica – Lenartowice	6,62	6,34	6,33	11,10	2,58	8,52	1,90	-0,14	0,28	0,29
Dorzecze Wisły SQ										
Wisła – Skoczów	6,21	6,07	6,03	11,00	3,48	7,52	1,51	0,41	0,58	0,24
Wisła – Jawiszowice	12,72	12,00	11,94	28,60	5,19	23,41	4,56	0,98	0,78	0,36
Wisła – Nowy Bieruń ⁵	21,42	21,70	20,50	43,00	9,56	33,44	6,33	0,96	0,64	0,30
Wisła – Pustynia ⁶	43,35	41,90	42,20	68,80	27,80	41,00	10,08	-0,47	0,45	0,23
Biała – Czechowice Bestwina	3,14	2,96	3,00	4,87	1,44	3,43	0,89	-0,89	0,21	0,28

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pszczynka – Pszczyna	1,44	1,42	1,35	2,65	0,47	2,18	0,49	-0,71	0,30	0,34
Mleczna – Bieruń Stary ⁷	1,34	1,30	1,31	2,05	0,86	1,19	0,29	-0,62	0,57	0,22
Gostynia – Bojszowy	3,39	3,29	3,31	5,60	2,21	3,40	0,75	-0,14	0,52	0,22
Czarna Przemsza – Przeczyce	1,43	1,42	1,35	2,65	0,47	2,18	0,49	-0,71	0,31	0,34
Pogoria – Dąbrowa Górnicza	1,10	1,13	1,07	1,70	0,59	1,11	0,26	-0,35	-0,06	0,24
Brynica – Namiarki	0,70	0,51	0,55	2,52	0,13	2,39	0,52	1,56	1,42	0,74
Brynica – Czeladź ⁸	2,13	1,98	2,00	4,46	0,79	3,68	0,76	0,66	0,81	0,36
Brynica – Szabelnia	5,34	5,22	5,22	8,09	3,53	4,56	1,14	-0,60	0,26	0,21
Czarna Przemsza – Radocha	4,34	4,19	4,17	7,87	2,25	5,62	1,22	-0,22	0,34	0,28
Bobrek – Niwka	1,19	1,18	1,14	1,96	0,47	1,49	0,36	-0,54	0,49	0,30
Biała Przemsza – Niwka	7,53	7,50	7,35	11,55	4,76	6,79	1,66	-0,94	0,07	0,22
Przemsza – Jeleń	19,23	18,80	18,97	26,68	14,20	12,48	3,19	-0,91	0,37	0,17

Załącznik 2. Podstawowe statystyki szeregów średnich (Sq) i średnich niskich rocznych (SNq) odpływów jednostkowych w wieloleciu 1961–2013

	Średnia Mean	Mediana Median	Średnia geometryczna Geometricmean	Maksimum Maximum	Minimum Minimum	Przedział zmienności max-min Range	Odchylenie standardowe Standard deviation	Kurtoza (Pearson) Kurtosis (Pearson)	Asymetria (skośność Pearson) Skewness (Pearson)	Współczynnik zmienności Cv Variationcoefficient
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dorzecze Odry SNq										
Odra – Chałupki	4,01	4,01	3,91	6,59	2,22	4,37	0,90	0,09	0,23	0,22
Odra – Krzyżanowice	4,61	4,63	4,51	7,46	2,58	4,88	0,96	0,34	0,32	0,21
Odra – Miedonia	4,60	4,65	4,51	7,15	2,61	4,54	0,92	0,10	0,26	0,20
Piotrówka – Zebrzydowice ¹	3,92	3,50	3,75	7,07	1,96	5,10	1,18	-0,34	0,64	0,30
Szotkówka – Gołkowice ²	8,27	8,21	8,06	11,71	5,08	6,63	1,85	-1,12	0,06	0,22
Nacyna – Rybnik ³	8,28	8,18	8,10	13,35	4,66	8,69	1,73	0,66	0,65	0,21
Ruda – Ruda Kozielska	4,83	4,62	4,59	8,85	2,39	6,46	1,50	-0,16	0,47	0,31

