POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
im. Stanisława Leszczyckiego

ŁUKASZ WIEJACZKA

# WPŁYW ZBIORNIKA WODNEGO KLIMKÓWKA NA ABIOTYCZNE ELEMENTY ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO W DOLINIE ROPY

PAN IGiPZ
Warszawa 2011

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO

PRACE GEOGRAFICZNE NR 229

http://rcin.org.pl

GEOGRAPHICAL STUDIES

No. 229

# THE INFLUENCE OF THE KLIMKÓWKA WATER RESERVOIR ON THE ABIOTIC ELEMENTS OF THE NATURAL ENVIRONMENT IN THE ROPA RIVER VALLEY

http://rcin.org.pl

POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT GEOGRAFII I PRZESTRZENNEGO ZAGOSPODAROWANIA
IM. STANISŁAWA LESZCZYCKIEGO

PRACE GEOGRAFICZNE NR 229

ŁUKASZ WIEJACZKA

# WPŁYW ZBIORNIKA WODNEGO „KLIMKÓWKA" NA ABIOTYCZNE ELEMENTY ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO W DOLINIE ROPY

PAN
IG i PZ
WARSZAWA 2011

http://rcin.org.pl

KOMITET REDAKCYJNY

REDAKTOR: Grzegorz Węcławowicz
CZŁONKOWIE: Jerzy Grzeszczak, Barbara Krawczyk,
Jan Matuszkiewicz, Jerzy J. Parysek

RADA REDAKCYJNA
Bolesław Domański, Adam Kotarba, Jan Łoboda,
Andrzej Richling, Jan S. Kowalski, Andrzej Lisowski,
Eamonn Judge, Lydia Coudroy

RECENZENCI TOMU
Krzysztof Błażejczyk, Andrzej T. Jankowski

ADRES REDAKCJI PRAC GEOGRAFICZNYCH

IGiPZ PAN
ul. Twarda 51/55, 00–818 Warszawa

Ryciny 3 i 7 – wykorzystano materiały z Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego na podstawie zezwolenia (nr 21/2011) Marszałka Województwa Małopolskiego

Opracowanie techniczne: Ewa Jankowska
Zdjęcie na okładce: Łukasz Wiejaczka

© Copyright by Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN
im. Stanisława Leszczyckiego, Warszawa 2011

PL ISSN 0373-6547
ISBN 978-83-61590-19-4

Łamanie wykonano w IGiPZ PAN,
ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa

Druk i oprawa: Drukarnia Klimiuk
ul. Zwierzyniecka 8A, 00-719 Warszawa

http://rcin.org.pl

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP ..... 7
1.1. Zarys problemu i cele badań ..... 7
1.2. Materiały źródłowe i metodyka badań ..... 10
1.2.1. Obszar oraz metody prowadzonych badań ..... 10
1.2.2. Materiały archiwalne ..... 14
2. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ ..... 15
2.1. Informacje ogólne dotyczące doliny Ropy i zbiornika wodnego „Klimkówka" ..... 15
2.2. Charakterystyka środowiska fizycznogeograficznego doliny Ropy ..... 16
2.2.1. Położenie ..... 16
2.2.2. Budowa geologiczna i rzeźba ..... 17
2.2.3. Warunki klimatyczne ..... 20
2.2.4. Warunki hydrologiczne ..... 23
2.3. Historia i parametry zbiornika wodnego „Klimkówka" ..... 24
3. WSTĘPNA OCENA ODDZIAŁYWANIA ZBIORNIKA WODNEGO „KLIMKÓWKA" NA LOKALNY KLIMAT ..... 27
4. WPŁYW ZBIORNIKA WODNEGO „KLIMKÓWKA" NA ZMIANĘ STOSUNKÓW HYDROLOGICZNYCH ROPY ..... 31
4.1. Informacje ogólne ..... 31
4.2. Charakterystyka hydrologiczna cieków zasilających zbiornik wodny „Klimkówka" ..... 32
4.3. Analiza zmian stanu wody górnej w zbiorniku wodnym „Klimkówka" .. 46
4.4. Charakterystyka hydrologiczna Ropy poniżej zbiornika wodnego „Klimkówka" ..... 52
5. WPŁYW ZBIORNIKA WODNEGO „KLIMKÓWKA" NA WYBRANE FIZYKOCHEMICZNE WŁAŚCIWOŚCI WODY W ROPIE ..... 57
5.1. Informacje ogólne ..... 57
5.2. Temperatura ..... 60
5.2.1. Termika zbiornika ..... 60
5.2.2. Temperatura wody w profilu podłużnym Ropy ..... 64
5.2.3. Temperatura wody w Ropie poniżej zbiornika ..... 69
5.2.4. Relacje pomiędzy temperaturą powietrza a temperaturą wody w Ropie ..... 73
5.2.5. Zlodzenie Ropy ..... 75
5.3. Przewodność elektrolityczna właściwa ..... 80
5.3.1. Przewodność elektrolityczna właściwa wody w profilu podłużnym Ropy ..... 80
5.3.2. Przewodność elektrolityczna właściwa wody w Ropie poniżej zbiornika ..... 85
5.4. Odczyn wody (pH) ..... 91
5.4.1. Odczyn wody (pH) w profilu podłużnym Ropy ..... 91
5.4.2. Odczyn wody (pH) w Ropie poniżej zbiornika ..... 94

http://rcin.org.pl

6. MORFOLOGIA STREFY BRZEGOWEJ ZBIORNIKA WODNEGO „KLIMKÓWKA" ..... 97
6.1. Informacje ogólne ..... 97
6.2. Klasyfikacja brzegów zbiornika wodnego „Klimkówka" ..... 100
6.3. Formy brzegowe ..... 108
6.4. Abrazja brzegów ..... 114
7. DELTA ROPY W ZBIORNIKU WODNYM „KLIMKÓWKA" (JAKO NOWY ELEMENT RZEŹBY FLUWIALNEJ) ..... 119
7.1. ogólne ..... 119
7.2. Delta Ropy ..... 121
8. WNIOSKI ..... 123
LITERATURA ..... 127
The influence of the Klimkówka water reservoir on the abiotic elements of the natural environment in the Ropa river valley – *Summary* ..... 136

http://rcin.org.pl

# 1. WSTĘP

## 1.1. ZARYS PROBLEMU I CELE BADAŃ

Zagadnienie oddziaływania zbiorników retencyjnych na środowisko geograficzne stanowi część dużego problemu, jakim jest wpływ gospodarczej działalności człowieka na środowisko przyrodnicze (Dynowska 1984a). Z chwilą powstania zbiornika retencyjnego dochodzi do przekształcenia komponentów środowiska przyrodniczego wskutek jakościowo-ilościowych zmian procesów krążenia materii i energii (Cyberski 1984), a skala i zasięg oddziaływania tego typu antropogenicznych obiektów na środowisko naturalne jest dla każdego zbiornika inna.

Prowadzone badania nad wpływem zbiorników zaporowych na środowisko naturalne są nastawione w głównej mierze na poznanie procesów morfologicznych i hydrologicznych oraz ich skutków na otaczające je środowisko przyrodnicze, które może zdecydowanie różnić się, w zależności od fizycznogeograficznych warunków panujących w miejscu lokalizacji zbiorników. Opinie na temat potrzeby budowania zapór i zbiorników wodnych są podzielone. Z jednej strony inwestycje te są zdaniem hydrotechników bardzo opłacalne pod względem ekonomicznym, ponieważ ich zadaniem jest: retencjonowanie wody, wykorzystywanie jej do celów komunalnych, przemysłowych i rolniczych, ochrona przed powodzią, alimentacja rzek w okresach niżówek, utrzymanie żeglowności rzek przez ustabilizowanie przepływu na odpowiednim poziomie, turystyka i rekreacja oraz produkcja energii (Szczerkowska-Majchrzak, Grzybkowska 2008 za Petts 1984; Dynesius, Nilsson 1994; Błachuta i in. 2006). Z drugiej strony, przerwanie ciągłości rzek poprzez budowanie tam ma ogromny, negatywny wpływ na biocenozę rzek poniżej ich lokacji, co podkreślają hydrobiolodzy. E. Szczerkowska-Majchrzak i M. Grzybkowska (2008) wśród negatywnych procesów wywołanych funkcjonowaniem zbiorników retencyjnych powodujących niekorzystne zmiany w środowisku wymieniają: wyrównany przepływ poniżej zbiornika, zmianę właściwości fizykochemicznych wody w rzece, podniesienie zwierciadła wód gruntowych, zmiany miejscowego klimatu, okresowe wahania poziomu wody i odsłanianie dna zbiornika a także przesiedlenia ludności.

http://rcin.org.pl

Ze względu na przedstawione powyżej negatywne skutki budowy zapór wodnych, nierzadko podejmuje się kosztowne oraz skomplikowane zabiegi techniczne mające na celu przywrócenie poprzedniego stanu środowiska przyrodniczego lub co najmniej zmniejszenie do minimum niepożądanych następstw wywołanych ich funkcjonowaniem (Głodek 1985). Wspomniany autor zauważa, że już podczas planowania i budowy zapór wodnych należy zastanowić się, w jaki sposób uzyskać optymalne efekty gospodarcze, bez degradacji środowiska geograficznego. Zgodnie z wytycznymi zawartymi w Deklaracji Międzynarodowej Komisji Wielkich Zapór (Deklaracja ICOLD/CIGB...1996) po oddaniu zbiornika retencyjnego do eksploatacji, jego oddziaływanie na środowisko powinno być systematycznie oceniane i porównywane z sytuacją poprzedzającą jego budowę, na podstawie zgromadzonych danych monitoringowych. Prowadzone obserwacje umożliwią lepsze rozpoznanie wzajemnego oddziaływania budowli wodnych i środowiska.

Konieczność budowy zbiornika retencyjnego w górnym biegu Ropy, podobnie jak w przypadku innych zbiorników karpackich, wynikała z faktu, iż rzeka ta, ze względu na znaczne deficyty wody w jej zlewni, stanowi praktycznie jedyne źródło wody pitnej dla mieszkającej tu ludności (miejskiej) oraz wody przemysłowej (wykorzystywanej przez bardzo wodochłonny przemysł maszynowy i rafineryjny rozwinięty w Gorlicach i Jaśle). Dodatkowo, występujące regularnie długotrwałe okresy niżówkowe na Ropie oraz pojawiające się incydentalnie wezbrania, stwarzające realne zagrożenie powodziowe, stały się bezpośrednim powodem ingerencji człowieka w środowisko naturalne zlewni Ropy, mającej na celu racjonalne gospodarowanie zasobami wodnymi.

Uruchomiony w 1994 roku zbiornik wodny „Klimkówka" na Ropie w Beskidzie Niskim, w przeciwieństwie do innych tego typu obiektów zlokalizowanych w Polsce (a w szczególności w Karpatach) nie doczekał się jak dotąd szerszego opracowania, dotyczącego oceny oddziaływania na środowisko naturalne. Konsekwencje wybudowania zbiornika wodnego „Klimkówka" na Ropie są porównywalne do następstw obserwowanych po uruchomieniu innych zbiorników retencyjnych. Podstawowa hipoteza badawcza postawiona we wstępie niniejszej pracy powinna sprowadzać się do założenia, że zbiornik „Klimkówka" istotnie przekształcił środowisko przyrodnicze doliny Ropy. Udowodnienie postawionej hipotezy zmierza do wykazania zmian w wybranych elementach środowiska przyrodniczego rozpatrywanego obszaru. W przypadku analizy oddziaływania omawianego zbiornika retencyjnego na środowisko, istotną rolę odgrywa terenowa Stacja Naukowa IGiPZ PAN w Szymbarku koło Gorlic, zlokalizowana

http://rcin.org.pl

ok. 16 km poniżej zapory wodnej w Klimkówce, funkcjonująca od 1968 roku. Badania (hydrologiczne i hydrochemiczne) prowadzone przez Stację na długo przed uruchomieniem „Klimkówki", pozwalają wnikliwie przedstawić zmiany w środowisku naturalnym, które nastąpiły po jego wybudowaniu oraz ocenić rolę zbiornika w przekształcaniu środowiska. Fakt ten jest o tyle istotny, że prace dotyczące zbiorników wodnych, które powstały do tej pory, w dużej mierze przedstawiały jedynie prognozy zmian środowiska. Prezentowane w opracowaniu wyniki badań oparte na długoletnich seriach pomiarowych stanowią zatem weryfikację stawianych hipotez, dotyczących przewidywanych zmian.

Ogólnym celem niniejszej pracy jest próba kompleksowego zobrazowania zmian w abiotycznych komponentach środowiska naturalnego, spowodowanych funkcjonowaniem zbiornika wodnego „Klimkówka". Przeprowadzone badania dotyczyły tych elementów naturalnego środowiska doliny Ropy, które są w największym stopniu determinowane przez funkcjonowanie zbiornika, tj. stosunków hydrologicznych i właściwości fizykochemicznych wody w Ropie, degradacji zboczy doliny tej rzeki, oraz zaburzeń w transporcie fluwialnym. Wynika to także z literatury odnoszącej się do innych zbiorników wodnych (m.in. Banach 1994; Łajczak 1995; Sroczyński, Józefko 2002; Achrem, Gierszewski 2007; Szczerkowska-Majchrzak, Grzybkowska 2008). Ograniczenie przeprowadzonej w pracy analizy do wyżej wymienionych elementów środowiska abiotycznego doliny Ropy wynikało również z treści materiałów archiwalnych, którymi dysponowano oraz wyników badań terenowych przeprowadzonych w latach 2007–2008.

Zasadnicze cele postawione w tym opracowaniu sprowadzają się do ilościowo-jakościowej oceny wpływu zbiornika wodnego „Klimkówka" na:

1. zmianę stosunków hydrologicznych w dolinie Ropy,
2. transformację wybranych właściwości fizykochemicznych wody w Ropie (temperatura, przewodność elektrolityczna właściwa, odczyn wody – pH),
3. degradację i przekształcanie zboczy doliny Ropy na skutek procesów hydro- i geodynamicznych w strefie brzegowej zbiornika,
4. przebieg procesów sedymentacyjnych w obrębie cofki zbiornika prowadzących do utworzenia delty – nowej formy w rzeźbie fluwialnej doliny Ropy.

http://rcin.org.pl

Niniejsze opracowanie jest skrótem rozprawy doktorskiej (Wiejaczka 2009c), napisanej pod kierunkiem Pana prof. dr. hab. Romana Soji, któremu w tym miejscu pragnę serdecznie podziękować za wszelką pomoc oraz poświęcony mi czas w trakcie pisania pracy. Słowa podziękowania kieruję także w stronę Dyrektora Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Krakowie Pana dr. inż. Jerzego Greli za wydanie pozwolenia na wykorzystanie danych hydrologicznych dotyczących zbiornika wodnego „Klimkówka" oraz prowadzenie badań terenowych na zbiorniku. Dziękuję również Panu mgr. inż. Marianowi Wójtowiczowi oraz Panu mgr. inż. Piotrowi Przybylskiemu – pracownikom Zapory Wodnej „Klimkówka" za życzliwą współpracę. Dziękuję także moim Kolegom i Koleżankom ze Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku oraz z Zakładu Geomorfologii i Hydrologii Gór i Wyżyn IGiPZ PAN w Krakowie za merytoryczne dyskusje oraz czynne wsparcie w zbieraniu materiałów i prowadzeniu badań terenowych.

## 1.2. MATERIAŁY ŹRÓDŁOWE I METODYKA BADAŃ

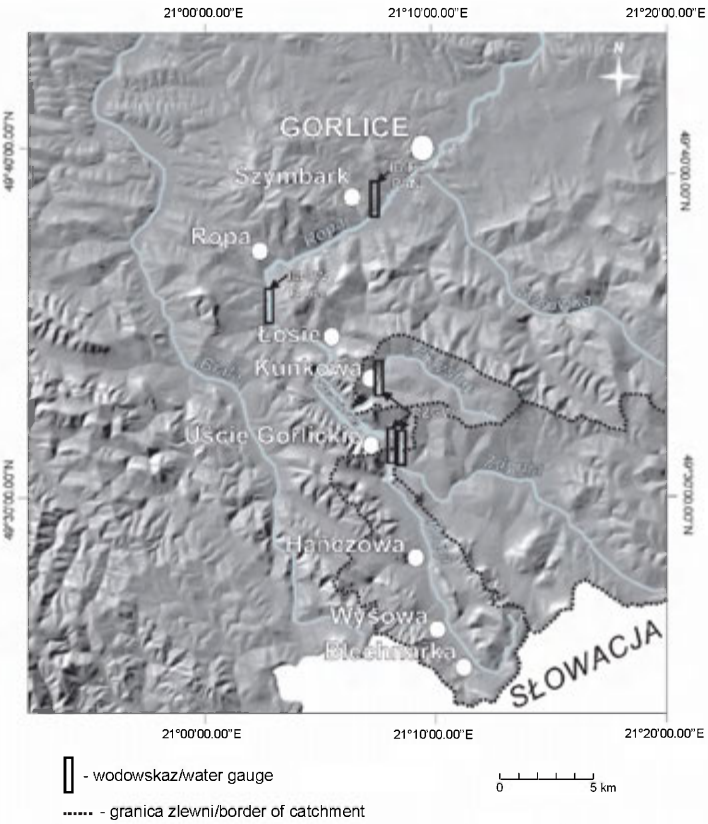
### 1.2.1. OBSZAR ORAZ METODY PROWADZONYCH BADAŃ

Badaniami objęto zbiornik wodny „Klimkówka" oraz rzekę Ropę od jej źródła powyżej Wysowej do miejscowości Szymbark na długości ok. 42 km (ryc. 1, 2, 3). Teren badań podzielono na trzy zasadnicze części: Ropę powyżej zbiornika, zbiornik wodny „Klimkówka" oraz Ropę poniżej zbiornika.

Prace badawcze prowadzone na Ropie powyżej i poniżej „Klimkówki", miały na celu wykazanie zaburzeń powodowanych przez zbiornik w naturalnej transformacji właściwości fizykochemicznych wody, która zachodzi wraz z biegiem rzeki. W tym celu w profilu podłużnym Ropy od Blechnarki po Szymbark, w 22 wybranych punktach pomiarowych (głównie powyżej i poniżej ujść większych dopływów i 4 punktach zlokalizowanych na samym zbiorniku) w latach 2007–2008, czterokrotnie przeprowadzono pomiary temperatury, przewodności elektrolitycznej właściwej oraz odczynu wody (pH) w Ropie. Pomiary wykonano za pomocą pH–metru CP-401 oraz konduktometru CC-315 (+/-2%) firmy Elmetron, w różnych warunkach pogodowych, w każdej z czterech pór roku. Uzyskane dane pozwoliły przedstawić naturalny cykl zmian badanych właściwości wody w Ropie zachodzący powyżej zbiornika oraz cykl warunkowany działalnością „Klimkówki" występujący poniżej zbiornika. Badania zmian dobowego cyklu termiki Ropy poniżej zbiornika „Klimkówka" wykonano w wybranych dniach lata 2007 (czerwiec – wrzesień) reprezentujących różne warunki atmosferyczne i hydrologiczne. Pomiar temperatury wody przeprowadzono w punkcie wodowskazowym usytuowanym w miejscowości Szymbark,

http://rcin.org.pl

ok. 16 km poniżej zapory wodnej „Klimkówka", w 30-minutowym interwale czasowym, przy wykorzystaniu czujnika temperatury wspomnianego wyżej pH–metru.




Ryc. 1. Obszar badań – lokalizacja punktów wodowskazowych
Area of research – location of water-gauge points

Badania w obrębie zbiornika wodnego „Klimkówka" miały na celu:

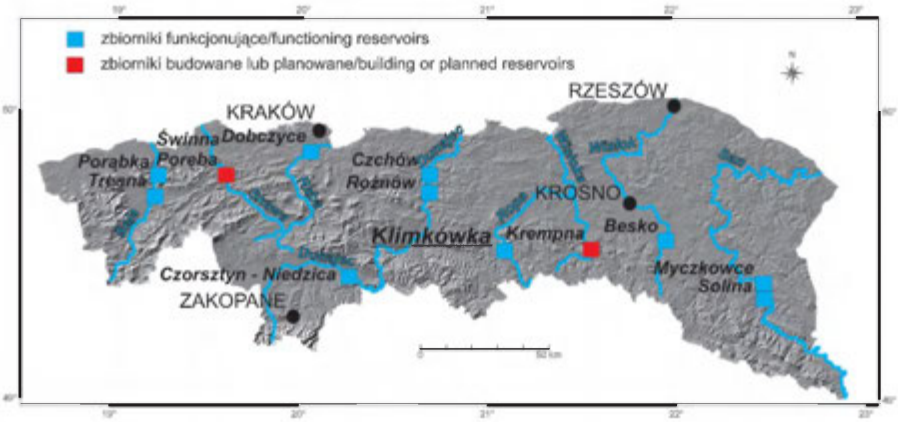
– wykazanie zmian w morfologii zboczy doliny Ropy w strefie brzegowej zbiornika oraz próbę oszacowania wielkości erozji brzegowej,

– charakterystykę procesu akumulacji materiału w cofce zbiornika,

– przedstawienie warunków kształtowania się stratyfikacji termicznej w zbiorniku w ciągu roku.

Zróżnicowanie morfologiczne strefy brzegowej zbiornika wodnego „Klimkówka" zobrazowano na podstawie kartowania terenowego (wykonanego w dniach 24.08–01.09.2007 przy ustabilizowanym stanie wody w zbiorniku na poziomie 390,72 m n.p.m.) przeprowadzonego w oparciu o podkład mapy topograficznej w skali 1:10 000 oraz analizy zdjęć lotniczych i fotograficznych.

http://rcin.org.pl



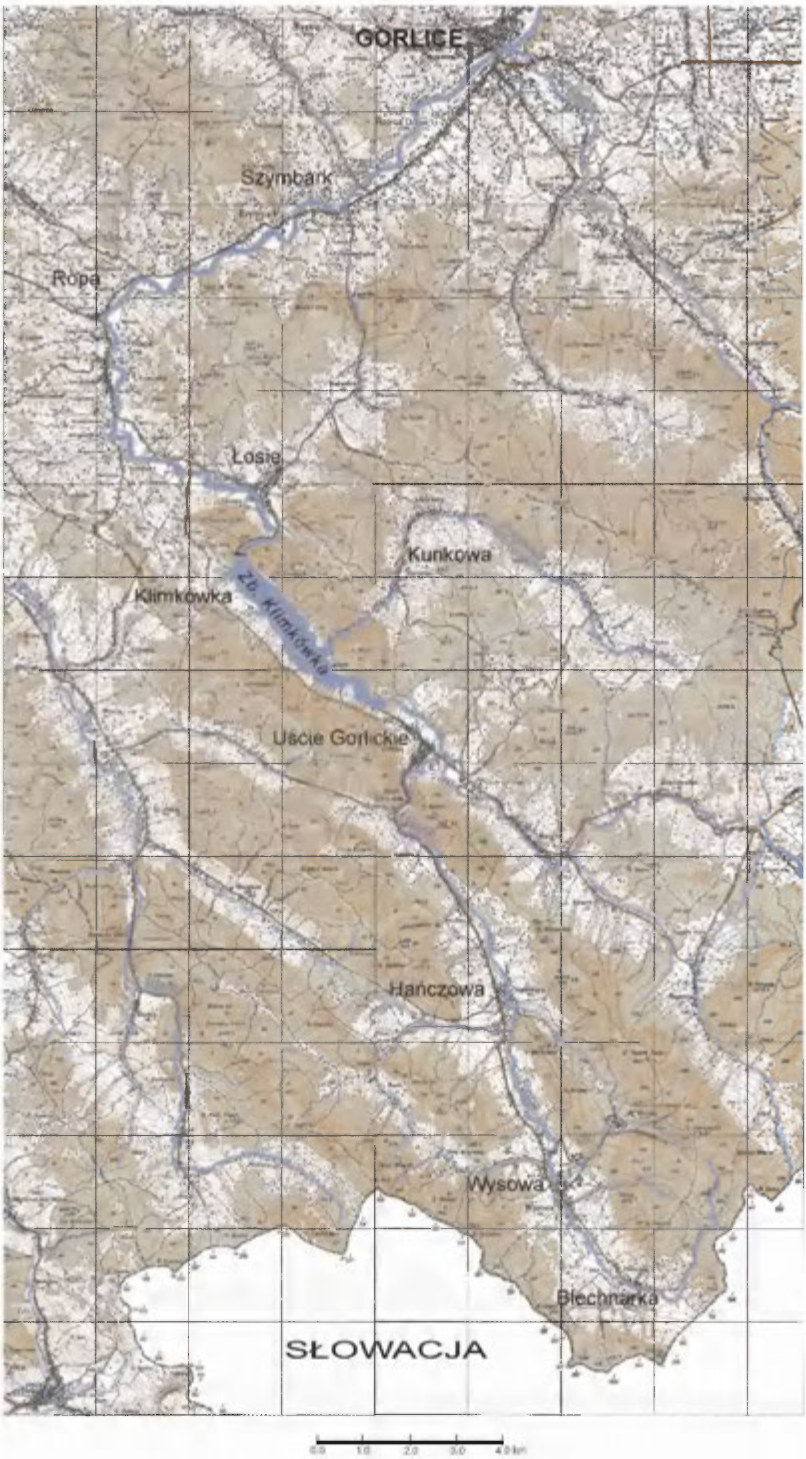

Ryc. 2. Lokalizacja zbiornika „Klimkówka" na tle innych zbiorników karpackich (o całkowitej pojemności powyżej 10 mln m$^3$)
Location of the Klimkówka reservoir compared to other Carpathian water reservoirs (with a total capacity exceeding 10 mln m$^3$)

Orientacyjną wielkość erozji brzegowej oszacowano, mierząc objętość warstwy gruntu, która została wyerodowana na skutek falowania wody spod pni drzew, ściętych przed napełnieniem „Klimkówki", licznie występujących w obrębie strefy brzegowej zbiornika.

Skład granulometryczny materiału akumulowanego w cofce zbiornika „Klimkówka" określono na podstawie 100 próbek materiału pobranych w dniu 20.08.2007 z powierzchniowej warstwy delty Ropy (do głębokości 10 cm) w 6 profilach poprzecznych do biegu rzeki (97 próbek) oraz z dna koryta Ropy (3 próbki) rozcinającego deltę. Za pomocą laserowego urządzenia Analysette 22 firmy Fritsch w każdej z pobranych próbek oznaczono wielkości cząstek osadów. Poszczególne frakcje osadów deltowych Ropy wydzielono na podstawie skali wielkości ziaren klastycznych przedstawionej przez R. Gradzińskiego i in. (1976).

Pomiary termiki zbiornika przeprowadzono w dniu 07.08.2008 w przyzaporowej oraz środkowej części zbiornika, tj. pomiędzy ujściem Przysłupu a samą zaporą zakładając, że to właśnie w tej części zbiornika kształtują się właściwości fizykochemiczne wody, która z niego wypływa. Badania termiki zbiornika przeprowadzono za pomocą termometru PT-215 o maksymalnej możliwości zanurzenia do 24 m (długość przewodu łączącego czujnik temperatury z urządzeniem mierniczym), co wystarczyło do dokładnego wydzielenia termicznych warstw w zbiorniku.

http://rcin.org.pl




Ryc. 3. Mapa topograficzna obszaru badań. (patrz s. 4)
Topographic map of the research area (see p. 4)

http://rcin.org.pl

### 1.2.2. MATERIAŁY ARCHIWALNE

Dane dotyczące temperatury, przewodności elektrolitycznej właściwej oraz odczynu wody (pH) Ropy, które posłużyły do analizy transformacji właściwości fizykochemicznych wody w Ropie poniżej lokalizacji zbiornika retencyjnego „Klimkówka" pochodzą z wieloletnich pomiarów monitoringowych prowadzonych na Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku. Pomiary te prowadzone były codziennie ok. godz. 13:00, w punkcie wodowskazowym usytuowanym ok. 16 km poniżej zapory wodnej w Klimkówce (ryc. 1), zamykającym zlewnie o powierzchni 303 km$^2$. W pracy wykorzystano dane z lat hydrologicznych 1982–2006. Zmiany właściwości fizykochemicznych wody w Ropie, które nastąpiły po wybudowaniu zbiornika wodnego „Klimkówka" wykazano na podstawie porównania ze sobą dwóch wieloleci: 1982–1993 (przed uruchomieniem zbiornika) oraz 1994–2006 (po powstaniu zbiornika). Z tego samego źródła oraz okresu wykorzystano także dokumentację ze stacyjnych dzienników hydrologicznych dotyczącą przebiegu zlodzenia Ropy oraz dane charakteryzujące termikę powietrza.

Charakterystykę hydrologiczną zbiornika wodnego „Klimkówka" oraz cieków zasilających zbiornik, przeprowadzono przy wykorzystaniu materiałów pochodzących z lat 1994–2006, udostępnionych (za zezwoleniem RZGW w Krakowie) przez kierownictwo Zapory Wodnej „Klimkówka". Dane pochodzą z codziennych obserwacji prowadzonych (około godz. 07:00) w trzech punktach wodowskazowych (RZGW w Krakowie), zlokalizowanych na głównych ciekach zasilających zbiornik: Ropie, Zdyni i Przygłupie, zamykających zlewnie o powierzchniach – odpowiednio 68 km$^2$, 101 km$^2$, 22 km$^2$ (ryc. 1). Uzyskana dokumentacja pozwoliła na obliczenie charakterystycznych wielkości przepływów i wysokości stanów wody na rzekach zasilających zbiornik oraz zobrazowanie przebiegu zlodzenia na Ropie powyżej „Klimkówki".

Z tego samego źródła i okresu wykorzystano także dane o przebiegu dziennych stanów wody górnej na zbiorniku (łata wodowskazowa przy zaporze) oraz średnich dobowych wartości odpływu ze zbiornika. Wielkość odpływu ze zbiornika pozyskiwana jest na podstawie automatycznego przeliczania ilości wody odpływającej z poszczególnych urządzeń upustowych (łącznie z elektrownią) i bilansowania w odpowiedniej aplikacji komputerowej.

W pracy uwzględniono także dane z lat 1973–1983 dotyczące przepływów na Ropie (*Roczniki Hydrologiczne*...), notowanych w zlikwidowanym obecnie punkcie wodowskazowym IMGW w miejscowości Ropa (ryc. 1) – zlewnia o powierzchni 243 km$^2$.

http://rcin.org.pl

# 2. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

## 2.1. INFORMACJE OGÓLNE DOTYCZĄCE DOLINY ROPY I ZBIORNIKA WODNEGO „KLIMKÓWKA"

Intensywny rozwój badań środowiska przyrodniczego w dorzeczu Ropy jest związany z powstaniem w 1968 roku terenowej Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku. Zasadniczym celem, dla którego powołano do istnienia wspomnianą placówkę, było poznanie funkcjonowania środowiska przyrodniczego, jako złożonego geoekosystemu oraz zależności pomiędzy poszczególnymi jego elementami (Starkel 1973; Gil, Starkel 1994). Sporadyczne prace badawcze nad rozpoznaniem cech środowiska zlewni Ropy prowadzone były dużo wcześniej (Sawicki 1917; Breitmajer 1938; Kozikowski 1956). Oprócz H. Kozikowskiego (1956) badania geologiczne w drugiej połowie XX wieku prowadzili na tym obszarze W. Sikora (1970) oraz H. Świdziński (1973). Rzeźbę rozpatrywanego terenu szczegółowo omówiono w pracach A. Kotarby (1970) oraz B. Adamczyka i T. Gerlacha (1983), zaś procesy osuwiskowe, które w dużej mierze wpływają na jego rzeźbę zaprezentowano m.in. opracowaniach L. Daukaszy i A. Kotarby (1973); E. Chrzanowskiej (1980); A. Kotarby (1986). Warunki hydrologiczne terenu okolic Szymbarku przedstawia praca J. Niemirowskiej (1970), a klimat tej części Beskidu Niskiego charakteryzuje B. Obrębska-Starklowa (1973) oraz M. Hess i in. (1977). Od końca lat 60. na Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku prowadzone były także gruntowne badania nad procesami spływu wody i spłukiwania gleby ze stoków (Słupik, 1973, 1978, 1981; Gil 1976, 1990; Gil, Soja 1976), jak i również szczegółowe badania hydrologiczne na Ropie i jej lewym dopływie – Bystrzance, które skupiały się głównie na poznaniu mechanizmu transportu zawiesiny i wielkości denudacji chemicznej w zlewni karpackiej (Welc 1980, 1985, 1988) oraz roli wody w funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego (Soja 1972, 1981). Szczegółowymi obserwacjami objęto także proces współczesnego kształtowania się dna doliny i koryta Ropy (Soja 1977a; Dauksza 1975). Osobny temat badań stanowiła typologia środowiska przyrodniczego zlewni Ropy (Starkel 1978; Gil 1979) oraz badania gleb i szaty roślinnej (Adamczyk i in. 1973; Staszkiewicz 1973; Wójcik 1977). Z innych prac dotyczących funkcjonowania środowiska przyrodniczego rozpatrywanego terenu należy wymienić

http://rcin.org.pl

opracowanie 'A. Welca (1977), charakteryzujące procesy eoliczne, K. Wit-Jóźwik (1977) i R. Soji (1977b) przedstawiające analizę deszczów oraz ich przestrzenne zróżnicowanie, czy R. Soji (1973), prezentującą termikę wód Ropy w okresie maksymalnych wartości temperatury powietrza.

Od 1994 roku na Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku w ramach Programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (jedna z 8 stacji bazowych w Polsce) prowadzone są kompleksowe badania środowiska przyrodniczego zlewni Bystrzanki (lewego dopływu Ropy), efektem, których są m.in. coroczne raporty o stanie środowiska (Gil, Bochenek 1998).

Badania prowadzone na przełomie lat 90. XX wieku i pierwszego dziesięciolecia obecnego wieku są w dużej mierze kontynuacją prezentowanych wcześniej kierunków badawczych związanych z procesem obiegu wody na stokach oraz w obrębie zlewni (Gil 1999; Bochenek 2005), procesami korytowymi (Soja 1999) czy osuwiskowymi (Zabuski i in. 2003; Gil, Długosz 2006) oraz geologią tego obszaru (Wójcik 1997).

Uruchomiony w 1994 roku zbiornik wodny „Klimkówka" i jego rola w przekształcaniu środowiska naturalnego doliny Ropy nie zostały jak dotąd szerzej udokumentowane w literaturze. Jedynym opracowaniem dotyczącym wspomnianego problemu jest praca magisterska P. Ciszak (2006) prezentująca zmianę stosunków hydrologicznych w dolinie Ropy na skutek funkcjonowania zbiornika „Klimkówka". Praca zbiorowa pod redakcją T. Łagosza (2000) zawierająca szczegółową charakterystykę zbiornika „Klimkówka" oraz W. Sroczyńskiego (2006) dotycząca turystycznych aspektów funkcjonowania tego zbiornika są jedynie wstępem do dalszych, bardziej szczegółowych badań nad problemem wpływu zbiornika na środowisko.

## 2.2. CHARAKTERYSTYKA ŚRODOWISKA FIZYCZNOGEOGRAFICZNEGO DOLINY ROPY

### 2.2.1. POŁOŻENIE

Obszar badań zlokalizowany jest w obrębie Beskidu Niskiego stanowiącego najniższe obniżenie w łuku polskich Karpat oraz marginalnie na Pogórzu Karpackim. Obejmuje dolinę Ropy odwadniającą zachodnią część Beskidu Niskiego (jej górny oraz środkowy bieg na długości ok. 42 km i powierzchni zlewni 305 km$^2$) od źródlisk powyżej Blechnarki koło Wysowej po wpłynięcie rzeki w obręb Pogórza między Szymbarkiem a Gorlicami, razem z umiejscowionym na tym odcinku zbiornikiem wodnym „Klimkówka" (ryc. 1, 2, 3). Ropa jest największym, lewobrzeżnym dopływem

http://rcin.org.pl

Wisłoki, który wypływa przy granicy polsko-słowackiej ze zboczy Jaworzynki (868,6 m n.p.m.) na wysokości ok. 750 m n.p.m. Całkowita długość rzeki sięga 80 km, jej spadek wynosi średnio 5,89‰, a powierzchnia zlewni 974 km$^2$. W początkowym biegu (do miejscowości Ropa) Ropa płynie w kierunku północno-zachodnim, natomiast później zmienia go na północno-wschodni i ten kierunek zachowuje aż do ujścia do Wisłoki. Ropa w miejscowościach Wysowa i Hańczowa zasilana jest przez kilka niedużych potoków, natomiast w Uściu Gorlickim uchodzi do niej Zdynia (której powierzchnia zlewni wynosi 105 km$^2$). Tuż za połączeniem rzek Ropa wpływa do zbiornika retencyjnego „Klimkówka", do którego z prawej strony, w jego środkowej części bezpośrednie ujście ma potok Przysłup (o powierzchni zlewni 24 km$^2$). Obszar cofkowy zbiornika leży na terenie wspomnianego Uścia Gorlickiego, natomiast pozostała jego część zlokalizowana jest w granicach wsi Klimkówka (stąd nazwa zbiornika). Poniżej zapory Ropa przyjmuje dopływ Łosiankę (o powierzchni zlewni 7 km$^2$) a w Szymbarku Bielankę (o powierzchni zlewni 13,0 km$^2$) i Bystrzankę (o powierzchni zlewni 13,6 km$^2$). Od zachodu zlewnia Ropy na rozpatrywanym odcinku doliny, graniczy ze zlewnią Białej Dunajcowej, natomiast od wschodu ze zlewnią Wisłoki.

### 2.2.2. BUDOWA GEOLOGICZNA I RZEŹBA

Badany obszar Beskidu Niskiego pomiędzy granicą polsko-słowacką a Szymbarkiem (ryc. 1, 3) położony jest prawie w całości w zasięgu płaszczowiny magurskiej. Serię magurską w obrębie zlewni Ropy budują odporne na wietrzenie, trzeciorzędowe utwory inoceramowe (łupki i piaskowce) oraz magurskie łupki, piaskowce i margle tworzące najwyższe grzbiety górskie. Doliny rzeczne zostały wyżłobione w mniej odpornych łupkach i piaskowcach podmagurskich, beloweskich, hieroglifowych, zlepieńcach i łupkach pstrych. Płaszczowinę magurską w kilku miejscach reprezentują także piaskowce mikowe i łupki warstw grybowskich – szarych oraz łupki czarne z rogowcami, margle i piaskowce warstw grybowskich – czarnych i klęczańskich wieku kredowego. Płaszczowina śląska tworząca Pogórze Karpackie, w zlewni Ropy pojawia się w rejonie Szymbarku, a reprezentowana jest głównie przez trzeciorzędowe piaskowce i łupki warstw krośnieńskich oraz utwory inoceramowe. Płatowo występują także łupki, zlepieńce i piaskowce warstw istebniańskich oraz czarnorzeckich wieku kredowego jak i również trzeciorzędowe łupki menilitowe z rogowcami i piaskowcami kliwskimi oraz cergowskimi, a także łupki i piaskowce hieroglifowe, łupki pstre i piaskowce ciężkowickie.

http://rcin.org.pl

Podłoże skalne w rejonie zbiornika wodnego „Klimkówka" według D. Nowickiej (2000) budują utwory fliszowe wieku trzeciorzędowego i kredowego należące do płaszczowiny magurskiej. W utworach górnej kredy w rejonie zbiornika wyróżniono warstwy inoceramowe, a w utworach trzeciorzędowych łupki pstre – eocen dolny, warstwy beloweskie – eocen dolny i piaskowce magurskie – eocen górny/oligocen. Utwory czwartorzędowe w rejonie zbiornika reprezentowane są przez zwietrzeliny *in situ*, pokrywy glin zwietrzelinowych, utwory spływowe, deluwia rumoszowo-gliniaste, otoczaki i żwiry III tarasu, otoczaki i żwiry niższych tarasów, piaski i mady tarasów niskich, oraz koluwia osuwiskowe.

Rzeźba Beskidu Niskiego ma charakter gór niskich wyniesionych do wysokości 700–1000 m n.p.m. i w kierunku północnym obniżających się w kierunku równoleżnikowej kotliny śródgórskiej Dołów Jasielsko-Sanockich i Pogórza Ciężkowickiego. W obrębie obszaru badań M. Klimaszewski (1946) wyróżnia dwie jednostki geomorfologiczne: Hańczowskie Góry Rusztowe oraz Góry Grybowskie. Góry Hańczowskie zlokalizowane pomiędzy doliną Białej Dunajcowej a doliną Zdyni i Ropy stanowią najwyższą, południowo-zachodnią część Beskidu Niskiego i charakteryzują się szeregiem równoległych, wąskich i miejscami bardzo stromych grzbietów kilkukilometrowej długości o przebiegu NW–SE. Charakterystyczną cechą terenu jest kratowy układ sieci rzecznej, który stanowi Ropa wraz z dopływami. Najwyższe szczyty rozpatrywanego regionu pomiędzy granicą polsko-słowacką a zbiornikiem „Klimkówka" to: Lackowa (997 m n.p.m.), Ostry Wierch (930 m n.p.m.), Biała Skała (903 m n.p.m.), Jaworzynka (869 m n.p.m.), Kozie Żebro (847 m n.p.m.), Skałka (820 m n.p.m.), Staviska (806 m n.p.m.), Cegiełka (805 m n.p.m.), Wysota (784 m n.p.m.). Góry Grybowskie rozciągające się od Kotliny Sądeckiej po dolinę Ropy obejmują północno-zachodnią część Beskidu Niskiego. Charakteryzują się krótkimi, równoleżnikowymi grzbietami (Jaworze 882 m n.p.m.) o przebiegu W–E i NW–SE, oraz górami wyspowymi (Chełm – 778 m n.p.m., Maślana Góra – 753 m n.p.m.) o wysokościach względnych 300–350 m.

W obrębie zlewni Ropy L. Starkel (1972) wyróżnia kilka typów rzeźby: gór średnich i niskich, pogórzy wysokich, średnich i niskich oraz dna dolin i kotlin. Północną granicę Beskidu Niskiego stanowi krawędź, której przebieg jest niezgodny z biegiem struktur geologicznych, co wskazuje na jej założenia tektoniczne.