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bierawka – Tworóg Mały ⁴	4,60	4,65	4,52	7,15	2,81	4,35	0,85	0,65	0,47	0,19
Bytomka – Gliwice	14,39	14,42	14,10	19,07	8,74	10,33	2,81	-0,93	-0,28	0,20
Kłodnica – Kłodnica	8,35	8,10	8,04	16,39	3,90	12,49	2,31	1,46	0,81	0,28
Kłodnica – Gliwice	9,60	9,95	9,38	14,18	5,53	8,65	2,03	-0,72	-0,05	0,21
Kłodnica – Lenartowice	3,81	3,79	3,58	6,79	1,10	5,69	1,23	0,18	0,09	0,32
Dorzecze Wisły SNq										
Wisła – Skoczów	5,82	5,68	5,60	10,05	2,68	7,37	1,59	0,15	0,54	0,27
Wisła – Jawiszowice	4,40	4,26	4,29	6,81	2,37	4,44	1,02	0,05	0,57	0,23
Wisła – Nowy Bieruń ⁵	5,50	5,27	5,40	8,36	2,92	5,45	1,10	0,37	0,53	0,20
Wisła – Pustynia ⁶	6,79	6,67	6,67	9,09	4,73	4,36	1,25	-1,05	0,10	0,18
Biała – Czechowice Bestwina	13,05	13,74	12,09	23,01	4,66	18,36	4,79	-0,89	0,11	0,37
Pszczynka – Pszczyna	2,58	2,25	2,37	5,58	0,99	4,58	1,11	0,27	1,00	0,43
Mleczna – Bieruń Stary ⁷	7,24	6,97	7,16	10,13	4,76	5,37	1,16	0,21	0,71	0,16
Gostynia – Bojszowy	7,88	7,35	7,44	13,46	2,94	10,52	2,65	-0,76	0,49	0,34
Czarna Przemsza – Przeczyce	3,85	3,55	3,63	6,91	1,37	5,55	1,29	-0,46	0,42	0,34
Pogoria – Dąbrowa Górnicza	21,27	21,87	20,23	34,85	10,39	24,46	6,49	-0,69	0,18	0,31
Brynica – Namiarki	1,72	1,27	1,38	4,48	0,35	4,13	1,18	-0,07	1,09	0,69
Brynica – Czeladź ⁸	4,04	3,92	3,78	7,51	1,27	6,24	1,40	-0,35	0,33	0,35
Brynica – Szabelnia	8,39	8,44	8,08	13,53	4,78	8,76	2,26	-0,60	0,19	0,27
Czarna Przemsza – Radocha	5,76	5,54	5,55	10,35	2,61	7,74	1,56	0,35	0,61	0,27
Bobrek – Niwka	7,88	7,35	7,44	13,46	2,94	10,52	2,65	-0,76	0,49	0,34
Biała Przemsza – Niwka	7,44	7,50	7,28	11,34	5,06	6,28	1,55	-0,91	0,21	0,21
Przemsza – Jeleń	7,95	7,74	7,86	11,03	5,81	5,22	1,19	-0,70	0,45	0,15
Dorzecze Odry Sq										
Odra – Chałupki	9,41	8,91	9,01	18,70	4,81	13,90	2,87	1,78	1,09	0,30
Odra – Krzyżanowice	9,99	9,84	9,62	19,06	5,36	13,70	2,81	1,34	0,91	0,28
Odra – Miedonia	9,87	9,79	9,52	18,39	5,47	12,92	2,74	1,60	1,01	0,28