Obszar objęty badaniami charakteryzuje inwersja rzeźby. Skałami grzbietotwórczymi są odporne na wietrzenie piaskowce magurskie (należące do płaszczowiny magurskiej) zalegające łęki synklinalne, natomiast

http://rcin.org.pl

skałami warunkującymi rozwój obniżeń i kotlin są mało odporne na wietrzenie skały warstw podmagurskich, hieroglifowych i warstw inoceramowych – jeżeli nie występują w nich piaskowce gruboławicowe (Klimaszewski 1946; Adamczyk, Gerlach 1983). Geologia terenu odznacza się także obecnością uskoków tektonicznych, istotnie wpływających na rozwój rzeźby. Przykładem może być linia tektoniczna, na której założona jest dolina Ropy pomiędzy miejscowościami Ropa i Szymbark, oddzielająca potrzaskane na bloki płaty piaskowców magurskich Trzech Kopców (753 m n.p.m.) od wzniesień Miejskiej (634 m n.p.m.) i Bartniej Góry (632 m n.p.m.), a przebieg doliny jest prostopadły do ogólnego biegu wychodni silnie złuskowanych piaskowców i łupków (Kotarba 1970). Jest to zarazem jeden z kilku fragmentów przełomowych doliny Ropy na obszarze Beskidu Niskiego.

Pogórze na obszarze badań reprezentują garby pogórskie Taborówka – Bucze – Bieśnik (585 m n.p.m.), Wiatrówki – Podlesie (450 m n.p.m.), odznaczające się łagodnie nachylonymi grzbietami o zaokrąglonej i spłaszczonej wierzchowinie. Garby te są silnie rozczłonkowane przez doliny mające charakter rozległych i często głębokich wciosów, niecek, wądołów i parowów, co uwarunkowane jest przede wszystkim budową geologiczną terenu (Kotarba 1970).

Zbiornik wodny „Klimkówka" położony jest w obrębie Hańczowskich Gór Rusztowych. Od wschodu zbiornik otaczają grzbiety Ubocza (623 m n.p.m.), Czerteżyków (628 m n.p.m.), oraz Kopy (672 m n.p.m.), natomiast od wschodu Kiczery Żdżar (609 m n.p.m.), Flaszy (663 m n.p.m.), Suchej Homoli (708 m n.p.m.) oraz Homoli (712 m n.p.m.). Dolina Ropy w miejscu lokalizacji zbiornika ma charakter przełomowy i wraz z otaczającymi wzniesieniami tworzy tzw. Pieniny Gorlickie. Zapora zbiornika „Klimkówka" została umiejscowiona w najwęższym miejscu przełomu pomiędzy Kiczerą a Uboczem (ryc. 7).

Główne czynniki morfogenetyczne warunkujące rozwój rzeźby omawianego terenu to: ruchy masowe, erozja, deflacja oraz denudacja chemiczna (Starkel 1972; Adamczyk, Gerlach 1983). Największe znaczenie spośród wyżej wymienionych czynników odgrywa erozja (spłukiwanie mechaniczne) na obszarach wylesionych i użytkowanych rolniczo oraz ruchy masowe a w szczególności osuwiska (Kotarba 1970), zajmujące niekiedy nawet całe stoki górskie. Ich tworzeniu sprzyja przewarstwienie odpornych na wietrzenie piaskowców pakietami łupków łatwo absorbujących wodę, które tworzą doskonałą płaszczyznę poślizgu dla mas skalnych zalegających powyżej.

http://rcin.org.pl

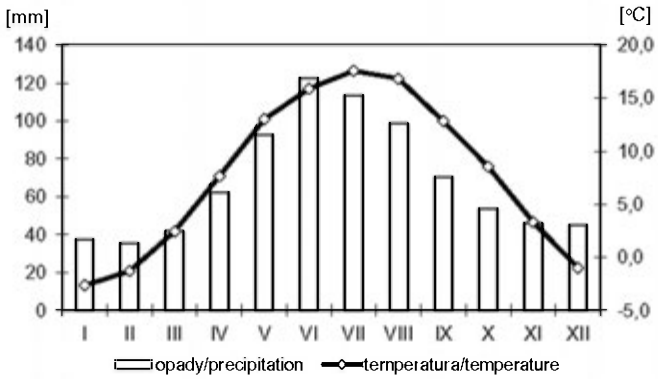
Jak podaje D. Nowicka (2000) na zboczach doliny Ropy w miejscu lokalizacji zbiornika udokumentowano 14 osuwisk znajdujących się bezpośrednio w strefie podtopień, z których największe strukturalno-konsekwentne, powstało w obrębie piaskowców magurskich na prawym, południowym zboczu Góry Kopa. Długość osuwiska w linii spadku sięga 600 m a szerokość 1 km. Spiętrzenie wody, nie powinno negatywnie wpłynąć na stabilność tego osuwiska, natomiast może uruchomić inne osuwiska. Łączna objętość koluwiów, które mogą się zsunąć do zbiornika oszacowano na 200 tys. $m^3$ (co w porównaniu z pojemnością samego zbiornika nie jest dużą wartością). Wstępna dokumentacja wyklucza także powstanie osuwisk strukturalno-konsekwentnych na południowo-zachodnim zboczu Góry Czerteżyki, ze względu na kąt zapadania warstw ku południowemu zachodowi, który jest większy od kąta nachylenia zbocza. Mogą się tutaj wykształcić jedynie niewielkie obrywy w strefie spiętrzenia na skutek podcięcia zbocza przez wodę. Podatność na osuwanie wykazuje natomiast lewe zbocze doliny Ropy na odcinku zaczynającym się na wprost ujścia Przysłupa i kończącym przy zwężeniu przełomu przed zaporą wodną, który buduje spoisty materiał pochodzenia spływowego o miąższości ponad 2 m zalegający na zwietrzelinach łupków ilastych. Podatność do tworzenia się osuwisk wykazują także rejony zboczowe bezpośrednio sąsiadujące z osuwiskami. Ogólną ilość gruntów, które mogą osunąć się do zbiornika, jako koluwia obszarów predysponowanych (poza istniejącymi osuwiskami) oraz w wyniku abrazji zboczy zbiornika szacuje się na 1,2 mln $m^3$.

### 2.2.3. WARUNKI KLIMATYCZNE

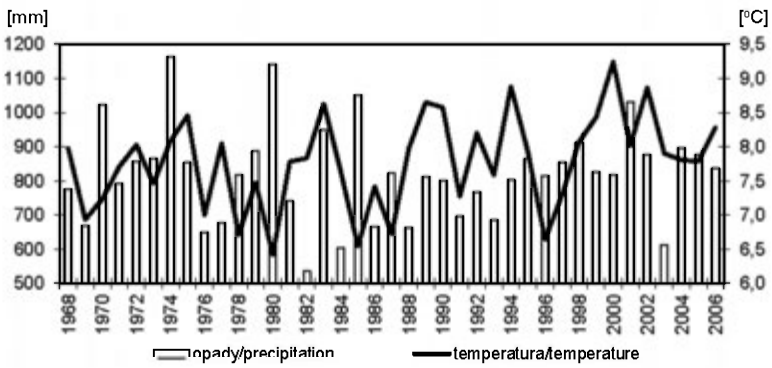
Klimat Beskidu Niskiego i jego przedpola został scharakteryzowany w opracowaniu B. Obrębskiej-Starklowej (1973), prezentującej warunki mezo- i mikroklimatyczne okolic Szymbarku oraz M. Hessa i in. (1977), którzy przedstawiają stosunki termiczne rozpatrywanego terenu. Na obszarze objętym badaniami występują wyraźne kontrasty pomiędzy łagodniejszym mezoklimatem stoków i grzbietów a chłodnymi dnami dolin (Obrębska-Starklowa 1973). Zdaniem M. Hessa i in. (1977) można tu wyróżnić dwa piętra klimatyczne rozdzielone izotermą 6°C: piętro umiarkowanie ciepłe sięgające średnio do wysokości 570 m n.p.m. oraz piętro umiarkowanie chłodne zajmujące wyższe partie górskie. Średnia roczna temperatura zmienia się od ok. 8°C (200 m n.p.m.) do 4°C (1000 m n.p.m.), a najwyższe wartości dobowe w okresie lata sięgają 36°C, zaś najniższe podczas zimy spadają poniżej -30°C. Najcieplejszym miesiącem roku jest lipiec a najchłodniejszym miesiącem styczeń. W Szymbarku (na wysokości 325 m n.p.m.) średnia temperatura powietrza lipca wynosi 17,6°C a stycz-

http://rcin.org.pl

nia -2,6°C (ryc. 4), natomiast w Wysowej (525 m n.p.m.), według R. Soji (1997) średnia temperatura lipca wynosi 15,6°C, a stycznia -6,2°C. Analiza średnich rocznych temperatur powietrza w Szymbarku w latach 1968–2006 wykazała, że najcieplejszym był rok 2000 – 9,4°C, a najchłodniejszym 1980 – 6,4°C (ryc. 5).




Ryc. 4. Średnia miesięczna suma opadów oraz średnia miesięczna temperatura powietrza w Szymbarku w latach 1968–2006
Average monthly precipitation sum and average monthly air temperature in Szymbark between 1968 and 2006

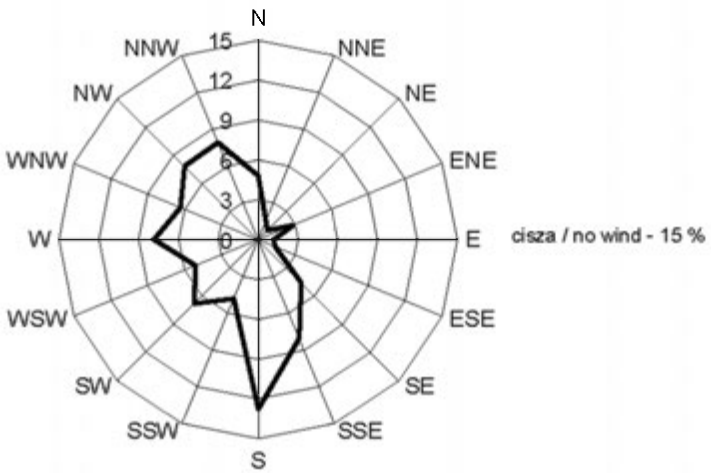



Ryc. 5. Roczna suma opadów oraz średnia roczna temperatura powietrza w Szymbarku w latach 1968–2006
Annual precipitation sum and average annual air temperature in Szymbark between 1968 and 2006

Według M. Hessa i in. (1977) termiczna zima (średnia dobowa temperatura poniżej 0°C) na rozpatrywanym terenie najwcześniej pojawia się w wyższych partiach górskich w drugiej dekadzie listopada, a ustępuje najpóźniej w trzeciej dekadzie marca. Pokrywa śnieżna w Wysowej pojawia się przeciętnie w trzeciej dekadzie listopada, a zanika w tej samej dekadzie

http://rcin.org.pl

kwietnia. W Szymbarku pokrywa śnieżna zaczyna tworzyć się pod koniec listopada, a ustępuje w połowie marca. Lato (średnia dobowa temperatura powyżej 15°C) rozpoczyna się najwcześniej na przedpolu Beskidu Niskiego w pierwszej dekadzie czerwca, a kończy się na przełomie sierpnia i września. Długość okresu wegetacyjnego rozpoczynającego się na przełomie marca i kwietnia (najwcześniej) i kończącego w pierwszej dekadzie listopada (najpóźniej) waha się pomiędzy 226 dniami w części pogórskiej a 182 dniami w najwyższych partiach górskich.




Ryc. 6. Rozkład kierunków wiatrów [%] w Szymbarku w latach 1995–2006
Directions of wind [%] in Szymbark between 1995 and 2006

Nad badanym obszarem dominują wiatry z kierunku południowego i zachodniego, które w skali roku łącznie stanowią blisko 60% wszystkich kierunków wiatrów docierających na ten teren (ryc. 6). R. Soja i J.Henneig (2000) podaje, że średnia wieloletnia prędkość wiatru w Wysowej sięga 3,5 $ms^{-1}$. Średnia prędkość wiatru w Szymbarku (w latach 1995–2006) jest mniejsza i wynosi 2,4 $ms^{-1}$. Bardzo częstym zjawiskiem jest cisza, która występuje średnio przez 15% dni w ciągu roku. Ciepłe i suche masy powietrza napływające z południa są źródłem wiatrów fenowych, będących przyczyną śródzimowych odwilży. Częstość wiatrów tego typu waha się pomiędzy 60 a 80 dniami i jest ona jednocześnie największa dla całych polskich Karpat (Hess i in. 1977). Przewaga wiatrów południowych może mieć duże znaczenie dla kierunku przemieszczania się fal na zbiorniku wodnym „Klimkówka", ponieważ dolina Ropy w miejscu lokalizacji zbiornika ma przebieg SE–NW. Należy przypuszczać, że brzegi zbiornika o ekspozycji południowej mogą być bardziej podatne na niszczenie niż pozostałe.

http://rcin.org.pl

Nieregularność zjawisk pogodowych na omawianym terenie jest przyczyną występujących corocznie okresów z nadmiarem oraz brakiem opadów (Soja 1997). Zdaniem wspominanego autora średnia wieloletnia suma opadów w Wysowej wynosi 823 mm, przy czym najwięcej opadów przypada na lipiec – 143 mm, a najmniej na luty – 39 mm. W Szymbarku średnia roczna suma opadów wynosi 820 mm, natomiast największe sumy opadów przypadają na czerwiec – 123 mm, zaś najmniejsze na luty – 36 mm (ryc. 4). Najwyższą sumą opadów w wieloleciu 1968–2006 w Szymbarku odznaczał się rok 1974 – 1164 mm, a najmniejszą 1982 – 535 mm (ryc. 5). Maksymalne dobowe opady przekraczają 100 mm, powodując tym samym największe wezbrania cieków.

### 2.2.4. WARUNKI HYDROLOGICZNE

Zwięzłą charakterystykę warunków hydrologicznych panujących w zlewni Ropy prezentuje opracowanie R. Soji i J. Henniga (2000). Wspomniani autorzy podają za I. Dynowską (1973), że naturalny, niezmieniony przez człowieka reżim hydrologiczny Ropy określa się jako niewyrównany, z wezbraniem wiosennym, letnim i zimowym oraz z deszczowo-gruntowo-śnieżnym zasilaniem, przy czym największa dynamika charakteryzuje wezbranie letnie. Reżim ten, typowy dla Beskidu Niskiego oraz Pogórza, charakteryzuje również zróżnicowany przebieg codziennych przepływów, powodowany słabą retencją i dość dużym nachyleniem stoków. Rok hydrologiczny na Ropie zaczyna się niskim odpływem, który wzrasta w grudniu prawie do wartości średniej rocznej. W grudniu zaczyna się także proces zamarzania rzeki, a pokrywa lodowa na rzekach Beskidu Niskiego może nawet kilkakrotnie zanikać w ciągu zimy, co jest związane z śródzimowymi odwilżami wywołanymi napływem ciepłych mas powietrza z południa. Wezbrania roztopowe na Ropie rozpoczynają się w lutym, a ich kulminacja przypada na kwiecień, kiedy to notuje się najwyższe w skali roku średnie miesięczne przepływy, które mają zazwyczaj łagodny przebieg i nie stanowią większego zagrożenia. Wezbrania letnie pojawiają się pomiędzy czerwcem a sierpniem i związane są z opadami rozlewnymi sporadycznie powodującymi lokalne podtopienia i powodzie. W całym półroczu letnim zaznacza się spadek średnich miesięcznych przepływów wody w Ropie, a w lipcu rozpoczynają się głębokie niżówki, które największe rozmiary osiągają we wrześniu i październiku. We wspomnianych miesiącach często pojawiają się także większe wezbrania, spowodowane przez występujące w tym okresie roku obfite opady deszczu. Odpływy jednostkowe w czasie niżówek spadają nawet poniżej 1 $ls^{-1}km^{-2}$ i są to najniższe notowane odpływy jednostkowe w całych Beskidach.

http://rcin.org.pl

Zdaniem R. Soji i J. Henniga (2000) duża nieregularność odpływu wynikająca z uwarunkowań klimatycznych i geologicznych zlewni Ropy stwarza problemy z użytkowaniem zasobów wodnych, które w porównaniu z sąsiednimi regionami (Beskid Sądecki, Bieszczady) są zdecydowanie mniejsze. Bezpośredni wpływ na ten stan rzeczy mają niskie opady, wynikające z mniejszej wysokości Beskidu Niskiego nad poziom morza, słaba retencyjność dorzecza uwarunkowana głównie budową geologiczną oraz sprzyjające warunki do formowania się spływu powierzchniowego.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że scharakteryzowanym wyżej naturalnym reżimem hydrologicznym odznacza się obecnie jedynie odcinek Ropy położony powyżej zbiornika retencyjnego „Klimkówka". Poniżej zapory wodnej reżim ten jest w znacznym stopniu uzależniony od gospodarki wodnej prowadzonej na zbiorniku.

### 2.3. HISTORIA I PARAMETRY ZBIORNIKA WODNEGO „KLIMKÓWKA'

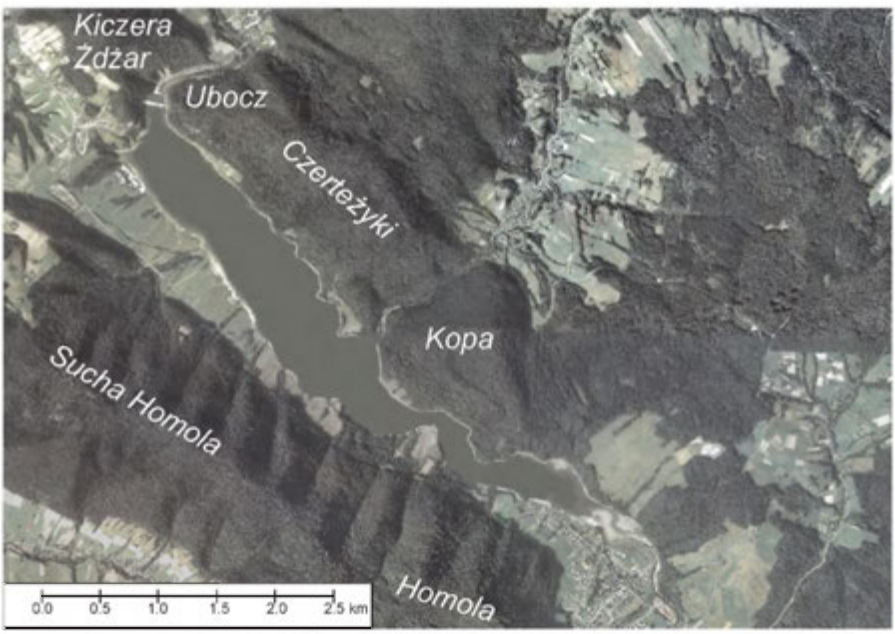
Poniższa, krótka charakterystyka zbiornika wodnego „Klimkówka oparta została na szczegółowej charakterystyce obiektu, sporządzonej przez J. Henniga (2000a, b).

Koncepcja budowy zbiornika wodnego „Klimkówka" pochodzi z przełomu lat 50. i 60. XX w., kiedy to Hydroprojekt – Oddział w Krakowie przedstawił plan budowy wielozadaniowego zbiornika wodnego „Klimkówka" na rzece Ropie, jako jednego z trzech zbiorników retencyjnych w dorzeczu Wisłoki („Klimkówka", „Krempna", „Dukla"). Początkowo istniało 6 wariantów lokalizacji zbiornika w zlewni Ropy, ale po przeprowadzeniu analiz techniczno-ekonomicznych (głównie koszt budowy i osiągany efekt wyrównawczy przepływów) wyłoniono wariant określający dzisiejszą lokalizację zbiornika (ryc. 1, 2, 3, 7). Korona zapory o wysokości 33 m i długości 210 m została umiejscowiona w 54,4 km biegu rzeki, tj. około 19 km na południe od Gorlic w kierunku Wysowej (zapora zamyka zlewnie o powierzchni 210 km$^2$).

Zasadniczym celem budowy zbiornika było wyrównanie przepływów niżówkowych na Ropie dla zlikwidowania deficytów wody pitnej i przemysłowej w Gorlicach i Jaśle oraz obniżenie kulminacji powodziowej wzdłuż biegu Ropy. Dla fali powodziowej o prawdopodobieństwie 1% obniżenie kulminacji w przekroju zaporowym obliczono na 2,0 m, dla Gorlic 1,0 m, a przy ujściu do Wisłoki 0,4 m. Napełnianie zbiornika rozpoczęto w lutym 1994 roku, a ukończono dopiero w październiku 1995, ze względu na występujące wówczas niżówki na Ropie związane z suszą hydrologiczną (Hennig 2000b). Całkowita pojemność zbiornika wynosi 43,5 mln m$^3$, z czego 33,0 mln m$^3$ przypada na pojemność wyrównawczą, 8 mln m$^3$ powodzio-

http://rcin.org.pl

wą, a 2,5 mln $m^3$ na pojemność martwą. Długość zalewu przekracza 5 km, a powierzchnia przy maksymalnym piętrzeniu 398,6 m n.p.m. równa jest 3,06 $km^2$. Szerokość zbiornika waha się od 200 m do ok. 800 m. Maksymalna głębokość zbiornika dochodzi do ok. 30 m, średnia natomiast wynosi 13 m. Linia brzegowa mierzona wzdłuż poziomicy wyznaczającej maksymalny poziom piętrzenia liczy 12,7 km długości. Odpływ wyrównany ze zbiornika to 2,0 $m^3s^{-1}$.




Ryc. 7. Zbiornik „Klimkówka" – zdjęcie lotnicze (patrz s. 4)
Klimkówka reservoir – air photo (see p. 4)

Zapora zbiornika jest zaporą ziemną z uszczelnieniem centralnym w postaci rdzenia z glin miejscowych, usytuowanego nad galerią zastrzykowo-kontrolną i przesłoną cementacyjną jednorzędową. Żelbetowa konstrukcja zapory posiada dwa przewody spustowe długości 154 m o wymiarach 3,2 x 3,2 m, zwężające się w rejonie zamknięć do 1,2 x 3,2 m, oraz komorę wlotową chronioną kratą a także wypad wspólny dla spustów i przelewu. Spusty zamykane są podwójnymi zasuwami stalowymi o napędzie mechanicznym. Przepustowość każdego przewodu spustu wynosi $Q_{50\%} = 70\ m^3s^{-1}$. Zapora posiada również przelew górny składający się z dwuprzęsłowego jazu o świetle 2 x 7,5 m zamykanego stalowymi klapami o napędzie mechanicznym oraz bystrza o szerokości 15 m i spadku podłużnym – 40% zakończonego wypadem. Przepustowość przelewu wynosi $Q = 275\ m^3s^{-1}$. Przy zbiorniku została zainstalowana elektrownia o mocy 1,1 MW. Średnio w ciągu roku elektrownia produkuje 5,4 GWh energii elektrycznej.

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl

## 3. WSTĘPNA OCENA ODDZIAŁYWANIA ZBIORNIKA WODNEGO „KLIMKÓWKA" NA LOKALNY KLIMAT

Funkcjonowanie zbiorników wodnych na rzekach w istotny sposób zakłóca naturalne warunki klimatyczne panujące w miejscu ich lokalizacji. Zasadniczej zmianie ulega bowiem konfiguracja rzeźby doliny. Nagromadzenie i spiętrzenie dużej ilości wody w zbiorniku powoduje zmniejszenie wysokości względnych i przekroju poprzecznego doliny. Zbiorniki wodne są zatem nowym elementem termicznym środowiska o innych właściwościach fizycznych niż podłoże lądowe. Wielkość i zasięg oddziaływania zbiorników na lokalny klimat zależy od układu osi głównej zbiornika w stosunku do kierunku przeważających wiatrów (Kostrakiewicz 1982).

Zbiorniki wodne powodują znaczne złagodzenie kontrastów termicznych powietrza, a ich wpływ na układ warunków meteorologicznych (w zasięgu ich oddziaływania) nie jest stały w ciągu roku i zależy od dostawy energii cieplnej. Okresowe wahania reżimu termiczno-wilgotnościowego związane są z uwalnianiem przez zbiorniki znacznych ilości ciepła w chłodnej porze roku przypadającej na drugą połowę lata, jesień oraz początek zimy (zamarzanie wody) a także z akumulowaniem energii cieplnej w sezonie wiosenno-letnim (topnienie lodu i powolne ogrzewanie wody). W okresie zimowym przy zamarzniętej tafli jeziora, często pokrytej śniegiem wpływ zbiorników na lokalny klimat znacznie maleje, a czasami nawet zanika (Lewińska 1967; Kostrakiewicz 1982)

Problem oddziaływania karpackich zbiorników wodnych na klimat został bardzo szczegółowo scharakteryzowany w literaturze (Lewik 1992; Obrębska-Starklowa, Grzyborowska 1995; Obrębska-Starklowa 1997, 2002; Bokwa 1998; Jezioro 2003). Wnikliwą prognozę przemian poszczególnych elementów klimatu, na skutek oddziaływania zbiorników wodnych (na Dunajcu i Sanie) prezentują także opracowania J. Lewińskiej (1967, 1969); M. Morawskiej (1969); E. Wierczek (1969); L. Kostrakiewicza (1979). Krótkie streszczenie wymienionych publikacji zawiera praca L. Kostrakiewicza (1982).

Z powyższych opracowań wynika, że rzetelna ocena wpływu zbiornika wodnego na lokalny klimat powinna opierać się na danych pochodzących z wieloletnich serii pomiarowych poszczególnych składowych klimatu, prowadzonych w bliskim otoczeniu zbiornika przed oraz po jego wybudo-

http://rcin.org.pl

waniu. Porównanie zebranych w ten sposób danych pozwala bowiem, na realne zobrazowanie zmian klimatycznych wywołanych funkcjonowaniem zbiornika.

Wielkość zmian oraz zasięg oddziaływania zbiornika wodnego „Klimkówka" na lokalny klimat są aktualnie trudne do oszacowania. W bezpośrednim otoczeniu obiektu nie prowadzono dotąd szczegółowych, stałych obserwacji meteorologicznych ani przed ani też po jego uruchomieniu. Dane klimatyczne pochodzące ze stacji meteorologicznej w Wysowej funkcjonującej powyżej zbiornika oraz ze Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku zlokalizowanej poniżej zbiornika, ze względu na ich kilkunastokilometrową odległość od omawianego obiektu hydrologicznego są mało przydatne do oceny omawianego problemu. Mogą natomiast stanowić doskonałe tło dla ewentualnych, przyszłych pomiarów i obserwacji meteorologicznych prowadzonych bezpośrednio przy zbiorniku.

Ze względu na fakt, że oddziaływanie różnych zbiorników wodnych na lokalny klimat jest w praktyce porównywalne, można założyć, że zmiany klimatyczne wywołane funkcjonowaniem zbiornika wodnego „Klimkówka" będą zbliżone do obserwowanych na innych zbiornikach zlokalizowanych w bliskiej odległości od „Klimkówki" w podobnych warunkach fizyczno-geograficznych. Punktem odniesienia dla zbiornika „Klimkówka" mogą być zbiorniki na Dunajcu, jak i również zbiornik „Dobczyce" na Rabie oraz „Solina" na Sanie (ryc. 2).

Opierając się na badaniach wymienionych wcześniej autorów (w szczególności opracowaniach Lewińskiej 1967, 1969; Morawskiej 1969; Wierczek 1969; Kostrakiewicza 1979, 1982) można założyć, że powstanie zbiornika „Klimkówka" przyczyniło się do zwiększenia prędkości i częstotliwości wiatrów nad jego powierzchnią oraz zmniejszenia liczby dni z ciszą. Wiatry halne często występujące na obszarze lokalizacji zbiornika „Klimkówka" mogą opóźniać tworzenie się pokrywy lodowej na zbiorniku na przełomie jesieni i zimy oraz przyspieszać topnienie lodu na wiosnę. Zbiornik wodny przypuszczalnie spowodował wzrost średniej rocznej temperatury powietrza (w przypadku zbiorników na Dunajcu jest to wzrost o ok. 0,3°C). Potencjalnemu obniżeniu uległy maksymalne wartości temperatury powietrza w okresie lata, natomiast podwyższona została temperatura powietrza jesienią i zimą. Okresowe zmiany temperatury powietrza w ciągu roku mogły przyczynić się do obniżenia wartości amplitudy temperatury powietrza (w przypadku zbiorników na Dunajcu o 3,5°C). Data pojawiania się pierwszych przymrozków przesunęła się prawdopodobnie w kierunku zimy o kilkanaście dni, a datę ostatnich przymrozków notuje się o kil-

http://rcin.org.pl

ka dni wcześniej. Zmniejszeniu mogła ulec liczba dni z przymrozkiem (o kilkanaście dni), co przełożyło się na zwiększenie długości okresu bez przymrozków. Zmaleć mogła także liczba dni mroźnych i gorących w ciągu roku. Wpływ zbiornika „Klimkówka" na zmianę lokalnych stosunków termicznych, prawdopodobnie zaznaczył się również w dobowym przebiegu temperatury powietrza, ponieważ wyższe wartości temperatury (w stosunku do naturalnych terenów poza zasięgiem zbiornika) występować mogą w godzinach porannych i wieczornych a niższe w godzinach południowych. Przypuszczalnej redukcji uległa częstotliwość występowania inwersji termicznych (w przypadku zbiorników na Dunajcu o ok. 30% dni w stosunku do liczby obserwowanej przed ich uruchomieniem), co przyczyniło się do złagodzenia kontrastów termicznych pomiędzy powierzchnią zbiornika a wyższymi partiami wzniesień otaczających zbiornik. Osłabienie częstości inwersji termicznych mogło ograniczyć liczbę mgieł.

W sezonie letnim i jesiennym parowanie ze zbiornika „Klimkówka" znacznie przewyższa parowanie terenowe, natomiast w pozostałych okresach roku panuje sytuacja odwrotna. Nad powierzchnią akwenu zapewne zmniejszyła się wilgotność powietrza, której ubytek związany jest ze zwiększoną prędkością i wysuszającym działaniem wiatrów. Roczna suma opadów atmosferycznych mogła ulec nieznacznemu wzrostowi (w przypadku zbiorników na Dunajcu o ok. 5 mm). Kilkudniowe opóźnienie wykazuje data pojawiania się i zaniku pokrywy śnieżnej, a liczba dni z notowaną pokrywą śnieżną w ciągu roku mogła się zmniejszyć nawet o kilkanaście dni.

Zmiany klimatu wokół zbiorników na Dunajcu sięgają według badań do 5 km. W przypadku zbiornika „Klimkówka" ta odległość jest najprawdopodobniej mniejsza ponieważ parametry zbiornika (przede wszystkim pojemność i powierzchnia) są mniejsze w porównaniu do zbiornika Czorsztyn–Niedzica czy Różnów. Rzetelne poznanie zmian w lokalnym klimacie spowodowanych funkcjonowaniem zbiornika „Klimkówka" wymaga jednak szczegółowych badań.

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl

# 4. WPŁYW ZBIORNIKA WODNEGO „KLIMKÓWKA" NA ZMIANĘ STOSUNKÓW HYDROLOGICZNYCH ROPY

## 4.1. INFORMACJE OGÓLNE

Funkcjonowanie zbiorników retencyjnych na rzekach jest przyczyną gruntownej deformacji szeroko pojętych stosunków hydrologicznych rzek. Stopień i zakres wszelkich zmian zależy od pojemności zbiornika i sposobu jego eksploatacji, rzeźby doliny, w której jest zlokalizowany, specyfiki lokalnego klimatu oraz warunków hydrogeologicznych (Lach, Deptuch 1988).

Problem oddziaływania zbiorników retencyjnych na reżim hydrologiczny rzek, na których powstały, w polskiej literaturze badany jest od lat 50. XX w. (m.in. Punzet 1959, 1973; Glazik 1976, 1978; Kosicki, Krężel 1977; Ujda i in. 1977; Dynowska 1984b; Lach, Deptuch 1988; Krzanowski 2000, 2002a, b; Chełmicki, Bieńkowski 2005). Analiza cytowanej literatury wskazuje, że oddziaływanie zbiorników retencyjnych na wielkość przepływów na rzekach wiąże się z obniżeniem maksymalnych przepływów w okresach wezbrań oraz podniesieniem przepływów niżówkowych, zwłaszcza w czasie susz hydrologicznych, efektem czego jest zmniejszenie zmienności przepływów. Ma to szczególne znaczenie na obszarze Karpat, gdzie występują coroczne nadmiary oraz niedobory wody. Zasięg oddziaływania zbiorników wodnych na wielkość przepływów na rzekach jest różny. Szczegółową charakterystykę zmiany reżimu przepływów na skutek oddziaływania zbiornika wodnego prezentuje I. Dynowska (1984b). Stwierdza ona, że zbiornik w Solinie najdalszy wpływ (aż do ujścia) ma na redukcję przepływów maksymalnych na Sanie, a obniżenie ich wielkości w stosunku do przepływów niezmienionych przez pracę zbiornika wynosi ok. 23%. Najkrótszy zasięg wywiera na podniesienie przepływów minimalnych (do Leska), a wielkość zmian w stosunku do przepływów niezmienionych przez funkcjonowanie zbiornika sięga 30%. W cyklu rocznym zbiornik w Solinie powoduje ścięcie fali roztopowej i tym samym redukuje przepływy w miesiącach wiosennych a podwyższa w okresie lata. Przedstawiona zmiana reżimu przepływów jest wyraźna poniżej zbiornika a następnie stopniowo maleje w dół rzeki. Ponieważ zbiornik „Solina" w warunkach polskich jest bardzo dużym obiektem w stosunku do wielkości przepływu Sanu, a jego roczny współczynnik retencji wynosi 80%, zdaniem I. Dynowskiej (1984b) oddziaływanie innych zbiorników w Polsce na zmianę reżimu odpływu,

http://rcin.org.pl

o zdecydowanie mniejszych współczynnikach retencji jest mniejsze niż w przypadku Soliny. Według J. Punzeta (1972) wypuszczane ze zbiornika fale ulegają transformacji, czyli spłaszczaniu i wydłużaniu w czasie. Przebieg fali należy rozpatrywać, jako funkcję przebytej drogi, stanu retencyjnego w obrębie dorzecza oraz sposobu wypuszczania fali. Im dalej od zbiornika tym mniejszy jest jego wpływ na kształt fali.

R. Glazik (1976, 1978) wskazuje na mniejszą amplitudę wahań stanu wody na Wiśle poniżej zbiornika „Włocławek", po jego wybudowaniu, a podobne tendencje zauważa także J. Lach i U. Deptuch (1988) na Wisłoku poniżej zbiornika „Besko". Efektem budowy zbiorników retencyjnych na rzekach jest także uruchomienie erozji dna poniżej zapór wodnych (Glazik 1976, 1978). Jako główną przyczynę erozji wgłębnej poniżej stopni wodnych Z. Babiński (1986) podaje m.in. za K. Gregorym i C. Parkiem (1974); L. Grafem (1980); G.P. Wiliamsem i M.G. Wolmanem (1984) wzrost energii wód „oczyszczonych" z rumowiska w górnych częściach czasz zbiorników. Zwiększoną erozję dna na Wiśle poniżej zbiornika „Włocławek" Z. Babiński (1986) wiąże jednak z chwilowymi przyrostami energii kinetycznej i potencjalnej spowodowanymi pracą elektrowni.

## 4.2. CHARAKTERYSTYKA HYDROLOGICZNA CIEKÓW ZASILAJĄCYCH ZBIORNIK WODNY „KLIMKÓWKA"

Zbiornik wodny „Klimkówka" zasilany jest przez wodę pochodzącą z trzech różnych cieków mających cechy rzek górskich. Główny ciek wpływający do zbiornika stanowi Ropa (zlewnia do ujścia Zdyni o powierzchni 71 km$^2$). Zdynia, która uchodzi do Ropy kilkaset metrów powyżej cofki zbiornika, ze względu na wielkość zlewni (powierzchnia 105 km$^2$) oraz przepływów, w niniejszym opracowaniu jest traktowana jako odrębny dopływ do zbiornika. Przysłup (zlewnia o powierzchni 24 km$^2$ i znikomym przekształceniu przez człowieka) jest prawobrzeżnym, bezpośrednim dopływem zbiornika „Klimkówka" (ryc. 1, 2, 3). Cieki te, odwadniają zlewnie o zróżnicowanych względem siebie parametrach, mających zasadniczy wpływ na formowanie się wielkości przepływów (tab. 1), które z kolei determinują warunki hydrologiczne i gospodarkę wodną na omawianym zbiorniku retencyjnym.

http://rcin.org.pl

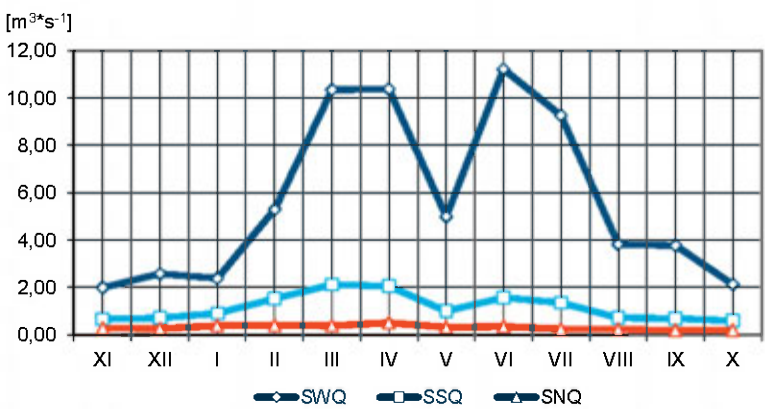
Tabela 1. Wybrane parametry zlewni Ropy, Zdyni i Przysłupa

| Parametry zlewni | Ropa | Zdynia | Przysłup |
|---|---|---|---|
| powierzchnia [km$^2$] | 71 | 105 | 24 |
| długość maksymalna [km] | 18 | 20 | 11 |
| średnia szerokość [km] | 4 | 5 | 2 |
| średnia wysokość [m n.p.m.] | 668 | 637 | 536 |
| średni spadek (cieku) $^0/_{00}$ | 15 | 10 | 30 |
| wskaźnik wydłużenia | 0,5 | 0,6 | 0,5 |
| wskaźnik kolistości | 0,6 | 0,5 | 0,5 |

Źródło: opracowanie własne

Dynamikę rocznych przepływów wody na Ropie, Zdyni oraz Przysłupie odzwierciedla przebieg miesięcznych przepływów charakterystycznych wody na tych rzekach obliczonych dla wielolecia 1995–2006. Prezentowane dane mają unikalną wartość ze względu na brak rzetelnych materiałów hydrologicznych charakteryzujących zlewnie Beskidu Niskiego.

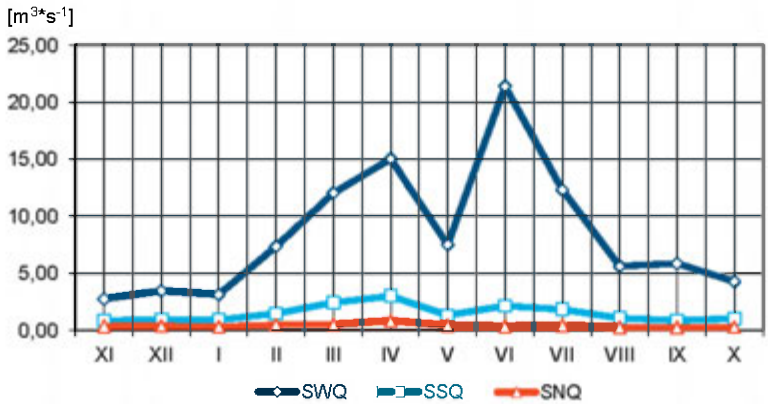
Średnie maksymalne miesięczne przepływy (SWQ) na Ropie, Zdyni i Przysłupie osiągały najwyższe wartości pomiędzy lutym a lipcem, przy czym największy przepływ zaznaczał się w czerwcu – odpowiednio 11,21 m$^3$s$^{-1}$, 21,40 m$^3$s$^{-1}$ oraz 5,30 m$^3$s$^{-1}$ (ryc. 8, 9, 10). Przez pozostałą część roku na omawianych rzekach średnie maksymalne miesięczne przepływy wykazywały zdecydowanie niższe wartości zamykające się w przedziałach 1,99–3,83 m$^3$s$^{-1}$ (Ropa), 2,73–5,85 m$^3$s$^{-1}$ (Zdynia), 0,88–1,45 m$^3$s$^{-1}$ (Przysłup). Maksymalny przepływ miesięczny w omawianym wieloleciu (WWQ)



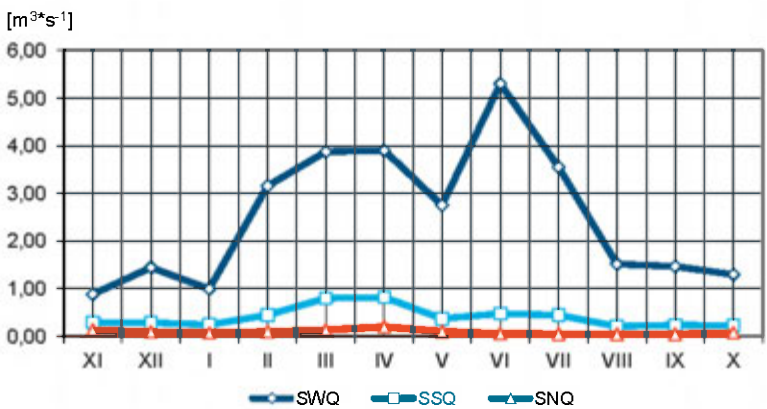

Ryc. 8. Średnie maksymalne (SWQ), średnie (SSQ) oraz średnie minimalne (SNQ) miesięczne przepływy na Ropie w Uściu Gorlickim w latach 1995–2006
Average maximal (SWQ), average (SSQ) and average minimal (SNQ) monthly flows on the Ropa river in Uście Gorlickie between 1995 and 2006

http://rcin.org.pl

podczas wezbrań roztopowych występujących w okresie marzec–kwiecień wyniósł na Ropie 35,60 $m^3s^{-1}$, Zdyni 61,40 $m^3s^{-1}$ i Przysłupie 14,30 $m^3s^{-1}$ (ryc. 11). W czasie letnich wezbrań opadowych pomiędzy czerwcem a lipcem maksymalny przepływ sięgnął 129,00 $m^3s^{-1}$ na Zdyni i 59,20 $m^3s^{-1}$ na Ropie oraz 29,10 $m^3s^{-1}$ na Przysłupie.

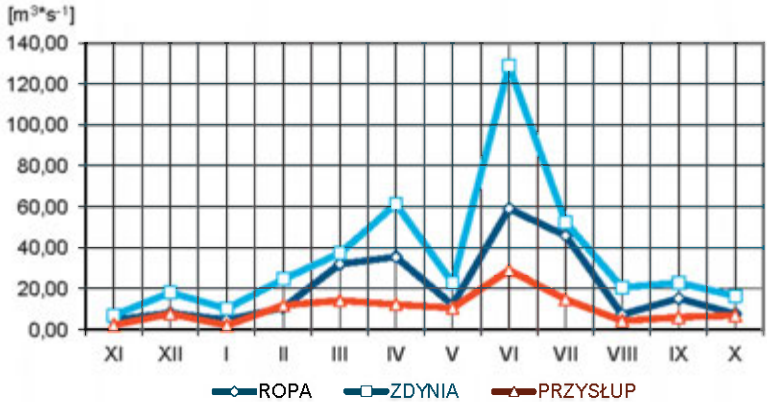



Ryc. 9. Średnie maksymalne (SWQ), średnie (SSQ) oraz średnie minimalne (SNQ) miesięczne przepływy na Zdyni w Uściu Gorlickim w latach 1995–2006
Average maximal (SWQ), average (SSQ) and average minimal (SNQ) monthly flows on the Zdynia river in Uście Gorlickie between 1995 and 2006



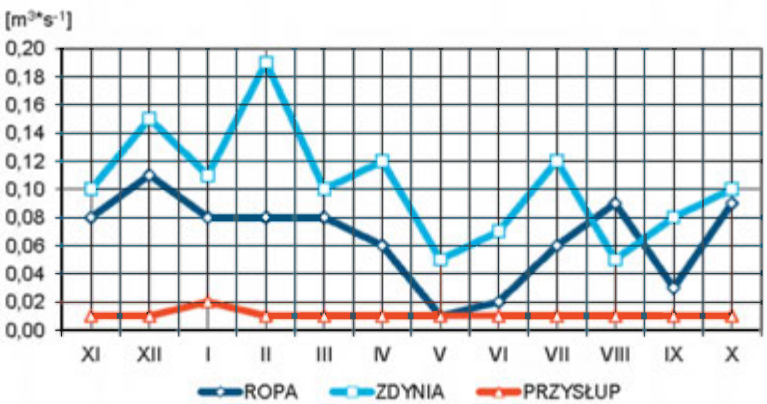

Ryc. 10. Średnie maksymalne (SWQ), średnie (SSQ) oraz średnie minimalne (SNQ) miesięczne przepływy na Przysłupie w Kunkowej w latach 1995–2006
Average maximal (SWQ), average (SSQ) and average minimal (SNQ) monthly flows on the Przysłup river in Kunkowa between 1995 and 2006

http://rcin.org.pl




Ryc. 11. Maksymalne miesięczne przepływy (WWQ) na Ropie i Zdyni w Uściu Gorlickim oraz Przysłupie w Kunkowej w latach 1995–2006
Maximal monthly flows (WWQ) on the Ropa river and Zdynia river in Uście Gorlickie and on the Przysłup river in Kunkowa between 1995 and 2006

Najwyższe średnie miesięczne przepływy (SSQ) na wszystkich trzech rzekach obserwowano pomiędzy lutym a lipcem z maksimum na Ropie w marcu – 2,12 $m^3s^{-1}$ i kwietniu 2,05 $m^3s^{-1}$, Zdyni w kwietniu 3,00 $m^3s^{-1}$, a Przysłupie w marcu – 0,80 $m^3s^{-1}$ i kwietniu – 0,82 $m^3s^{-1}$ (ryc. 8, 9, 10). W pozostałych miesiącach na wszystkich rzekach notowano niskie wartości średnich miesięcznych przepływów mieszczące się w przedziałach 0,59–0,90 $m^3s^{-1}$ (Ropa), 0,83–1,06 $m^3s^{-1}$ (Zdynia), 0,21–0,29 $m^3s^{-1}$ (Przysłup).

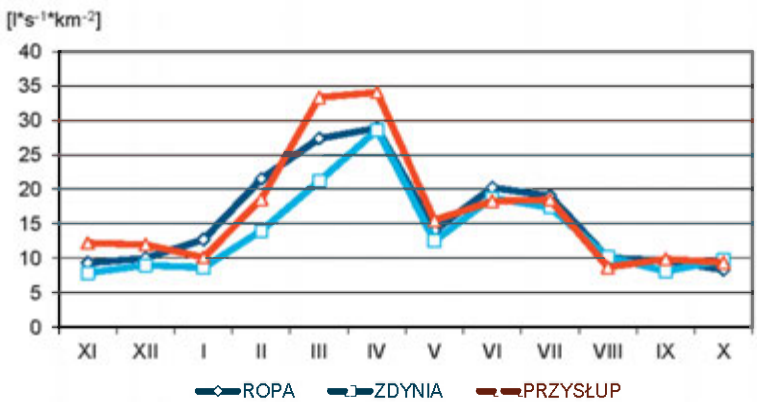



Ryc. 12. Minimalne miesięczne przepływy (NNQ) na Ropie i Zdyni w Uściu Gorlickim oraz Przysłupie w Kunkowej w latach 1995–2006
Minimal monthly flows (WWQ) on the Ropa river and Zdynia river in Uście Gorlickie and on the Przysłup river in Kunkowa between 1995 and 2006

http://rcin.org.pl

Średnie minimalne miesięczne przepływy (SNQ) na Ropie, Zdyni i Przysłupie osiągały w ciągu roku najwyższe wartości tylko w kwietniu i wynoszą odpowiednio 0,51 $m^3s^{-1}$, 0,83 $m^3s^{-1}$ oraz 0,20 $m^3s^{-1}$ (ryc. 8, 9, 10). W pozostałych miesiącach wartości średnich minimalnych przepływów na Ropie zamykały się w przedziale 0,19–0,38 $m^3s^{-1}$, Zdyni 0,24–0,49 $m^3s^{-1}$ a na Przysłupie spadają nawet poniżej 0,10 $m^3s^{-1}$. Minimalny przepływ (NNQ) w latach 1995–2006 (ryc. 12) odnotowano na Ropie w maju – 0,01 $m^3s^{-1}$ a na Zdyni w maju i sierpniu – 0,05 $m^3s^{-1}$. W pozostałych miesiącach zawierały się w przedziale 0,02–0,11 $m^3s^{-1}$ (Ropa) oraz 0,07–0,19 $m^3s^{-1}$ (Zdynia), przy czym wyższe wartości minimalnych przepływów na tych ciekach obserwowano w okresie jesienno-zimowym. Minimalne miesięczne przepływy na Przysłupie przez cały rok (z wyjątkiem lutego – 0,02 $m^3s^{-1}$) spadały do 0,01 $m^3s^{-1}$.

Swoisty wyjątek w każdym z rozpatrywanych powyżej przypadków stanowi maj, w którym następował gwałtowny spadek wartości miesięcznych przepływów charakterystycznych na każdej z rzek w stosunku do sąsiednich miesięcy. Obniżenie to jest szczególnie widoczne w przypadku średnich maksymalnych oraz średnich miesięcznych przepływów na rzekach.

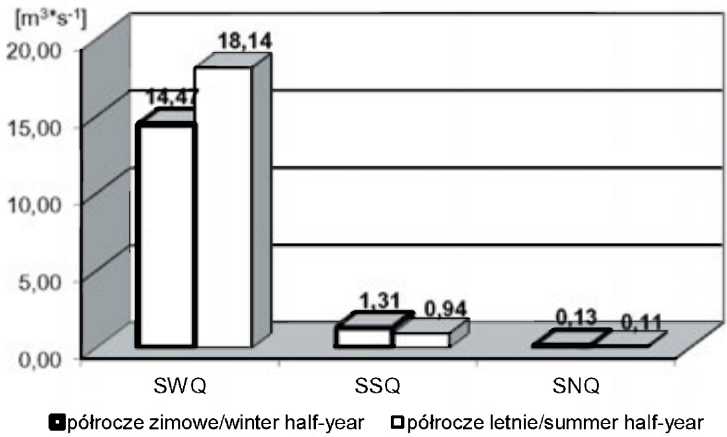



Ryc. 13. Średnie miesięczne odpływy jednostkowe w zlewni Ropy, Zdyni i Przysłupa w latach 1995–2006
Average monthly specific discharges from the Ropa, Zdynia and Przysłup catchments between 1995 and 2006

Największe odpływy jednostkowe występują w zlewniach badanych cieków w okresach luty–kwiecień oraz czerwiec–lipiec (ryc. 13). Spośród rozpatrywanych zlewni najwyższe średnie miesięczne odpływy z jednostki powierzchni wahające się pomiędzy 9 $ls^{-1}km^{-2}$ (sierpień) a 34 $ls^{-1}km^{-2}$ (kwiecień) obserwowano generalnie w ciągu roku w zlewni Przysłupa. Druga w kolejności jest zlewnia Ropy, w której średnie miesięczne odpływy

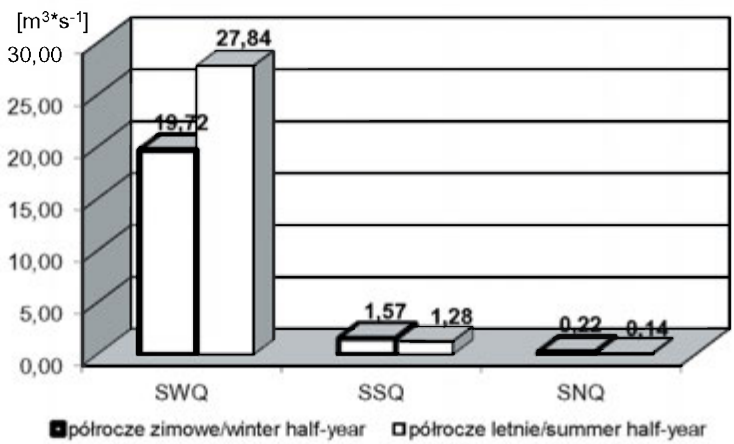
http://rcin.org.pl

jednostkowe zawierały się w przedziale 8 $ls^{-1}km^{2}$ (październik) – 28 $ls^{-1}km^{2}$ (kwiecień), natomiast najniższe średnie miesięczne odpływy jednostkowe między 8 $ls^{-1}km^{2}$ (listopad) a 29 $ls^{-1}km^{2}$ (kwiecień) w ciągu roku z reguły notowano w zlewni Zdyni.




Ryc. 14. Średnie maksymalne (SWQ), średnie (SSQ) oraz średnie minimalne (SNQ) przepływy w półroczu hydrologicznym zimowym i letnim na Ropie w Uściu Gorlickim w latach 1995–2006

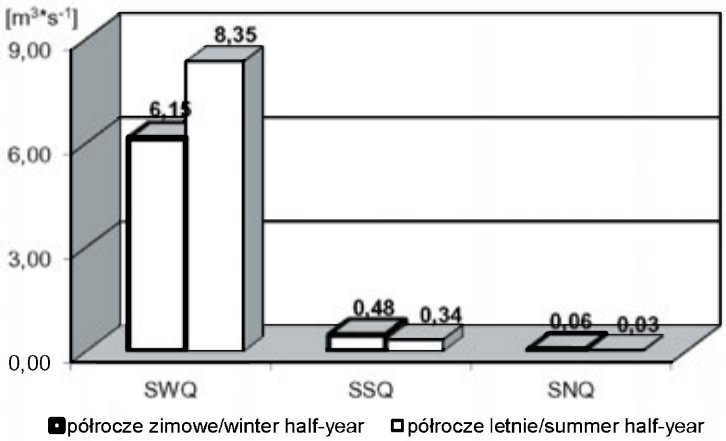
Average maximal (SWQ), average (SSQ) and average minimal (SNQ) flows in the winter and summer hydrological half year on the Ropa river in Uście Gorlickie between 1995 and 2006




Ryc. 15. Średnie maksymalne (SWQ), średnie (SSQ) oraz średnie minimalne (SNQ) przepływy w półroczu hydrologicznym zimowym i letnim na Zdyni w Uściu Gorlickim w latach 1995–2006

Average maximal (SWQ), average (SSQ) and average minimal (SNQ) flows in the winter and summer hydrological half year on the Zdynia river in Uście Gorlickie between 1995 and 2006

http://rcin.org.pl



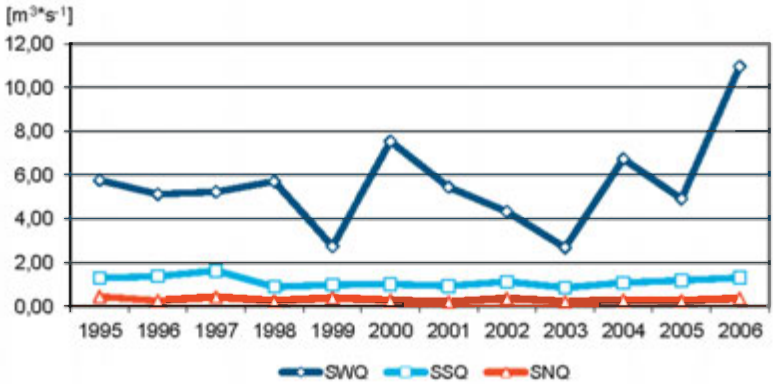

Ryc. 16. Średnie maksymalne (SWQ), średnie (SSQ) oraz średnie minimalne (SNQ) przepływy w półroczu hydrologicznym zimowym i letnim na Przysłupie w Kunkowej w latach 1995–2006

Average maximal (SWQ), average (SSQ) and average minimal (SNQ) flows in the winter and summer hydrological half year on the Przyslup river in Kunkowa between 1995 and 2006

Porównanie przepływów charakterystycznych na poszczególnych rzekach zasilających zbiornik wodny „Klimkówka" obliczonych dla półroczy hydrologicznych lat 1995–2006 (ryc. 14, 15, 16) pokazuje, że w półroczu zimowym notowano, w porównaniu z półroczem letnim, wyższe średnie minimalne (SNQ) oraz średnie przepływy (SSQ) wody na każdej z rzek. W półroczu zimowym średnie minimalne przepływy (SNQ) wyniosły: 0,13 $m^3s^{-1}$ – Ropa; 0,22 $m^3s^{-1}$ – Zdynia; 0,06 $m^3s^{-1}$ – Przysłup; a średnie przepływy (SSQ) 1,31 $m^3s^{-1}$ – Ropa; 1,57 $m^3s^{-1}$ – Zdynia; 0,48 $m^3s^{-1}$ – Przysłup. W półroczu letnim średnie minimalne przepływy (SNQ) zmniejszyły się do 0,11 $m^3s^{-1}$ – Ropa; 0,14 $m^3s^{-1}$ – Zdynia; 0,03 $m^3s^1$ Przysłup, a przepływy średnie (SS ) do 0,94 $m^3s^{-1}$– Ropa; 1,28 $m^3s^{-1}$ – Zdynia; 0,32 $m^3s^{-1}$ – Przysłup. Średnie maksymalne przepływy (SWQ) wody na omawianych rzekach przyjmowały wyższe wartości w półroczu letnim, w którym na Ropie odnotowano 18,14 $m^3s^{-1}$; Zdyni 27,84 $m^3s^{-1,}$ a Przysłupie 7,86 $m^3s^{-1}$, natomiast w półroczu zimowym na Ropie 14,47 $m^3s^{-1}$; Zdyni 19,72 $m^3s^{-1}$, oraz Przysłupie 6,15 $m^3s^{-1}$.

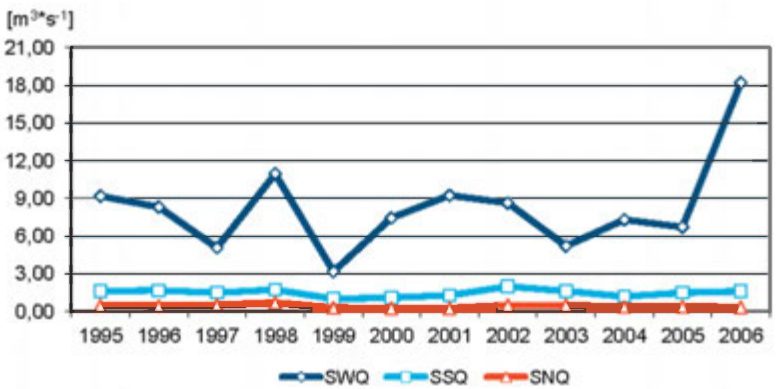
Przepływy charakterystyczne dla poszczególnych lat wielolecia 1994–2006 wskazują na cykliczne występowanie kilkuletnich okresów o podwyższonych i obniżonych przepływach wody na wszystkich trzech rzekach (ryc. 17, 18, 19, 20, 21). Najwyższy średni maksymalny przepływ roczny (SWQ) w badanym wieloleciu na Ropie, Zdyni i Przysłupie odnotowano w roku 2006, który wynosił odpowiednio 10,96 $m^3s^{-1}$, 18,20 $m^3s^{-1}$

http://rcin.org.pl




Ryc. 17. Średnie maksymalne (SWQ), średnie (SSQ) oraz średnie minimalne (SNQ) roczne przepływy na Ropie w Uściu Gorlickim w latach 1995–2006

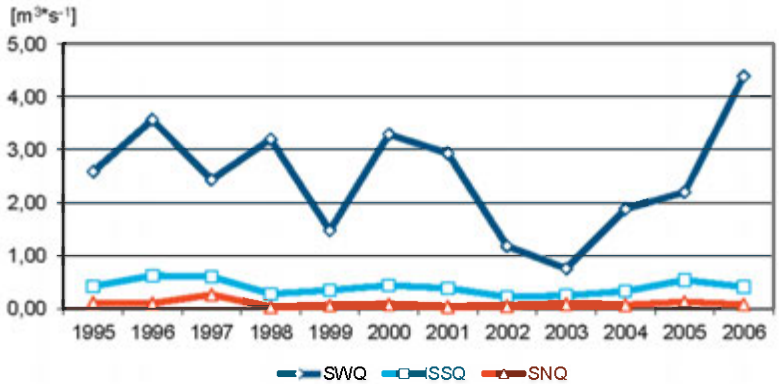
Average maximal (SWQ), average (SSQ) and average minimal (SNQ) annual flows on the Ropa river in Uście Gorlickie between 1995 and 2006




Ryc. 18. Średnie maksymalne (SWQ), średnie (SSQ) oraz średnie minimalne (SNQ) roczne przepływy na Zdyni w Uściu Gorlickim w latach 1995–2006

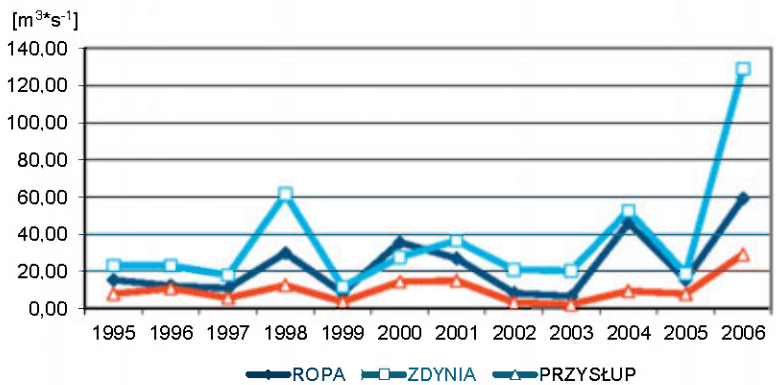
Average maximal (SWQ), average (SSQ) and average minimal (SNQ) annual flows on the Zdynia river in Uście Gorlickie between 1995 and 2006

http://rcin.org.pl




Ryc. 19. Średnie maksymalne (SWQ), średnie (SSQ) oraz średnie minimalne (SNQ) roczne przepływy na Przysłupie w Kunkowej w latach 1995–2006

Average maximal (SWQ), average (SSQ) and average minimal (SNQ) annual flows on the Przysłup river in Kunkowa between 1995 and 2006

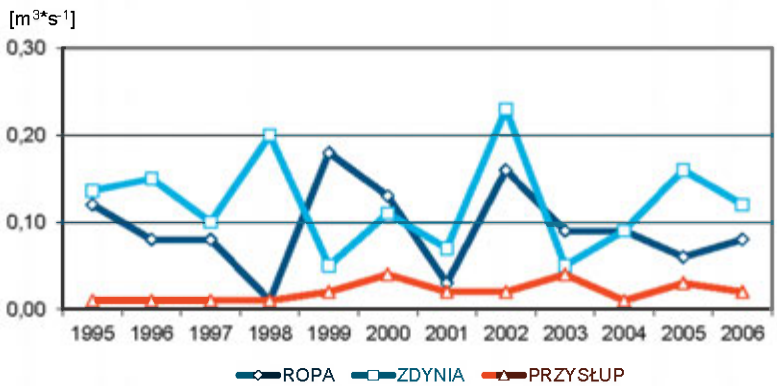



Ryc. 20. Maksymalne roczne przepływy (WWQ) na Ropie i Zdyni w Uściu Gorlickim oraz Przysłupie w Kunkowej w latach 1995–2006

Maximal annual flows (WWQ) on the Ropa river and Zdynia river in Uście Gorlickie and on the Przysłup river in Kunkowa between 1995 and 2006

http://rcin.org.pl

oraz 4,39 $m^3s^{-1}$ (ryc. 17). Maksymalne wartości średnich rocznych przepływów (SSQ) na Ropie przypadły na rok 1997 – 1,64 $m^3s^{-1}$, Zdyni na 2002 – 1,98 $m^3s^{-1}$, a Przysłupie na 1996 – 0,62 $m^3s^{-1}$ oraz 1997 – 0,60 $m^3s^{-1}$ (ryc. 18). Najwyższe wartości średnich minimalnych przepływów rocznych (SNQ) na Ropie i Przysłupie zaobserwowano w 1995 roku – odpowiednio 0,45 $m^3s^{-1}$ oraz 0,26 $m^3s^{-1}$, a na Zdyni w 1998 – 0,68 $m^3s^{-1}$ (ryc. 19). Maksymalne przepływy roczne (WWQ) na Ropie notowane w latach 1995–2006 (ryc. 20) wahały się pomiędzy 6,50 $m^3s^{-1}$ (2003), a 59,20 $m^3s^{-1}$ (2006), na Zdyni między 11,60 $m^3s^{-1}$ (1999) a 129,00 $m^3s^{-1}$ (2006), a Przysłupie 2,14 $m^3s^{-1}$ (2003) i 29,10 $m^3s^{-1}$ (2006). Najniższe przepływy roczne (NNQ) w omawianym wieloleciu (ryc. 21) na Ropie (1998) i Przysłupie (w kilku latach) spadały do 0,01 $m^3s^{-1}$ a na Zdyni do 0,05 $m^3s^{-1}$ (1999 i 2003). Maksymalne wartości przepływów minimalnych rocznych sięgały na Ropie 0,18 $m^3s^{-1}$ (1999), Zdyni 0,23 $m^3s^{-1}$ (2002), a Przysłupie 0,04 $m^3s^{-1}$ (2000 i 2003).

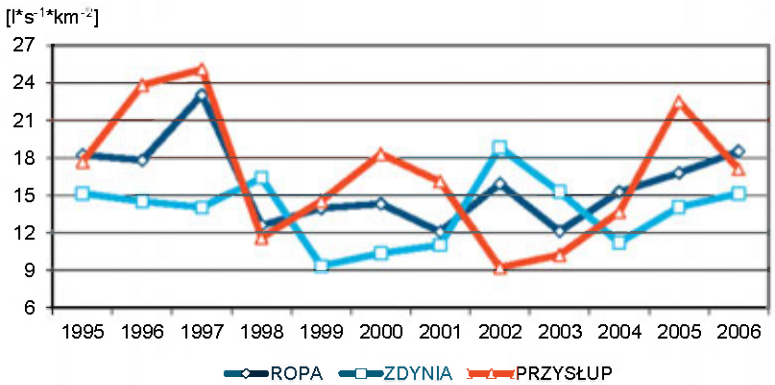



Ryc. 21. Minimalne roczne przepływy (NNQ) na Ropie i Zdyni w Uściu Gorlickim oraz Przysłupie w Kunkowej w latach 1995–2006
Minimal annual flows (WWQ) on the Ropa river and Zdynia river in Uście Gorlickie and in the Przysłup river in Kunkowa between 1995 and 2006

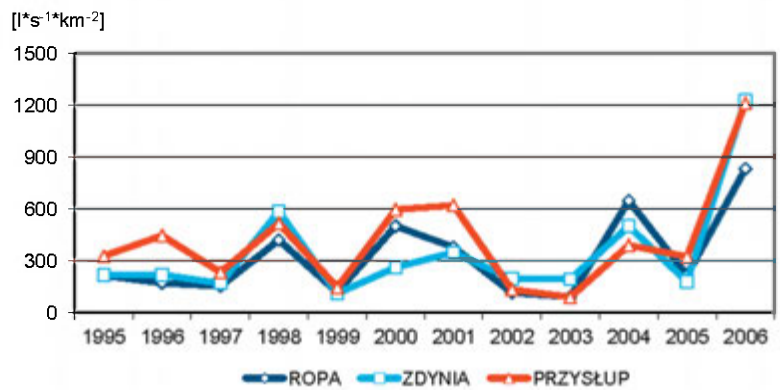
Średnie roczne odpływy jednostkowe dla zlewni Ropy, Zdyni i Przysłupa wykazują dosyć duże różnice (ryc. 22), co jest wynikiem położenia oraz zróżnicowania parametrów zlewni. Zdarza się również, że wysokie opady obserwowane w jednej z tych zlewni, w pozostałych wykazują zdecydowanie mniejsze wartości lub nie występują w ogóle. Odmienny w przypadku poszczególnych zlewni może być także czas tajania pokrywy śnieżnej. W większości lat okresu 1995–2006 najwyższe średnie odpływy jednostkowe i największe ich wahania obserwowano w zlewni Przysłupa. W całym wieloleciu wahały się one pomiędzy 9 $ls^{-1}km^{-2}$ (2002) i 25 $ls^{-1}km^{-2}$ (1997). Średnie roczne odpływy jednostkowe w zlewni Ropy zamykały się w prze-

http://rcin.org.pl

dziale 21 $ls^{-1}km^{-2}$ (2001) – 23 $ls^{-1}km^{-2}$ (1997), a Zdyni między 9 $ls^{-1}km^{-2}$ (1999) i 19 $ls^{-1}km^{-2}$ (2002). Maksymalne odpływy jednostkowe (ryc. 23) były zdecydowanie wyższe i w przypadku Ropy generalnie wahały się od 92 $ls^{-1}km^{-2}$ (2003) do 648 $ls^{-1}km^{-2}$ (2004), Zdyni od 110 $ls^{-1}km^{-2}$ (1999) do 585 $ls^{-1}km^{-2}$ (1998) i Przysłupa od 89 $ls^{-1}km^{-2}$ (2003) do 621 $ls^{-1}km^{-2}$ (2001). Wyjątek stanowi rok 2006, w którym najwyższe odpływy jednostkowe w omawianych zlewniach wyniosły 834 $ls^{-1}km^{-2}$ (Ropa), 1229 $ls^{-1}km^{-2}$ (Zdynia) oraz 1212 $ls^{-1}km^{-2}$ (Przysłup).

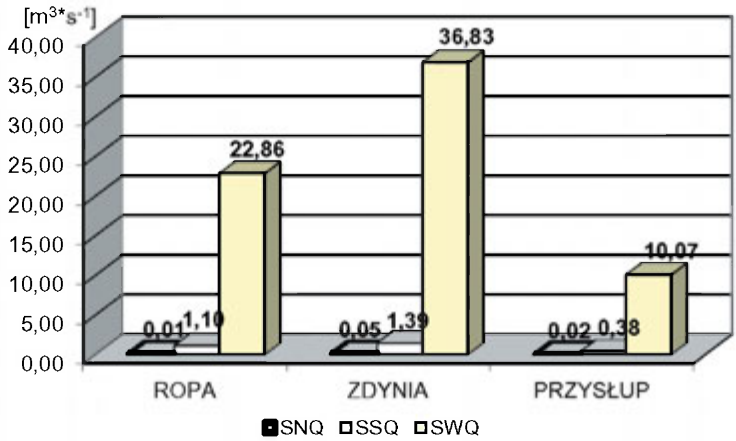



Ryc. 22. Średnie roczne odpływy jednostkowe ze zlewni Ropy, Zdyni i Przysłupa w latach 1995–2006
Average annual specific discharges from the Ropa, Zdynia and Przysłup catchments between 1995 and 2006




Ryc. 23. Maksymalne roczne odpływy jednostkowe w zlewni Ropy, Zdyni i Przysłupa w latach 1995–2006
Maximal annual specific discharges from the Ropa, Zdynia and Przysłup catchments between 1995 and 2006

http://rcin.org.pl




Ryc. 24. Średnie minimalne (SNQ), średnie (SSQ) oraz średnie maksymalne (SWQ) przepływy na Ropie i Zdyni w Uściu Gorlickim oraz Przysłupie w Kunkowej w latach 1995–2006

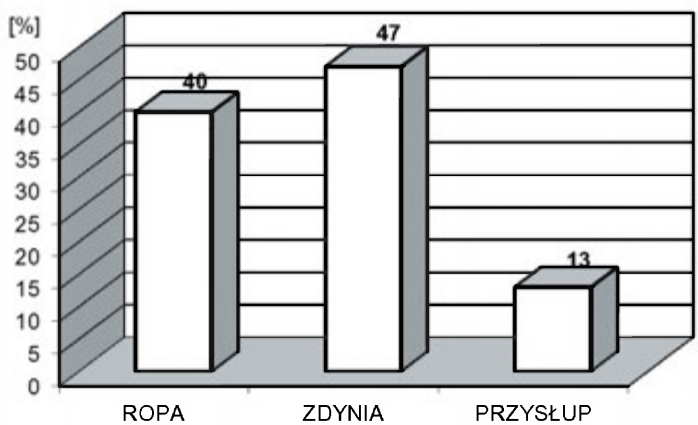
Average minimal (SNQ), average (SSQ) and average maximal (SWQ) flows on the Ropa river and Zdynia river in Uście Gorlickie and on the Przysłup river in Kunkowa between 1995 and 2006

W całym omawianym wieloleciu (1995–2006) najwyższe wartości przepływów charakterystycznych na rzekach zasilających zbiornik „Klimkówka" obserwuje się na Zdyni, dla której średni maksymalny wieloletni przepływ (SWQ) wyniósł 36,83 $m^3s^{-1}$, średni (SSQ) 1,47 $m^3s^{-1}$, a średni minimalny (SNQ) 0,12 $m^3s^{-1}$ (ryc. 24). Druga w kolejności jest Ropa, na której średni maksymalny przepływ (SWQ) w latach 1995–2006 jest równy 22,86 $m^3s^{-1}$, średni (SSQ) 1,15 $m^3s^{-1}$ a średni minimalny (SNQ) 0,09 $m^3s^{-1}$. Najniższe przepływy wieloletnie odnotowano na Przysłupie, na którym średni maksymalny przepływ (SWQ) jest równy 10,70 $m^3s^{-1}$, średni (SSQ) 0,40 $m^3s^{-1}$ a średni minimalny (SNQ) 0,02 $m^3s^{-1}$. Maksymalne przepływy (WWQ), które obserwowano na omawianych rzekach w latach 1995–2006 wystąpiły 4.06.2006 i sięgały 59,20 $m^3s^{-1}$ na Ropie, 129,00 $m^3s^{-1}$ na Zdyni oraz 29,10 $m^3s^{-1}$ na Przysłupie, natomiast najniższe przepływy (NNQ) zanotowane w tym wieloleciu wyniosły na Ropie 0,01 $m^3s^{-1}$ (11–15.05.1998), na Zdyni 0,05 $m^3s^{-1}$ (8–10.05.1999 oraz 29–31.08.2003) a Przysłupie wielokrotnie w czasie letnich miesięcy spadały poniżej 0,01 $m^3s^{-1}$. Średni odpływ jednostkowy dla zlewni Ropy wyniósł 15,92 $ls^{-1}km^{-2}$, Zdyni 13,83 $ls^{-1}km^{-2}$ i Przysłupa 16,57 $ls^{-1}km^{-2}$. Średni maksymalny odpływ jednostkowy obliczony dla rozpatrywanego wielolecia wyniósł w zlewni Przysłupa – 419,51 $ls^{-1}km^{-2}$ i był wyraźnie wyższy niż w zlewni Ropy – 322,01 $ls^{-1}km^{-2}$ i Zdyni – 350,79 $ls^{-1}km^{-2}$.

http://rcin.org.pl

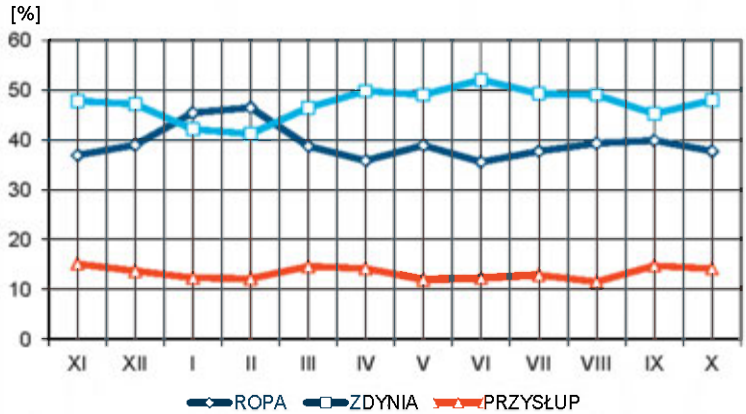
Zróżnicowanie przepływu na ciekach zasilających zbiornik wodny „Klimkówka" przekłada się na różny ich udział w zasilaniu zbiornika w wodę, o czym świadczą procentowe wartości, obliczone na podstawie dobowych przepływów na Ropie, Zdyni i Przysłupie w latach 1995–2006.

W skali roku największy udział w zasilaniu zbiornika „Klimkówka" w wodę w omawianym wieloleciu miała Zdynia, z której dopływ stanowił średnio 47% całej masy wody wpływającej do zbiornika (ryc. 25). Nieco mniejszy, 40% udział w ogólnym przybytku wody w zbiorniku posiadała Ropa, natomiast najmniejszy wkład miał Przysłup, którego wody to średnio 13% rocznego dopływu. Podobna hierarchia pomiędzy rzekami w zasilaniu zbiornika retencyjnego „Klimkówka" w wodę zachodziła w poszczególnych miesiącach roku. Odstępstwo stanowi styczeń i luty, kiedy to Ropą płynęło zdecydowanie więcej wody aniżeli Zdynią (ryc. 26). Ropa i Przysłup więcej wody do zbiornika „Klimkówka" doprowadzała w półroczu zimowym (odpowiednio 40% i 14% całkowitego odpływu w tym półroczu) w porównaniu z półroczem letnim (odpowiednio 38% oraz 13%), natomiast Zdynia większy udział w zasilaniu zbiornika posiadała w półroczu letnim – 49%, aniżeli w półroczu zimowym – 46% (ryc. 27). Dominację Zdyni w zasilaniu zbiornika „Klimkówka" w wodę w stosunku do Ropy i Przysłupa obserwowano w poszczególnych latach funkcjonowania zbiornika. Wyjątkiem są lata 1996, 1997 oraz 1999 i 2000, w których udział Ropy i Zdyni w zasilaniu „Klimkówki" był praktycznie równy, a różnice pomiędzy nimi nie przekraczały 1% (ryc. 28).

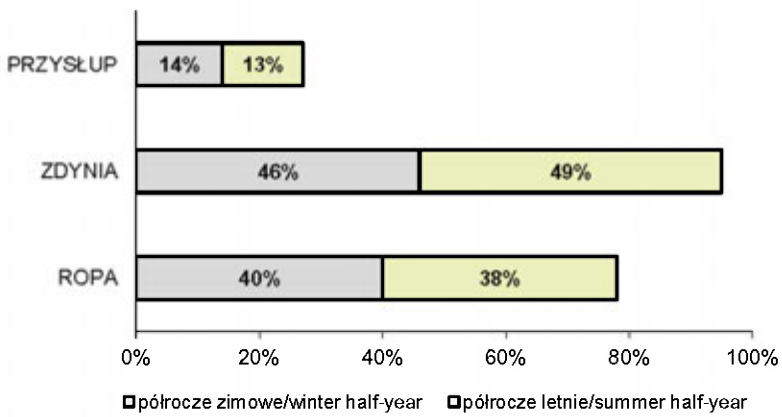



Ryc. 25. Procentowy udział Ropy, Zdyni i Przysłupa w rocznym zasilaniu zbiornika „Klimkówka" w latach 1995–2006
Percentage share of the Ropa river, Zdynia river and Przysłup river in the annual supply of water to the Klimkówka reservoir between 1995 and 2006

http://rcin.org.pl

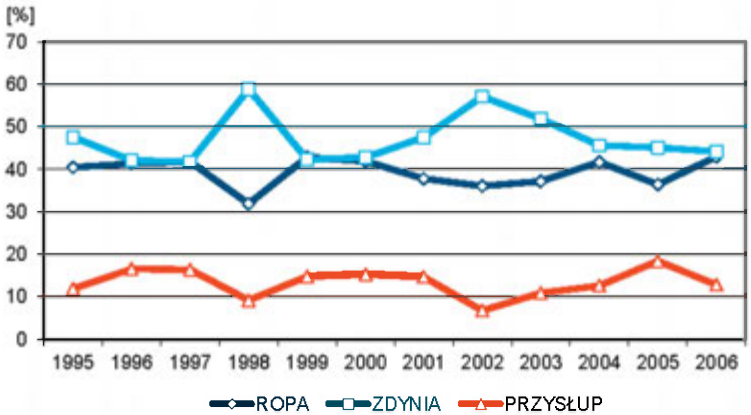



Ryc. 26. Procentowy udział Ropy, Zdyni i Przysłupa w miesięcznym zasilaniu zbiornika „Klimkówka" w latach 1995–2006
Percentage share of the Ropa river, Zdynia river and Przysłup river in the monthly supply of water to the Klimkówka reservoir between 1995 and 2006




Ryc. 27. Procentowy udział Ropy, Zdyni i Przysłupa w zasilaniu zbiornika „Klimkówka" w półroczu hydrologicznym zimowym i letnim w latach 1995–2006
Percentage share of the Ropa river, Zdynia river and Przysłup river in the supply of water to the Klimkówka reservoir in the winter and summer hydrological half year between 1995 and 2006

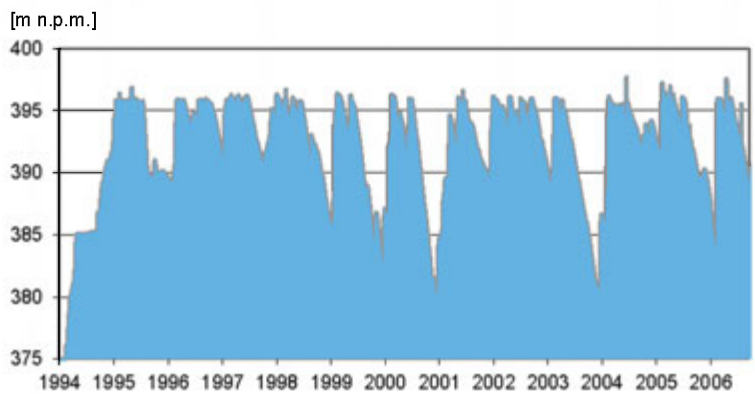
http://rcin.org.pl




Ryc. 28. Procentowy udział Ropy, Zdyni i Przysłupa w zasilaniu zbiornika „Klimkówka" w latach 1995–2006
Percentage share of the Ropa river, Zdynia river and Przysłup river in the supply of water to the Klimkówka reservoir between 1995 and 2006

## 4.3. ANALIZA ZMIAN STANU WODY GÓRNEJ W ZBIORNIKU WODNYM „KLIMKÓWKA"

Zróżnicowanie wielkości przepływów na Ropie, Zdyni i Przysłupie w ciągu roku oraz odpływu ze zbiornika regulowanego przez gospodarkę człowieka są przyczyną okresowych wahań stanów wody górnej (czyli poziomu piętrzenia wody) w zbiorniku „Klimkówka" (ryc. 29). Analiza dynamiki stanów wody górnej w zbiorniku „Klimkówka" ma szczególne znaczenie dla określenia warunków zmian morfologicznych zachodzących w obrębie czaszy zbiornika.

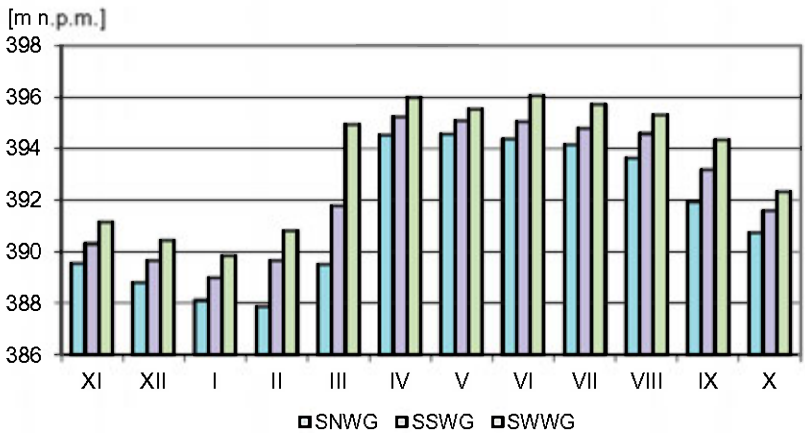



Ryc. 29. Dobowe stany wody górnej w zbiorniku „Klimkówka" od 01.11.1994 do 31.10.2006
Daily levels of the upper water in the Klimkówka reservoir from 01.11.1994 to 31.10.2006

http://rcin.org.pl

W normalnych warunkach eksploatacji piętrzenie wody w zbiorniku „Klimkówka" utrzymywane jest między rzędną 395,80 m n.p.m., a 375,10 m n.p.m., czyli w obrębie pojemności użytkowej, natomiast w okresie powodzi, kiedy dopływ do zbiornika przekroczy 70 $m^3s^{-1}$, woda gromadzona jest w zbiorniku o pojemności powodziowej zawartej między rzędnymi 395,80 m n.p.m. – 398,60 m n.p.m.

Analiza stanów wody górnej w zbiorniku wodnym „Klimkówka" z wielolecia 1995–2006 wykazała, że w ciągu roku najwyższe średnie maksymalne miesięczne stany wody górnej (SWWG) obserwowano pomiędzy marcem a wrześniem, w przedziale od 394,35 m n.p.m. – wrzesień do 395,99 m n.p.m. – kwiecień, a nawet 396,05 m n.p.m. – czerwiec (ryc. 30). Niskie wartości średnich maksymalnych stanów wody górnej notowano od października do lutego i kształtowały się w przedziale od 389,83 m n.p.m. – styczeń do 392,33 m n.p.m. – październik.