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Piotrówka – Zebrzydowice ¹	9,78	9,29	9,40	19,46	4,80	14,66	2,88	1,61	1,10	0,29
Szotkówka – Gołkowice ²	13,09	12,83	12,60	25,96	8,09	17,87	3,69	1,01	0,80	0,28
Nacyna – Rybnik ³	12,45	12,33	12,26	16,94	7,64	9,30	2,15	-0,59	0,16	0,17
Ruda – Ruda Kozielska	8,11	7,75	7,78	15,27	4,61	10,66	2,33	0,24	0,56	0,29
Bierawka – Tworóg Mały ⁴	13,51	13,19	12,98	26,52	8,01	18,52	3,88	1,00	0,77	0,29
Bytomka – Gliwice	17,98	18,24	17,67	24,98	11,21	13,77	3,28	-0,50	-0,08	0,18
Kłodnica – Kłodnica	12,63	12,62	12,05	26,20	5,08	21,12	3,83	1,79	0,80	0,30
Kłodnica – Gliwice	13,62	13,65	13,32	21,94	8,22	13,72	2,84	-0,02	0,30	0,21
Kłodnica – Lenartowice	6,28	6,01	6,00	10,53	2,45	8,08	1,80	-0,14	0,28	0,29
Dorzecze Wisły Sq										
Wisła – Skoczów	20,94	20,46	20,34	37,07	11,73	25,35	5,10	0,41	0,58	0,24
Wisła – Jawiszowice	13,11	12,36	12,30	29,47	5,35	24,12	4,70	0,98	0,78	0,36
Wisła – Nowy Bieruń	12,26	12,42	11,73	24,60	5,47	19,13	3,62	0,96	0,64	0,30
Wisła – Pustynia ⁶	11,08	10,74	10,79	17,54	7,09	10,45	2,57	-0,48	0,45	0,23
Biała – Czechowice Bestwina	26,50	25,00	25,40	41,17	12,17	28,99	7,54	-0,89	0,21	0,28
Pszczynka – Pszczyna	7,76	7,68	7,28	14,33	2,56	11,77	2,68	-0,71	0,30	0,34
Mleczna – Bieruń Stary ⁷	10,97	10,60	10,72	16,84	7,07	9,78	2,39	-0,57	0,58	0,22
Gostynia – Bojszowy	9,99	9,92	9,55	16,48	3,93	12,56	3,01	-0,54	0,49	0,30
Czarna Przemsza – Przeczyce	6,63	6,50	6,07	12,03	1,44	10,58	2,51	-0,56	0,08	0,38
Pogoria – Dąbrowa Górnicza	29,44	30,03	28,57	45,66	15,82	29,84	6,88	-0,32	-0,04	0,23
Brynica – Namiarki	3,23	2,36	2,55	11,58	0,61	10,97	2,38	1,51	1,41	0,74
Brynica – Czeladź ⁸	5,82	5,43	5,47	12,22	2,15	10,07	2,07	0,68	0,83	0,36
Brynica – Szabelnia	11,09	10,82	10,85	16,77	7,32	9,45	2,34	-0,54	0,25	0,21
Czarna Przemsza – Radocha	8,34	8,06	8,01	15,04	4,31	10,72	2,34	-0,25	0,34	0,28
Bobrek – Niwka	9,99	9,92	9,55	16,48	3,93	12,56	3,01	-0,54	0,49	0,30
Biała Przemsza – Niwka	8,60	8,56	8,38	13,18	5,43	7,75	1,89	-0,94	0,07	0,22
Przemsza – Jeleń	17,98	18,24	17,67	24,98	11,21	13,77	3,28	-0,50	-0,08	0,18

Załącznik 3. Podstawowe statystyki szeregów średniego rocznego współczynnika odpływu (α) w wieloleciu 1961–2013

	Średnia Mean	Mediana Median	Średnia geometryczna Geometricmean	Maksimum Maximum	Minimum Minimum	Przedział zmienności max–min Range	Odchylenie standardowe Standard deviation	Kurtoza (Pearson) Kurtosis (Pearson)	Asymetria (skośność Pearson) Skewness (Pearson)	Współczynnik zmienności Cv Variationcoefficient
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dorzecze Odry SQ α										
Odra – Chałupki	0,453	0,441	0,444	0,693	0,255	0,438	0,09	-0,053	0,355	0,199
Odra – Krzyżanowice	0,482	0,466	0,474	0,687	0,298	0,389	0,09	-0,301	0,347	0,182
Odra – Miedonia	0,485	0,492	0,478	0,699	0,296	0,403	0,081	0,103	0,062	0,166
Piotrówka – Zebrzydowice ¹	0,377	0,376	0,371	0,510	0,232	0,278	0,064	-0,322	-0,169	0,170
Szotkówka – Gołkowice ²	0,648	0,609	0,622	1,211	0,369	0,842	0,186	0,012	0,594	0,288
Nacyna – Rybnik ³	0,548	0,543	0,535	0,879	0,336	0,543	0,124	0,571	0,755	0,226
Ruda – Ruda Kozielska	0,351	0,359	0,343	0,538	0,224	0,314	0,076	-0,756	0,139	0,216
Bierawka – Tworóg Mały ⁴	0,628	0,630	0,611	1,068	0,408	0,660	0,150	0,013	0,495	0,238
Bytomka – Gliwice	0,803	0,798	0,784	1,093	0,484	0,609	0,171	-1,086	-0,013	0,212
Kłodnica – Kłodnica	0,547	0,531	0,528	1,087	0,258	0,829	0,146	1,853	0,820	0,267
Kłodnica – Gliwice	0,603	0,590	0,592	0,857	0,355	0,502	0,118	-0,614	0,100	0,195
Kłodnica – Lenartowice	0,293	0,290	0,283	0,457	0,137	0,320	0,074	-0,379	0,086	0,252
Dorzecze Wisły SQ α										
Wisła – Skoczów	0,699	0,714	0,688	0,947	0,398	0,549	0,116	-0,171	-0,211	0,166
Wisła – Jawiszowice	0,503	0,512	0,489	0,727	0,288	0,439	0,116	-0,820	-0,040	0,230
Wisła – Nowy Bieruń	0,499	0,504	0,489	0,703	0,302	0,401	0,095	-0,590	-0,206	0,191
Wisła – Pustynia ⁶	0,504	0,495	0,496	0,673	0,311	0,362	0,087	-0,752	-0,127	0,173
Biała – Czechowice Bestwina	0,850	0,838	0,826	1,276	0,485	0,791	0,204	-0,923	0,196	0,240
Pszczynka – Pszczyna	0,311	0,312	0,298	0,470	0,119	0,351	0,084	-0,959	-0,100	0,271
Mleczna – Bieruń Stary ⁷	0,457	0,435	0,447	0,693	0,313	0,379	0,096	-0,759	0,375	0,210
Gostynia – Bojszowy	0,424	0,379	0,404	0,836	0,210	0,626	0,136	0,164	0,780	0,321
Czarna Przemsza – Przeczyce	0,289	0,291	0,268	0,533	0,061	0,473	0,099	-0,218	-0,008	0,344