Ryc. 30. Średnie minimalne (SNWG), średnie (SSWG) oraz średnie maksymalne (SWWG) miesięczne stany wody górnej na zbiorniku „Klimkówka" w latach 1995–2006

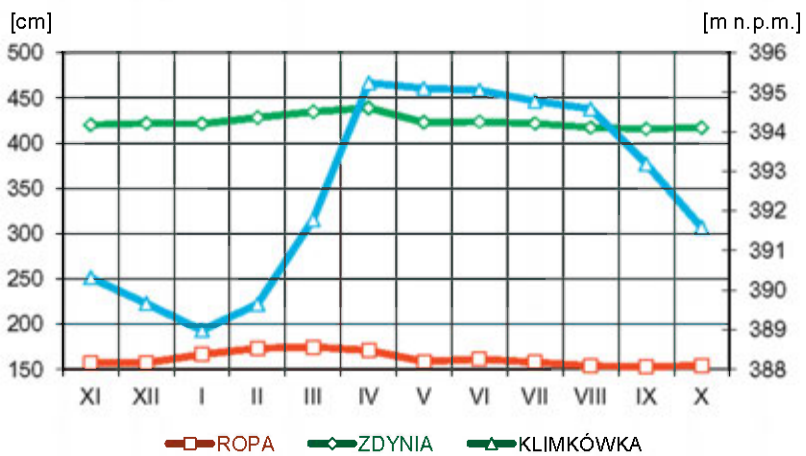
Average minimal (SNWG), average (SSWG) and average maximal (SWWG) monthly levels of upper water on the Klimkówka reservoir between 1995 and 2006

Maksymalne wysokości stanów średnich wody górnej (SSWG) w zbiorniku występowały od kwietnia (395,24 m n.p.m.) do września (393,18 m n.p.m.) a pomiędzy październikiem i marcem średnie stany wody górnej spadały do przedziału od 391,78 m n.p.m. (marzec) do 388,99 m n.p.m. (styczeń).

Najwyższe średnie minimalne stany wody górnej (SNWG) występowały między kwietniem – 394,54 m n.p.m. a sierpniem – 393,64 m n.p.m. Najniższe stany wody górnej obserwowano od września do marca na wysokości od 387,88 m n.p.m. do 391,94 m n.p.m.

http://rcin.org.pl

Porównanie przebiegu średnich miesięcznych stanów wody górnej (SSWG) w zbiorniku „Klimkówka" ze średnimi stanami wody (SSW) w Ropie i Zdyni (dla wielolecia 1995–2006), wskazuje na ich niezgodność czasową w ciągu roku (ryc. 31). Wzrost średnich stanów wody w Ropie i Zdyni obserwowano w okresie wiosennych roztopów pomiędzy lutym i kwietniem (Ropa) oraz marcem i kwietniem (Zdynia). Od maja do sierpnia następował powolny spadek stanów średnich a następnie stabilizacja w miesiącach jesienno-zimowych. W przypadku zbiornika „Klimkówka" sytuacja wygląda nieco inaczej, ponieważ wysokość piętrzenia wody z jednej strony uzależniona jest od czynników naturalnych (wielkość dopływu wody), a z drugiej od gospodarki człowieka (wielkość odpływu). Wyraźny wzrost stanów wody górnej zachodził wraz z początkiem roztopów wiosennych, a maksymalne wysokości przypadały na okres pomiędzy kwietniem i sierpniem. Od września rozpoczynał się gwałtowny spadek stanów wody górnej w zbiorniku, trwający aż do stycznia spowodowany znikomym zasilaniem przez cieki.

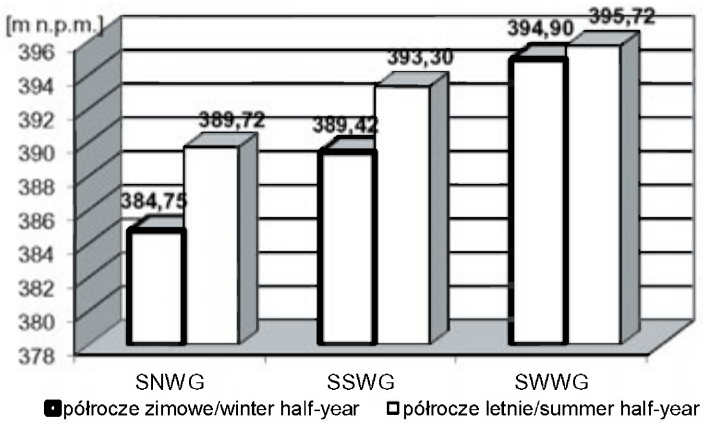



Ryc. 31. Średnie miesięczne (SSW) stany wody na Ropie i Zdyni w Uściu Gorlickim w latach 1995–2006 oraz średnie miesięczne stany wody górnej (SSWG) w zbiorniku „Klimkówka"
Average monthly (SSW) levels of water in the Ropa river and Zdynia river in Uście Gorlickie and average monthly levels of upper water (SSWG) in the Klimkówka reservoir between 1995 and 2006

Porównanie poziomu piętrzenia wody w zbiorniku retencyjnym „Klimkówka" pomiędzy półroczami hydrologicznymi, wykazało wyższe stany wody górnej w półroczu letnim (ryc. 32). W półroczu zimowym średni minimalny stan wody górnej (SNWG) w latach 1995–2006 utrzymywał się na poziomie 384,75 m n.p.m., średni (SSWG) 389,42 m n.p.m. a śred-

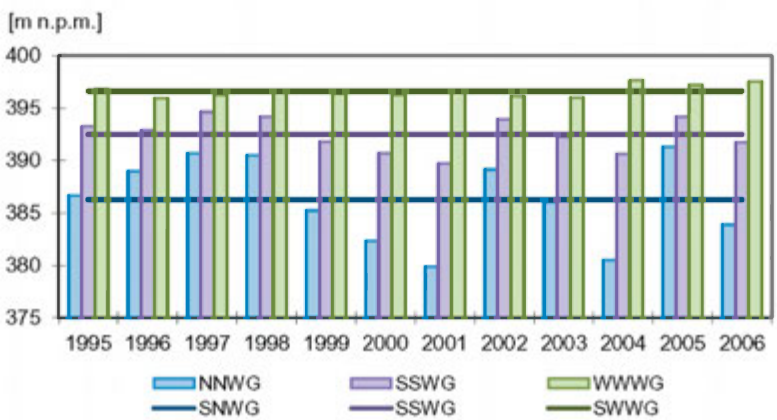
http://rcin.org.pl

ni maksymalny (SWWG) 394,90 m n.p.m., natomiast w półroczu letnim średni minimalny stan wody górnej wzrósł do 389,72 m n.p.m., średni do 393,30 m n.p.m. a średni maksymalny do 395,72 m n.p.m. Różnica pomiędzy średnimi stanami wody górnej w zbiorniku w porównywanych półroczach wynosi 3,88 m.




Ryc. 32. Średnie minimalne (SNWG), średnie (SSWG) oraz średnie maksymalne (SWWG) stany wody górnej w półroczu hydrologicznym zimowym i letnim w zbiorniku „Klimkówka" w latach 1995–2006

FAverage minimal (SNWG), average (SSWG) and average maximal (SWWG) levels of upper water in the winter and summer hydrological half year in the Klimkówka reservoir between 1995 and 2006

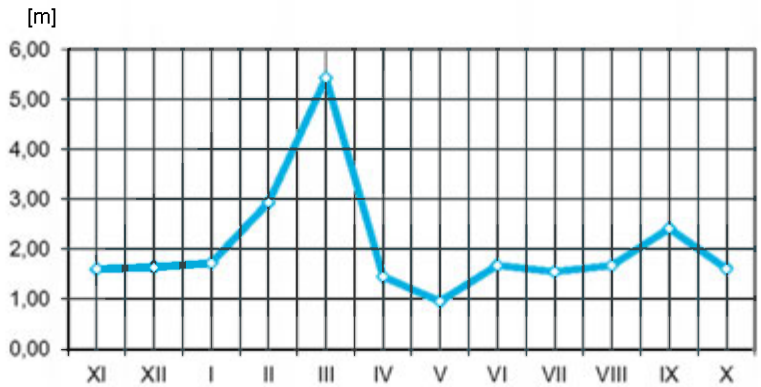



Ryc. 33. Minimalne (NNWG), średnie (SSWG) oraz maksymalne (WWWG) roczne stany wody górnej w zbiorniku „Klimkówka" w latach 1994–2006 na tle stanów charakterystycznych (SNWG, SSWG, SWWG) z wielolecia 1995–2006

Minimal (NNWG), average (SSWG) and maximal (WWWG) annual levels of upper water in the Klimkówka reservoir from 1994 to 2006 on the background of characteristic levels (SNWG, SSWG, SWWG) between 1995 and 2006

http://rcin.org.pl

W całym rozpatrywanym okresie 1995–2006 średni minimalny stan wody górnej (SNWG) w zbiorniku „Klimkówka" kształtował się na poziomie 386,26 m n.p.m., średni (SSWG) 392,49 m n.p.m., a średni maksymalny (SWWG) 396,62 m n.p.m. (ryc. 33). Minimalne (NNWG) oraz średnie (SSWG) stany wody górnej poszczególnych lat funkcjonowania zbiornika, odstają w wielu przypadkach znacząco od stanu średniego minimalnego (SNWG) i średniego (SSWG) wyliczonego dla wielolecia 1995–2006 (ryc. 33). Minimalne roczne stany wody górnej w zbiorniku w poszczególnych latach (od 1995 do 2006) wahały się w przedziale od 379,87 m n.p.m. (2001) do 391,30 m n.p.m. (2005), zaś średnie roczne stany wody górnej oscylowały między 389,72 m n.p.m. (2001) a 394,64 m n.p.m. (1997). Tylko maksymalne roczne stany wody górnej (WWWG) nie odbiegały znacząco od średniego maksymalnego stanu (SWWG) obliczonego dla wielolecia i zawierały się między 395,95 m n.p.m. (1996) a 397,64 m n.p.m. (2004).




Ryc. 34. Średnie miesięczne amplitudy stanu wody górnej w zbiorniku „Klimkówka" w latach 1995–2006
Average monthly amplitudes of the upper water level in the Klimkówka reservoir between 1995 and 2006

Amplituda wahań stanu wody górnej w zbiorniku „Klimkówka" ulega zmianom w ciągu roku (ryc. 34). Największa różnica pomiędzy maksymalnym a minimalnym miesięcznym stanem wody górnej w rozpatrywanym okresie 1995–2006 występowała w marcu (5,43 m), lutym (2,94 m) oraz wrześniu (2,42 m). W pozostałych miesiącach roku średnia amplituda wahań stanu wody górnej w zbiorniku była zdecydowanie niższa i zawierała się w przedziale od 0,96 m (maj) do 1,72 m (styczeń). Dużo większą dynamikę prezentuje przebieg amplitud stanów wody górnej w zbiorniku „Klimkówka" obliczonych dla poszczególnych lat funkcjonowania zbior-

http://rcin.org.pl

nika (ryc. 35). Najwyższe wartości amplitudy stanów wody górnej zanotowano w roku 2001 – 16,71 m oraz 2004 – 17,14 m. Najniższa różnica pomiędzy maksymalnym i minimalnym stanem wody górnej wystąpiła w roku 1997 – 5,54 m oraz 2005 – 5,89 m. W pozostałych latach wielolecia 1995–2006 wartości amplitudy stanów wody górnej wahały się pomiędzy 6,17 m (1998) a 13,96 m (2000), natomiast średnia amplituda wahań obliczona dla całego wielolecia wyniosła 10,36 m. Wysokie wartości rocznych amplitud stanu wody górnej w poszczególnych latach rozpatrywanego wielolecia (ryc. 35), świadczą o występowaniu w danym roku, długich okresów odznaczających się znikomym zasilaniem zbiornika „Klimkówka". Niskie amplitudy stanu wody górnej sugerują sytuację odwrotną – w ciągu roku zasilanie zbiornika było równomierne tzn. wystąpiło kilka wezbrań na ciekach zasilających zbiornik.

Ryc. 35. Roczne amplitudy stanów wody górnej w zbiorniku „Klimkówka" w latach 1995–2006
Annual amplitudes of the upper water level in the Klimkówka reservoir between 1995 and 2006

Roczne amplitudy stanów wody górnej w zbiorniku wodnym „Klimkówka" są zdecydowanie większe od analogicznych amplitud obserwowanych, chociażby w zbiorniku retencyjnym „Dobczyce" (o trzykrotnie większej pojemności niż „Klimkówka"), na którym w latach 1986–1998 odnotowane różnice pomiędzy rocznym maksymalnym a minimalnym stanem wody górnej zamykały się w przedziale od 1,34 m (1990) do 15,52 m (1986), a średnia wartość amplitudy wahań dla całego wielolecia wyniosła 3,81 m (Soja 2002).

http://rcin.org.pl

## 4.4. CHARAKTERYSTYKA HYDROLOGICZNA ROPY PONIŻEJ ZBIORNIKA WODNEGO „KLIMKÓWKA"

Przepływ na Ropie poniżej zbiornika „Klimkówka" uzależniony jest bezpośrednio od regulacji wielkości odpływu wody ze zbiornika. W dużym jednak stopniu przepływ poniżej zapory wodnej determinowany jest również sytuacją hydrologiczną występującą na ciekach zasilających zbiornik i objętością wody zgromadzonej w zbiorniku w danym okresie. Wielkość odpływu gwarantowanego ze zbiornika „Klimkówka" w czasie normalnych warunków eksploatacyjnych jest stała i wynosi 2 $m^3s^{-1}$. W okresie powodzi w zależności od wielkości dopływu i aktualnego napełnienia zbiornika wodą, odpływ zostaje odpowiednio zwiększony, natomiast w czasie pojawiania się głębokich niżówek, gdy stan wody górnej spadnie poniżej tzw. poziomu progowego (380,00 m n.p.m. – 5 m powyżej minimalnego poziomu piętrzenia), odpływ ze zbiornika zostaje zmniejszony do 1 $m^3s^{-1}$.

Zwiększone wielkości odpływu ze zbiornika wodnego „Klimkówka" w ciągu roku w latach 1995–2006 notowano pomiędzy lutym a wrześniem, przy czym największy odpływ przypada zazwyczaj na kwiecień – średnio 5,46 $m^3s^{-1}$ oraz czerwiec – 3,45 $m^3s^{-1}$ i lipiec – 3,74 $m^3s^{-1}$ (ryc. 36), co zbiega się z czasem podwyższonych przepływów na ciekach zasilających zbiornik (ryc. 8, 9, 10). Od października do stycznia odpływ średni wykazuje stabilizację i nie odbiega znacząco od 2 $m^3s^{-1}$.

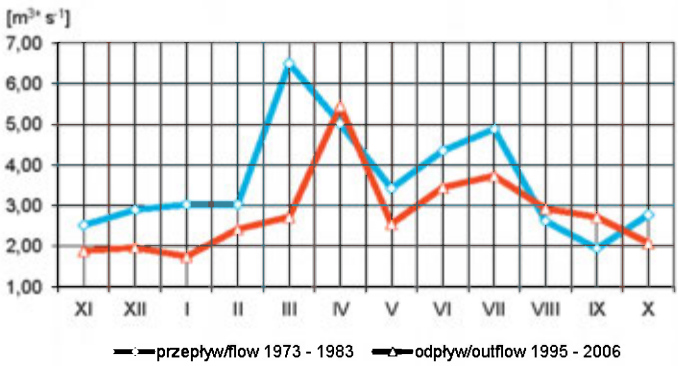
Tabela 2. Średni roczny odpływ oraz wymiana wody w zbiorniku „Klimkówka"

| Rok | Odpływ średni [$m^3s^{-1}$] | Wymiana wody [% całkowitej pojemności/rok] |
|---|---|---|
| 1995 | 2,46 | 179 |
| 1996 | 2,31 | 168 |
| 1997 | 3,12 | 226 |
| 1998 | 3,04 | 220 |
| 1999 | 2,50 | 182 |
| 2000 | 3,07 | 223 |
| 2001 | 2,95 | 214 |
| 2002 | 2,53 | 183 |
| 2003 | 2,36 | 171 |
| 2004 | 2,75 | 200 |
| 2005 | 3,23 | 234 |
| 2006 | 3,36 | 244 |
| 1995–2006 | 2,81 | 204 |

Źródło: RZGW Kraków

http://rcin.org.pl

W poszczególnych latach okresu 1995–2006 (dla którego średni odpływ wody ze zbiornika „Klimkówka" wyniósł 2,81 $m^3s^{-1}$), średnie wartości odpływu zawierały się w przedziale od 2,31 $m^3s^{-1}$ – 1996 do 3,36 $m^3s^{-1}$ – 2006 (tab. 2) i podobnie jak wielkości miesięczne, zależały głównie od aktualnej sytuacji hydrologicznej na Ropie, Zdyni i Przysłupie oraz od ilości wody w zbiorniku. Wielkość odpływu wody w danym roku hydrologicznym ze zbiornika ma wpływ na wskaźnik wymiany wody, który informuje oteoretycznym czasie potrzebnym na pełną wymianę wody w zbiorniku. Z obliczonych dla poszczególnych lat (1995–2006) procentowych wskaźników wymiany wody w „Klimkówce" wynika, że woda w zbiorniku ulega przeciętnie dwukrotnej, całkowitej wymianie w ciągu roku (tab. 2).



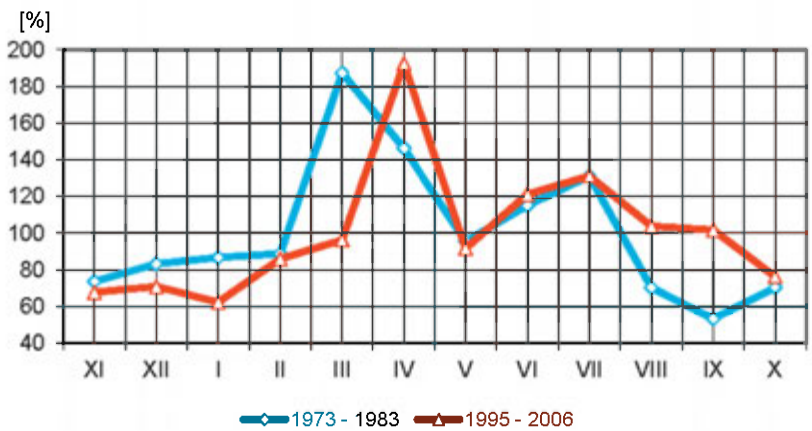

Ryc. 36. Średnie miesięczne przepływy na Ropie w profilu wodowskazowym IMGW – Ropa w latach 1973–1983 na tle średniego miesięcznego odpływu wody ze zbiornika „Klimkówka" w latach 1995–2006
Average monthly flows on the Ropa river in the IMGW water-guage profile – Ropa between 1973 and 1983 on the background average monthly outflow of water from the Klimkówka reservoir between 1995 and 2006

Uruchomienie zbiornika „Klimkówka" na Ropie i związane z jego funkcjonowaniem sztuczne kierowanie przepływem poniżej jego lokalizacji jest przyczyną istotnych zmian w pierwotnym ustroju hydrologicznym Ropy. Fakt ten, dokumentuje rycina 36, na której zaprezentowano przebieg średnich miesięcznych wartości odpływu wody ze zbiornika w latach 1995–2006, na tle średnich miesięcznych przepływów na Ropie w latach 1973–1983, policzonych dla punktu wodowskazowego IMGW – Ropa usytuowanego 5,7 km poniżej dzisiejszej lokalizacji zapory wodnej „Klimkówka" w miejscowości Ropa (ryc. 1). Zestawienie średnich miesięcznych przepływów na Ropie w latach 1973–1983 z przepływami na ciekach zasilających zbiornik „Klimkówka" w latach 1995–2006, wykazuje dużą analogię pomiędzy tymi wieloleciami w występowaniu okresów o podwyższonych i obniżonych przepływach na Ropie w ciągu roku (ryc. 8, 9, 10, 36). Zbliżone są także same wartości przepływów z porównywanych

http://rcin.org.pl

okresów. W latach 1973–1983 średnie miesięczne przepływy na Ropie we wspomnianym punkcie wodowskazowym od sierpnia do lutego wahały się między 1,94 $m^3s^{-1}$ we wrześniu a 3,03 $m^3s^{-1}$ w styczniu i lutym. Okresy z podwyższonym przepływem występowały dwukrotnie w ciągu roku: w marcu (6,50 $m^3s^{-1}$) i kwietniu (5,02 $m^3s^{-1}$) oraz czerwcu (4,35 $m^3s^{-1}$) i lipcu (4,89 $m^3s^{-1}$), a maj o wyraźnie niższych przepływach (3,43 $m^3s^{-1}$) w stosunku do sąsiednich miesięcy stanowił przejście pomiędzy wezbraniami wiosennymi i letnimi.

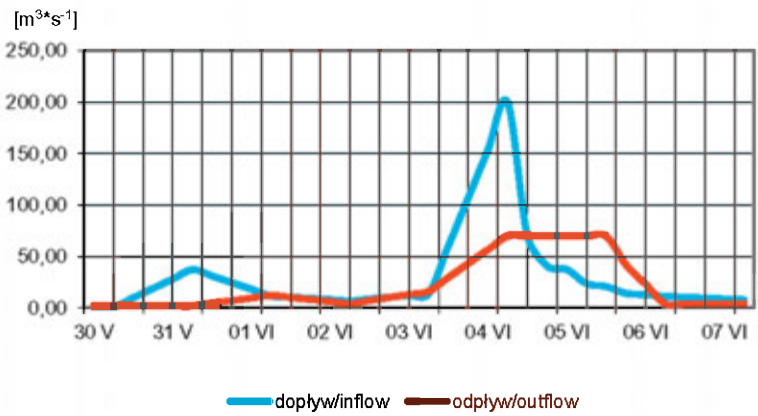
Analiza ryciny 36 wykazuje, że po wybudowaniu zbiornika „Klimkówka" nastąpiło obniżenie średnich przepływów w większości miesięcy w ciągu roku. Największe różnice zaistniały w marcu, w którym to miesiącu średnia wielkość przepływu poniżej zbiornika „Klimkówka" zmniejszyła się aż o 58%. Najmniejszy spadek objętości przepływu obserwuje się w lutym – 20%. W pozostałych miesiącach, w których zaznaczyło się obniżenie przepływów, różnica zamyka się w przedziale od 21% – czerwiec do 42% – styczeń. W kwietniu oraz sierpniu i wrześniu zaznaczyła się odwrotna sytuacja, ponieważ w tych miesiącach w latach 1995–2006 odnotowano wyższe wartości średnich miesięcznych przepływów na Ropie w stosunku do wielolecia 1973–1983. Jest to związane ze zwiększonym odpływem wody ze zbiornika „Klimkówka" po okresach wiosennych i letnich wezbrań na ciekach powyżej zbiornika. Przed powstaniem zbiornika średnie przepływy na Ropie w miesiącach zimowych (listopad–marzec) stanowiły większy udział w średnim rocznym przepływie w porównaniu do okresu letniego (ryc. 37). Obecnie obserwuje się sytuację odwrotną.




Ryc. 37. Średnie miesięczne wartości współczynnika przepływu w latach 1973–1983 (w profilu wodowskazowym IMGW – Ropa) oraz 1995–2006 (w profilu zapory „Klimkówka")
Average monthly values of flow rate in the years 1973–1983 (in the IMGW water-guage profile – Ropa) and 1995–2006 (in the Klimkówka dam profile)

http://rcin.org.pl

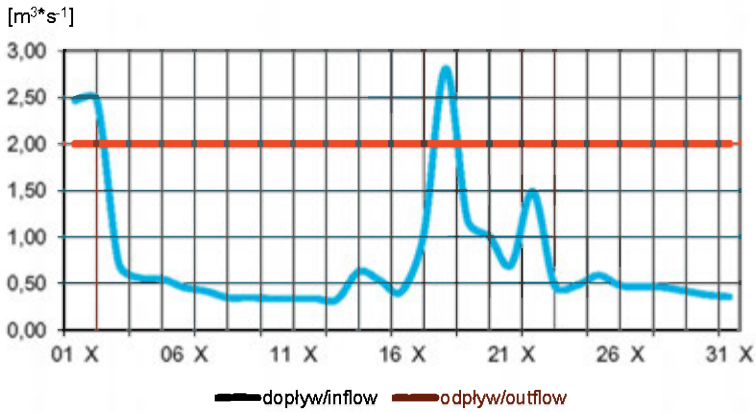
Obniżanie przez zbiornik wodny „Klimkówka" przepływów maksymalnych występujących na Ropie w czasie wezbrań może być jeszcze większe niż w przypadku prezentowanych wyżej przepływów średnich miesięcznych. Rycina 38 przedstawia przejście przez zbiornik dwóch fal wezbraniowych o różnym natężeniu przepływu. Maksymalny dopływ do „Klimkówki", podczas pierwszego wezbrania w dniach 30.05–02.06.2006, wyniósł 37,03 $m^3s^{-1}$. Odpływ ze zbiornika wahał się wtedy w przedziale od 2,00 $m^3s^{-1}$ do 12,00 $m^3s^{-1}$. Maksymalna wysokość przepływu została zatem zredukowana o 68%. Drugie wezbranie w dniach 03.06–06.06.2006 było jednym z największych, które wystąpiły na Ropie i jej dopływach w latach funkcjonowania zbiornika wodnego „Klimkówka". Dopływ do zbiornika sięgnął w tych dniach 200 $m^3s^{-1}$, natomiast maksymalny odpływ był równy 70 $m^3s^{-1}$, co dało obniżenie wezbrania o 65%.




Ryc. 38. Redukcja fal wezbraniowych na Ropie przez zbiornik „Klimkówka" w profilu zapory w dniach 30.05– 06.06.2006
Reduction of wave of flood on the Ropa river by the Klimkówka reservoir in the water dam profile from 30 May to 06 Jun 2006

Podczas występowania niżówek na Ropie głównym zadaniem zbiornika jest wyrównanie przepływu do poziomu 2 $m^3s^{-1}$ (ryc. 39). W dniach 01.10.– 31.10.2005 dopływ do zbiornika „Klimkówka" (dane z godz. 07:00) spadał wielokrotnie poniżej 0,50 $m^3s^{-1}$ (najniższy dopływ w tych dniach wyniósł 0,33 $m^3s^{-1}$). Przepływy minimalne poniżej zbiornika zostały zatem podwyższone w rozpatrywanym okresie aż 6-krotnie, a w skrajnych warunkach „Klimkówka" może podnieść przepływ minimalny na Ropie poniżej swojej lokalizacji nawet 10-krotnie.

http://rcin.org.pl




Ryc. 39. Wyrównanie przepływów niżówkowych na Ropie przez zbiornik „Klimkówka" w dniach 01– 31.10.2005
Alignment of base flows on the Ropa river by the Klimkówka reservoir from 01 to 31 Oct 2005

Zmianę stosunków hydrologicznych Ropy na skutek wybudowania zbiornika „Klimkówka" dokumentuje także opracowanie P. Ciszak (2006). Autorka wykazuje, że funkcjonowanie zbiornika wpłynęło na obniżenie wartości współczynnika zmienności średnich rocznych przepływów na Ropie (w stosunku do średniej wieloletniej) poniżej zbiornika z 0,19 (–1983) do 0,11 (1995–2004) oraz na znaczny spadek wartości współczynnika nieregularności przepływów (porównanie lat skrajnie suchych i wilgotnych w okresach 1974–1983 oraz 1995–2004).

Według Raportu Światowej Komisji Zapór Wodnych (2000) zmiana przestrzennego i czasowego rozkładu przepływów na rzekach, w wyniku funkcjonowania zbiorników retencyjnych, jest podstawową przyczyną zaburzeń trwałości ekosystemów wodnych. Naturalna dynamika przepływów jest warunkiem istnienia złożonych zbiorowisk biologicznych, które mogą się dalece różnić od tych, które są przystosowane do stabilnych przepływów i warunków typowych dla rzeki ustabilizowanej. Regulacja przepływu poniżej zbiornika „Klimkówka" musiała zatem w istotny sposób wpłynąć na ekosystemy wodne Ropy. Problem wymaga szczegółowych badań hydrobiologicznych.

http://rcin.org.pl

# 5. WPŁYW ZBIORNIKA WODNEGO „KLIMKÓWKA" NA WYBRANE FIZYKOCHEMICZNE WŁAŚCIWOŚCI WODY W ROPIE

## 5.1. INFORMACJE OGÓLNE

Właściwości fizykochemiczne wody magazynowanej w zbiornikach zależą od wielu czynników: cech morfometrycznych zbiornika, charakteru zlewni i związanej z tym jakości dopływającej wody, charakteru dna i brzegów zbiornika, jego usytuowania względem przeważającego kierunku wiatru, eksploatacji zbiornika i związanych z nią wahaniami poziomu wody, regionalnego układu stosunków klimatycznych, stopnia akumulacji zawiesiny, zanieczyszczenia wód oraz wieku zbiornika (Pasternak 1984). Szczególne znaczenie wśród morfometrycznych cech zbiorników warunkujących właściwości fizykochemiczne wód w zbiorniku zdaniem cytowanego autora ma asymetryczne wykształcenie misy zbiorników, tj. występowanie głębszych partii przy zaporze, a płytszych w górnej i cofkowej części zbiorników. Podczas gdy płytkie części zbiorników silnie nagrzewające się w okresie wiosenno-letnim i ochładzające w okresie jesienno-zimowym nie wykazują stratyfikacji termicznej i chemicznej, tak w głębokich partiach o bardziej ustabilizowanych stosunkach fizykochemicznych, przypominających warunki jeziorne, taka stratyfikacja występuje, a jej stopień i trwałość zależy od głębokości zbiornika, działalności wiatru oraz ilości wody dopływającej do zbiornika.

Podstawową właściwością fizyczną wody, determinującą pozostałe jest jej temperatura. Skutkiem stratyfikacji termicznej oraz lokalizacji miejsca odpływu wody ze zbiornika (spusty denne) w okresie wiosenno-letnim temperatura wody wypływającej ze zbiornika jest niższa od temperatury wody wpływającej do niego nawet o 10°C. W okresie jesienno-zimowym natomiast, kształtuje się odwrotna sytuacja, przy czym różnice temperatury nie są tak duże (Pasternak 1984). Przeprowadzone przez R. Glazika (1976, 1978) pomiary termiki zbiornika włocławskiego wskazują, że w okresie zimy w zbiorniku tym zaznacza się bardzo słaba stratyfikacja termiczna (0,3°C pod lodem i 0,6°C przy dnie) lub nie występuje w ogóle (0,3°C w całym zbiorniku), a cieplejsza przydenna strefa zbiornika zakłócana jest przez dopływ chłodnych wód na linii dawnego koryta. Ocieplający wpływ dna na wody zbiornika włocławskiego sięgał w okresie pomiarów 5–6 m. Podobne

http://rcin.org.pl

warunki termiczne w okresie zimy zaobserwowali J.L. Dojlido i J. Moraczewski (1964) na zbiorniku zegrzyńskim. Szczególną rolę w procesie zmian naturalnego reżimu termicznego rzek, jaką odgrywają funkcjonujące na nich zbiorniki wodne, podkreślają m.in. prace T. Chomiaka (1962); T. Tomika (1969); B. Cyberskiej (1972, 1975); J. Lewińskiej i A. Lewińskiego (1972); A. Łajczaka (1991); J. Punzeta (1991). Pokazują one bardzo dobrze zarówno kierunek jak i rozmiary zmian naturalnego reżimu termicznego rzek związanego z wpływem zbiorników retencyjnych.

Jednym z najczęściej określanych parametrów chemicznych wody płynącej w ciekach jest odczyn wody – pH (potencjał jonów wodorowych). Pozwala on określić agresywność wód krążących, od której uzależnione jest natężenie procesów ługowania podłoża. Odczyn wód rzecznych wykazuje dużą obojętność (oraz wąski zakres zmian w cyklu rocznym) ponieważ jest wypadkową oddziaływania kwaśnych wód opadowych oraz zasadowych wód podziemnych, a wody korytowe odznaczają się małą agresywnością (Kotarba 1972; Froehlich 1982). Woda chemicznie czysta posiada odczyn obojętny (pH=7) tylko w temperaturze 22°C. Wartość pH wody zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury wody, a jego wartość dla większości czystych wód powierzchniowych mieści się w granicach 6,5–8,5 i zależy od zawartości dwutlenku węgla wolnego i związanego w wodzie. Zdarza się jednak, że bardzo miękkie wody powierzchniowe (np. z potoków górskich) mają pH w granicach 4,5–6,5, a wody kwaśne mogą występować również na torfowiskach i terenach zanieczyszczonych kwaśnymi ściekami przemysłowymi (Gomółka, Szaynok 1997). Zasadowy odczyn wody mogą mieć w wyniku wzmożonego procesu fotosyntezy lub zanieczyszczeń zasadowymi ściekami przemysłowymi. Odczyn wody (zwłaszcza jego stałość) ma duże znaczenie przy uzdatnianiu wody do picia, procesach technologicznych w przemyśle a przede wszystkim dla procesów fizykochemicznych oraz biologicznych zachodzących w środowisku wodnym. Odczyn wody zdatnej do picia powinien wynosić 6,5–8,5. Wody krążące w zależności od ich odczynu mogą wykazywać kwasowość – jeżeli pH jest niższe od 4,6 lub zasadowość – przy pH powyżej 8,3. W przedziale od 4,6 do 8,3 w wodzie występuje, tzw. kwasowość ogólna i zasadowość ogólna. Oznacza to, że między stężeniami węglanów i wodorowęglanów, które powodują zasadowość a dwutlenkiem węgla wywołującym kwasowość zachodzi tzw. równowaga węglanowa. Dla większości organizmów żywych środowisko wodne o wartościach pH poniżej 5,0 oraz powyżej 9,0 jest szkodliwe (Allan 1998). Wysokie wartości pH są najczęściej wynikiem zanieczyszczenia wody ściekami alkalicznymi oraz występują w wodach zeutrofizowanych,

http://rcin.org.pl

kiedy nadmierny rozwój glonów powoduje wzrost intensywności fotosyntezy, w czasie której zużywane są znaczne ilości dwutlenku węgla. Na wartość pH wód powierzchniowych duży wpływ ma także rodzaj podłoża. Wody przepływające przez podłoże kwarcowe charakteryzują się odczynem kwaśnym, natomiast przez podłoże wapienne odczynem zasadowym.

Przewodność elektrolityczna właściwa wody jest miarą przewodnictwa wyrażoną w simensach na metr [$Sm^{-1}$] lub w jednostkach pochodnych, którymi są mikrosimensy na centymetr [$\mu Scm^{-1}$]. Na podstawie tej właściwości fizycznej możemy orientacyjnie ocenić stopień mineralizacji wody, czyli koncentrację materiału rozpuszczonego. Wartość przewodności właściwej wyrażona w mikrosimensach na centymetr [$\mu Scm^{-1}$] jest ogólnie tego samego rzędu, co wartość mineralizacji wody wyrażona w miligramach na litr [$mgl^{-1}$]. Przewodność elektrolityczna właściwa wody zależy od ilości i rodzaju zdysocjowanych substancji rozpuszczonych w wodzie a także od jej temperatury. Wzrost temperatury wody o 1°C powoduje wzrost przewodności elektrolitycznej właściwej średnio o 1,8%–2,5% (Dobrzyński 2006). Przewodność właściwa wody destylowanej zamyka się w przedziale od 0,5 $\mu Scm^{-1}$ do 2 $\mu Scm^{-1}$, natomiast przewodność wód płynących waha się między 50 $\mu Scm^{-1}$ a 1000 $\mu Scm^{-1}$. Duży wpływ na wartość przewodności właściwej wody ma stopień jej zanieczyszczenia, zwłaszcza ściekami przemysłowymi. Wysoka wartość przewodności właściwej wody świadczy o jej zanieczyszczeniu związkami mineralnymi (związki organiczne praktycznie w wodzie nie dysocjują). Według W. Froehlicha (1975, 1982) dynamika przewodności elektrolitycznej właściwej wody w ciekach jest proporcjonalna do koncentracji materiału rozpuszczonego. Zdaniem cytowanego autora w rzekach i potokach beskidzkich od źródeł do ujścia zaznacza się ogólny wzrost koncentracji materiału rozpuszczonego (a tym samym wzrasta wartość przewodnictwa właściwego wody). Przewodnictwo wody w ciekach jest także uzależnione od wielkości przepływu wody. Wzrost przepływu na rzece w czasie wezbrań powoduje spadek przewodności elektrolitycznej właściwej wody. W. Froehlich (1975, 1982) podaje, że w cyklu rocznym najniższe wartości koncentracji materiału rozpuszczonego (a zarazem przewodnictwa właściwego) stwierdza się w czasie wezbrań roztopowych, natomiast wezbrania deszczowe zależą od typu opadów. Wezbrania wywołane opadami rozlewnymi charakteryzują się na ogół wyższą koncentracją materiału rozpuszczonego w porównaniu do wezbrań wywołanych ulewami. Głębokie niżówki dają największą koncentrację materiału rozpuszczonego w jesieni i zimie a wiosną mniejszą niż latem.

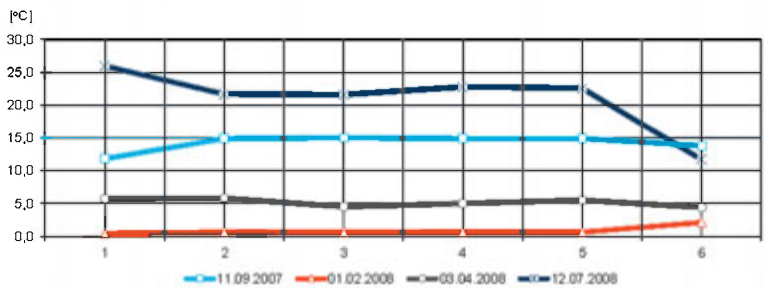
http://rcin.org.pl

## 5.2. TEMPERATURA

### 5.2.1. TERMIKA ZBIORNIKA

Temperatura wody w Ropie poniżej lokalizacji zbiornika „Klimkówka" jest ściśle uzależniona od warunków termicznych panujących w zbiorniku. Przedstawienie zmian w termice zbiornika, zachodzących w ciągu roku jest podstawą i punktem wyjścia do dalszych rozważań dotyczących transformacji naturalnego reżimu termicznego Ropy.

Analiza cytowanej powyżej literatury, dotyczącej omawianego zagadnienia wskazuje na fakt, że największe zróżnicowanie termiczne wody w zbiornikach zachodzi w okresie lata. Taka sytuacja ma także miejsce w przypadku zbiornika wodnego „Klimkówka", co potwierdziły badania termiki zbiornika w profilu pionowym wykonane w dniu 07.08.2008, a także pomiary temperatury wody w profilu podłużnym Ropy wykonane w dniach: 11.09.2007, 01.02.2008, 03.04.2008 (szczegółowo omawiane w rozdziale 5.2.2) oraz 12.07.2008.




Ryc. 40. Temperatura wody w Ropie oraz w przypowierzchniowej warstwie zbiornika „Klimkówka" w dniach: 11.09.2007, 01.02.2008, 03.04.2008, 12.07.2008, 1 – Ropa powyżej zbiornika, 2 – cofka, 3 – Przysłup, 4 – Przysłup/zapora, 5 – przed zaporą, 6 – poniżej zapory

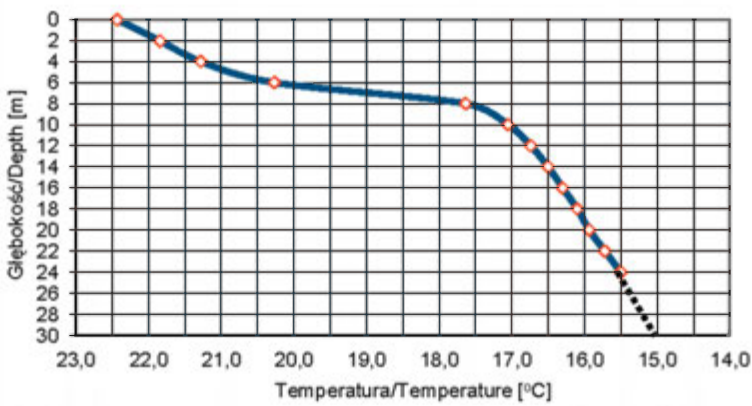
Temperature of water in the Ropa river and in the subsurface layer of the Klimkówka reservoir on: 11 Sep 2007, 01 Feb 2008, 03 Apr 2008, 12 Jul 2008, 1 – Ropa river above backwater, 2 – backwater, 3 – Przysłup river, 4 – Przysłup river/dam, 5 – before the dam, 6 – below the dam

Kilkanaście dni przed datą pomiaru termiki zbiornika „Klimkówka", na skutek dużego wezbrania na ciekach zasilających zbiornik w dniach 23–27.07, doszło do wypełnienia pojemności zbiornika (z 60% do 80% całkowitej jego pojemności), a tym samym do znacznego wymieszania się wody w zbiorniku. Następstwem tego, było względne wyrównanie się temperatury wody w obrębie całego zbiornika (homotermia) oraz zakłócenie lub wręcz zaniknięcie stratyfikacji termicznej, która wykształciła się przed tym incydentem, w warunkach długo utrzymującej się słonecznej,

http://rcin.org.pl

letniej pogody, przy niskim stanie wody w zbiorniku. Pomiar temperatury wody wykonany przed wezbraniem, w dniu 12.07.2008 (ryc. 40) wykazał, że w przypowierzchniowych warstwach wody w zbiorniku temperatura wody wahała się pomiędzy 21,7°C a 22,8°C, zaś poniżej zbiornika temperatura wody wypływającej z przydennej jego części wynosiła zaledwie 11,7°C (ryc. 40). Różnica pomiędzy temperaturą wody w przypowierzchniowych warstwach zbiornika a temperaturą wody w przydennej jego części sięgała więc ok. 11°C. Po wymieszaniu się wody w zbiorniku w czasie wezbrania, jej temperatura przypuszczalnie ustabilizowała się w okolicach 16°C (+/- 1°C). Od tego momentu, w zbiorniku na nowo zaczęła się tworzyć stratyfikacja termiczna, dobrze wykształcona już po kilkunastu dniach, na co wskazują pomiary temperatury wody przeprowadzone w dniu 07.08.2008.

Przeprowadzone badania pozwoliły na wyodrębnienie trzech podstawowych, poziomych warstw w profilu pionowym zbiornika, tworzących jego stratyfikację termiczną: epilimnionu (warstwa przypowierzchniowa), hypolimnionu (warstwa przydenna) oraz termokliny (stanowiącej granicę pomiędzy epilimnionem i hypolimnionem).