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Pogoria – Dąbrowa Górnicza	0,643	0,650	0,612	1,230	0,302	0,929	0,205	0,499	0,667	0,318
Brynica – Namiarki	0,137	0,104	0,113	0,371	0,032	0,339	0,090	0,325	1,119	0,655
Brynica – Czeladź ⁸	0,263	0,255	0,250	0,426	0,107	0,319	0,081	-0,625	0,218	0,307
Brynica – Szabelnia	0,472	0,466	0,458	0,851	0,305	0,546	0,117	1,352	1,089	0,248
Czarna Przemsza – Radocha	0,347	0,358	0,338	0,525	0,195	0,330	0,075	-0,144	0,018	0,216
Bobrek – Niwka	0,424	0,379	0,404	0,836	0,210	0,626	0,136	0,164	0,780	0,321
Biała Przemsza – Niwka	0,362	0,355	0,354	0,518	0,218	0,300	0,073	-0,748	0,283	0,203
Przemsza – Jeleń	0,439	0,441	0,432	0,689	0,302	0,387	0,078	0,568	0,588	0,178

Załącznik 4. Podstawowe statystyki szeregów wskaźnika koncentracji przepływów GMO_{sq} w latach 1961–2013

	Średnia Mean	Mediana Median	Średnia geometryczna Geometricmean	Maksimum Maximum	Minimum Minimum	Przedział zmienności max-min Range	Odchylenie standardowe Standard deviation	Kurtoza (Pearson) Kurtosis (Pearson)	Asymetria (skośność Pearson) Skewness (Pearson)	Współczynnik zmienności Cv Variationcoefficient
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dorzecze Odry GMO_{sq}										
Odra – Chałupki	12,24	11,46	12,02	25,48	8,66	16,82	2,61	10,38	2,65	0,21
Odra – Krzyżanowice	11,64	10,91	11,44	25,23	8,79	16,44	2,47	14,81	3,21	0,21
Odra – Miedonia	11,60	10,98	11,42	23,17	8,85	14,32	2,26	10,53	2,62	0,20
Piotrówka – Zebrzydowice ¹	12,44	12,20	12,20	24,29	8,97	15,32	2,68	5,77	1,90	0,22
Szotkówka – Gołkowice ²	9,80	9,21	9,67	21,47	8,42	13,05	1,95	22,40	4,32	0,20
Nacyna – Rybnik ³	8,98	8,64	8,90	17,05	8,37	8,67	1,48	24,47	5,03	0,17
Ruda – Ruda Kozielska	9,73	9,50	9,68	13,86	8,50	5,36	1,03	4,13	1,88	0,11
Bierawka – Tworóg Mały ⁴	10,46	10,07	10,31	20,91	8,41	12,50	2,04	12,91	3,13	0,20
Bytomka – Gliwice	8,68	8,58	8,67	10,18	8,35	1,84	0,36	6,79	2,38	0,04
Kłodnica – Kłodnica	9,88	9,18	9,74	22,38	8,40	13,98	2,06	22,96	4,36	0,21
Kłodnica – Gliwice	9,22	9,04	9,20	12,41	8,38	4,03	0,77	7,85	2,57	0,08

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Kłodnica – Lenartowice	9,45	9,26	9,42	11,53	8,49	3,04	0,72	-0,19	0,68	0,08
Dorzecze Wisły GMO _{sq}										
Wisła – Skoczów	13,54	12,77	13,29	22,50	9,78	12,72	2,72	1,05	1,06	0,20
Wisła – Jawiszowice	12,43	11,92	12,20	26,21	8,94	17,27	2,72	10,44	2,65	0,22
Wisła – Nowy Bieruń ⁵	11,39	10,96	11,19	21,67	8,59	13,08	2,35	6,42	2,21	0,21
Wisła – Pustynia ⁶	9,91	9,44	9,82	15,90	8,43	7,47	1,48	4,93	2,10	0,15
Biała – Czechowice Bestwina	11,22	10,12	10,93	23,16	8,62	14,54	2,93	5,60	2,30	0,26
Pszczynka – Pszczyna	13,13	12,43	12,85	27,33	8,51	18,82	2,95	7,84	2,06	0,22
Mleczna – Bieruń Stary ⁷	9,70	9,14	9,58	20,98	8,35	12,62	1,88	22,27	4,23	0,19
Gostynia – Bojszowy	9,68	9,35	9,62	12,43	8,36	4,07	1,07	0,12	0,94	0,11
Czarna Przemsza – Przeczyce	10,83	10,23	10,63	20,22	8,39	11,82	2,34	5,28	2,21	0,22
Pogoria – Dąbrowa Górnicza	8,55	8,49	8,55	9,28	8,34	0,94	0,19	2,68	1,48	0,02
Brynica – Namiarki	12,25	10,62	11,59	39,19	8,40	30,79	5,10	12,90	3,24	0,42
Brynica – Czeladź ⁸	9,19	8,93	9,15	12,40	8,40	4,00	0,82	3,22	1,72	0,09
Brynica – Szabelnia	8,71	8,55	8,70	10,48	8,34	2,14	0,44	4,53	2,08	0,05
Czarna Przemsza – Radocha	9,53	9,31	9,49	13,31	8,36	4,95	0,91	3,55	1,53	0,10
Bobrek – Niwka	8,90	8,68	8,86	14,68	8,35	6,33	0,91	28,03	4,94	0,10
Biała Przemsza – Niwka	8,57	8,50	8,56	9,23	8,34	0,89	0,22	1,78	1,55	0,03
Przemsza – Jeleń	8,63	8,59	8,63	9,76	8,34	1,42	0,27	4,59	1,94	0,03

Objaśnienia:

Piotrówka – Zebrzydowice¹ – 1962–1980, 1982–2012, 2013Szotkówka – Gołkowice² – 1963–2013Nacyna – Rybnik³ – 1979–1983, 1986–2012Bierawka – Tworóg Mały⁴ – 1969–2013Wisła – Nowy Bieruń⁵ SNQ – 1962–2013Wisła – Pustynia⁶ – 1971–2013Mleczna – Bieruń Stary⁷ – 1961–1963, 1965–2013Brynica – Czeladź⁸ – 1961–1989, 1991–2013

The impact of mine water discharges on the runoff of the rivers of the Upper Silesian Coal Basin

Summary

Key word: Upper Silesian Coal Basin, mine water, runoff, regime river, human impact

Mining activity is an important factor that modifies the outflow of surface water in the area of the Upper Silesian Coal Basin. At the peak period of coal mining in the USCB, there were 83 points of discharging mine water from hard coal mines to the surface hydrographic network. Currently, in this area there are 64 discharge points: 23 in the Polish and 8 in the Czech part of the Odra basin, and 33 in the Vistula basin. The following rivers are the major 'receivers' of the discharged mine water: the Odra, the Ruda with the Nacyna, the Bierawka, the Kłodnica with the Bytomka, the Czarna Przemsza, the Pogoria, the Brynica, the Biała Przemsza with the Bobrek, the Przemsza, the Mleczna, the Gostynia and the Vistula. In the period of 1967–2013, on average $10.39 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ of the mine water coming from the drainage of the hard coal mines in the USCB was discharged to the rivers; $2.46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ of which was discharged to the Odra, whereas $7.94 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ to the Vistula. The volume of the discharged mine water reached its maximum in the years of 1985–1988. The average volume of the discharged mine water at that time was $14.19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; $11.03 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ of which was discharged to the Vistula basin, and $3.16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ to the Odra basin.