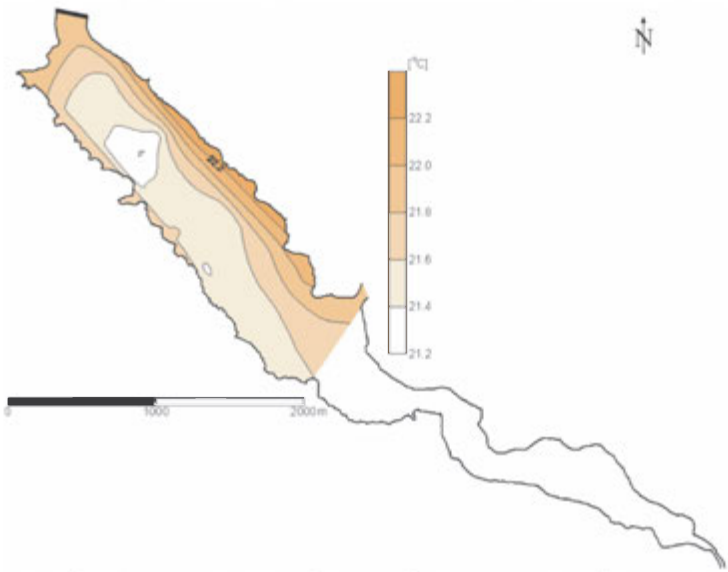



Ryc. 41. Średnia temperatura wody w zbiorniku „Klimkówka" w profilu pionowym pomiędzy zaporą a ujściem Przysłupa w dniu 07.08.2008
Average water temperature in the Klimkówka reservoir in the vertical profile between the dam and the mouth of the Przysłup river on 07 Aug 2008

Warstwa epilimnionu w pionach pomiarowych sięgała średnio do głębokości 6 m (ryc. 41), choć w kilku pionach zlokalizowanych w okolicach ujścia Przysłupa kończyła się już na głębokości 4 m. Średni spadek temperatury wody wraz z głębokością w całej omawianej warstwie wynosił 0,3°C/1 m. Średnia temperatura w epilimnionie równała się 21,7°C. Najwyższa zanotowana temperatura wody sięgnęła 23,2°C (przy powierzchni),

http://rcin.org.pl

natomiast najniższa wartość 19,8°C (na głębokości 6 m). W poziomym rozkładzie temperatury wody w epilimnionie, podążając od środka akwenu w stronę brzegu (zwłaszcza po prawej stronie zbiornika, gdzie skok wartości temperaturowych jest bardziej wyraźny), temperatura wody wzrastała (ryc. 42). Podobna tendencja zaznaczała się w kierunku zapory wodnej. Zmiana temperatury wody w epilimnionie jest odwrotnie proporcjonalna do głębokości. Im większa głębokość, tym niższa temperatura wody.



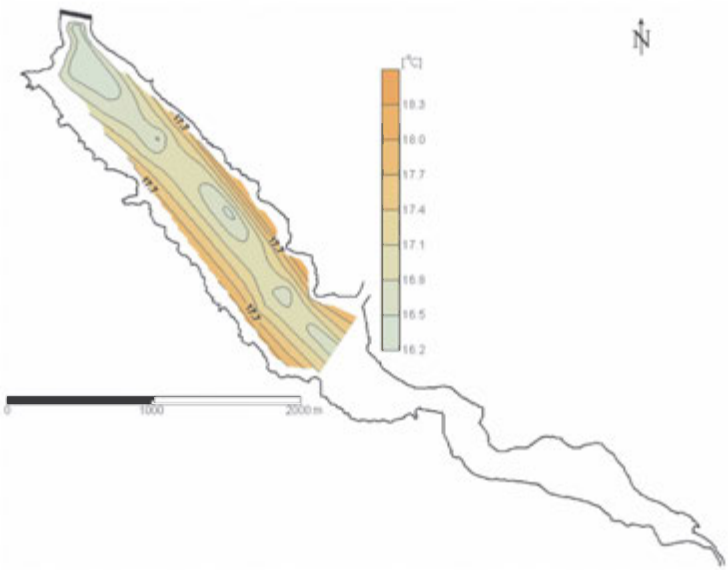

Ryc. 42. Średnia temperatura wody w epilimnionie pomiędzy zaporą a ujściem Przysłupa w dniu 07.08.2008
Average water temperature in the epilimnion between the dam and the mouth of the Przysłup river on 07 Aug 2008

Termoklina, którą wyznacza duży skok temperatury wody, na stosunkowo małej odległości, wykształciła się generalnie na głębokości pomiędzy 6 m a 8 m (ryc. 41), choć w kilku wspomnianych wcześniej pionach pomiarowych stagnowała nieco wyżej, między 4 m a 6 m. Skok temperaturowy nie był duży (2,2°C–3,5°C) i wyniósł średnio 1,5°C/1 m, ale bardzo łatwo zauważalny. Średnia temperatura wody w termoklinie była równa 19,4°C.

Hypolimnion, którego górną granicę wyznacza przebieg termokliny, zaczynał się średnio na głębokości 8 m i sięgał aż do dna (ryc. 41). Pomimo, iż maksymalna głębokość zbiornika wynosi ok. 30 m, to pomiary przeprowadzono tylko do głębokości 24 m, ze względu na ograniczoną głębokość zanurzenia termometru. Średnia temperatura hypolimnionu wyniosła 17,1°C, a średni spadek temperatury wraz z głębokością wynosił zaledwie 0,2°C/1 m. Najwyższa temperatura wody w przydennej warstwie zbiorni-

http://rcin.org.pl

ka sięgnęła 18,7°C, natomiast najniższa zanotowana wartość temperatury wody to 15,2°C. Ekstrapolując otrzymane wyniki pomiarów, można sądzić, że przy samym dnie temperatura wody mogła wynosić ok. 15,0°C (ryc. 41). W poziomym rozkładzie temperatury wody w hypolimnionie można wyraźnie dostrzec zależność pomiędzy temperaturą wody a głębokością podobną do obserwowanej w epilimnionie (ryc. 43).




Ryc. 43. Średnia temperatura wody w hypolimnionie pomiędzy zaporą a ujściem Przysłupa w dniu 07.08.2008
Average water temperature in the hypolimnion between the dam and the mouth of the Przysłup river on 07 Aug 2008

W okresie zimy w zbiorniku „Klimkówka" występuje inwersja temperatury wody. W przypowierzchniowych warstwach zbiornika woda pod wpływem ujemnej temperatury powietrza wychładza się, a temperatura spada nawet do 0°C (ryc. 40). Czynnikiem utrzymującym przez dłuższy czas podobną temperaturę wody w warstwie przypowierzchniowej zbiornika jest pokrywa lodowa (do kilkudziesięciu centymetrów grubości), odcinająca zmagazynowaną w zbiorniku wodę od wpływu czynników atmosferycznych. Wynik pomiaru wykonanego w dniu 01.02.2008 (ryc. 40) wskazuje na to, że w porównaniu do powierzchniowej warstwy wody stagnującej w zbiorniku „Klimkówka", w przydennej temperatura osiąga nieco wyższe wartości (2,1°C), ponieważ termika warstwy uformowana jeszcze w okresie jesiennym, nie została zaburzona przez czynniki atmosferyczne. Różnica pomiędzy temperaturą wody w przypowierzchniowej i przydennej warstwie zbiornika wynosi ok. 2°C.

http://rcin.org.pl

Pomiary wykonane w zbiorniku w dniach 11.09.2007 i 03.04.2008 (ryc. 40) wykazały, że w okresie jesiennym i wiosennym zmiany temperatury wody wraz z głębokością są znikome i praktycznie ograniczają się do 1°C. Można założyć, że w okresach przejściowych pomiędzy latem a zimą temperatura wody w zbiorniku „Klimkówka" osiąga stan homotermii.

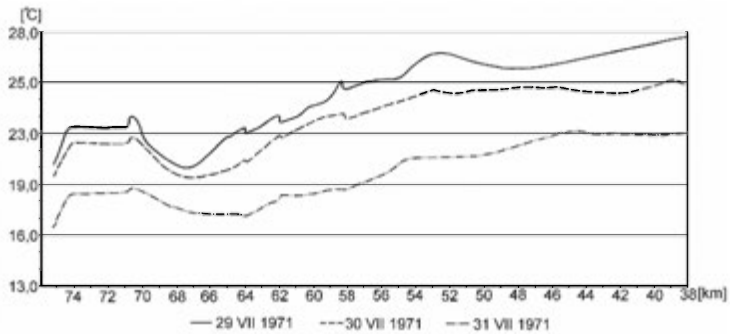
Reasumując powyższe obserwacje termiki zbiornika wodnego „Klimkówka" stwierdzić można, iż zbiornik (podobnie jak i inne zbiorniki retencyjne w umiarkowanych szerokościach geograficznych) w okresie lata obniża naturalną termikę Ropy, zaś w okresie zimy podnosi ją. Jesienna i wiosenna termika zbiornika jest przejściowa pomiędzy letnią i zimową sytuacją termiczną w zbiorniku. Istotną rolę w kształtowaniu warunków termicznych w zbiorniku odgrywają wezbrania na Ropie – powyżej zbiornika – prowadzące do destrukcji stratyfikacji termicznej wytworzonej w zbiorniku i względnej homotermii.

### 5.2.2. TEMPERATURA WODY W PROFILU PODŁUŻNYM ROPY

Dynamikę temperatury wody w Ropie w profilu podłużnym rzeki od Wysowej do Szymbarku w warunkach naturalnych (przed budową zbiornika wodnego „Klimkówka") przedstawił R. Soja (1973), który w okresie letnim, przy wysokiej temperaturze powietrza, wykonał na tym odcinku rzeki podłużne profile termiczne (ryc. 44). Według cytowanego autora od Wysowej do Szymbarku wyróżnić można trzy odcinki koryta Ropy, różniące się warunkami wymiany ciepła między wodą a powietrzem, co w warunkach naturalnych ma zasadniczy wpływ na temperaturę wody w Ropie. Od Wysowej do ujścia Zdyni (między 75 a 62 km biegu rzeki), koryto jest z reguły całkowicie lub częściowo zacienione. Szerokość lustra wody sięga od 1,5 m do 6 m, a koryto ma charakter górskiego potoku (pozbawionego progów skalnych i przegłębień). Na drugim odcinku poniżej Zdyni koryto rozszerza się dwukrotnie, zwiększa się masa wody, ale nie zwiększa się średnia głębokość. Stosunek szerokości lustra wody do średniej głębokości sięga 1:300, a roślinność brzegowa przy takiej szerokości lustra wody nie odgrywa roli w jego zacienianiu. Odcinek trzeci pomiędzy 51 a 38 km biegu rzeki odznacza się dużą zmiennością szerokości i głębokości koryta. Strefy szerokiego koryta o szybkim przepływie wody rozdzielają odcinki o głębokości powyżej 1 m i wolnym przepływie. Przedstawione przez R. Soję (1973) profile termiczne Ropy wykonane 29 VII (godz. 13:00–15:00), 30.07 (godz. 15:00–16:30 przy całkowitym zachmurzeniu) oraz 31 VII (godz. 00:00–02:00) 1971 roku pokazują, że temperatura wody w Ropie w całym profilu podłużnym od Wysowej po Szymbark wykazuje tendencję rosnącą niezależnie od panujących warunków atmosferycznych. Wyjątek stanowi

http://rcin.org.pl

2-kilometrowy odcinek rzeki, na którym wyraźnie zaznacza się spadek temperatury wody w Ropie spowodowany infiltracją wody w żwiry pomiędzy 70 a 72 km biegu rzek, a następnie wypływem schłodzonej wody (poniżej 70 km biegu rzeki) oraz wysoką roślinnością brzegową zacieniającą koryto. Przepływ w dniach pomiarowych na Ropie dochodził do ok. 120 $ls^{-1}$ przed ujściem Zdyni i 450 $ls^{-1}$ poniżej połączenia tych rzek.




Ryc. 44. Profile termiczne Ropy od Wysowej do Szymbarku (Soja 1973)
Temperature profiles of the Ropa river between Wysowa and Szymbark (Soja 1973)

Pomiary temperatury wody wykonane w profilu podłużnym Ropy, pomiędzy Blechnarką a Szymbarkiem, w dniach: 17.07.2007 (w godz. 14:30–20:30) oraz 11.09.2007 (w godz. 14:00–19:00), 01.02.2008 (w godz. 09:30–13:30) oraz 03.04.2008 (godz. 10:00–14:30), w różnych warunkach atmosferycznych i hydrologicznych, pokazały, że woda w Ropie od obszaru źródłowego (powyżej Blechnarki) po Uście Gorlickie (cofka zbiornika „Klimkówka") zachowuje swoją naturalną dynamikę termiczną, podobną do przedstawionej przez R. Soję (1973). Funkcjonowanie zbiornika retencyjnego „Klimkówka" zmieniło podłużny profil termiczny Ropy na odcinku od Uścia Gorlickiego w dół jej biegu (ryc. 45; tab. 3).

http://rcin.org.pl

Tabela 3. Temperatura wody w Ropie w profilu podłużnym rzeki [°C]

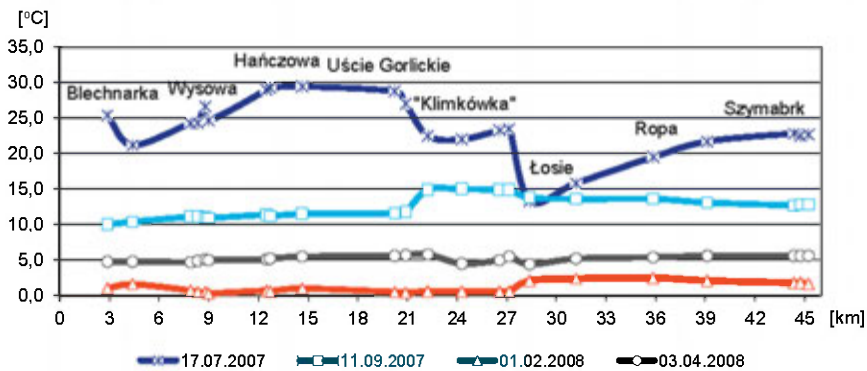
| Punkt pomiarowy | Odległość od źródła [km] | 17.07.2007 | 11.09.2007 | 01.02.2008 | 03.04.2008 |
|---|---|---|---|---|---|
| Ropa Blechnarka 1 | 2,9 | 25,4 | 10,0 | 1,0 | 4,8 |
| Ropa Blechnarka 2 | 4,4 | 21,2 | 10,4 | 1,6 | 4,8 |
| Ropa Wysowa 1 | 7,9 | 24,3 | 11,1 | 0,7 | 4,7 |
| Ropa Wysowa 2 | 8,3 | 24,3 | 11,1 | 0,5 | 4,9 |
| Ropa Wysowa 3 | 8,8 | 26,7 | 11,0 | 0,5 | 5,1 |
| Ropa Wysowa 4 | 9,0 | 24,7 | 10,9 | 0,3 | 5,0 |
| Ropa Hańczowa 1 | 12,5 | 29,0 | 11,4 | 0,7 | 5,1 |
| Ropa Hańczowa 2 | 12,7 | 29,3 | 11,2 | 0,6 | 5,2 |
| Ropa Hańczowa 3 | 14,6 | 29,5 | 11,5 | 1,0 | 5,5 |
| Ropa Uście Gorlickie 1 | 20,2 | 28,8 | 11,6 | 0,5 | 5,6 |
| Ropa Uście Gorlickie 2 | 20,9 | 27,1 | 11,8 | 0,4 | 5,7 |
| Zbiornik cofka | 22,3 | 22,5 | 14,9 | 0,6 | 5,8 |
| Zbiornik Przysłup | 24,3 | 22,0 | 15,0 | 0,6 | 4,5 |
| Przysłup/zapora | 26,6 | 23,3 | 14,9 | 0,6 | 5,0 |
| Przed zaporą | 27,2 | 23,5 | 14,9 | 0,6 | 5,5 |
| Poniżej zapory | 28,4 | 13,3 | 13,8 | 2,1 | 4,4 |
| Ropa Łosie | 31,2 | 15,8 | 13,6 | 2,4 | 5,2 |
| Ropa Ropa | 35,9 | 19,5 | 13,6 | 2,5 | 5,4 |
| Ropa Szymbark 1 | 39,1 | 21,7 | 13,1 | 2,1 | 5,6 |
| Ropa Szymbark 2 | 44,3 | 22,8 | 12,7 | 1,8 | 5,6 |
| Ropa Szymbark 3 | 44,8 | 22,5 | 12,8 | 1,8 | 5,6 |
| Ropa Szymbark 4 | 45,2 | 22,7 | 12,8 | 1,7 | 5,6 |

Źródło: opracowanie własne

W okresie lata, w dniu 17.07.2007 (ryc. 45; tab. 3), w czasie niżówki występującej na Ropie i jej dopływach, przy bezchmurnej, słonecznej pogodzie oraz maksymalnej dobowej temperaturze sięgającej 35,1°C temperatura wody w Ropie od Blechnarki po Uście Gorlickie (18 km) wykazuje tendencję rosnącą z 25,4°C do 27,1°C, momentami przekraczając 29°C. Obserwowane skoki temperatury wody na tym odcinku są wynikiem nagłego ochładzania się wody w miejscach silnie zacienionych oraz gwałtownego ogrzewania w miejscach, gdzie dno koryta Ropy wyłożone żwirowym materiałem jest odkryte na działanie promieni słonecznych. Woda po wpłynięciu do cofki zbiornika (bardzo niski stan wody w całym zbiorniku) ochładza się w jego warstwie przypowierzchniowej do 22,5°C, a następnie jej temperatura podnosi się do 23,5°C przy zaporze zbiornika. Ze zbiornika woda odprowadzana jest spustem, usytuowanym w dolnej części zapory, gdzie temperatura wody tam stagnującej, ze względu na stratyfikację termiczną, jest zdecydowanie niższa od temperatury wody

http://rcin.org.pl

w warstwie przypowierzchniowej wystawionej na bezpośrednie działanie promieni słonecznych. Efektem tego jest gwałtowny spadek temperatury wody wypływającej ze zbiornika do 13,3°C, w stosunku do temperatury wody w warstwie przypowierzchniowej (przed zaporą) oraz wpływającej do zbiornika w Uściu Gorlickim, a różnica temperatury sięga 10°C. Poniżej zapory wodnej w Klimkówce woda w Ropie wraz z biegiem rzeki powoli ociepla się, a jej temperatura ulega widocznej stabilizacji dopiero w Szymbarku – 11 km, osiągając 21,7°C. Powyżej ujścia potoku Bystrzanka, woda w Ropie osiąga temperaturę 22,8°C, maksymalną, zanotowaną tego dnia poniżej zapory wodnej w Klimkówce. Jest to zarazem jedna z najwyższych wartości temperatury wody w Ropie, notowanych w Szymbarku po uruchomieniu zbiornika „Klimkówka". Najwyższe wartości temperatury wody w Ropie na tym odcinku rzeki, w podobnych warunkach atmosferyczno-hydrologicznych, w latach przed powstaniem zbiornika retencyjnego „Klimkówka" sięgały 29°C (Wiejaczka 2007a).




Ryc. 45. Profile termiczne Ropy od Blechnarki po Szymbark w dniach: 17.07.2007, 11.09.2007, 01.02.2008, 03.04.2008

Temperature profiles of the Ropa river between Blechnarka and Szymbark on: 17 Jul 2007, 11 Sep 2007, 01 Feb 2008, 03 Apr 2008

Zupełnie odmienna sytuacja zachodzi w warunkach pełnego zachmurzenia nieba i przy maksymalnej temperaturze powietrza 12,7°C, a także przy podwyższonym stanie wody w Ropie, jak miało to miejsce w dniu 11.09.2007 (ryc. 45; tab. 3). Temperatura wody w Ropie na całym badanym jej profilu podłużnym od Blechnarki po Szymbark (43 km) wykazuje w tym dniu bardzo znikomą dynamikę. Pomiędzy Blechnarką a Uściem Gorlickim następuje nieznaczny wzrost temperatury wody z 10°C do 11,8°C. Temperatura wody wpływającej do cofki zbiornika (wysoki stan wody w zbiorniku) podnosi się do 14,9°C, a podobna wartość temperatury wody utrzymuje się w warstwie przypowierzchniowej zbiornika aż do samej za-

http://rcin.org.pl

pory. Temperatura wody wypływającej ze zbiornika jest zaledwie o 1,1°C niższa od wartości temperatury wody w przypowierzchniowej warstwie zbiornika (przed zaporą) i o 2°C wyższa od temperatury wody wpływającej do zbiornika w Uściu Gorlickim. Poniżej zapory wodnej w Klimkówce woda wraz z biegiem rzeki nieznacznie ochładza się i po 16 km w Szymbarku jej temperatura stabilizuje się na poziomie 12,7°C.

W dniu 01.02.2008 (ryc. 45; tab. 3), w okresie zimy przy maksymalnej temperaturze powietrza 2,4°C temperatura wody w profilu podłużnym Ropy nie wykazywała większego zróżnicowania, choć oddziaływanie zbiornika na termikę rzeki było zauważalne. Pomiędzy Blechnarką a Uściem Gorlickim wahania temperatury wody w Ropie były niewielkie, między 0,3°C a 1,6°C, a po wpłynięciu do zbiornika w jego przypowierzchniowej warstwie temperatura wody utrzymywała się na poziomie ok. 0,5°C (trwała, gruba pokrywa lodowa na całej powierzchni zbiornika uniemożliwiła dokładne pomiary w jego profilu podłużnym). Temperatura wody wypływającej ze zbiornika była wyraźnie wyższa od temperatury wody w przypowierzchniowej warstwie zbiornika i wynosiła 2,1°C. Dalej, wraz z biegiem rzeki obserwowano nieznaczny wzrost jej wartości do 2,5°C w miejscow ści Ropa, a następnie spadek do 1,7°C na końcu profilu pomiarowego w Szymbarku.

Wiosną w dniu 03.04.2008 (ryc. 45; tab. 3), przy maksymalnej dobowej temperaturze powietrza 8,8°C pomiędzy Blechnarką a cofką zbiornika utrzymywała się tendencja wzrostowa od 4,8°C do 5,8°C. W górnej części zbiornika w warstwie przypowierzchniowej temperatura wody obniżyła się do 4,5°C, a następnie przy zaporze wzrosła do 5,5°C. Poniżej zapory temperatura wody w Ropie wynosiła 4,4°C i w porównaniu do temperatury w warstwie przypowierzchniowej zbiornika spadek wartości był niewielki. Po wypłynięciu ze zbiornika temperatura wody wzrosła i ustabilizowała się po 11 km na poziomie 5,6°C w Szymbarku.

Przeprowadzone profilowanie termiczne Ropy od Blechnarki po Szymbark wskazuje na to, że zbiornik wodny „Klimkówka" istotnie zakłóca naturalną termikę Ropy zachodzącą wraz z biegiem rzeki. Wpływ zbiornika na temperaturę wody w Ropie jest najlepiej widoczny w okresie lata, kiedy przy wysokiej temperaturze powietrza, temperatura wody wpływającej do zbiornika jest zdecydowanie wyższa od temperatury wody z niego wypływającej. Istotne jest również to, że temperatura wody poniżej zbiornika na 16 km badanego odcinka, nie osiąga już tych samych wartości, co temperatura wody, która wpływa do niego. Podobną sytuację obserwuje się zimą, kiedy to temperatura wody wypływającej ze zbiornika jest wyższa od tem-

http://rcin.org.pl

peratury wody, która do niego wpływa a „podwyższoną" temperaturę woda w Ropie zachowuje praktycznie do końca profilu pomiarowego. Okres jesienny i wiosenny należy traktować jako przejściowy pomiędzy letnim ochładzaniem wody w Ropie a zimowym jej ocieplaniem. Zasięg oddziaływania zbiornika na temperaturę wody w Ropie poniżej jego lokalizacji jest trudny do określenia. Temperatura ścieków komunalnych i przemysłowych, które dostają się do Ropy w Gorlicach położonych ok. 20 km poniżej zapory wodnej „Klimkówka" zaciera ślad jaki wywiera zbiornik na temperaturę wody w Ropie. Oddziaływanie zbiornika jest natomiast zauważalne 16 km poniżej zapory wodnej, na co wskazują wyniki codziennych pomiarów temperatury wody prowadzonych na Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku przedstawione w rozdziale 5.2.3.

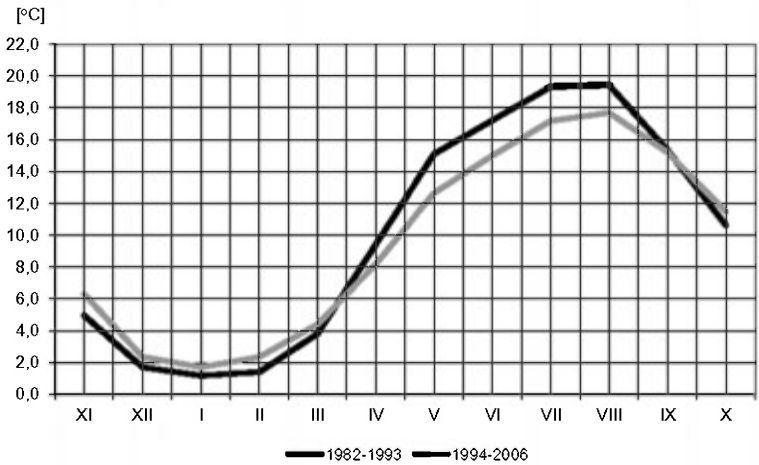
### 5.2.3. TEMPERATURA WODY W ROPIE PONIŻEJ ZBIORNIKA

Według Ł. Wiejaczki (2007a) w naturalnym reżimie termicznym Ropy, poniżej zbiornika wodnego „Klimkówka" ,w warunkach niezaburzonych przez działalność człowieka średnia miesięczna temperatura wody w rzece (ryc. 46) spada od września do stycznia z 15,2°C do 1,2°C, a następnie od lutego do sierpnia wzrasta z 1,4°C do 19,4°C. Zarówno w półroczu zimowym jak i letnim, wyraźnie wyróżniają się dwa miesiące charakteryzujące się zbliżoną średnią temperaturą wody. Są to styczeń (1,2°C) i luty (1,4C) oraz lipiec (19,3°C) i sierpień (19,4°C). Najwyższe temperatury wody w Ropie notowane w lipcu, często przekraczały 28°C, zaś najniższe w styczniu spadały nawet poniżej 0°C. Naturalną termikę dorzecza górnej Ropy w okresie letnim, przy wysokiej temperaturze powietrza, badał R. Soja (1973). Według danych przedstawionych przez cytowanego autora, średnia dobowa temperatura wody w Ropie nie różni się znacząco od średniej dobowej temperatury powietrza, a różnice pomiędzy omawianymi wartościami, z reguły sięgają kilku dziesiątych stopnia Celsjusza, sporadycznie dochodząc do ok. 3°C. Autor zwraca również uwagę na fakt, że w większości analizowanych przez niego dni średnia dobowa temperatura wody w Ropie jest wyższa niż analogiczna wartość temperatury powietrza. Opóźnienie dobowej temperatury maksymalnej wody w Ropie w stosunku do powietrza w warunkach słonecznej pogody określa na ok. 2–3 godz.

Po uruchomieniu w 1994 r. zbiornika wodnego „Klimkówka" naturalna termika wód Ropy poniżej jego lokalizacji uległa gwałtownej transformacji, na skutek kształtowania jej przez reżim termiczny wód „magazynowanych" w samym zbiorniku. Dane zebrane w wyniku codziennych pomiarów prowadzonych na Stacji Badawczej w Szymbarku w punkcie wodowskazowym usytuowanym na 39 km biegu Ropy, oddalonym o ok. 16 km od zapory

http://rcin.org.pl

wodnej w Klimkówce w latach 1982–2006, pozwalają na gruntowną analizę zmian, jakie zaszły w naturalnym reżimie termicznym Ropy. Zmiany te są doskonale widoczne w przebiegu temperatur charakterystycznych wody w Ropie: średnich, maksymalnych i minimalnych, obliczonych dla miesięcy, półroczy hydrologicznych (zimowego i letniego) oraz dla całych wieloleci 1982–1993 – przed uruchomieniem zbiornika oraz 1994–2006 – po jego uruchomieniu (Wiejaczka 2007a).




Ryc. 46. Średnia miesięczna temperatura wody w Ropie w Szymbarku z okresu 1982–1993 oraz 1994–2006
Average monthly temperature of water in the Ropa river in Szymbark in the period 1982–1993 and 1994–2006

W przypadku średnich miesięcznych wartości temperatury wody w miesiącach od października do marca w latach 1994–2006, w porównaniu z okresem poprzednim („naturalnym") obserwuje się wzrost średniej temperatury od 0,5°C – luty do 1,3°C – listopad, grudzień, zaś od kwietnia do września temperatura wody obniżyła się o 0,2°C – wrzesień do 2,4°C – maj (ryc. 46). Wyrównanie średnich miesięcznych wartości temperatury wody pomiędzy rozpatrywanymi okresami następowało w ciągu roku dwukrotnie; w marcu przy temperaturze 5,5°C oraz we wrześniu przy temperaturze 14,5°C. Nieco inaczej kształtują się różnice pomiędzy badanymi okresami w przebiegu średnich maksymalnych miesięcznych temperatur wody w Ropie. Po wybudowaniu zbiornika „Klimkówka" notuje się wyższe wartości średniej maksymalnej miesięcznej temperatury tylko od listopada do lutego. Różnice te zamykają się w przedziale od 0,7°C (grudzień) do 1,8°C (listopad). W pozostałych miesiącach średnia maksymalna miesięcz-

http://rcin.org.pl

na temperatura wody po powstaniu zbiornika jest niższa od analogicznej temperatury odnotowanej przed jego powstaniem o 0,6°C (marzec) do 5,6°C (lipiec). W październiku wieloletnie średnie miesięczne maksima temperatury wody dla porównywanych okresów są sobie równe, a wyrównanie średnich miesięcznych maksimów temperatury pomiędzy badanymi okresami w ciągu roku zachodzi przy temperaturze 6,8°C w marcu, oraz 15,6°C w październiku. W przebiegu minimów miesięcznych temperatury z wielolecia w rozpatrywanych okresach, po wybudowaniu zapory obserwuje się we wszystkich miesiącach za wyjątkiem czerwca i lipca, wyższe średnie minimalne miesięczne wartości temperatury wody. Różnice w przebiegu temperatury wahają się pomiędzy 0,1°C (grudzień) a 2,5°C (październik). Wyrównanie średnich miesięcznych minimów temperatury obliczonych dla wieloleci następowało w maju przy temperaturze 9,8°C oraz na przełomie lipca i sierpnia przy temperaturze 14,0°C.

Dla półroczy zimowych średnia temperatura wody w Ropie przed wybudowaniem zbiornika retencyjnego „Klimkówka" wyniosła 3,9°C, zaś po jego powstaniu nastąpił jej nieznaczny wzrost o 0,3°C. Podobna sytuacja dotyczy średniej minimalnej temperatury wody w półroczach zimowych – wzrost o 0,2°C. Odwrotny proces obserwuje się w przypadku średniej maksymalnej temperatury wody, która dla półroczy zimowych w latach 1982–1993 wyniosła 16,1°C, a w latach 1994–2006 obniżyła się do 13,3°C. Najwyższa temperatura wody w półroczu zimowym przed powstaniem zapory w Klimkówce wyniosła 20,5°C (29.04.1986), zaś po jej uruchomieniu 15,9°C (28.04.1998). Minimalna dobowa temperatura w okresach zimowych odnotowana w latach 1982–1993 wynosiła -0,2°C (9.01oraz 20.02.1982), natomiast w latach 1994–2006 -0,3°C (11.02.1999).

W półroczach letnich, lat 1982–1993 oraz 1994–2006, obserwuje się spadek średnich oraz średnich maksymalnych wartości temperatury wody w Ropie. Średnia temperatura dla półroczy letnich w latach 1994–2006 zmniejszyła się o 1,3°C w stosunku do okresu 1982–1993, a wartość średniej maksymalnej temperatury obniżyła się o 4,8°C. Średnia temperatura minimalna obliczona dla półroczy letnich po wybudowaniu zapory zwiększyła się w stosunku do średniej temperatury minimalnej dla tych samych półroczy przed wybudowaniem zbiornika o 2,7°C. Najwyższa zanotowana temperatura wody w rzece Ropie w półroczu letnim przed powstaniem zbiornika wodnego „Klimkówka" wyniosła 28,8°C (5.05.1993), natomiast po jego uruchomieniu 22,0°C (10.08.1999). Najniższa temperatura w półroczach letnich lat 1982–1993 sięgnęła 3,4°C (27.10.1991), a w latach 1994–2006 5,6°C (27.10.1997).

http://rcin.org.pl

Zmiany w termice Ropy są również widoczne przy porównaniu charakterystycznych wartości temperatury odnoszących się do całych okresów 1982–1993 oraz 1994–2006. Średnia oraz średnia maksymalna temperatura wody w Ropie w latach 1994–2006 jest niższa od analogicznych wartości temperatury dla okresu poprzedzającego powstanie zbiornika. Różnica średniej temperatury pomiędzy badanymi okresami nie jest duża i wynosi 0,6°C. Pomiędzy średnimi maksymalnymi wartościami temperatury, ta różnica jest bardzo wyraźna i sięga 4,8°C. Średnie minima temperatury wody w rzece z porównywanych okresów różnią się nieznacznie od siebie o 0,2°C, a w okresie po powstaniu zbiornika minimalne wartości temperatury wody są wyższe.

Przedstawione powyżej zmiany temperatury wody w Ropie poniżej zbiornika wodnego „Klimkówka" wskazują, że woda jest przez niego w skali rocznej ochładzana w stosunku do naturalnej termiki (przed powstaniem zbiornika). Zdaniem Ł. Wiejaczki (2007b) wpływ zbiornika na reżim termiczny Ropy poniżej jego lokalizacji jest tym bardziej ewidentny, że w latach 1994–2006 obserwuje się wzrost temperatury powietrza (w Szymbarku) w stosunku do lat 1982–1993. Letnie ochłodzenie wody w Ropie poniżej zbiornika wodnego „Klimkówka" po jego uruchomieniu, przyczyniło się także do spadku średniej dobowej temperatury wody w Ropie poniżej średniej dobowej temperatury powietrza (Wiejaczka 2007d), co jest przeciwstawne do wyników otrzymanych przez R. Soję (1973), które generalnie wskazywały, że średnie dobowe wartości temperatury wody są wyższe niż analogiczne wartości temperatury powietrza. Również opóźnienie dobowej temperatury maksymalnej wody w stosunku do powietrza, w porównaniu z wynikami podanymi przez R. Soję (1973), zostało wydłużone z ok. 2–3 godz. do ok. 5,5–7,5 godz.

Transformacja naturalnej termiki wody w Ropie zaznacza się również w przebiegu rocznych amplitud temperatury wody w porównywanych okresach. W latach 1982–1993 wartości tych amplitud wahały się pomiędzy 24,2°C (1983) a 28,5°C (1993), natomiast w latach 1996–2006, wartości te zostały obniżone do przedziału od 19,3°C (2004) do 22,3°C (1999). Roczna wartość amplitudy temperatury wody po wybudowaniu zbiornika „Klimkówka", w stosunku do jej wartości przed powstaniem zbiornika spadła średnio o 5°C. Obniżenie amplitudy temperatury wody ma negatywne znaczenie dla rozwoju ichtiofauny, glonów oraz bezkręgowców wodnych (Słysz i in. 2000).

http://rcin.org.pl

### 5.2.4. RELACJE POMIĘDZY TEMPERATURĄ POWIETRZA A TEMPERATURĄ WODY W ROPIE

Uruchomienie zbiornika retencyjnego „Klimkówka" wpłynęło na zmianę relacji pomiędzy temperaturą wody w Ropie a temperaturą powietrza (Wiejaczka 2007c, d), która jest głównym czynnikiem determinującym dynamikę temperatury wody w ciekach (Edinger i in.1968; Pilgrim i in.1998; Mohseni, Stefan 1999; Caissie i in. 2001; Bogan i in. 2003; Ozaki i in. 2003; Webb i in. 2003; O'Driscoll, DeWalle 2006; Wiejaczka 2007d). W badaniach zależności pomiędzy temperaturą wody i powietrza powszechnie wykorzystuje się metodę korelacji i regresji (Mohseni, Stefan 1999; Caissie i in. 2001; Ozaki i in. 2003). Najsilniejszy związek pomiędzy wartością temperatury wody a wartością temperatury powietrza ma miejsce przy tzw. równowadze termicznej (*equilibrium temperature*), która pojawia się wówczas, gdy wymiana ciepła pomiędzy powietrzem a wodą jest równa zeru (Edinger i in. 1968; Mohseni, Stefan 1999; Bogan i in. 2003). Zachwianie tej równowagi prowadzi do wymiany ciepła pomiędzy powietrzem a wodą. Według O. Mohseniego i H.G. Stefana (1999) równowaga termiczna zachodzi wówczas, gdy temperatura powietrza i wody przyjmuje wartości od 0°C do 20°C. Przebieg natężenia siły korelacji temperatury wody z temperaturą powietrza ulega zatem wahaniom w ciągu roku. Największe różnice pomiędzy tymi wartościami zachodzą przy skrajnie niskich wartościach temperatury powietrza zimą, kiedy to temperatura wody nie spada poniżej 0°C oraz latem przy skrajnie wysokich wartościach temperatury powietrza znacznie odbiegających od temperatury wody. Im mniejsza różnica pomiędzy wartościami temperatury wody i powietrza tym większa korelacja pomiędzy nimi.

W poszczególnych latach wielolecia 1982–2006 korelacja temperatury wody w Ropie z temperaturą powietrza nie uległa znaczącym zmianom. Roczne wartości współczynnika korelacji w całym wieloleciu zamykają się w przedziale 0,90 do 0,95, co świadczy o bardzo silnym związku temperatury wody z temperaturą powietrza. Istotnym faktem jest natomiast to, że przed powstaniem zbiornika wodnego „Klimkówka" występowały częste i duże skoki wartości współczynnika korelacji pomiędzy poszczególnymi latami, których brak po jego wybudowaniu. Wyraźne zmiany zaznaczają się natomiast w korelacji temperatury wody i temperatury powietrza w półroczach zimowych i letnich pomiędzy okresem poprzedzającym uruchomienie zbiornika a wieloleciem po jego powstaniu. Od 1982 do 1994 roku współczynnik korelacji pomiędzy temperaturą wody w Ropie a temperaturą powietrza w półroczach zimowych wahał się pomiędzy 0,75 a 0,89, natomiast w półroczach letnich wartość tego współczynnika była

http://rcin.org.pl

nieco większa i zamykała się w przedziale od 0,85 do 0,93. Po uruchomieniu w 1994 roku zbiornika retencyjnego „Klimkówka" związek temperatury wody i powietrza w półroczach hydrologicznych uległ wyraźnym, choć stopniowym zmianom. W latach 1995–2006 w półroczach zimowych nastąpił zauważalny wzrost wartości współczynnika korelacji mieszczącej się w przedziale 0,80 do 0,89, zaś w półroczach letnich odnotowano spadek wartości współczynnika korelacji do przedziału od 0,61 do 0,87.

Pojawienie się skrajnie niskiego współczynnika korelacji (0,61) pomiędzy temperaturą wody w Ropie oraz temperaturą powietrza w półroczu letnim w 2000 roku związane było z wystąpieniem w tym półroczu hydrologicznym długich okresów o wysokiej temperaturze powietrza pomiędzy majem a lipcem oraz stosunkowo niskiej temperaturze powietrza we wrześniu i grudniu o wartościach znacznie odbiegających od temperatury wody w Ropie. Wzrost korelacji temperatury wody i temperatury powietrza w półroczach zimowych oraz jej obniżenie w półroczach letnich, wyraźnie zbiega się z początkiem funkcjonowania zbiornika wodnego „Klimkówka".

Zestawienie wartości współczynników korelacji temperatury wody w Ropie z temperaturą powietrza obliczonymi dla lat 1982–1993 i 1994–2006, również wskazuje na liczne zmiany w relacji pomiędzy temperaturą powietrza a temperaturą wody w Ropie. Wyraźne różnice w przebiegu korelacji badanych czynników, zaznaczają się pomiędzy tymi samymi miesiącami w okresach przed (1982–1993) i po wybudowaniu (1994–2006) zbiornika wodnego „Klimkówka". Największe zmiany miały miejsce w listopadzie, lutym, maju i czerwcu, w których nastąpił widoczny przyrost wartości współczynnika korelacji od 0,05 do 0,07 oraz w grudniu, lipcu i sierpniu, kiedy odnotowano znaczny spadek wartości współczynnika mieszczący się w przedziale 0,07–0,09.

Zmiany zauważalne są również w przypadku związku średniej miesięcznej temperatury wody w Ropie ze średnią miesięczną temperaturą powietrza w rozpatrywanych wieloleciach. Z analizy wykresu wynika, że przed wybudowaniem zbiornika „Klimkówka" zależne względem siebie wartości temperatury powietrza i wody tworzą punkty układające się prawie na jednej prostej, zaś po wybudowaniu zbiornika punkty te są mniej lub bardziej oddalone od linii trendu. Widoczny jest także nieznaczny spadek siły związku mierzonej współczynnikiem korelacji pomiędzy porównywanymi okresami z 0,99 do 0,98. Niewielkie obniżenie się wartości współczynnika korelacji zaznacza się także w przypadku rozpatrywania temperatur dobowych wody i powietrza w porównywanych okresach. W latach 1994–2006 wartość tego współczynnika zmalała w porównaniu

http://rcin.org.pl

do poprzedniego okresu z 0,93 do 0,92. Tak wysokie wartości współczynników korelacji odnoszące się do obydwu wieloleci sugerują również, że przy dłuższych okresach, zmiany w relacji temperatura powietrza – temperatura wody są trudne do uchwycenia.

Przedstawione powyżej zmiany w wartościach współczynnika korelacji pomiędzy temperaturą wody w Ropie a temperaturą powietrza, które obserwuje się po wybudowaniu zbiornika wodnego „Klimkówka" jednoznacznie wskazują, że wysoka zależność termiki wody w Ropie od temperatury powietrza została wyraźnie osłabiona. Pomimo, że temperatura powietrza jest nadal głównym regulatorem temperatury wody w Ropie poniżej lokalizacji zbiornika, to jego funkcjonowanie znacznie zakłóciło wzajemne relacje tych dwóch czynników. Największy wpływ zbiornika wodnego „Klimkówka" na temperaturę wody w Ropie zachodzi przy samej zaporze wodnej, gdzie termika wypływającej wody uzależniona jest tylko i wyłącznie od procesów termicznych zachodzących w zbiorniku. Poniżej zapory wraz z biegiem rzeki wzrasta wpływ temperatury powietrza na temperaturę wody w Ropie, a oddziaływanie zbiornika słabnie (ryc. 44). Podobnych zaburzeń w relacjach pomiędzy temperaturą wody i temperaturą powietrza należy spodziewać się także na innych rzekach karpackich z funkcjonującymi w ich biegu zbiornikami retencyjnymi.