The process of restructuring the mining industry initiated in 1989 resulted in a systematic reduction of the volume of the discharged mine water. The quantity of the discharged mine water decreased by 26% in relation to the peak period of the discharge in the years of 1977–1989. The catchment of the Bytomka is an exception, since there was an increase in the volume of the discharged mine water.

The largest volume of the mine water was discharged into the Przemsza basin ($6.66 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ on average). In the Odra basin, the greatest amount of the

mine water was discharged to the Kłodnica. Its mean volume amounted to $1.05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

The greatest portion of mine water in the flow was characteristic of the Brynica in Czeladź, where the average portion of mine water in SNQ was 61%, whereas in SSQ – 43%. Periodically, as much as 100% portion of mine water in the average annual low flow was recorded, i.e. in dry periods and during the maximum intake of water from 'Kozłowa Góra' reservoir, which is located above this section. The river flow consisted merely of mine water. A big portion of mine water is also characteristic of the Biała Przemsza, wherein mine water amounts to more than 50% of the average annual low flow, and accounts for 46% of the average annual flow. In the case of the Mleczna, the Gostynia, the Przemsza, the Pogoria, the Brynica (Szabelnia), the Bytomki and the Vistula (Pustynia), the volume of mine water in the average annual low and medium flows amounts to over 20%. The lowest portion of mine water, i.e. not exceeding 10% in SNQ_R and SQ_R , is characteristic of: the Vistula in Jawiszowice and Nowy Bieruń, the Czarna Przemsza in the cross section of the Radocha, and the Odra in the cross-sections of Krzyżanowice and Miedonia.

The research into the impact of mine water on the runoff of the rivers carried out in the 1980s by, among others, A.T. Jankowski (1986, 1988), S. Czaja (1988, 1999), S. Czaja and A.T. Jankowski (1986, 1991b, 1992, 1993), J. Włodarczyk and L. Ośródka (1988), I. Hołda and L. Ośródka (1989), I. Hołda and M. Wojtylak (1991) revealed that the river flows increased as a result of the discharge of mine water into the local water system. In the flows of, among others, the Brynica, the Przemsza, the Gostynia, the Mleczna, the Bytomka, the Kłodnica and the Szotkówka generally growing trends were observed, especially in the 1970s. The process of stabilization took place in the next decade. The re-

searchers observed that the impact of hydrometeorological factors on the runoff regime of these rivers was constantly decreasing while the portion of other waters in the outflow was increasing. What can illustrate the situation is the example of the Szotkówka, which was the largest receiver of other waters at that time – their portion in the runoff amounted to 66% (Włodarczyk, Ośródka, 1988; Hołda, Ośródka, 1989). The prognosis by A.T. Jankowski (1986) for an increase in the volume of mine water discharged to the Szotkówka turned out to be wrong, since as the result of the restructuring of the gas industry the volume of mine water decreased, and thus the flows of the Szotkówka ‘returned’ to the values from the period before their increase in the early 1970s.

The prognosis from the 1980s also assumed an increase in the volume of mine water discharged into the catchments of the Brynica, the Czarna Przemsza and the Biała Przemsza by about $0.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. According to S. Czaja and A.T. Jankowski (1991), it was not to bring about an increase in the overall volume of other waters in the river water, due to the cessation of dewatering zinc and lead ore mines. The closure of mines and the reduction of coal mining resulted in the reduction of the volume of the discharged mine water. In the Vistula basin this decrease equalled 25%, whereas in the Odra basin it was 30% in comparison to the peak period of coal mining in the years of 1977–1989.

A significant change in the flows, which can be associated with the reduction of the discharge of underground water, took place within the Pogoria catchment. The volume of the flow evidently decreased in 1989, i.e. at the very beginning of the restructuring period. At that time, the discharge of mine water was reduced by half. This resulted in the decrease of the annual NQ_R and SNQ_R in the years of 1990–2013. In turn, the drop of the annual average flows, which may be correlated with a further decrease in the volume of the discharged underground water, has been observed since the late 90s of the 20th century.

In each of the analyzed catchments in the Odra basin, the annual low flows (NQ_R) decreased. In the Vistula basin, downward and statistically significant trends were detected in 10 catchments. Upward trends in the course of annual low flows occurred only in three water gauges: Gostynia – Bojszowy, Brynica – Namiarki and Czeladź. In four water gauges: Wisła – Skoczów, Mleczna – Bieruń Stary, Czarna Przemsza – Przeczyce, Biała Przemsza – Niwka, no statistically significant NQ_R trend developed. A decrease in the average annual low flow rates (SNQ_R) was also observed in 8 catchments in the Odra basin. A lack of trend was noticed in the case of the Odra (cross-sections: Chałupki,

Krzyżanowice and Miedonia) and the Bierawka. In the Vistula basin, downward trends in the average annual low flows were detected in 10 catchments. An upward trend was noticed in the catchments of the Vistula (Jawiszowice), the Gostynia and the Brynica (Namiarki and Czeladź). The trend did not emerge in the catchments of the Mleczna and the Czarna Przemsza in Przeczyce. In the multi-year course of the average annual flows, no trends in the catchment areas of the Odra, the Piotrówka, the Bierawka, the Gostynia and the Vistula (Skoczów and Pustynia) developed. An increase of the average annual flow was observed in the case of the Brynica (Namiarki and Czeladź). In the analyzed period, the average annual flows in 17 catchments were characterized by a statistically significant downward trend.

What is the major cause for the detected trends are anthropogenic factors, and among them – discharging mine water into the rivers. Paradoxically, the lack of trend in some water gauges may be the effect of anthropogenic factors as well. Such situations arose in the catchments wherein a decrease in precipitation and an increased intake of water were observed, and these were balanced by a greater inflow of other water, including mine water.

What is a characteristic feature of the course of the runoff in the rivers that were the receivers of mine water, in the case of which downward trends were noticed, is an evident decline of the values of NQ_R , SNQ_R and SQ_R from the beginning of the 70s to the end of the 80s of the 20th century, whereas the values reached the maximum in the mid 80s. In the other catchments that were not affected by discharged mine water, the period of 1982–1992 was noticeable because of a conspicuous decrease of the flow values.

The change point analysis indicated that the drop in the values of the flow is dominant in the studied catchments. An increase in the flows was recorded only in 7 cases. The observed increase of the flows is mainly conditioned by anthropogenic factors, such as: mine water discharge, industrial sewage discharge, or cessation of water intake. In turn, the declining values of the flow in the 1980s were conditioned by climatic factors, whereas in the 90s of the 20th century and at the beginning of the 21st century they were primarily caused by the reduction of the quantity of discharged industrial wastes, including mine water.

The change points of the average annual runoff coefficient α identified in 1999 and 2000 in water gauges: the Przemsza – Jeleń and the Vistula – Pustynia, that is wherein the total volume of mine water in the Vistula basin is balanced, confirm the declining portion of mine water in the runoff.

Addressing the question whether in the multi-year course of low, medium annual low and medium flows reflects merely the result of the discharge of mine water, it can be stated that only in the water gauge of Kłodnica – Kłodnica the increase in the runoff is associated with the increased volume of the discharged mine water. However, only in the Pogoria the decrease in the runoff may be clearly related to the reduction in its volume.

In the catchments that are the major mine water receivers, the specific runoff reaches the values that are observed in the catchments of mountain rivers. The runoff is clearly disturbed and shaped mainly by anthropogenic factors. This is confirmed by the high values of the runoff coefficient (α), which in the catchments of the Bytomka, the Kłodnica (Gliwice), the Bierawka, the Szotkówka and the Pogoria reaches over 60%. This is the evidence of a large portion of 'other water', including mine water, in their runoff.

To analyze the changes in the annual hydrological cycle, also the concentration ratio GMO was used. Research into the variability of the regime of rivers (GZW) at the end of the 20th century was carried out, among others, by S. Czaja (1999), who observed that in many rivers the portion of other water stabilized at the level significantly exceeding 50% of the runoff of the rivers, which led to strengthening the changes of their regime. In the Katowice conurbation, a new type of the river regime was established, (the regime was outstandingly equalized, and had an anthropogenic-rain-water-snow supply). It was characterized by high and balanced low and medium flows and a predominance of the supply of water of anthropogenic origin, including mine water (Czaja, 1999). This has been also confirmed by the research carried out by me. The lowest average values of GMO, often reaching its lower limit, occurred in the catchments that are the major receivers of mine water: the Pogoria, the Biała Przemsza, the Przemsza, the Bytomka, the Brynica (Szabelnia), the Bobrek and the Nacyna. This indicates that the monthly average flows of these rivers are very balanced.