### 5.2.5. ZLODZENIE ROPY

Zlodzenie rzek w warunkach niezaburzonych działalnością człowieka determinowane jest zarówno przez temperaturę powietrza jak i przez temperaturę i stan wody w rzece (Gołek 1964). Woda odpływająca ze zbiorników w okresie zimy posiada podwyższoną temperaturę w stosunku do wody, która do nich wpływa, a także w odniesieniu do jej naturalnej termiki (przed powstaniem zbiornika). Transformacja reżimu termicznego rzek spowodowana funkcjonującymi w ich biegu zbiornikami retencyjnymi, odzwierciedla się w okresie zimy w zmienionym, w stosunku do naturalnego, przebiegiem zlodzenia rzek. B. Cyberska (1972) zauważa zmniejszone natężenie zjawisk lodowych na Dunajcu poniżej zbiorników w Rożnowie i Czchowie. Autorka zaznacza przy tym także, że wywołane zmiany w występowaniu zjawisk lodowych przez wspomniane zbiorniki w sensie ilościowym i jakościowym nie są jednakowe na całym rozpatrywanym przez nią odcinku rzeki.

A. Łajczak (1991) stwierdza, że zjawiska lodowe na dopływach górnej Wisły pojawiają się najwcześniej na przełomie października i listopada, a zanikają najpóźniej od 10.03 do 20.04. Pokrywa lodowa natomiast najwcześniej pojawia się od 1.11do 20.12 (przeciętnie od 10.12 do 20 I),

http://rcin.org.pl

a zanika najpóźniej od 1.03do 10.04 (przeciętnie od 20.01do końca lutego). Autor zwraca także uwagę na fakt, że w rzekach o niezaburzonej termice średni czas trwania zjawisk lodowych nawiązuje do średniej temperatury powietrza, a w rzekach o podwyższonej temperaturze wody stwierdza skrócony czas trwania zlodzenia, który zależy również od wielkości podziemnego zasilania (niewielkie zasilanie podziemne sprzyja dłuższemu zlodzeniu).

Według J. Gołka (1964) początek zlodzenia na całym biegu Ropy w latach 1946–1960 przypadał przeciętnie między 30.11 a 10.12. Zanik następował w dniach 28.02 – 10.03 w środkowym i dolnym biegu, a w górnym nieco później pomiędzy 10.03 – 20.03. Trwała pokrywa lodowa powstawała przeciętnie między 31.12 a 10.01, zaś jej koniec obserwowano przeciętnie pomiędzy 20.02 i 28.02.

Podwyższona temperatura wody wypływającej ze zbiornika wodnego „Klimkówka" w okresie zimy oraz podwyższony stan a zarazem przepływ wody w rzece (w stosunku do naturalnych warunków sprzed budowy zbiornika) są zasadniczymi przyczynami ograniczonego występowania zlodzenia na Ropie poniżej zapory wodnej w Klimkówce (Wiejaczka 2009b). Dodatkowym czynnikiem ograniczającym tworzenie się zjawisk lodowych na Ropie jest obserwowany w latach 1994–2006 wzrost wartości temperatury powietrza w niektórych miesiącach zimy; w listopadzie 0,4 °C i lutym o 1,1 °C w porównaniu do okresu 1982–1993 (Wiejaczka 2007b).

W obydwu porównywanych ze sobą wieloleciach 1982–1993 (przed powstaniem zbiornika) oraz 1994–2006 (po jego powstaniu) zlodzenie rzeki występowało od listopada do marca. W okresie 1994–2006 bardzo wyraźnie zmniejszyła się liczba dni w poszczególnych miesiącach zimy, w których obserwowano zlodzenie Ropy oraz poszczególne formy lodowe, w stosunku do okresu poprzedzającego działanie zbiornika (1982–1993). Największe różnice w zlodzeniu Ropy zaznaczają się w grudniu, lutym i marcu, w których to miesiącach średnia liczba dni ze zlodzeniem Ropy zmniejszyła się aż o 5 dni.

Redukcję liczby dni z obserwowaną całkowitą pokrywą lodową odnotowano we wszystkich rozpatrywanych miesiącach zimy; grudniu – 6 dni, styczniu – 7 dni, lutym – 5 dni, marcu – 3 dni) za wyjątkiem listopada, w którym pojawianie się trwałej pokrywy lodowej na Ropie nie uległo wyraźnej zmianie i w dalszym ciągu notuje się średnio 1 dzień z tą formą zlodzenia. Spadek liczby dni, w których rejestrowano częściową pokrywę lodową nastąpił w listopadzie średnio o 2 dni, grudniu o 3 dni i marcu o 2 dni. W styczniu i lutym zaobserwowano odwrotną sytuację, przejawia-

http://rcin.org.pl

jącą się wzrostem liczby dni z częściową pokrywą lodową średnio o 3 dni w styczniu oraz 1 dzień w lutym, co było efektem znacznego spadku w tych miesiącach liczby dni z całkowitą pokrywą lodową, której formowanie się jest utrudnione ze względu na zmienione warunki hydrologiczne Ropy.

Wyraźne zmiany związane z funkcjonowaniem zbiornika „Klimkówka" nastąpiły także w występowaniu innych form zjawisk lodowych na Ropie. Najmniejsze zmiany notuje się w przypadku śryżu, którego pojawianie się zostało nieco zmniejszone tylko w listopadzie i styczniu średnio o 1 dzień. Zjawisko lepy, które w latach 1982–1993 obserwowano w grudniu przeciętnie przez 1 dzień, w latach 1994–2006 przestało występować prawie całkowicie. Podobnie w latach 1994–2006 w marcu nie notuje się spływu kry i zatoru, natomiast w lutym nie obserwuje się zatoru, a kra pojawia się tak jak przed powstaniem zbiornika średnio przez 1 dzień. Zator pojawia się za to w grudniu (średnio 1 dzień), w którym wcześniej nie występował. Jedyną formą lodową, której występowanie uległo znacznemu nasileniu jest lód denny. Podczas gdy w latach 1982–1993 w grudniu i styczniu obserwowano średnio 1 dzień z lodem dennym, tak w latach 1994–2006 liczba takich dni wzrosła do 4 – w grudniuń i 3 – w styczniu, a w lutym do 4 dni. Zwiększoną liczbę dni z notowanym lodem dennym na Ropie w Szymbarku, w okresie po wybudowaniu zbiornika, należy łączyć z faktem, że warunki termiczne panujące w Ropie po uruchomieniu zbiornika „Klimkówka", zmieniły się na bardziej sprzyjające powstawaniu lodu dennego. W wyniku wypływu ze zbiornika wód o podwyższonej temperaturze, w okresie występowania warunków odpowiednich do tworzenia się zjawisk lodowych, następuje intensywne oddawanie ciepła przez rzekę (Cyberska 1975). Prowadzi to do silnego przechłodzenia wody, która ze względu na swoją gęstość opada na dno, gdzie szybko zamarza tworząc gąbczastą powłokę. Zwiększone tworzenie się lodu dennego jest negatywnym dla gospodarki człowieka skutkiem budowy zbiorników retencyjnych na rzekach. W wyniku tworzenia się lodu dennego oblodzeniu ulegają urządzenia hydrotechniczne, np. pobierające wodę do wodociągów.

Początek tworzenia się zlodzenia na Ropie w Szymbarku w latach 1994–2006 opóźnił się w stosunku do lat 1982–1993 o jedną dekadę, zaś trwałej pokrywy lodowej aż o trzy dekady. Całkowita pokrywa lodowa podobnie jak zlodzenie Ropy w latach 1994–2006 zanikała za to o jedną dekadę wcześniej niż w wieloleciu 1982–1993. Średnia długość okresu występowania zlodzenia Ropy w Szymbarku przed uruchomieniem zbiornika wodnego „Klimkówka" wynosiła 103 dni a całkowitej pokrywy lodowej 56. Po jego powstaniu okresy te uległy znacznemu skróceniu, odpowiednio do 76 dni i 25 dni.

http://rcin.org.pl

Pokrywa lodowa na zbiorniku „Klimkówka" w sprzyjających warunkach atmosferycznych utrzymuje się pomiędzy grudniem a marcem, zaś jej grubość może dochodzić do kilkudziesięciu centymetrów. Istotnym, bardzo negatywnym zjawiskiem na zbiornikach retencyjnych jest tworzenie się zatorów lodowych i śryżowych. Jak podaje M. Grześ i M. Banach (1983) po wybudowaniu zbiornika „Włocławek" wzrosła częstotliwość pojawiania się zatorów na Wiśle powyżej oraz w miejscu lokalizacji zbiornika. Cytowani autorzy zauważają, że powodzie występujące powyżej zbiorników związane z zimowymi zatorami mogą wywoływać większe straty gospodarcze aniżeli powodzie wiosenne czy letnie. Tworzenie się zatorów na zbiornikach spowodowane jest zmniejszeniem się spadku hydraulicznego rzeki, obecnością w czaszy zbiornika dużej ilości kęp roślinnych o rzędnych zbliżonych do poziomu piętrzenia, przyspieszeniem terminu zamarzania w stosunku do rzeki swobodnie płynącej powyżej zbiornika oraz niekorzystnym przebiegiem warunków hydrometeorologicznych. W przypadku zbiornika „Klimkówka" badania nad wspomnianym problemem nie były prowadzone. W oparciu o przedstawione powyżej czynniki sprzyjające powstawaniu zatorów na zbiornikach można stwierdzić, że cofkowa część zbiornika „Klimkówka" wykazuje predyspozycje do tworzenia się zatorów.

Transformacja naturalnej termiki Ropy w profilu podłużnym rzeki wpłynęła także na większe zróżnicowanie w występowaniu zlodzenia Ropy w latach 1997–2006 pomiędzy odcinkiem powyżej zbiornika retencyjnego „Klimkówka" (Uście Gorlickie) i poniżej (Szymbark).

Porównania zlodzenia Ropy powyżej i poniżej zbiornika retencyjnego „Klimkówka", dokonano wyłącznie na podstawie danych dotyczących tworzenia się częściowej oraz całkowitej pokrywy lodowej w latach 1997–2006, ponieważ obserwacje zlodzenia prowadzone na dopływach zbiornika wodnego „Klimkówka" ograniczają się jedynie do wydzielenia tylko tych dwóch form zlodzenia. Określenie gradientu temperatury powietrza pomiędzy Uściem Gorlickim a Szymbarkiem nie było możliwe, ze względu na brak stałych pomiarów temperatury powietrza w Uściu Gorlickim. Z obserwacji autora wynika, że czas zalegania pokrywy śnieżnej jest w Uściu Gorlickim dłuższy niż w Szymbarku, co wskazywałoby na fakt, że na różnice w przebiegu zlodzenia pomiędzy rozpatrywanymi odcinkami wpływa zarówno zbiornik jak i zróżnicowanie termiki powietrza pomiędzy tymi dwoma odcinkami doliny Ropy.

Średnia liczba dni z uformowaną pokrywą lodową częściową i całkowitą w Uściu Gorlickim, we wszystkich miesiącach zimy jest wyższa, od analogicznej liczby dni w Szymbarku, za wyjątkiem stycznia, w którym

http://rcin.org.pl

odnotowano mniejszą liczbę dni (średnio o 1). Różnice te wynoszą średnio od 1 dnia w marcu i grudniu do 2 dni w listopadzie (poniżej zbiornika zlodzenie w tym miesiącu w rozpatrywanym wieloleciu nie występuje) oraz 3 dni w lutym. Średnia liczba dni z całkowitą pokrywą lodową poniżej zbiornika „Klimkówka" jest zdecydowanie niższa aniżeli powyżej zbiornika. Największa różnica zachodzi w grudniu (5 dni), styczniu (6 dni) i lutym (11 dni) natomiast w listopadzie i marcu w Uściu Gorlickim notowano odpowiednio 1 i 5 dni ze zlodzeniem całkowitym rzeki a w Szymbarku nie odnotowano go w ogóle. Mniejsza liczba dni, w których rejestrowano całkowitą pokrywę lodową na Ropie poniżej zbiornika retencyjnego „Klimkówka" w grudniu, styczniu i lutym, na skutek mniej dogodnych warunków hydrologicznych sprzyjających jej powstaniu, przełożyła się na wzrost w tych miesiącach liczby dni z obserwowaną częściową pokrywą lodową. W Uściu Gorlickim w latach 1997–2006 w listopadzie, grudniu i lutym notowano średnio tylko 1 dzień z częściową pokrywą lodową, w styczniu 2 dni, natomiast w marcu ta forma zlodzenia nie występowała. Poniżej zbiornika zaobserwowano średnio 5 dni w grudniu, 10 dni w styczniu, 9 dni w lutym i 3 dni w marcu.

Biorąc pod uwagę wyłącznie daty formowania się pokrywy lodowej częściowej i całkowitej początek okresu zlodzenia na Ropie powyżej zbiornika wodnego „Klimkówka" w latach 1997–2006 przypadał średnio na początek drugiej dekady grudnia, a jego zanik na koniec lutego. Poniżej „Klimkówki" pierwsze zlodzenie pojawiało się przeciętnie po koniec drugiej dekady grudnia, a zanikało podobnie jak powyżej zapory z końcem lutego. Średnia długość okresu występowania zlodzenia na Ropie powyżej zbiornika wynosiła w takim przypadku 77 dni, a poniżej 68 dni. Całkowita pokrywa lodowa w Uściu Gorlickim w latach 1997–2006 tworzyła się średnio pod koniec drugiej dekady grudnia, a zanikała pod koniec lutego. W Szymbarku początek występowania trwałej pokrywy lodowej przypadał na koniec pierwszej dekady stycznia, a zanik na koniec tego miesiąca. Okres występowania trwałej pokrywy lodowej powyżej zbiornika był zdecydowanie dłuższy i wynosił 70 dni, podczas gdy poniżej zapory pokrywa ta utrzymywała się średnio tylko przez 18 dni. Potwierdzeniem przedstawionych powyżej różnic w przebiegu zlodzenia Ropy na odcinkach powyżej i poniżej zbiornika są średnie liczby dni z obserwowanym w ciągu roku zlodzeniem rzeki w Uściu Gorlickim i Szymbarku w wieloleciu 1997–2006. Powyżej zbiornika średnia wieloletnia liczba dni ze zlodzeniem wyniosła 78 dni, natomiast poniżej „Klimkówki" tylko 68 dni. W poszczególnych latach rozpatrywanego wielolecia sytuacja nie jest już tak klarowana, po-

http://rcin.org.pl

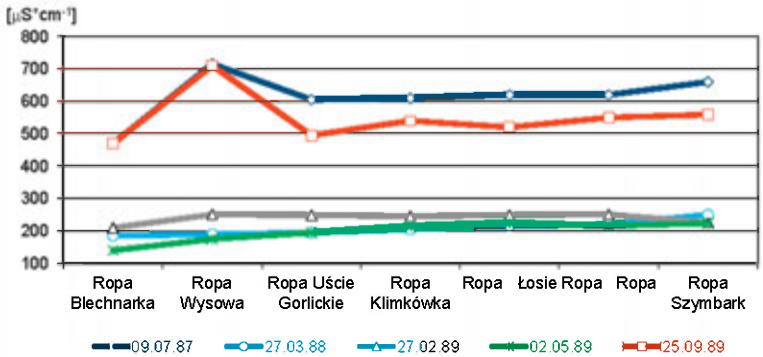
nieważ zdarzało się, że to poniżej zbiornika notowano większą liczbę dni ze zlodzeniem niż powyżej niego (2002–2003), co zapewne związane było z różnicami mikroklimatycznymi pomiędzy porównywanymi obszarami doliny Ropy.

## 5.3. PRZEWODNOŚĆ ELEKTROLITYCZNA WŁAŚCIWA

### 5.3.1. PRZEWODNOŚĆ ELEKTROLITYCZNA WŁAŚCIWA WODY W PROFILU PODŁUŻNYM ROPY

Dynamikę konduktywności wody w Ropie w profilu podłużnym rzeki od Blechnarki do Szymbarku przed uruchomieniem zbiornika wodnego „Klimkówka" przedstawia rycina 47. Pomiary z 27.03.1988 oraz 27.02.1989 wykazują, że w warunkach naturalnych (niezakłóconych działalnością zbiornika „Klimkówka"), w okresie zimowym wartości przewodności elektrolitycznej wody w Ropie w całym profilu pomiarowym generalnie zawierały się przedziale 185–250 $\mu Scm^{-1}$ i cechowały się dużą stabilnością. W porównaniu do okresu letniego przewodność przyjmowała zdecydowanie niższe wartości. Latem przy wysokich temperaturach wody i małym przepływie na całym profilu podłużnym rzeki pojawiały się bardzo wysokie wartości przewodności elektrolitycznej wody, wykazujące wraz z biegiem Ropy nieznaczną tendencję rosnącą, o czym świadczą pomiary wykonane 9.07.1987 oraz 25.09.1989. W Blechnarce w górnym biegu rzeki wartość przewodności elektrolitycznej wody wynosiła 470 $\mu Scm^{-1}$, a w oddalonym o 42 km Szymbarku wzrastała do 559 $\mu Scm^{-1}$ (25.09.1989) oraz 660 $\mu Scm^{-1}$ (9.07.1987). Wzrost wartości przewodności elektrolitycznej wody w Ropie wraz z biegiem rzeki zdaniem P. Prokopa i R. Soji (1994) wynika w równej mierze zarówno z wpływu człowieka (ścieki) jak i zasilania Ropy wodami dopływów odznaczającymi się przewodnością elektrolityczną powyżej 400 $\mu Scm^{-1}$. W Wysowej w obydwu przypadkach widać gwałtowny wzrost przewodności elektrolitycznej wody w Ropie dochodzący do 715 $\mu Scm^{-1}$ (9.07.1987), według P. Prokopa i R. Soji (1994) związany najprawdopodobniej z dopływem ścieków oraz wód wysokozmineralizowanych z odwiertów istniejącego tam uzdrowiska. Odmienna sytuacja zachodziła w czasie wezbrań, podczas których zwiększony przepływ na Ropie (do kilkudziesięciu $m^3s^{-1}$) powodował znaczny spadek wartości przewodności elektrolitycznej wody na całym biegu rzeki, na co wskazują wyniki badań przeprowadzone 2.05.1989, kiedy to wartość przewodności elektrolitycznej w Blechnarce wynosiła zaledwie 140 $\mu Scm^{-1}$, a w Łosiu w wyniku postępującego wraz z biegiem rzeki słabego wzrostu przewodności wody osiągnęła maksymalną w tym dniu, w całym rozpatrywanym profilu wartość 225 $\mu Scm^{-1}$.

http://rcin.org.pl




Ryc. 47. Przebieg wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w profilu podłużnym Ropy przed uruchomieniem zbiornika „Klimkówka" w dniach: 09.07.1987, 27.03.1988, 27.02.1989, 02.05.1989, 25.09.1989
Course of electrolytic conductivity of water in the longitudinal profile of the Ropa river before opening the Klimkówka reservoir on: 09 Jul 1987, 27 Mar 1988, 27 Feb 1989, 02 May 1989, 25 Sep 1989

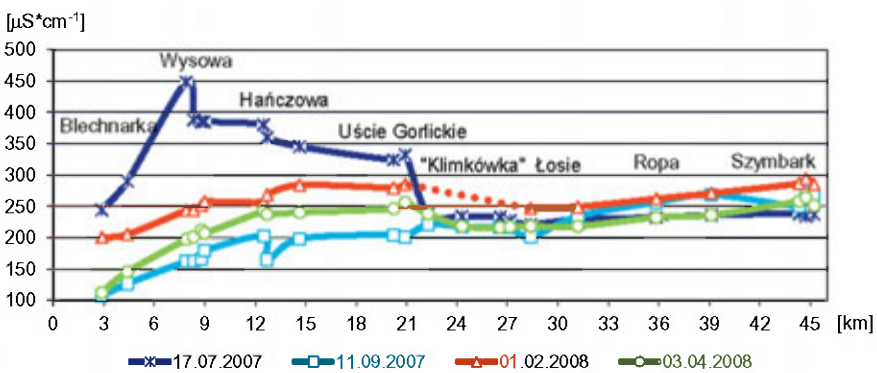
Funkcjonowanie od 1994 roku zbiornika „Klimkówka" zupełnie zmieniło dynamikę przewodności elektrolitycznej właściwej wody w profilu podłużnym Ropy od Uścia Gorlickiego (cofka zbiornika „Klimkówka") w dół rzeki. Dowodem są wyniki pomiarów przewodnictwa właściwego wody w Ropie od obszaru źródłowego rzeki powyżej Blechnarki po Szymbark, wykonane w czasie odmiennych warunków hydrologicznych w dniach 17.07.2007, 11.09.2007, 01.02.2008 oraz 03.04.2008 (ryc. 48; tab. 4).

http://rcin.org.pl

Tabela 4. Przewodność elektrolityczna właściwa wody w Ropie w profilu podłużnym rzeki [μScm⁻¹]

| Punkt pomiarowy | Odległość od źródła [km] | 17.07.2007 | 11.09.2007 | 01.02.2008 | 03.04.2008 |
|---|---|---|---|---|---|
| Ropa Blechnarka 1 | 2,9 | 244 | 107 | 200 | 112 |
| Ropa Blechnarka 2 | 4,4 | 290 | 126 | 205 | 145 |
| Ropa Wysowa 1 | 7,9 | 448 | 162 | 243 | 197 |
| Ropa Wysowa 2 | 8,3 | 388 | 162 | 244 | 201 |
| Ropa Wysowa 3 | 8,8 | 385 | 166 | 251 | 212 |
| Ropa Wysowa 4 | 9,0 | 385 | 179 | 257 | 207 |
| Ropa Hańczowa 1 | 12,5 | 380 | 202 | 256 | 242 |
| Ropa Hańczowa 2 | 12,7 | 360 | 165 | 269 | 237 |
| Ropa Hańczowa 3 | 14,6 | 345 | 198 | 284 | 240 |
| Ropa Uście Gorlickie 1 | 20,2 | 324 | 204 | 279 | 246 |
| Ropa Uście Gorlickie 2 | 20,9 | 332 | 201 | 285 | 256 |
| Zbiornik cofka | 22,3 | 238 | 221 | - | 238 |
| Zbiornik Przysłup | 24,3 | 234 | 218 | - | 218 |
| Przysłup/zapora | 26,6 | 233 | 216 | - | 216 |
| Przed zaporą | 27,2 | 227 | 216 | - | 217 |
| Poniżej zapory | 28,4 | 221 | 201 | 246 | 218 |
| Ropa Łosie | 31,2 | 229 | 234 | 249 | 218 |
| Ropa Ropa | 35,9 | 232 | 256 | 262 | 232 |
| Ropa Szymbark 1 | 39,1 | 236 | 268 | 270 | 236 |
| Ropa Szymbark 2 | 44,3 | 238 | 250 | 286 | 258 |
| Ropa Szymbark 3 | 44,8 | 234 | 271 | 294 | 264 |
| Ropa Szymbark 4 | 45,2 | 237 | 266 | 285 | 251 |

Źródło: opracowanie własne




Ryc. 48. Przebieg wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w profilu podłużnym Ropy w dniach: 17.07.2007, 11.09.2007, 01.02.2008, 03.04.2008
Course of electrolytic conductivity of water in the longitudinal profile of the Ropa river on: 17 Jul 2007, 11 Sep 2007, 01 Feb 2008, 03 Apr 2008

http://rcin.org.pl

W dniu 17.07.2007 (ryc. 48; tab. 4) w okresie występującej powyżej zbiornika „Klimkówka" niżówki na Ropie, a także niskiego stanu wody w samym zbiorniku, przewodność elektrolityczna właściwa wody na odcinku 5,5 km od Blechnarki (244 $\mu Scm^{-1}$) do Wysowej (288 $\mu Scm^{-1}$) wykazywała tendencję rosnącą (w punkcie Ropa Wysowa 1 zaznacza się wyraźny skok wartości przewodności elektrolitycznej wody do 448 $\mu Scm^{-1}$, spowodowany znikomym w tym miejscu przepływem wody oraz zanieczyszczeniem ściekami, jak również dopływem wód wysokozmineralizowanych) a następnie stabilizowała się na poziomie 380–388 $\mu Scm^{-1}$ pomiędzy Wysową a Hańczową (4 km). W Uściu Gorlickim wartość przewodności elektrolitycznej wody spadła do 324 $\mu Scm^{-1}$ – powyżej ujścia Zdyni oraz 332 $\mu Scm^{-1}$ po połączeniu się rzek. Przewodność elektrolityczna wody w cofce zbiornika gwałtownie obniżyła się do 238 $\mu Scm^{-1}$ (wody Ropy i Zdyni uległy wymieszaniu a zwiększona objętość wody w obrębie cofki doprowadziła do rozcieńczenia stężenia roztworów wnoszonych przez rzeki). Postępujący nadal nieduży spadek jej wartości w warstwach przypowierzchniowych wody zretencjonowanej w zbiorniku utrzymywał się, aż do zapory wodnej (227 $\mu Scm^{-1}$) oraz do miejsca wypływu wody ze zbiornika (221 $\mu Scm^{-1}$). Poniżej zapory wraz z biegiem rzeki wartość przewodności wody nieznacznie wzrastała i po 11 km w Szymbarku osiągnęła 236 $\mu Scm^{-1}$. Dalej, w dół rzeki utrzymywała się w przedziale 234–238 $\mu Scm^{-1}$.

Zupełnie inna sytuacja w przebiegu wartości przewodności elektrolitycznej wody w profilu podłużnym Ropy ukształtowała się 11.09.2007 (ryc. 48; tab. 4), podczas wezbrania w rzece oraz przy wysokim stanie wody w zbiorniku „Klimkówka". Od źródeł powyżej Blechnarki, aż po cofkę zbiornika „Klimkówka" w Uściu Gorlickim wartość przewodności elektrolitycznej wody w Ropie rosła od 107 $\mu Scm^{-1}$ do 221 $\mu Scm^{-1}$. W powierzchniowej warstwie wody w zbiorniku od cofki do zapory w Klimkówce przewodność elektrolityczna zmalała do 216 $\mu Scm^{-1}$ a w momencie wypływu wody ze zbiornika spadła do 201 $\mu Scm^{-1}$. Poniżej zapory wodnej przewodność elektrolityczna wody w Ropie szybko wzrastała osiągając maksimum poniżej ujścia Bystrzanki (271 $\mu S\ cm^{-1}$).

W okresie zimy w dniu 01.02.2008 (ryc. 48; tab. 4), przewodność elektrolityczna właściwa wody w Ropie pomiędzy Blechnarką a Uściem Gorlickim wzrosła od 200 $\mu Scm^{-1}$ do 285 $\mu Scm^{-1}$. W samym zbiorniku ze względu na zalegającą na powierzchni zbiornika grubą warstwę pokrywy lodowej pomiarów nie przeprowadzono. Analiza przebiegu wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w rzece powyżej i poniżej zbiornika sugeruje, że wyraźnie obniżył on jej wartość. Poniżej zapory wartość

http://rcin.org.pl

konduktywności wody wynosiła 246 $\mu Scm^{-1}$, a następnie rosła i najwyższą wartość na badanym odcinku poniżej zbiornika osiągnęła poniżej ujścia Bystarzanki w Szymbarku.

Wiosną w dniu 03.04.2008 (ryc. 48; tab. 4), przewodność elektrolityczna wody w Ropie podobnie jak w pozostałych rozpatrywanych przypadkach wzrastała pomiędzy Blechnarką a Uściem Gorlickim od 112 $\mu Scm^{-1}$ do 256 $\mu Scm^{-1}$. W cofce zbiornika jej wartość zmalała do 236 $\mu Scm^{-1}$, a przed zaporą w przypowierzchniowej warstwie wody do 216 $\mu Scm^{-1}$. Wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w przypowierzchniowej warstwie zbiornika w rozpatrywanym dniu są bardzo zbliżone do wartości konduktywności wody w Ropie z dnia 11.09.2007, co sugeruje, że przewodność elektrolityczna wody w zbiorniku w okresach przejściowych (wiosna, jesień) jest podobna. Poniżej zapory konduktywności wody nie uległa wyraźnej zmianie a jej wartość zaczęła wzrastać kilka kilometrów dalej i osiągnęła najwyższą wartość 264 $\mu Scm^{-1}$ w Szymbarku poniżej ujścia Bystrzanki.

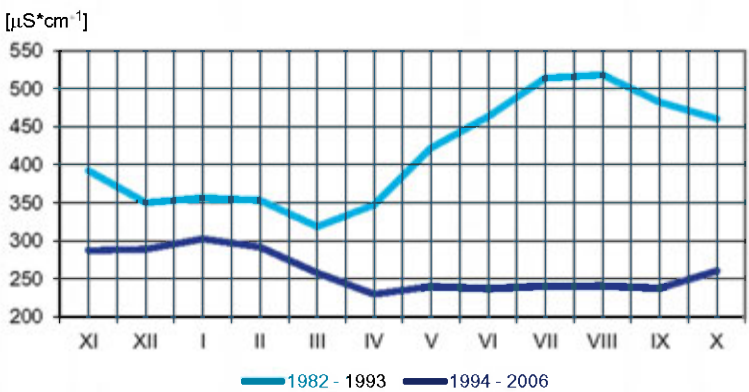
Przedstawione wyniki badań przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie w jej profilu podłużnym wykazują jednoznacznie, że od obszaru źródłowego aż do ujścia Ropy do zbiornika retencyjnego „Klimkówka" wartości omawianej zmiennej, a wraz z nią mineralizacja wody zachowują swój naturalny wzrostowy trend. Zbiornik obniża i stabilizuje wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie poniżej zapory praktycznie przez cały rok, a wpływ zbiornika jest widoczny do końca profilu pomiarowego (na odcinku 16 km). W głównej mierze jest to wynikiem magazynowania w zbiorniku wód pochodzących z wiosennych roztopów oraz letnich wezbrań wykazujących niską przewodność elektrolityczną właściwą (kształtowanie się stratyfikacji chemicznej w zbiorniku w ciągu roku wymaga dalszych szczegółowych badań). W okresie niżówek różnice w przewodności elektrolitycznej wody w Ropie (pomiędzy odcinkami powyżej i poniżej zbiornika), wynikają również z faktu, że wielkość dopływu do zbiornika jest mniejsza od wielkości odpływu. Oczywistym wyjątkiem są wezbrania na Ropie, podczas których dopływ wody do zbiornika znacznie przewyższa odpływ. Wówczas przewodność elektrolityczna właściwa wody powyżej i poniżej zbiornika na Ropie może przyjmować zbliżone wartości. Należy pamiętać jednak o tym, że każde wezbranie charakteryzuje się indywidualnym przebiegiem zmian koncentracji materiału rozpuszczonego (oraz przewodności elektrolitycznej właściwej wody) w stosunku do przepływu (Froehlich 1975, 1982; Kostrzewski i in. 1992).

http://rcin.org.pl

### 5.3.2. PRZEWODNOŚĆ ELEKTROLITYCZNA WŁAŚCIWA WODY W ROPIE PONIŻEJ ZBIORNIKA

W warunkach naturalnych (przed budową zbiornika retencyjnego „Klimkówka"), w miejscowości Szymbark (ok. 16 km poniżej zapory wodnej w Klimkówce), w przebiegu średniej przewodności elektrolitycznej właściwej w ciągu roku, w miesiącach od grudnia do lutego obserwowano zbliżone wartości średnich miesięcznych, sięgające nieco ponad 350 $\mu Scm^{-1}$ (ryc. 49). Drugi okres o raczej ustabilizowanych wartościach konduktywności wody przypadał na lipiec (514 $\mu Scm^{-1}$) i sierpień (518 $\mu Scm^{-1}$). W marcu następował dosyć wyraźny spadek wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie średnio do 318 $\mu Scm^{-1}$, a następnie od kwietnia zaznaczał się stopniowy wzrost z maksimami w lipcu i sierpniu. Pomiędzy wrześniem a grudniem notowano stały spadek średnich wartości przewodności elektrolitycznej wody z 482 $\mu Scm^{-1}$ do 350 $\mu Scm^{-1}$. Maksymalna zanotowana w latach 1982–1993 wartość konduktywności wody w Ropie wyniosła 769 $\mu Scm^{-1}$ (26.08.1987) a minimalna 167 $\mu Scm^{-1}$ (17.04.1993). Na tak duże wahania wartości omawianej zmiennej bezpośredni wpływ miała dynamika przepływu na Ropie w ciągu roku (w okresie bezopadowym przepływ na Ropie spadał poniżej 0,5 $m^3s^{-1}$, natomiast w czasie wezbrań wzrastał do kilkudziesięciu metrów sześciennych na sekundę) oraz sezonowe wahania temperatury wody.

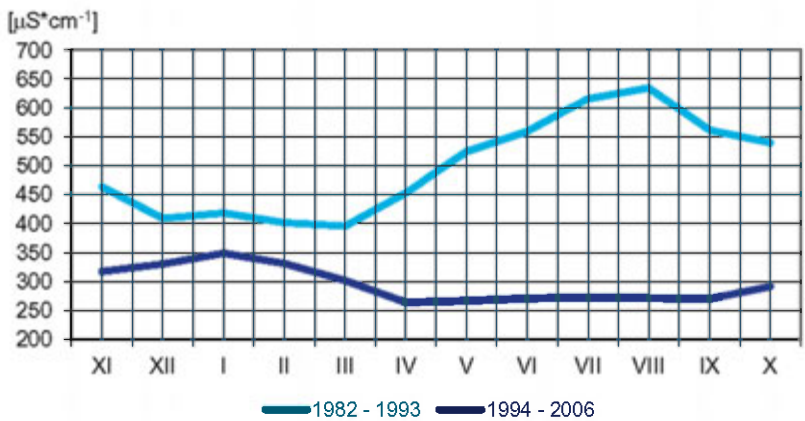
Po wybudowaniu zbiornika retencyjnego „Klimkówka" konduktywność Ropy, a wraz z nią poziom mineralizacji wody poniżej jego lokalizacji uległy, podobnie jak temperatura wody, dużej transformacji.




Ryc. 49. Średnie miesięczne wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie w Szymbarku
Average monthly values of electrolytic conductivity of water in the Ropa river in Szymbark

http://rcin.org.pl

Średnie miesięczne wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie po wybudowaniu zbiornika wodnego „Klimkówka" (lata 1994–2006) zostały znacznie obniżone we wszystkich miesiącach roku, w stosunku do lat 1982–1993 poprzedzającego powstanie zbiornika (ryc. 49). W miesiącach od grudnia do marca obserwuje się najmniejszy spadek średnich miesięcznych wartości przewodności elektrolitycznej wody w Ropie wynoszący 54 $\mu Scm^{-1}$–61 $\mu Scm^{-1}$. Natomiast pomiędzy kwietniem a listopadem notuje się największe obniżenie w porównywanych wartościach zamykające się w przedziale od 105 $\mu Scm^{-1}$ (listopad) do 278 $\mu Scm^{-1}$ (sierpień). Lata 1994–2006 cechuje także mniejsza dynamika przewodności elektrolitycznej wody w Ropie, zwłaszcza w okresie letnim, w porównaniu do lat 1982–1993. Po uruchomieniu zbiornika „Klimkówka" widoczne są dwa okresy o wyrównanych wartościach średnich miesięcznych przewodności elektrolitycznych wody w Ropie (kwiecień–wrzesień i październik–luty) oraz rozdzielający je okres spadku wartości przewodności elektrolitycznej wody (luty–kwiecień).

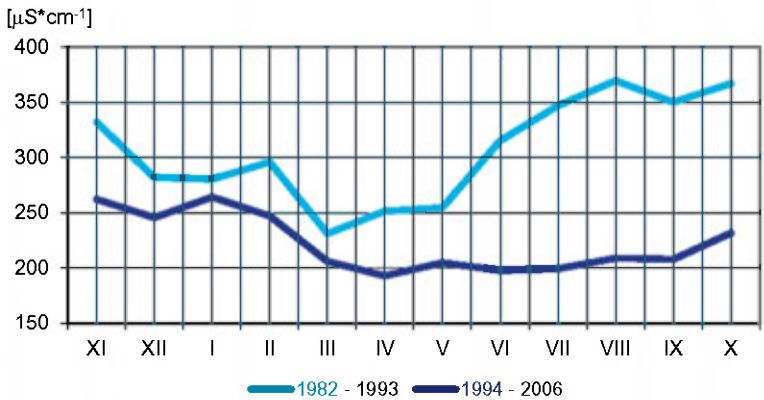



Ryc. 50. Średnie maksymalne miesięczne wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie w Szymbarku
Average maximal monthly values of electrolytic conductivity of water in the Ropa river in Szymbark

Podobna sytuacja jak w przypadku średnich miesięcznych wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie zachodzi przy rozpatrywaniu średnich maksymalnych miesięcznych wartości tej zmiennej (ryc. 50). W latach 1982–1993 pomiędzy grudniem a marcem średnie maksymalne miesięczne wartości przewodności elektrolitycznej wody wykazywały stabilizację w przedziale od 396 $\mu Scm^{-1}$ do 418 $\mu Scm^{-1}$. Od kwietnia (453 $\mu Scm^{-1}$) do sierpnia wartości te wzrastały do 635 $\mu Scm^{-1}$ a następnie

http://rcin.org.pl

od września (561 μScm$^{-1}$) do lutego znacznie malały do poziomu 409 μScm$^{-1}$. Po uruchomieniu zbiornika retencyjnego „Klimkówka" obserwuje się spadek wartości średnich maksymalnych przewodności elektrolitycznych wody we wszystkich miesiącach roku oraz mniejszą dynamikę w stosunku do okresu poprzedzającego funkcjonowanie zbiornika. Najmniejsze obniżenie notuje się w miesiącach od grudnia do marca (69 μScm$^{-1}$ – styczeń, 94 μScm$^{-1}$ – marzec), natomiast pozostałe miesiące cechuje znacznie większy spadek omawianych wartości od 146 μScm$^{-1}$ w listopadzie do 343 μScm$^{-1}$ w lipcu i 363 μScm$^{-1}$ w sierpniu.

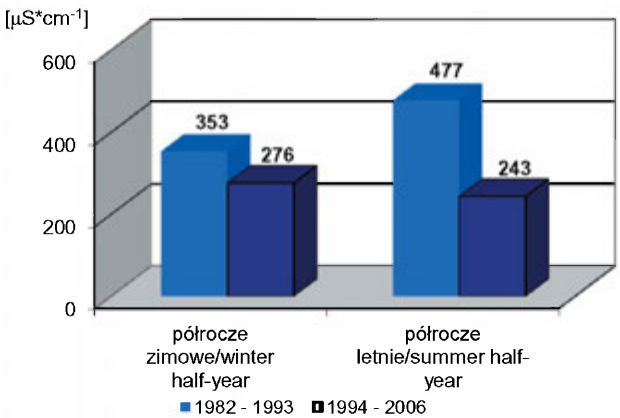



Ryc. 51. Średnie minimalne miesięczne wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie w Szymbarku
Average minimal monthly values of electrolytic conductivity of water in the Ropa river in Szymbark

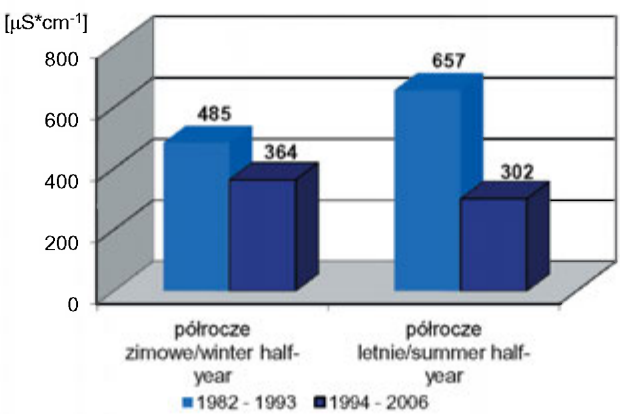
Przebieg średnich wartości minimalnych przewodności elektrolitycznej wody w Ropie w ciągu roku nawiązuje do przebiegu średnich oraz średnich maksymalnych wartości omawianej zmiennej, choć pomiędzy poszczególnymi miesiącami widać wyraźne skoki wartości (ryc. 51). Dwa okresy stabilizacji najniższych wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie przypadały na grudzień (282 μScm$^{-1}$) i styczeń (281 μScm$^{-1}$) oraz kwiecień (252 μScm$^{-1}$) i maj (252 μScm$^{-1}$). Pomiędzy tymi okresami w lutym średnia minimalna przewodność elektrolityczna wody wzrastała do 296 μScm$^{-1}$, a w marcu występowało obniżenie jej wartości do 231 μScm$^{-1}$. Następnie średnia minimalna przewodność elektrolityczna wody rosła do wartości 370 μScm$^{-1}$ w sierpniu. W miesiącach pomiędzy wrześniem (350 μScm$^{-1}$) a grudniem (282 μScm$^{-1}$) rysowała się tendencja spadkowa wartości przewodności elektrolitycznej (z odchyleniem w październiku – 362 μScm$^{-1}$). Funkcjonowanie zbiornika wodnego „Klim-

http://rcin.org.pl

kówka" przyczyniło się do obniżenia średnich minimalnych wartości konduktywności w Ropie w ciągu całego roku w stosunku do lat 19821993. Najmniejsze obniżenie wartości średniej minimalnej przewodności wody występuje w okresie od listopada (70 µScm$^{-1}$) do maja (47 µScm$^{-1}$) z minimum przypadającym na styczeń (16 µScm$^{-1}$) i marzec (25 µScm$^{-1}$). Największy spadek wartości odnotowuje się pomiędzy czerwcem (118 µScm$^{-1}$) a październikiem (130 µScm$^{-1}$) z maksimum w sierpniu (161 µScm$^{-1}$).