In the other catchments that are also the receivers of mine water, the values of GMO indicate that these catchments are characterized by a more concentrated runoff in the annual cycle, and that an increase of the runoff in the spring period is more conspicuous. They are significantly overloaded with mine water discharges, nevertheless, the decisive role in shaping

their regime is performed by climatic factors, which can be attested.

The largest rivers with a low portion of mine water in the course of the monthly average flow are characterised by a conspicuous two-part period of an increased runoff and low runoffs in autumn. Mine water does not induce the change in the regime of these rivers, or in the balance of the runoff during the year.

The study showed that the decreasing portion of mine water and other sewage re-increases the runoff variation during the year. This situation is developing rather slowly. It may be observed for the time being in small catchments of, e.g. the Pogoria or the Biała. It may be anticipated that the further limitation of the mine water discharge, resulting from the planned restructuring activities in the coal industry, will bring about an increasingly greater variability of the runoff of the rivers. In the following decades, a complete cessation of dewatering of hard coal mines will result in a less balanced outflow, whereas its variability in the hydrological cycle will be once again influenced in a greater and greater degree by climatic factors.

Other effects of coal mining that manifest in the form of changes in the river network, the course of watersheds, changes in water reservoirs, and which were indicated, among others, by A.T. Jankowski (1986) and S. Czaja (1999), have a long-lasting and partly irreversible character. These changes will continue to occur especially in the areas where coal extraction is done with the method of mine collapse. Once this problem was acknowledged, more and more renaturalization projects in the river valleys have been launched, which may be illustrated by an example of the Szarlejka river valley, where coal mining over many centuries resulted in a complete transformation of the river valley. In 2012 renaturalization works were made at the most dramatically transformed section of the river (Absalon, Matysik, 2009; Matysik, Absalon, 2012).

The results obtained in this work and the observed regularity may be also utilized in the case of starting new hard coal mines or mines producing other mineral resources the extraction of which involves dewatering mine workings and discharging mine water to a hydrographic network. While making assessments of the impact of these projects on the environment, the observed influence, related to mine water discharge, on water circulation in the catchment may be taken into consideration for the purpose of the rational water management.

Redakcja
Olga Nowak

Projekt okładki
Małgorzata Pleśniar

Projekt typograficzny i łamanie
Hanna Olsza

Copyright © 2018 by
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
Wszelkie prawa zastrzeżone

ISSN 0208-6336
ISBN 978-83-226-3292-5
(wersja drukowana)
ISBN 978-83-226-3293-2
(wersja elektroniczna)

Wydawca
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
ul. Bankowa 12B, 40-007 Katowice
www.wydawnictwo.us.edu.pl
e-mail: wydawus@us.edu.pl

Wydanie I. Ark. druk. 20,75. Ark. wyd. 17,0.
Papier offset. kl. III, 90 g
Cena 36 zł (+VAT)

Druk i oprawa:
„TOTEM.COM.PL. Sp. z o.o.” Sp. K.
ul. Jacewska 89, 88-100 Inowrocław



Trafny dobór terenu i problematyki badawczej oraz wykorzystanie bogatej literatury przedmiotu, a także zróżnicowanej tematycznie dokumentacji archiwalnej i terenowej – istniejącej i własnej, pozwolił w sposób kompleksowy ocenić znaczenie zrzutów wód kopalnianych na odpływ rzek GOP, z uwzględnieniem uwarunkowań przyrodniczych. Publikacja ta, oprócz walorów poznawczych i metodycznych, może mieć również duże znaczenie praktyczne.

Oceniam, że recenzowana książka będzie wносить wiele cennej i nowej wiedzy do literatury hydrologicznej na temat obiegu wody na terenach będących pod wpływem zmieniającej się antropopresji górniczej.

prof. UJK dr hab. *Tadeusz Ciupa*

ISSN 0208-6336

Cena 36 zł (+ VAT)

ISBN 978-83-226-3292-5



9 788322 632925

Więcej o książce