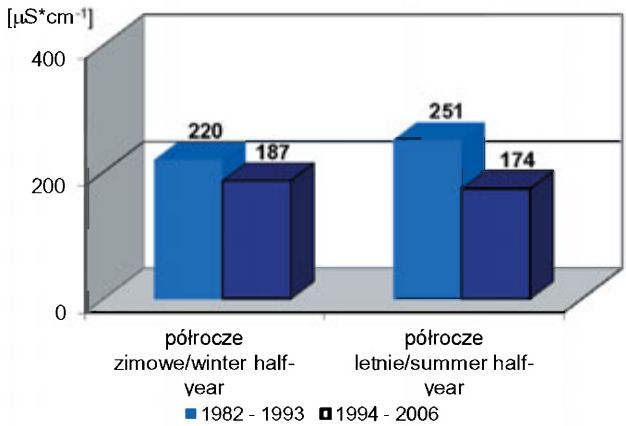



Ryc. 52. Średnie wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie w Szymbarku w półroczu hydrologicznym zimowym i letnim
Average values of electrolytic conductivity of water in the Ropa river in Szymbark in winter and summer hydrological half year




Ryc. 53. Średnie maksymalne wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie w Szymbarku w półroczu hydrologicznym zimowym i letnim
Average maximal values of electrolytic conductivity of water in the Ropa river in Szymbark in winter and summer hydrological half year

http://rcin.org.pl

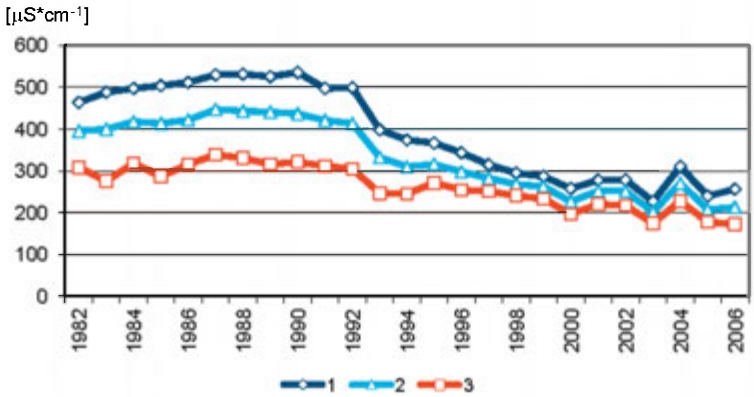



Ryc. 54. Średnie minimalne wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie w Szymbarku w półroczu hydrologicznym zimowym i letnim
Average minimal values of electrolytic conductivity of water in the Ropa river in Szymbark in winter and summer hydrological half year

Znaczny spadek wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie po wybudowaniu zbiornika „Klimkówka" zauważa się również przy porównywaniu wartości charakterystycznych w półroczach hydrologicznych – zimowym i letnim, pomiędzy okresami 1982–1993 oraz 1994–2006 (ryc. 52, 53, 54). Półrocze zimowe w okresie funkcjonowania zbiornika retencyjnego „Klimkówka" charakteryzuje się niższą wartością średniej, średniej maksymalnej oraz średniej minimalnej przewodności elektrolitycznej właściwej wody w rzece. Podczas gdy w latach 1982–1993 średnia przewodność elektrolityczna wody wynosiła 353 µScm$^{-1}$, średnia maksymalna 485 µScm$^{-1}$, a średnia minimalna 220 µScm$^{-1}$, uruchomienie zbiornika „Klimkówka" doprowadziło do obniżenia wartości odpowiednio do 276 µScm$^{-1}$, 364 µScm$^{-1}$, 187 µScm$^{-1}$. Najwyższą wartość przewodnictwa właściwego wody w Ropie w półroczu zimowym w latach 1982–1993 zanotowano 3.04.1990 (538 µScm$^{-1}$), a najniższą 17.04.1993 (167 µScm$^{-1}$), natomiast w latach 1994–2006 maksymalna przewodność właściwa wody wyniosła 472 µScm$^{-1}$ (10.01.1995), a minimalna 116 µScm$^{-1}$ (16.03.2005). W przypadku półroczy letnich obniżenie wartości średniej oraz średniej maksymalnej przewodności elektrolitycznej właściwej pomiędzy rozpatrywanymi wieloleciami jest zdecydowanie większe niż w półroczach zimowych i sięga 234 µScm$^{-1}$ (średnia) oraz 355 µScm$^{-1}$ (średnia maksymalna). Średnia wartość minimalnej przewodności elektrolitycznej właściwej wody spadła o 77 µScm$^{-1}$. Maksymalna wartość przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie zarejestrowana przed uruchomieniem zbiornika wodnego „Klimkówka" wyniosła 769 µScm$^{-1}$ (26.08.1987), a minimalna

http://rcin.org.pl

209 μScm$^{-1}$ (29.05.1993). W okresie jego funkcjonowania (1994–2006) najwyższa wartość przewodności elektrolitycznej wody sięgnęła zaledwie 398 μScm$^{-1}$ (18.10.1997) a najniższa 116 μScm$^{-1}$ (27.05.2006).



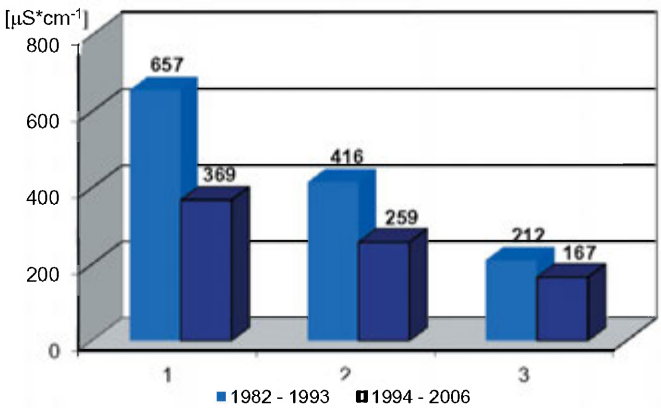

Ryc. 55. Średnie maksymalne (1), średnie (2) oraz średnie minimalne (3) wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody Ropy w Szymbarku w latach 1982–2006

Average maximal (1), average (2), and average minimal (3) values of electrolytic conductivity of water in the Ropa river in Szymbark between 1982 and 2006

Ewidentny a zarazem bardzo wizualny dowód na obniżenie przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie przez zbiornik retencyjny „Klimkówka" stanowi przebieg wartości charakterystycznych badanej zmiennej obliczonych dla poszczególnych lat całego wielolecia 1982–2006 (ryc. 55). Na rok 1993 przypada gwałtowne obniżenie zbiegające się z początkiem prac rozruchowych zmierzających do napełnienia zbiornika „Klimkówka" wodą, które rozpoczęto w 1994 roku.

Prezentowane powyżej obniżenie wartości charakterystycznych przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie po uruchomieniu zbiornika wodnego „Klimkówka" we wszystkich miesiącach roku a także w półroczach hydrologicznych – zimowym i letnim oraz w poszczególnych latach, odzwierciedla się w spadku omawianych wartości w całym wieloleciu 1994–2006. Średnia wieloletnia wartość przewodności elektrolitycznej właściwej wody w wieloleciu 1982–1993 wynosiła 416 μScm$^{-1}$, średnia maksymalna 657 μScm$^{-1}$ a średnia minimalna 212 μScm$^{-1}$, natomiast funkcjonowanie „Klimkówki" zredukowało te wartości, odpowiednio do 259 μScm$^{-1}$, 369 μScm$^{-1}$ oraz 167 μScm$^{-1}$ (ryc. 56).

http://rcin.org.pl




Ryc. 56. Średnie maksymalne (1), średnie (2) oraz średnie minimalne (2) wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody Ropy w Szymbarku
Average maximal (1), average (2), and average minimal (3) values of electrolytic conductivity of water in the Ropa river in Szymbark

Obniżenie przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie w Szymbarku po uruchomieniu zbiornika wodnego „Klimkówka" wiąże się ze wzrostem i ustabilizowaniem przepływu (minimum 2 $m^3s^{-1}$) na Ropie poniżej jego lokalizacji. Większa objętość wody płynąca w korycie Ropy sprzyja lepszemu rozcieńczeniu związków pochodzących zarówno z denudacji chemicznej stoków jak i ze ścieków komunalnych. Obniżenie konduktywności wody w Ropie wynika także z magazynowania oraz stopniowego uwalniania ze zbiornika wody pochodzącej z wezbrań wiosennych oraz letnich (na ciekach zasilających), odznaczających się niskimi wartościami przewodności elektrolitycznej właściwej, wynikającej z obniżonej mineralizacji, na co uwagę zwrócono w rozdziale 5.3.1.

## 5.4. ODCZYN WODY (PH)

### 5.4.1. ODCZYN WODY (PH) W PROFILU PODŁUŻNYM ROPY

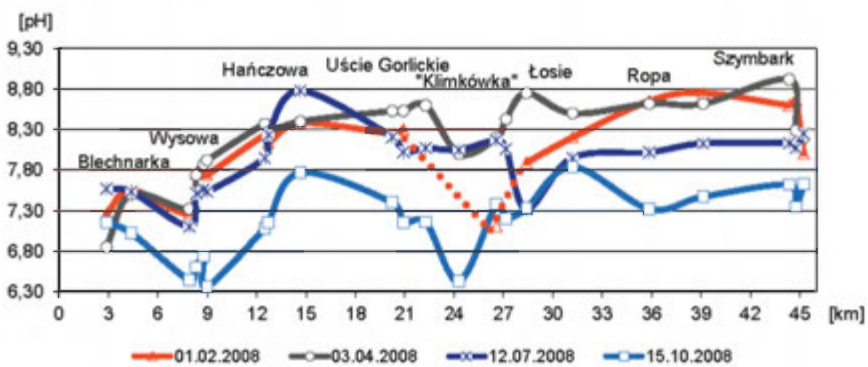
Pomiary odczynu wody – pH (potencjału jonów wodorowych) w Ropie w jej profilu podłużnym od Blechnarki po Szymbark przeprowadzone w dniach 01.02.2008, 03.04.2008, 12.07.2008 oraz 15.10.2008 wykazały, że odczyn pH wody wraz z biegiem rzeki rośnie, a zbiornik wodny „Klimkówka" powoduje jego wyraźne obniżenie (ryc. 57; tab. 5).

http://rcin.org.pl

Tabela 5. Odczyn wody (pH) w Ropie w profilu podłużnym rzeki

| Punkt pomiarowy | Odległość od źródła [km] | 01.02.2008 | 03.04.2008 | 12.07.2008 | 15.10.2008 |
|---|---|---|---|---|---|
| Ropa Blechnarka 1 | 2,9 | 7,26 | 6,85 | 7,57 | 7,15 |
| Ropa Blechnarka 2 | 4,4 | 7,55 | 7,50 | 7,53 | 7,02 |
| Ropa Wysowa 1 | 7,9 | 7,26 | 7,32 | 7,1 | 6,44 |
| Ropa Wysowa 2 | 8,3 | 7,76 | 7,74 | 7,51 | 6,60 |
| Ropa Wysowa 3 | 8,8 | 7,77 | 7,87 | 7,56 | 6,73 |
| Ropa Wysowa 4 | 9,0 | 7,74 | 7,92 | 7,53 | 6,36 |
| Ropa Hańczowa 1 | 12,5 | 8,23 | 8,37 | 7,95 | 7,08 |
| Ropa Hańczowa 2 | 12,7 | 8,13 | 8,27 | 8,23 | 7,15 |
| Ropa Hańczowa 3 | 14,6 | 8,38 | 8,40 | 8,78 | 7,77 |
| Ropa Uście Gorlickie 1 | 20,2 | 8,25 | 8,53 | 8,21 | 7,40 |
| Ropa Uście Gorlickie 2 | 20,9 | 8,30 | 8,53 | 8,02 | 7,15 |
| Zbiornik cofka | 22,3 | - | 8,60 | 8,07 | 7,16 |
| Zbiornik Przysłup | 24,3 | - | 8,00 | 8,05 | 6,43 |
| Przysłup/zapora | 26,6 | 7,10 | 8,20 | 8,17 | 7,38 |
| Przed zaporą | 27,2 | - | 8,43 | 8,06 | 7,20 |
| Pod zaporą | 28,4 | 7,89 | 8,75 | 7,32 | 7,33 |
| Ropa Łosie | 31,2 | 8,20 | 8,50 | 7,95 | 7,84 |
| Ropa Ropa | 35,9 | 8,65 | 8,62 | 8,02 | 7,32 |
| Ropa Szymbark 1 | 39,1 | 8,75 | 8,62 | 8,13 | 7,47 |
| Ropa Szymbark 2 | 44,3 | 8,60 | 8,92 | 8,13 | 7,62 |
| Ropa Szymbark 3 | 44,8 | 8,66 | 8,29 | 8,07 | 7,35 |
| Ropa Szymbark 4 | 45,2 | 7,70 | 8,20 | 8,25 | 7,63 |

Źródło: opracowanie własne




Ryc. 57. Odczyn wody (pH) w Ropie w profilu podłużnym rzeki pomiędzy Blechnarką a Szymbarkiem w dniach: 01.02.2008, 03.04.2008, 12.07.2008, 15.10.2008

Reaction of water (pH) in the longitudinal profile of the Ropa river between Blechnarka and Szymbark on: 01 Feb 2008, 03 Apr 2008, 12 Jul 2008, 15 Oct 2008

http://rcin.org.pl

W dniu 01.02.2008 (ryc. 57; tab. 5) w okresie zimy pomiędzy Blechnarką a Uściem Gorlickim generalnie obserwowano wzrost wartości pH wody w Ropie z 7,26 do 8,30. W samym zbiorniku „Klimkówka" wykonano w tym dniu tylko jeden pomiar pH wody, ponieważ zalegająca gruba pokrywa lodowa uniemożliwiła większą liczbę pomiarów w profilu podłużnym zbiornika. Wynik pomiaru pomiędzy ujściem Przysłupu a zaporą (7,10) sugeruje, że zbiornik ten w okresie zimy znacznie obniża pH wody, która do niego wpływa. Potwierdzeniem tego jest wartość pH wody wypływającej ze zbiornika poniżej zapory wodnej w Klimkówce, która wyniosła 7,89, a następnie bardzo szybko rosła wraz z biegiem rzeki i maksimum (8,75) osiągnęła w Szymbarku.

Wiosną w dniu 03.04.2008 (ryc. 57; tab. 5), pomiędzy Blechnarką a Uściem Gorlickim dynamika pH wody w Ropie nie odbiegała zasadniczo od tej obserwowanej w dniu 01.02.2008, a wartości pH wzrosły z 6,85 (Blechnarka) do 8,53 (Uście Gorlickie). Podobnie jak w zimie woda w przypowierzchniowych warstwach zbiornika wodnego „Klimkówka" w okresie wiosennym wykazywała niższe pH w porównaniu do wody, wpływającej i stagnującej w cofce „Klimkówki", a najniższą wartość 8,00 w obrębie zbiornika odnotowano po przeciwnej stronie ujścia Przysłupu. Pomiędzy wspomnianym dopływem a zaporą obserwowano wzrost wartości pH do 8,43, a poniżej zapory w wodzie wypływającej z przydennych warstw zbiornika odnotowano pH na poziomie 8,75, co było najwyższą pomierzoną wartością pH na odcinku rzeki pomiędzy Blechnarką a punktem pomiarowym poniżej zapory wodnej w Klimkówce. Wyższą wartość pH – 8,92 zarejestrowano tylko w Szymbarku.

Latem w dniu 12.07.2008 (ryc. 57; tab. 5), pH wody w Ropie od Blechnarki (7,57) do granicy miejscowości Hańczowa i Uście Gorlickie (8,78) zachowywało zbliżony trend zmian w stosunku do okresu zimowego i wiosennego. Dalej w kierunku zbiornika notowano coraz niższe wartości pH, które w Uściu Gorlickim poniżej ujścia Zdyni wyniosło 8,02. Począwszy od cofki zbiornika „Klimkówka", aż po samą zaporę pH wody utrzymywało się na zbliżonym poziomie, wahając się w przedziale 8,07–8,17. Poniżej zapory wartość pH wody wypływającej z przydennej części zbiornika zmalała do 7,32 i dalej wraz z biegiem rzeki rosła osiągając 8,25 w Szymbarku na końcu profilu pomiarowego.

Jesienią w dniu 15.10.2008 (ryc. 57; tab. 5), pH wody pomiędzy Blechnarką a Uściem Gorlickim wzrastało z 7,15 do 7,40, przy czym w miejscowości Wysowa ten trend został wyraźnie zaburzony ponieważ wartości pH wody na krótkim odcinku spadły do przedziału 6,36–6,73. W cofce zbior-

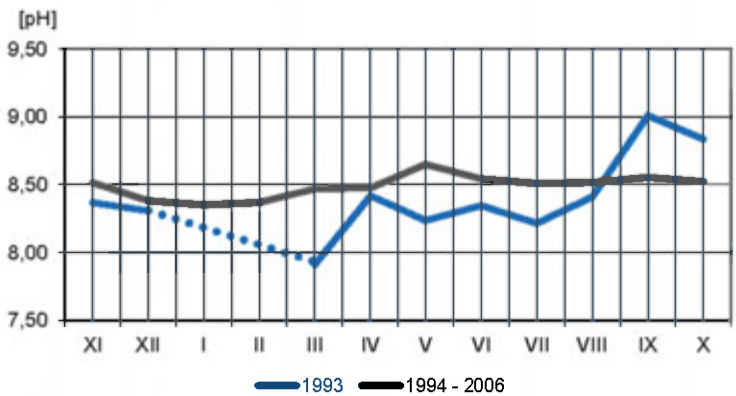
http://rcin.org.pl

nika pH nie uległo wyraźnej zmianie, natomiast w punkcie pomiarowym oddalonym o ok. 2 km w stronę zapory obniżyło się aż do 6,43, po czym ponownie wzrosło do 7,38 pomiędzy Przysłupem a zaporą oraz 7,20 przy samej zaporze. Poniżej zapory pH wody wypływającej z głębszych partii zbiornika nie zmieniło wyraźnie wartości w stosunku do wody w warstwie przypowierzchniowej zbiornika i wynosiło 7,33. Było natomiast nieco wyższe w stosunku do pH wody wpływającej do zbiornika w Uściu Gorlickim. Poniżej zapory wraz z biegiem rzeki obserwowano wzrost jego wartości sięgający w jednym z punktów w Szymbarku 7,84.

Zebrany materiał pozwala stwierdzić, że woda zmagazynowana w przypowierzchniowych warstwach zbiornika w ciągu całego roku wykazuje ogólnie niższe pH w stosunku do wartości obserwowanych w Ropie powyżej „Klimkówki". Odczyn wody wypływającej z przydennych warstw zbiornika przyjmuje lub bardzo szybko odzyskuje zbliżone wartości do notowanych w Ropie powyżej zbiornika. Wraz z biegiem Ropy wyraźnie zmniejsza się oddziaływanie zbiornika na rozpatrywaną zmienną i kilka lub kilkanaście kilometrów dalej jest już niezauważalny.

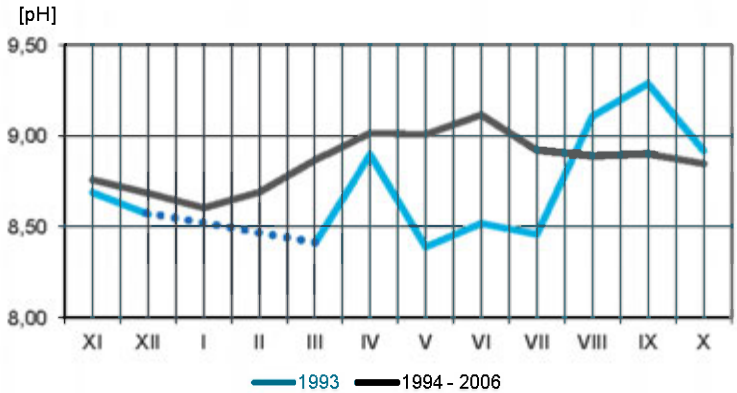
### 5.4.2. ODCZYN WODY (PH) W ROPIE PONIŻEJ ZBIORNIKA

Początek stałych, codziennych pomiarów pH wody w Ropie na stacji IGiPZ PAN w Szymbarku, przypada na koniec 1992 roku, stąd też okres przed uruchomieniem zbiornika „Klimkówka" w niniejszej analizie dynamiki pH wody w rzece reprezentuje tylko rok hydrologiczny 1993, w którym z kolei występuje przerwa w pomiarach w styczniu i lutym.




Ryc. 58. Średnie miesięczne wartości odczynu wody (pH) w Ropie w Szymbarku
Average monthly values of reaction of water (pH) in the Ropa river in Szymbark

http://rcin.org.pl



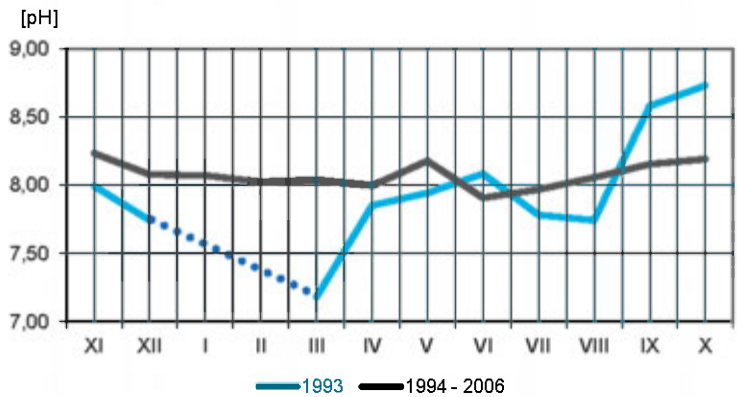

Ryc. 59. Maksymalne miesięczne wartości odczynu wody (pH) w Ropie w Szymbarku
Maximal monthly values of reaction of water (pH) in the Ropa river in Szymbark

W 1993 roku średnia miesięczna wartość pH wody w Ropie w poszczególnych miesiącach w ciągu roku, generalnie wahała się pomiędzy 8,21 w lipcu a 8,42 w kwietniu (ryc. 58). Odstępstwem od podanego przedziału wartości był wrzesień (9,01) i październik (8,83), w których odnotowano najwyższe średnie miesięczne wartości pH oraz marzec (7,91) o najniższych wartościach średnich. Najwyższe maksymalne miesięczne wartości pH wody w Ropie w 1993 roku (ryc. 59) pojawiły się w sierpniu (9,11) i wrześniu (9,29) a najniższe w marcu (8,41), maju (8,39) czerwcu (8,52) i lipcu (8,56). Minimalne miesięczne wartości pH wody w Ropie poniżej zbiornika wodnego „Klimkówka" w rozpatrywanym roku wahały się przeważnie pomiędzy 7,74 (sierpień) i 8,08 (czerwiec), choć we wrześniu i październiku sięgały, aż 8,58 oraz 8,73 a w marcu spadły do 7,18 (ryc. 60). Analiza rycin 58, 59, 60 sugeruje, że wartość pH wody w styczniu i lutym (1993) w rocznym cyklu zmian tego wskaźnika znajdowało się w wyraźnej tendencji spadkowej, pomiędzy wysokimi jesiennymi a niskim wiosennymi wartościami.

Analiza przebiegu średnich, średnich maksymalnych oraz średnich minimalnych miesięcznych wartości pH wody w Ropie, w wieloleciu 1994–2006, wskazuje, że w ciągu roku, poniżej zbiornika „Klimkówka", generalnie notowano wyższe wartości pH wody w stosunku do 1993 roku (ryc. 58, 59, 60). Wyjątek w przypadku średnich miesięcznych wartości pH stanowią: sierpień, wrzesień i październik, średnich maksymalnych miesięcznych: wrzesień i październik a średnich minimalnych miesięcznych: czerwiec, wrzesień i październik, w których wartości pH były znacznie niższe od analogicznych miesięcznych wartości pH wody w Ropie w roku

http://rcin.org.pl

1993. Najwyższe średnie miesięczne wartości w analizowanym wieloleciu badany wskaźnik osiągał w maju (8,65). Pomiędzy czerwcem a listopadem średnie miesięczne wartości pH wody w Ropie utrzymywały się na zbliżonym poziomie i wahały się w przedziale od 8,51 (lipiec, listopad) do 8,55 (wrzesień). W grudniu średnia miesięczna wartość pH wody w rzece malała do 8,38 a podobny poziom obserwowano także w styczniu (8,35) i lutym (8,37), po czym w marcu i kwietniu wzrastała do 8,47. Podobny cykl w ciągu roku, w wieloleciu 1994–2006, wykazują średnie maksymalne miesięczne wartości odczynu wody wahające się pomiędzy 9,12 w czerwcu a 8,61 w styczniu. Średnie minimalne miesięczne wartości pH wody w Ropie w rocznym cyklu zmian w rozpatrywanym wieloleciu przedstawiają mniejszą dynamikę zarówno w stosunku do średnich oraz średnich maksymalnych miesięcznych wartości pH wody w tym wieloleciu, jak i do minimalnych miesięcznych wartości pH w 1993 roku. W ciągu roku średnie minimalne miesięczne wartości pH zawierają się w przedziale 7,91 (czerwiec) – 8,23 (listopad).




Ryc. 60. Minimalne miesięczne wartości odczynu wody (pH) w Ropie w Szymbarku
Minimal monthly values of reaction of water (pH) in the Ropa river in Szymbark

Porównanie pH wody w Ropie w Szymbarku pomiędzy rokiem 1993 a wieloleciem 1994–2006 wskazuje, że funkcjonowanie zbiornika wodnego „Klimkówka" generalnie podwyższa wartości pH wody w ciągu roku. Jednak biorąc pod uwagę wyniki pomiarów pH wody w profilu podłużnym Ropy pomiędzy zaporą w Klimkówce a Szymbarkiem (przedstawione w rozdziale 5.4.1), właściwe wydaje się stwierdzenie, że kilkanaście kilometrów poniżej zbiornika jego wpływ na pH wody w Ropie jest już niezauważalny.

http://rcin.org.pl

# 6. MORFOLOGIA STREFY BRZEGOWEJ ZBIORNIKA WODNEGO „KLIMKÓWKA"

## 6.1. INFORMACJE OGÓLNE

W procesie przeobrażania czaszy zbiorników wodnych mniej lub bardziej znaczącą rolę (w zależności od zbiornika) odgrywa proces abrazji brzegów. Wskazują na to m.in. badania W. Kierasia i in. (1973); E. Rydzika (1978); M. Banacha (1981, 1986, 1988, 1993); T. Ziętary (1992, 1994); M. Rzętały (2003); H. Grobelskiej (2006). Przekształcanie brzegów zarówno karpackich zbiorników wodnych, jak i zbiorników zlokalizowanych w innych regionach fizycznogeograficznych jest złożonym procesem, gdzie decydujące znaczenie ma hydrodynamiczna aktywność akwenu (Banach 1986) oraz warunki geologiczne, których rozpoznanie jest konieczne do opracowania prognozy transformacji brzegów (Mazur 1975; Rydzik 1978; Szubert 1992; Ziętara 1994). Według M. Banacha (1986, 1993) tempo i charakter przekształcania brzegów nowo powstałych zbiorników zależy od cech środowiska, w którym zachodzi ich rozwój oraz od czynników, które uruchamiają proces zmian. W odróżnieniu od czynników cechy środowiska są pasywne, bardziej stabilne w czasie i odgrywają rolę regulatora procesu przekształcania brzegów, wpływając tym samym na jego intensywność i formę. Do istotnych cech środowiskowych autor zalicza budowę geologiczną i litologię brzegów, wysokość, kształt i ekspozycję stoków brzegowych, konfigurację linii brzegowej, roślinność na brzegach oraz przejawy gospodarczej działalności człowieka, natomiast do czynników, których rola zmienia się w czasie i przestrzeni zalicza falowanie wiatrowe i prądy nim wywołane, ruchy pokrywy lodowej, ruchy grawitacyjne na brzegach, erozję brzegów wodami opadowymi i roztopowymi, deflację i wietrzenie. T. Ziętara (1992, 1994) zwraca także uwagę na istotny wpływ częstych wahań poziomu wody w zbiorniku na rozwój brzegów zbiorników retencyjnych. Zdaniem M. Banacha (1986, 1988) wahania stanów wody nie uruchamiają procesu przekształcania brzegów, lecz zwiększają zasięg oddziaływania poszczególnych czynników, a tempo cofania się lub przyrostu brzegu oraz ilość rozmytych osadów z danego odcinka jest sumą oddziaływania wszystkich czynników w określonych warunkach. Intensywność procesu abrazji brzegów jest warunkowana intensywnością falowania, wielkością

http://rcin.org.pl

początkowego kąta nachylenia stoku, odpornością skał, składem granulometrycznym osadów, głębokością przybrzeżnej części akwenu i wysokością nadwodnej części brzegu. Zasadniczą rolę w procesie abrazji odgrywa falowy ruch wody na zbiorniku powodowany oddziaływaniem wiatru, który jest czynnikiem segregującym i transportującym osady w strefie brzegowej (Banach 1988, 1993, 1994; Ziętara 1994). Charakterystykę procesu falowania na zbiornikach wodnych prezentują prace B. Wiśniewskiego (1972) oraz M. Banacha (1988). Fale, które tworzą się na zbiornikach wodnych wykazują trójwymiarowość wynikającą ze zmienności rozbiegu fali związanej z kolei z urozmaiconą linią brzegową. Ze względu na ich znaczną stromość i krótkie okresy, fale o zbliżonej wysokości atakują brzeg z dużą częstotliwością, a mała objętość wody sprawia, że po ustąpieniu wiatru szybko zanikają, natomiast okres fali zwiększa się wraz ze wzrostem jej wysokości. Fale zmierzające w stronę brzegu podlegają procesowi refrakcji polegającemu na wytraceniu szybkości i zmianie kierunku na skutek malejącej głębokości, w konsekwencji czego następuje koncentracja energii falowania na cyplach brzegu i jej rozproszenie w zatokach. Rozbicie fali podążającej do brzegu następuje w strefie o głębokości 1,28 razy większej od wysokości fali. Fale wkraczają na brzeg w postaci potoku przyboju, w którym wyróżnia się dwa przeciwstawne strumienie: postępowy do brzegu – napływ i powrotny od brzegu – odpływ. Stoki o nachyleniu <10° są niszczone przez fale powoli w sposób płynny, przejawiający się w „zlizywaniu" powierzchniowej warstwy gruntu, bez tworzenia się przy tym nisz falowych i abrazyjnych obrywów (Banach 1988, 1993, 1994).

Proces modelowania brzegów zbiorników wodnych ma często przebieg katastrofalny, a abrazji towarzyszą zjawiska powierzchniowych ruchów masowych (Kieraś i in. 1973; Dąbkowski 1978; Banach 1993; Ziętara 1994), co jest szczególnie zauważalne w przypadku zbiorników karpackich. Ruchy masowe przyczyniają się do powstawania klifów, których występowanie i wysokość zależą od rodzaju utworów budujących zbocze; niskie klify tworzą utwory piaszczysto-żwirowe, a wysokie ilasto-pylaste (Banach 1993). Większość materiału pochodzącego z abrazji brzegów buduje platformy przybrzeżne, natomiast reszta osiada na dnie lub jest wynoszona w postaci zawiesiny poniżej zbiornika (Banach 1981, 1988, 1994). Platformy przybrzeżne są nowym, nieistniejącym w warunkach swobodnie płynącej rzeki elementem podwodnej rzeźby brzegowej, a powstają w wyniku działania procesu abrazji oraz akumulacji, jak i również formowane są przez prądy przybrzeżne, uzależnione od reżimu falowania. Przyrost platform jest najbardziej intensywny w pierwszych latach po powstaniu zbiornika (Banach

http://rcin.org.pl

1981, 1988, 1992, 1994). Efektem występowania procesów brzegowych jest tworzenie się różnych form brzegowych: klify, terasy, plaże, cyple, mierzeje, wały brzegowe i wiele innych (Banach 1988, 1992, 1994; Rzętała 2003; Grobelska 2006). Charakterystyczną cechą świadczącą o ciągłym modelowaniu powierzchni brzegowej są przede wszystkim mikroterasy o genezie akumulacyjno-abrazyjnej. Systemy mikroteras najczęściej występują na brzegach wyścielonych gliniastymi utworami zwietrzelinowymi, a powstają w czasie obniżania się zwierciadła wody w zbiorniku. Występują także rzadko na brzegach zbudowanych ze skał fliszowych lub ich rumoszu (Kieras i in. 1973; Rzętała 2003).

W procesie niszczenia brzegów bierze także udział proces egzaracji, czyli erozji lodowej (Rydzik 1978; Banach 1988, 1993; Gierszewski 1988; Rzętała 2003; Grobelska 2006). Pokrywa lodowa, tworząca się na powierzchni zbiorników wodnych, oddziałuje na brzeg zbiornika w sposób mechaniczny lub termiczny. Skutki egzaracji można generalnie obserwować wzdłuż całej linii brzegowej w postaci różnej rozmiarów wypiętrzeń i wałów, które w dalszej kolejności są rozmywane przez falowanie.

Według E. Rydzika (1978) na przebieg niszczenia brzegów wpływają również właściwości fizykochemiczne wody magazynowanej w zbiorniku, jak i również ich okresowe zmiany decydujące o wietrzeniu chemicznym utworów budujących brzegi.

Intensywność procesów geodynamicznych w obrębie brzegów zbiorników wodnych wraz z upływem czasu maleje, głównie na skutek rozrastania się platformy przybrzeżnej, na której fale wytracają swoją energię (Banach 1986, 1993), co z kolei powoduje spadek ich siły abrazyjnej. W konsekwencji obserwuje się postępujący zanik dostawy materiału brzegowego do zbiorników, który zachodzi znacznie szybciej w przypadku zbiorników górskich (Cyberski 1984) niż nizinnych (Banach 1981, 1986). Zdaniem M. Banacha (1986) przyczyną ograniczenia aktywności procesów geodynamicznych na brzegach zbiorników wodnych może być także spadek siły wiatru oraz mniejsze uwilgotnienie koluwiów, będące efektem sezonowego zmniejszenia opadów atmosferycznych. Dodatkowym czynnikiem ograniczającym abrazję brzegów przez fale jest występowanie dużej ilości głazów i otoczaków na abrazyjnej części brzegu, które stanowią rodzaj bruku, co świadczy o wzroście stateczności zbocza oraz spadku tempa ich degradacji w dalszej perspektywie czasowej (Banach 1993)

Ilościową charakterystykę procesu abrazji brzegów zbiorników wodnych według W. Kierasia i in. (1973), można oprzeć na zasadzie rekonstrukcji brzegu przy zastosowaniu metody morfometrycznej, w której lo-

http://rcin.org.pl

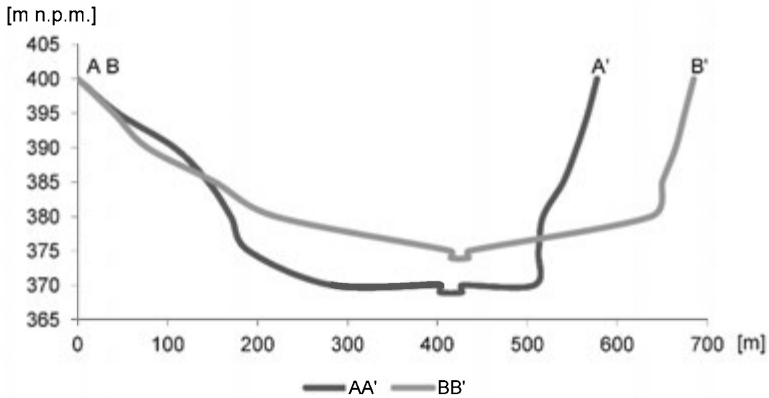
kalne ubytki strefy brzegowej (w wyniku abrazji przy zmiennym poziomie zwierciadła wody) ustala się przy założeniu, że przed powstaniem zbiornika, zbocza zalanych dolin, miały określone nachylenie. Wykonując profile morfologiczne przez strefę brzegową, a następnie porównując je z wyjściowym nachyleniem, uzyskuje się średnią powierzchnię ubytków w $m^2$, co w odniesieniu do całej linii brzegowej określa całkowity ubytek w $m^3$. Wadą tej metody jest niemożliwość jej zastosowania przy braku danych o stanie wyjściowym, co zachodzi w przypadku brzegów klifowych uformowanych przed i w czasie eksploatacji zbiornika, lub zboczy uformowanych w wyniku procesów zsuwowych. Na ogół stosuje się natomiast pomiary geodezyjne w wybranych profilach brzegu, a następnie na podstawie ubytku materiału pomiędzy okresami pomiarowymi określa się objętość materiału usuniętego w procesie abrazji (Dąbkowski 1978). Z badań prowadzonych na polskich zbiornikach retencyjnych wynika, że ilość materiału dostarczanego do zbiornika na skutek abrazji brzegowej może stanowić od 1% (zbiorniki górskie) do 10% (zbiorniki nizinne) całego ładunku zamulającego zbiornik (Onoszko 1964; Cyberski 1969, 1970; Kostecki 1975; Mazur 1975; Banach 1981, 1994).

## 6.2. KLASYFIKACJA BRZEGÓW ZBIORNIKA WODNEGO „KLIMKÓWKA"

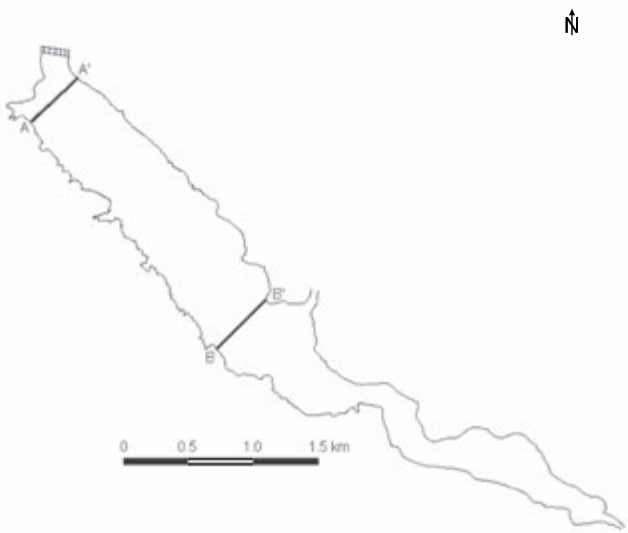
Istotnym przejawem oddziaływania zbiornika retencyjnego „Klimkówka" na środowisko przyrodnicze jest zmiana morfologii zboczy doliny Ropy w wyniku rozwoju strefy brzegowej zbiornika. Według M. Banacha (1994, s 21, 22) strefa brzegowa zbiornika to obszar obecnie zachodzącego, wzajemnego oddziaływania (na siebie) lądu i wody, w obrębie którego odbywa się niszczenie lądu, rozdrabnianie i sortowanie osadów oraz ich transport i akumulacja. Górną granicę strefy brzegowej wyznacza krawędź klifu, dolną zaś stanowi podnóże skłonu platformy przybrzeżnej. Klif jest to abrazyjny obryw, stromy załom brzegu macierzystego ponad linią wodną, powstający na skutek działania potoku przyboju. Platforma przybrzeżna stanowi płytką strefę towarzyszącą brzegom akwenów stojących, na której zachodzi przekształcenie i rozbicie fal, jak również przebiegają procesy brzegowe kształtujące profil oraz kontur brzegu, a także tworzą się abrazyjne, akumulacyjne i egzaracyjne formy rzeźby brzegowej. Platforma powstaje w wyniku abrazji, cofania się klifu oraz akumulacji osadów, a składa się z części abrazyjnej, akumulacyjnej oraz plaży.

Brzeg natomiast, według M. Banacha (1994, s. 20) jest pasem granicznym lądu i wody węższym od strefy brzegowej, ponieważ górną jego granicą jest krawędź klifu a dolną stanowi podstawa stoku plaży, czyli granica spływu potoku przyboju.

http://rcin.org.pl




Ryc. 61. Poprzeczne profile morfologiczne przez dolinę Ropy w miejscu lokalizacji zbiornika „Klimkówka"
Transverse morphological profiles through the Ropa valley at the location of the Klimkówka reservoir




Ryc. 62. Lokalizacja poprzecznych profili morfologicznych doliny Ropy
Location of transverse morphological profiles of the Ropa valley

http://rcin.org.pl

Od początku funkcjonowania zbiornika wodnego „Klimkówka" asymetryczne zbocza doliny Ropy (ryc. 61, 62, fot. 1) podlegają nieustannemu modelowaniu, na skutek występowania w strefie brzegowej zbiornika procesów abrazyjnych i akumulacyjnych, wywołanych hydro- i geodynamiczną aktywnością akwenu. Procesy te przebiegają z różną intensywnością i częstotliwością w zależności od warunków hydrologicznych panujących w zbiorniku oraz morfologii zboczy doliny Ropy. Intensywne modelowanie brzegów zachodzi głównie podczas wysokich stanów wody na zbiorniku. W przypadku zbiornika „Klimkówka" wysokie stany wody górnej (pomiędzy 395,80 m n.p.m. – normalny poziom piętrzenia a 398,60 m n.p.m. – maksymalny poziom piętrzenia) w wieloleciu 1995–2006 występowały średnio przez 48 dni w roku (tab. 6). Największą częstością występowania wysokich stanów wody górnej odznaczał się rok 1997 (97 dni) a najmniejszą 2004 (15 dni).

Tabela 6. Częstość występowania wysokich stanów wody górnej (pomiędzy 395,80 m n.p.m. a 398,60 m n.p.m.) w zbiorniku „Klimkówka"

| Rok | Liczba dni |
|---|---|
| 1995 | 69 |
| 1996 | 54 |
| 1997 | 97 |
| 1998 | 33 |
| 1999 | 36 |
| 2000 | 42 |
| 2001 | 22 |
| 2002 | 48 |
| 2003 | 47 |
| 2004 | 15 |
| 2005 | 85 |
| 2006 | 28 |
| 1995 – 2006 | 48 |

Źródło: RZGW Kraków

Intensywność przekształcania brzegów zbiorników wodnych zmniejsza się wraz z ich wiekiem (Banach 1986, 1993). Uchwycenie zmian pomiędzy poszczególnymi etapami ewolucji brzegów, zachodzącej w miarę upływu czasu jest możliwe dzięki wielokrotnie powtarzanemu kartowaniu omawianych form, którego celem powinno być stworzenie typologii brzegów na danym etapie ich rozwoju. Porównanie uzyskanych wyników pomiędzy poszczególnymi kartowaniami pozwala na zobrazowanie tempa i stałości typów procesów kształtujących badaną strefę brzegową (Grobelska 2006). Za podstawę wyróżnienia typów brzegów zbiorników wodnych można

http://rcin.org.pl

przyjąć różne kryteria: stopień oraz dynamikę przekształcenia brzegu, dominujący czynnik modelujący, morfologię stoków oraz ich budowę geologiczną, stopień stateczności a także stopień antropopresji (Banach 1994).

Prezentowane w literaturze polskiej klasyfikacje brzegów zbiorników wodnych (Drwal, Gołębiewski 1968; Kieraś i in. 1973; Mazur 1975; Rydzik 1978; Banach 1981, 1994; Ziętara 1992, 1994; Rzętała 1994, 1998; Jaguś 1997; Jaguś, Rzętała 2000; Grobelska 2006) nie są uniwersalne i obarczone są wieloma wadami, na co uwagę zwrócili M. Banach (1994) i M. Rzętała (2003). Niedoskonałości te wynikają przede wszystkim z braku jednolitości w stosowanych kryteriach podziału, zróżnicowania środowiska przyrodniczego obszarów, w obrębie których zbiorniki są zlokalizowane jak i złożoności procesów kształtujących ich brzegi oraz z subiektywnej oceny fizycznych cech brzegów oraz procesów. M. Banach (1994) wskazuje na fakt, że w wielu opracowaniach dotyczących klasyfikacji brzegów zbiorników wodnych, brzeg błędnie rozpatruje się jako obiekt statyczny a nie dynamiczny, podlegający zmianom w czasie. Wyłonienie jednej, uniwersalnej dla wszystkich zbiorników wodnych typologii brzegów stanowi duży problem.

Ogólny podział brzegów zbiornika „Klimkówka" pod kątem morfologicznym przeprowadził W. Sroczyński (2006), chociaż nie podaje konkretnych kryteriów przedstawionej typologii. Z obserwacji autora przeprowadzonych w latach 2003–2005 wynika, że po prawej stronie zbiornika dominują brzegi wysokie, abrazyjne z niskim klifem, zaś wzdłuż lewej strony brzegi niskie, łagodne, prawie neutralne, abradowane powierzchniowo. W cofce zbiornika oraz w głębi zatok autor wyróżnia brzegi neutralne i akumulacyjne.

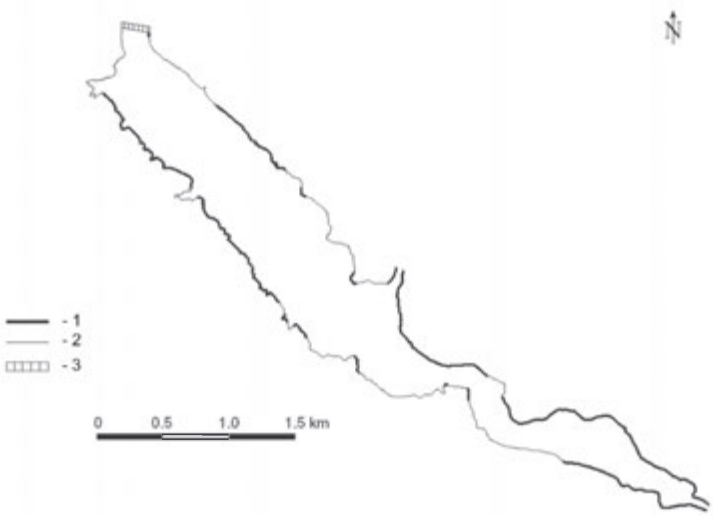
Prezentowana w tym opracowaniu klasyfikacja brzegów zbiornika wodnego „Klimkówka" jest uproszczoną wersją opracowania Ł. Wiejaczki (2008). Stworzona typologia ma na celu wykazanie zróżnicowania morfologicznego brzegów zbiornika pomiędzy jego prawą i lewą stroną, co wynika ze wspomnianej wcześniej asymetryczności zboczy doliny Ropy w miejscu jego lokalizacji (ryc. 61, 62, fot. 1), ich zróżnicowanej budowy geologicznej oraz odmiennego użytkowania terenu. Klasyfikacja ma również stanowić punkt odniesienia dla dalszych badań nad rozwojem brzegów zbiornika „Klimkówka".

Brzegi zbiornika wodnego „Klimkówka" wykształciły się na zboczach zbudowanych z utworów gliniastych i gruzowo-gliniastych dominujących po lewej stronie zbiornika oraz wychodniach skał fliszowych serii magurskiej występujących głównie po prawej stronie zbiornika. Wysokość brzegów przy średnim wieloletnim stanie wody w zbiorniku, kształtującym się

http://rcin.org.pl

na poziomie 392,49 m n.p.m. sięga 6 m. Długość linii brzegowej zbiornika (z cofką) wyznaczona zgodnie z biegiem krawędzi klifu na podstawie zdjęcia lotniczego, wyniosła ok. 15 km (bez zapory o długości 210 m).

Podstawowe kryterium typologii brzegów zbiorników wodnych stanowi rodzaj i natężenie procesu dominującego w modelowaniu poszczególnych odcinków brzegu. Rozpoznanie procesu, który odgrywa decydującą rolę w kształtowaniu morfologii brzegów stwarza problemy wynikające z faktu, iż wielokrotnie dochodzi do zmian brzegowych form abrazyjnych na akumulacyjne i odwrotnie, a powstała klasyfikacja jest wynikiem subiektywizmu (Rzętała 2003). Proponowaną klasyfikację brzegów zbiornika wodnego „Klimkówka" według przyjętego kryterium, oparto na wcześniej wspomnianych pracach (Drwal, Gołębiewski 1968; Kieraś i in. 1973; Mazur 1975; Rydzik 1978; Banach 1981; Rzętała 1994; Grobelska 2006). Brzegi zbiornika „Klimkówka" podzielono na dwa zasadnicze typy: abrazyjne i abrazyjno-akumulacyjne (ryc. 63).




Ryc. 63. Podział brzegów zbiornika „Klimkówka" ze względu na rodzaj modelującego procesu: 1 – brzeg abrazyjny, 2 – brzeg abrazyjno-akumulacyjny, 3 – zapora

Typology of shores of the Klimkówka reservoir due to the type of modeling process: 1 – abrasive shore, 2 – abrasive-accumulative shore, 3 – dam

Brzegi abrazyjne na zbiorniku retencyjnym „Klimkówka" dominują wśród pozostałych typów brzegów i stanowią łącznie, aż 57% długości linii brzegowej. Wykształciły się one na stromych stokach w miejscach wychodni utworów fliszowych a także na odcinkach, gdzie brzeg zbiornika rozcina stare terasy rzeczne zbudowane ze żwirów oraz większych okruchów skal-

http://rcin.org.pl

nych. Abrazja tego rodzaju brzegów zachodzi w sposób dynamiczny i gwałtowny. Ten typ brzegu bezładnie wyścielony grubym rumoszem skalnym występuje głównie na kilku odcinkach prawej strony zbiornika (ryc. 63; fot. 2). Proces abrazji modeluje również brzegi na fragmentach o połogim nachyleniu stoków, wyścielonych czwartorzędowymi utworami gliniastymi i gliniasto-gruzowymi, poprzez powolne usuwanie cienkiej warstwy gruntu (fot. 3). Odcinki o takim typie abrazji występują przede wszystkim w środkowej części po lewej stronie zbiornika oraz w górnej części po stronie prawej (ryc. 63). Brzegi abradowane powierzchniowo wykazują w wielu miejscach neutralność, tzn. niszczenie brzegów jest znikome. W części cofkowej, gdzie brzegi również wykazują neutralność, abrazja może mieć zarówno przebieg łagodny jak i gwałtowny w zależności od stanu wody w zbiorniku (ryc. 63). Za abrazyjne uznano tutaj wąskie fragmenty brzegu o umiarkowanym bądź silnym nachyleniu bezładnie wyścielone rumoszem skalnym, przechodzące w słabo nachyloną lub całkowicie płaską równinę zalewową Ropy. Stanowi ona obecnie miejsce akumulacji materiału wnoszonego przez rzekę w czasie wezbrań. W odcinku, gdzie Ropa wpływa do cofki zbiornika, występuje krótki fragment brzegu, który ukształtował się jeszcze przed zalaniem zbiornika na skutek bocznej erozji rzecznej i stanowi aktualnie strefę przejściową pomiędzy brzegiem koryta rzecznego a brzegiem zbiornika. W okresie niskich stanów wody na zbiorniku brzeg ten modelowany jest przez erozję rzeczną natomiast w czasie wysokich stanów wody proces erozji brzegu ustępuje miejsca abrazji wywołanej hydrodynamicznym oddziaływaniem akwenu. Podobne cechy wykazuje fragment prawego i lewego brzegu koryta Przysłupu przy ujściu do zbiornika. W obrębie brzegów abrazyjnych nie obserwowano mikroteras, obecność których była podstawą do odróżnienia brzegu abrazyjnego od abrazyjno-akumulacyjnego, na którym takie mikroformy występują.

Typ brzegu abrazyjno-akumulacyjnego został wydzielony na zbiorniku „Klimkówka" w miejscach, gdzie na skutek niszczącej i budującej działalności fal oraz stopniowego obniżania się lustra wody w zbiorniku wykształciły się w utworach gliniasto-gruzowych oraz rumoszu skalnym mikroterasy o genezie abrazyjno-akumulacyjnej (fot. 4). Brzegi abrazyjno-akumulacyjne wytworzyły się podobnie jak abrazyjne na stromych stokach otaczających zbiornik i stanowią 43% długości linii brzegowej. Najdłuższe odcinki takiego brzegu występują po obydwu stronach w przyzaporowej części zbiornika a także w jego części środkowej – prawa strona oraz górnej – lewa strona (ryc. 63).

http://rcin.org.pl

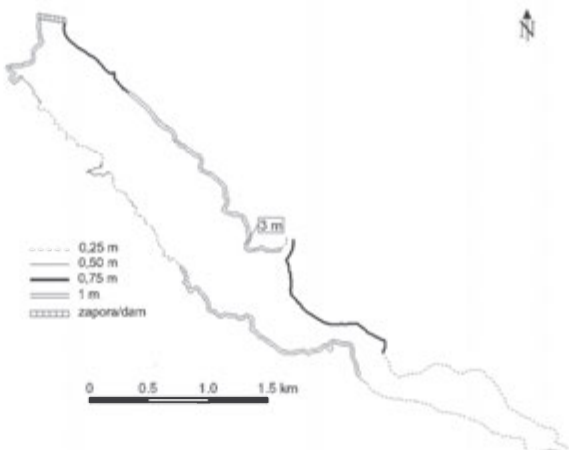
W obrębie brzegów abrazyjnych i abrazyjno-akumulacyjnych spotkać można, krótkie fragmenty o cechach antropogenicznych. Są to m.in. pozostałości po betoniarni funkcjonującej w czasie budowy zbiornika oraz drogach (asfaltowych i żwirowych) użytkowanych przed zalaniem „Klimkówki" a także wysypane tłuczniem i grysem miejsca, gdzie zlokalizowane są obecnie wypożyczalnie sprzętu wodnego.

Występowanie brzegu akumulacyjnego na zbiorniku wodnym „Klimkówka", na którym akumulacja materiału przewyższałaby abrazję jest śladowe. Znamiona brzegu akumulacyjnego (przy niskich stanach wody w zbiorniku) posiada rozrastająca się delta Przysłupu, największego dopływu uchodzącego do zbiornika oraz słabo nachylona równina zalewowa Ropy w cofce „Klimkówki", którą należy bardziej utożsamiać z dnem zbiornika niż z jego brzegami, których zarys został uformowany przez abrazję. Również wyloty małych, bocznych dolinek odwadnianych przez stałe lub okresowe cieki są wyścielone materiałem przytransportowanym w czasie wezbrań, a tym samym wykazują oznaki akumulacji, ale udział takich fragmentów w ogólnej długości linii brzegowej jest znikomy. Akumulacja drobnego materiału fluwialnego oraz występowanie procesu akumulacji i abrazji u wylotów wciosowych dolinek o stromych zboczach prowadzi do wykształcenia się zespołów drobnych mikroteras. Ze względu na obecność mikroteras wydaje się słuszne zaliczyć te fragmenty do brzegów abrazyjno-akumulacyjnych.

Obecność klifu na brzegach zbiornika wodnego „Klimkówka" generalnie obserwuje się na całej długości linii brzegowej, po obydwu stronach zbiornika, choć zdarzają się krótkie odcinki bezklifowe głównie w środkowej (obie strony) oraz cofkowej części zbiornika. Wysokość klifu wykazuje bardzo duże zróżnicowanie. Bardzo często na krótkich dystansach (kilka, kilkanaście metrów) wysokość klifu zwiększa się lub zmniejsza nawet o kilkaset centymetrów. W badaniach klifu na zbiorniku wodnym „Klimkówka" uwzględniano także obecność i wysokość podciosu – formy stanowiącej wstępny etap formowania się klifu (wysokość klifu często równała się wysokości podciosu). Na podstawie badań terenowych brzegi zbiornika „Klimkówka" podzielono na kilka odcinków o średniej wysokości klifu wynoszącej: 0,25 m, 0,50 m, 0,75 m oraz 1 m (ryc. 64). Średnią wysokość klifu należy rozumieć jako średnią arytmetyczną najmniejszej i największej wysokości klifu mierzonej na danym odcinku. Brzegi z klifem o średniej wysokości 0,25 m zaobserwowano w środkowej części zbiornika (lewa strona). Klif o wspomnianej wysokości może marginalnie pojawiać się również w części cofkowej (prawa i lewa strona). Udział brzegów z podaną wysokością klifu w ogólnej długości linii brzegowej jest największy

http://rcin.org.pl

i wynosi 42%. Brzegi z klifem o średniej wysokości 0,50 m stanowią 4% linii brzegowej i wytworzyły się na dwóch krótkich odcinkach lewej strony zbiornika w jego środkowej części. Stwierdzono także obecność brzegów z klifem o średniej wysokości 0,75 m tworzących łącznie 16% linii brzegowej, wykształconych na dwóch długich fragmentach w przyzaporowej oraz górnej części zbiornika (prawa strona). Duży udział w całkowitej długości linii brzegowej (37%) poza brzegami z klifem o wysokości 0,25 m, wykazują także brzegi z klifem o przeciętnej wysokości 1 m. Ten typ brzegu po prawej stronie „Klimkówki" wykształcił się w środkowej części zbiornika, natomiast po lewej stronie w części przyzaporowej oraz górnej. Ekstremalna wysokość klifu zaobserwowana po prawej stronie zbiornika niedaleko ujścia Przysłupu wyniosła blisko 3 m (ryc. 64).

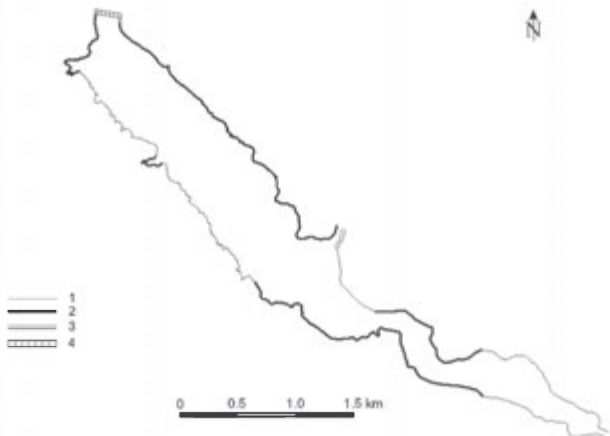



Ryc. 64. Podział brzegów zbiornika „Klimkówka" ze względu na wysokość klifu
Typology of shores of the Klimkówka reservoir due to the height of the cliff

Zróżnicowanie nachylenia brzegów zbiornika wodnego „Klimkówka" przedstawiono w oparciu o klasyfikację stoków, zaproponowaną przez M. Klimaszewskiego (1981). Wyróżnia on stoki słabo nachylone (2°–4°), umiarkowanie nachylone (4°–9°), silnie nachylone (9°–19°), strome (19°–45°), bardzo strome (45°–65°) oraz urwiste (>65°). Przy określaniu nachylenia brzegu w terenie pewną trudność stanowił fakt zmienności nachylenia na bardzo krótkiej odległości zarówno w profilu podłużnym jak i poprzecznym. Z tej przyczyny przy podziale brzegów zbiornika „Klimkówka" na odcinki o różnym nachyleniu, brano pod uwagę dwa najczęściej występujące przedziały nachylenia (przedstawione powyżej). Wyróżniono fragmenty brzegu o wzajemnie przeplatającym się umiarkowanym i silnym nachyleniu stanowiące 42% długości linii brzegowej występujące w środkowej (lewa strona), górnej (prawa strona) oraz cofkowej części zbiornika

http://rcin.org.pl

(ryc. 65). Na wydzielonym fragmencie śladowo obserwuje się także brzeg o słabym nachyleniu. Drugą grupę stanowią brzegi o silnym i stromym nachyleniu występujące w przyzaporowej oraz górnej części zbiornika (obie strony) oraz w środkowej (prawa strona). Ich udział w ogólnej długości linii brzegowej wynosi 57%. Brzeg bardzo stromy, miejscami urwisty o 1% udziale, występuje po lewej stronie ujścia potoku Przysłup oraz przy samej zaporze.




Ryc. 65. Podział brzegów zbiornika „Klimkówka" ze względu na nachylenie strefy brzegowej: 1 – umiarkowanie i silnie nachylone, 2 – silnie nachylone i strome, 3 – bardzo strome i urwiste, 4 – zapora
Typology of shores of the Klimkówka reservoir due to inclination of shoreface: 1 – moderately and strongly sloping, 2 – strongly sloping and steep, 3 – very steep and craggy, 4 – dam

## 6.3. FORMY BRZEGOWE

Zmiany w morfologii zboczy doliny Ropy na skutek funkcjonowania „Klimkówki" wiążą się z powstaniem różnych form o genezie abrazyjnej, akumulacyjnej lub abrazyjno-akumulacyjnej, nieistniejących przed uruchomieniem zbiornika.

Procesy abrazji powodujące rozmywanie zboczy doliny Ropy, doprowadziły do wykształcenia się klifów po obu stronach zbiornika, na ponad 90% długość linii brzegowej. Ich wysokość jest zróżnicowana i waha się od 0 do ok. 3 m. Z przeprowadzonych obserwacji wynika, że minimalny stan wody w zbiorniku, przy którym rozpoczyna się proces modelowania klifów kształtuje się na wysokości ok. 395,5 m n.p.m. Odchylenia od podanego poziomu piętrzenia wody sięgające 20–30 cm wynikają z różnej wysokości fal wiatrowych docierających do podnóża klifów, wzrostu nachylenia zwierciadła wody w stronę zapory oraz specyfiki morfologicznej danego fragmentu brzegu.

http://rcin.org.pl

Gliniasto-gruzowe zbocza doliny Ropy w miejscu lokalizacji zbiornika ulegają dosyć łatwemu rozmywaniu przez fale. W wyniku niszczącej działalności fal powstają podciosy brzegowe (według M. Banacha jest to nisza abrazyjna u podstawy klifu powstała na skutek uderzania potoku przyboju, występująca w skałach zwięzłych – 1994, s. 21), które w miarę ich pogłębiania powodują obrywanie się warstwy zwietrzeliny wraz z rosnącą na niej roślinnością. Prowadzi to do powstawania zerw darniowych osiągających szerokość do kilkudziesięciu centymetrów oraz znaczne długości do kilkudziesięciu metrów (fot. 5). Z obserwacji nad szerokością zerw darniowych, przeprowadzonych w czasie kartowania brzegów „Klimkówki" wynika, że cofanie się klifu powstałego w zwietrzelinie gliniasto-gruzowej (takie klify dominują na zbiorniku „Klimkówka") pokrytej darnią może sięgać od kilku do kilkudziesięciu centymetrów na rok.

Klify zbudowane z utworów piaskowcowołupkowych występujące głównie po prawej stronie zbiornika degradowane są wolniej, a zasadnicze znaczenie w niszczeniu klifów utworzonych w litej skale oprócz abrazyjnej działalności fal ma także wietrzenie mrozowe i chemiczne. Degradacja klifów może z małym natężeniem występować corocznie, lub osiągać duże rozmiary raz na kilka lat. Tempo cofania się tego rodzaju klifów w ciągu wielolecia może wynosić od kilku centymetrów nawet do kilku metrów (w przypadku obrywów dużych pakietów skalnych).

W miejscach, gdzie krawędź klifu sąsiaduje z rosnącymi nad nią drzewami, ruchom materiału zwietrzelinowego towarzyszą obsunięcia całych drzew wraz z systemem korzeniowym (fot. 6). Procesy płytkich ruchów masowych są obecnie jednym z najważniejszych czynników modelujących i przekształcających brzegi zbiornika wodnego „Klimkówka". Obserwacje poczynione w czasie kartowania terenowego skłaniają do stwierdzenia, że obrywy materiału zwietrzelinowego wraz z systemem korzeniowym drzew zwiększają wysokość klifu i jednocześnie ułatwiają falom abrazję większej powierzchni gruntu. Fale przyboju odsłaniają systemy korzeniowe drzew wypłukując materiał budujący brzeg, aż do chwili zachwiania równowagi drzewa, co w dalszej konsekwencji powoduje przewrócenie się drzewa w stronę zbiornika (Rzętała 2003). Na niektórych odcinkach brzegu zbiornika „Klimkówka" występuje „efekt domina", tzn. powstanie jednego obsunięcia pociąga za sobą tworzenie się kolejnych sąsiednich obrywów materiału wraz z porastającą je roślinnością. System korzeniowy drzew, które nie uległy jeszcze obsunięciu, rosnących na krawędzi klifu jest z kolei czynnikiem hamującym rozwój klifu. Podobną zależność na zbiorniku „Solina" stwierdza również E. Rydzik (1978). Umocowane w podłożu korzenie

http://rcin.org.pl

pochłaniają energię fal, które do nich docierają, przez co ich siła abrazyjna jest mniejsza, aniżeli na odcinkach pozbawionych takiej ochrony, gdzie wymywanie materiału budującego klif i odprowadzanie go zachodzi szybciej. Ochronną rolę przed procesem abrazji brzegu (w szczególności przed zasięgiem tego procesu) jaką pełni roślinność na zbiornikach wodnych Wyżyny Śląskiej podkreśla M. Rzętała (2003), a na zbiorniku pakoskim H.Grobelska (2006).

Roślinność mająca duży wpływ na tempo rozwoju brzegów jest rozmieszczona nierównomiernie wokół zbiornika wodnego „Klimkówka". Na prawym stromym zboczu doliny Ropy las (świerkowo-bukowo-jodłowy z domieszką innych drzew liściastych) dochodzi do krawędzi klifu praktycznie na całej długości zbiornika – od zapory w Klimkówce po cofkę w Uściu Gorlickim (ryc. 7; fot. 1, 7). Lewe zbocze doliny Ropy porasta głównie roślinność trawiasta, a las w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika poza krótkimi odcinkami nie występuje. Postępujące cofanie się brzegów zbiornika „Klimkówka" wywołane abrazyjną działalnością fal oraz powierzchniowymi ruchami masowymi jest przyczyną nieodwracalnej degradacji lasów dochodzących bezpośrednio do zbiornika (fot. 8). W miejscu obsuniętych i przewróconych drzew nie mogą wyrosnąć nowe, ponieważ teren, na którym rosły znajduje się już w zasięgu fal, zwłaszcza przy wysokim poziomie wody w zbiorniku. Z przeprowadzonych obserwacji wynika, że liczba usuwanych przez zbiornik „Klimkówka" drzew w ciągu roku nie jest duża i może sięgnąć kilkunastu sztuk. Jednak w skali wielolecia istnienia zbiornika może to być ubytek nawet kilkudziesięciu metrów sześciennych drewna. Jedyną roślinnością, która wkracza na teren zbiornika (poza trawami w okresie niskich stanów wody) są wikliny i wierzby (o wysokości do 2–3 m), które rozprzestrzeniają się w strefie cofki zbiornika, gdzie podmokły teren sprzyja ich wegetacji nawet w okresach, kiedy cofka jest zalana wodą.

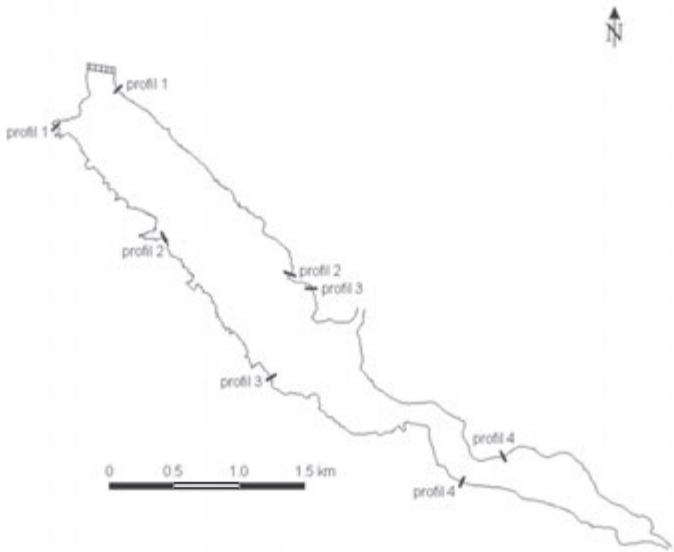
Materiał pochodzący z rozmywania klifu jest odkładany u jego podnóża, gdzie tworzy się platforma przybrzeżna, która na zbiorniku wodnym „Klimkówka" występuje wzdłuż prawie całego prawego i lewego brzegu zbiornika. Materiał zdeponowany u podnóża klifu jest rozmywany przez fale i transportowany zarówno w kierunku otwartego akwenu jak i wzdłuż brzegu, przy czym im mniejsza frakcja materiału tym większa odległość, na którą jest on transportowany. Prowadzi to do segregacji materiału, co jest szczególnie widoczne na brzegach o umiarkowanym i silnym nachyleniu. W stronę otwartego akwenu maleje wielkość materiału wyścielającego brzeg zbiornika. Cięższy materiał zdeponowany w bliskiej odległości od klifu tworzy rodzaj bruku, który utrudnia dalsze rozmywanie danego od-

http://rcin.org.pl

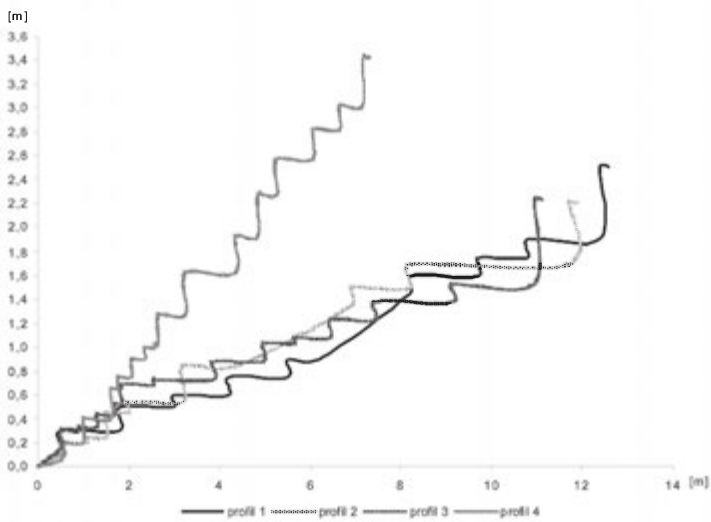
cinka brzegu. Segregacji materiału nie obserwuje się tylko na odcinkach, gdzie stwierdzono brzeg abrazyjny wyścielony dużymi okruchami skalnymi i głazami. Są to z reguły odcinki brzegu o dużym nachyleniu. W miarę wzrostu nachylenia brzegu siła fal potrzebna do przetransportowania materiału (nawet dużych głazów skalnych) wyraźnie maleje. Okruchy skalne przy dużym nachyleniu brzegów mogą przemieszczać się pojedynczo lub lawinowo.

Poza klifami najbardziej pospolitą formą w obrębie strefy brzegowej zbiornika wodnego „Klimkówka" są mikroformy nazywane często mikroterasami, które występują na odcinkach, gdzie wyróżniono brzeg abrazyjno-akumulacyjny. Mikroterasy (nazywane też terasami) powstają podczas postępującego obniżania poziomu wody w zbiorniku. Woda oddziałująca na materiał brzegowy tworzy półkę nieznacznie nachyloną w kierunku toni wodnej, na której następuje depozycja materiału pochodzącego z abrazji progu wyższej terasy (Rzętała 2003). Prowadzi to do tworzenia się systemu mikroteras składającego się z kilku lub nawet kilkudziesięciu poszczególnych mikroform. Ich parametry są ściśle uzależnione od wielkości i natężenia falowania wiatrowego, jak również od tempa obniżania stanu wody w zbiorniku. Powstawanie mikroteras determinują także lokalne uwarunkowania morfologiczne zboczy doliny Ropy, a w szczególności frakcja utworów budujących dany odcinek brzegu. Obecność mikroteras świadczy o ciągłym modelowaniu strefy brzegowej zbiornika „Klimkówka" przez procesy brzegowe. W celu zobrazowania warunków tworzenia się mikroteras w obrębie strefy brzegowej zbiornika wodnego „Klimkówka" w czasie kartowania terenowego przeprowadzono pomiary systemów mikroterasowych w 8 przekrojach poprzecznych brzegu (ryc. 66, 67, 68) po prawej i lewej stronie zbiornika (Wiejaczka 2009c).

http://rcin.org.pl

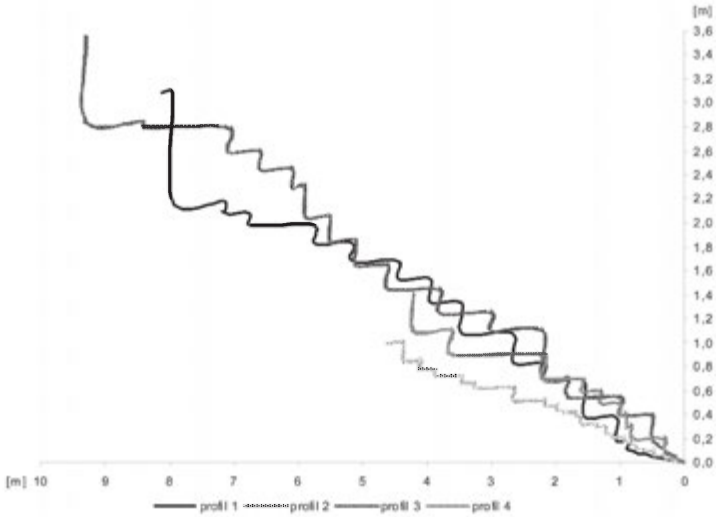



Ryc. 66. Lokalizacja poprzecznych profili brzegu z systemami mikroteras po prawej i lewej stronie zbiornika „Klimkówka"
Location of transverse profiles of the shore with systems of microterraces on the right and left side of the Klimkówka reservoir




Ryc. 67. Profile poprzeczne brzegu z systemami mikroteras na prawym brzegu zbiornika „Klimkówka"
Transverse profiles of shore with systems of microterraces on the right side of the Klimkówka reservoir

http://rcin.org.pl




Ryc. 68. Profile poprzeczne brzegu z systemami mikroteras na lewym brzegu zbiornika „Klimkówka"
Transverse profiles of shore with systems of microterraces on the right side of the Klimkówka reservoir

Z przeprowadzonych przez Ł. Wiejaczkę (2009c) badań wynika, że pomiędzy systemami mikroteras wytworzonymi w różnych częściach zbiornika zaobserwowano zarówno zbieżności jak i różnice. Samo powiązanie poszczególnych teras między różnymi systemami na oddalonych względem siebie odcinkach zbiornika stanowi dużą trudność. Największe podobieństwa zachodzą pomiędzy systemami mikroteras utworzonych w różnego rodzaju zatoczkach, gdzie brzeg o stromym nachyleniu, wyścielony jest drobnym materiałem, głównie mułem z domieszką piasku i drobnego gruzu. W takich przypadkach terasy najwierniej oddają stany wody w zbiorniku ponieważ, im mniejsza frakcja materiału wyścielającego brzeg, tym większa liczba teras i zarazem wierniej odtworzony zostaje pionowy ruch wody w zbiorniku (fot. 4, 9). Bardzo często w obrębie jednej mikroformy można zaobserwować nawet kilka mniejszych form abrazyjno-akumulacyjnych, świadczących o skokowym opadaniu zwierciadła wody (poziomu wody górnej) w zbiorniku. Parametry mikroteras (szerokość i wysokość) na zbiorniku „Klimkówka" zależą od tempa opadania wody w zbiorniku, rodzaju materiału wyścielającego dany fragment brzegu i kąta jego nachylenia oraz od natężenia falowania wiatrowego i wysokości fal dochodzących do brzegu. Generalnie wzrost nachylenia brzegu sprzyja tworzeniu się większej liczby mikroteras, natomiast im mniejsze nachylenie ,tym większa szerokość badanych mikroform (przy umiarkowanym

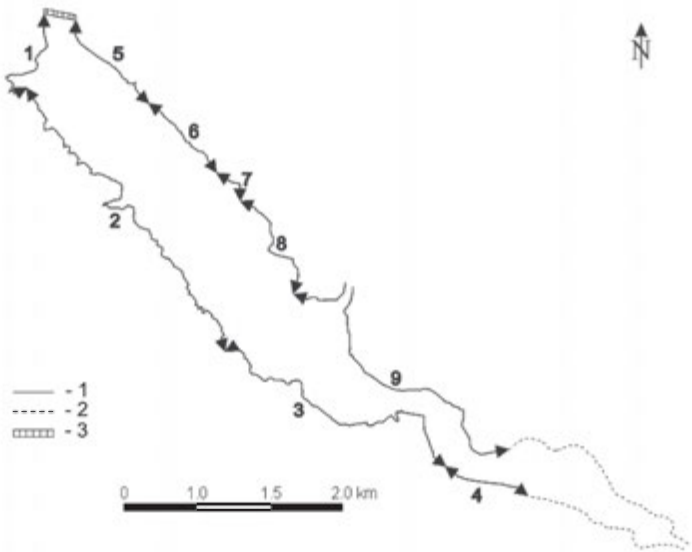
http://rcin.org.pl

i słabym nachyleniu brzegu mikroterasy praktycznie nie występują). Wysokość mikroteras determinowana jest głównie przez tempo opadania wody w zbiorniku, wynikającego z różnicy pomiędzy wielkością dopływu wody do zbiornika a odpływem. Logicznie rzecz ujmując wysokość mikroterasy utworzonej w danej jednostce czasu powinna być zbieżna z wysokością obniżenia się stanu wody w zbiorniku w tym przedziale czasowym. Średni dopływ do zbiornika w dniach 01.04.–31.08.2007 (okres tworzenia się wyżej scharakteryzowanych systemów mikroterasowych) wyniósł 0,97 $m^3s^{-1}$, przy ustabilizowanym odpływie równym 2,00 $m^3s^{-1}$. Tempo obniżania się poziomu wody w zbiorniku „Klimkówka" w rozpatrywanym okresie wahało się między 1–9 cm/dobę, a średnia prędkość tego procesu wyniosła 5 cm/dobę. Należy jednak zauważyć, że nie jest to proces jednostajny i np. w ciągu doby może nastąpić kilka większych lub mniejszych skoków poziomu wody w zbiorniku, co ma odbicie w formowaniu się mikroteras. Utrzymywanie się poziomu wody w zbiorniku na tej samej wysokości przez dłuższy czas nie prowadzi do tworzenia się nowych mikroteras. Proces abrazji falowej powoduje wówczas postępujące zmniejszanie szerokości mikroterasy nadwodnej (zlokalizowanej najbliżej zwierciadła wody) i jej stopniowy zanik oraz zwiększanie szerokości mikroterasy podwodnej. Podcinanie przez fale mikroterasy nadwodnej może także zwiększyć jej wysokość. Na odcinkach, gdzie brzeg zbiornika wyłożony jest grubszym materiałem skalnym, liczba mikroteras jest z zasady mniejsza w porównaniu do odcinków z drobnym materiałem (fot. 4, 9). Duże i ciężkie okruchy skalne są mało podatne na poddawanie się zarówno procesom abrazyjno-akumulacyjnym jak i samemu transportowi. Parametry takich mikroteras są zdecydowanie większe, aniżeli mikroform utworzonych na odcinkach brzegu wyścielonego drobnym materiałem. W okresach bezwietrznych, kiedy nie występuje falowanie wiatrowe tworzenie mikroteras jest utrudnione (związane z falowaniem wynikającym z zaburzeń równowagi poziomu wody w zbiorniku) lub nie występuje wcale.

## 6.4. ABRAZJA BRZEGÓW

Abrazja utworów budujących brzegi zbiorników wodnych jest jednym ze źródeł ich zamulania, choć według badaczy zajmujących się tym zagadnieniem (Onoszko 1964; Cyberski 1969, 1970; Kostecki 1975; Mazur 1975) udział materiału z erozji brzegów w całkowitej ilości osadów deponowanych w zbiorniku jest niewielki i w przypadku zbiorników górskich wynosi zaledwie 1%.

http://rcin.org.pl




Ryc. 69. Odcinki strefy brzegowej zbiornika „Klimkówka" o różnej wielkości abrazji: 1 – odcinek strefy brzegowej, 2 – cofka zbiornika, 3 – zapora, (tab. 7)
Sections of the shoreface of the Klimkówka reservoir with different size of abrasion: 1 – section of shoreface, 2 – the eddy in the area of the reservoir, 3 – dam, (tab. 7)

Ocena wielkości abrazji brzegów zbiornika „Klimkówka" na podstawie pomiarów geodezyjnych, które pozwoliłyby na dokładne przedstawienie rozmiarów badanego procesu, aktualnie nie jest możliwa, ze względu na brak długoletnich serii pomiarowych. Stąd, orientacyjną wielkość abrazji brzegowej na zbiorniku retencyjnym „Klimkówka" w ciągu pierwszych 14 lat jego funkcjonowania określono na podstawie pomiarów kubatury materiału wymytego spod pni i korzeni drzew (Wiejaczka 2009a), licznie występujących w obrębie strefy brzegowej ściętych przed zalaniem zbiornika (fot. 10). Pnie drzew występujących na brzegach zbiornika pakoskiego do oceny wielkości abrazji brzegowej wykorzystuje także H. Grobelska (2006). Miąższość usuniętej warstwy osadów spod pni drzew autorka oceniła generalnie na 40–80 cm.

Prace terenowe przeprowadzone na „Klimkówce" na przełomie sierpnia i września 2007 roku polegały na pomiarach wysokości pomiędzy podłożem a tą częścią pnia, w której zbiegają się jego korzenie (przy założeniu, że był to przybliżony poziom powierzchni gruntu przed napełnieniem zbiornika wodą). Bazując na wynikach kartowania terenowego, brzegi zbiornika (bez brzegów w obrębie cofki, gdzie ze względu brak pni drzew zastosowanie prezentowanej metody do oceny wielkości abrazji jest trudne) podzielono na 9 odcinków o różnych przedziałach wysokości usuniętej

http://rcin.org.pl

warstwy gruntu (ryc. 69; tab. 7). Założono także, że środkowa wartość każdego przedziału to średnia wysokość warstwy gruntu wymytej z danego odcinka brzegu. Następnie korzystając z mapy w skali 1:10 000 oraz zdjęcia lotniczego wyznaczono długość i szerokość każdego odcinka brzegu (pomiędzy średnim wieloletnim – 392,5 m n.p.m. a maksymalnym 398,6 m n.p.m. stanem wody w zbiorniku), co z kolei pozwoliło na obliczenie powierzchni poszczególnych jego fragmentów. Mnożąc powierzchnię wyróżnionych odcinków przez odpowiadającą im średnią wysokość wymytej warstwy gruntu otrzymano kubaturę materiału wyerodowanego z danego odcinka brzegu.

Tabela 7. Wielkość abrazji na poszczególnych odcinkach strefy brzegowej zbiornika „Klimkówka"

| Numer odcinka | Długość [km] | Średnia szerokość [m] | Powierzchnia [m²] | Wysokość wymytej warstwy gruntu [m] | Średnia wysokość [m] | Kubatura wymytego materiału [m³] | Kubatura wymytego materiału [m³/mb] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,0 | 17 | 16801 | 0,1 - 0,3 | 0,2 | 3360 | 3 |
| 2 | 3,1 | 58 | 182652 | 0,0 - 0,2 | 0,1 | 18265 | 6 |
| 3 | 2,3 | 25 | 57568 | 0,1 - 0,3 | 0,2 | 11514 | 5 |
| 4 | 0,5 | 20 | 10198 | 0,0 - 0,2 | 0,1 | 1020 | 2 |
| 5 | 0,8 | 15 | 12239 | 0,1 - 0,3 | 0,2 | 2448 | 3 |
| 6 | 0,8 | 11 | 8280 | 0,4 - 0,6 | 0,5 | 4140 | 6 |
| 7 | 0,3 | 18 | 5462 | 0,5 - 0,7 | 0,6 | 3277 | 11 |
| 8 | 1,0 | 21 | 20192 | 0,3 - 0,5 | 0,4 | 8077 | 8 |
| 9 | 2,4 | 20 | 47931 | 0,0 - 0,2 | 0,1 | 4793 | 2 |
| Suma | 12,2 | - | - | - | - | 56894 | - |

Źródło: opracowanie własne

Przeprowadzone badania wykazały, że z brzegów zbiornika „Klimkówka" o długości 12,2 km i średniej szerokości 23 m zostało wymyte 56 894 m³, co stanowi 0,13% całkowitej pojemności zbiornika. Średnia wysokość usuniętej warstwy gruntu wynosi 0,3 m. Z jednego metra bieżącego brzegu zbiornika „Klimkówka" wyerodowane zostało przeciętnie ok. 5 m³ materiału. Największą abrazję zaobserwowano na odcinku nr 7 i 8, gdzie z krótkich fragmentów brzegu fale usunęły warstwę o średniej wysokości 0,6 m i 0,4 m, co na jeden metr bieżący brzegu dało 11 m³ oraz 8 m³ (ryc. 69; tab. 7). Fakt ten, należy tłumaczyć stromymi brzegami zbiornika oraz dużą głębokością dochodzącą praktycznie do krawędzi klifu, co sprawia, że fale uderzające o brzeg posiadają dużą siłę abrazyjną. Usuwanie materiału budującego brzeg zachodzi tu szybko i agresywnie. Po lewej stronie zbiornika, szczególnie na odcinku nr 2 (pnie drzew na tym odcinku występują tylko w ujściowych fragmentach bocznych dolinek odwadnianych przez stałe lub

http://rcin.org.pl

okresowe cieki), gdzie przeciętna wysokość wyerodowanej warstwy gruntu wynosi 0,1 m z jednego metra bieżącego brzegu (najdłuższy wydzielony odcinek) ubyło średnio 6 $m^3$ materiału. Abrazja przebiega tu z mniejszą intensywnością, ponieważ omawiany fragment brzegu jest generalnie słabo nachylony, a fale zmierzające w stronę brzegów zbiornika ulegają łatwemu wyhamowaniu, przez co tracą swoją siłę abrazyjną. Wymywanie materiału ze strefy brzegowej odbywa się na zasadzie ścierania cienkiej warstwy gruntu i przebiega w sposób mało intensywny. Najmniejszą abrazją cechują się fragmenty brzegu po obu stronach zbiornika, położone najbliżej cofki, gdzie z jednego metra bieżącego wyerodowane zostało średnio 2 $m^3$ (przy średniej wysokości warstwy usuniętego gruntu wynoszącej 0,1 m).

Ze względu na ciągły rozwój stromych brzegów zbiornika wodnego „Klimkówka", należy przypuszczać, że w miarę upływu czasu, rozmiary abrazji brzegowej będą jeszcze większe. Teoretyczny czas ich stabilizacji jest kwestią dłuższego okresu czasu, trudnego obecnie do sprecyzowania. Brzegi o słabym bądź umiarkowanym nachyleniu, gdzie abrazja jest znikoma, w dużej mierze można uznać za ustabilizowane, stąd też prezentowane wyżej rozmiary ich abrazji nie powinny ulec znaczącej zmianie.

http://rcin.org.pl

http://rcin.org.pl

# 7. DELTA ROPY W ZBIORNIKU WODNYM „KLIMKÓWKA" (JAKO NOWY ELEMENT RZEŹBY FLUWIALNEJ)

## 7.1. OGÓLNE

Zamulanie przepływowych zbiorników wodnych jest procesem bardzo złożonym, w którym wiodące znaczenie ma materiał rumowiskowy dostarczany przez rzeki w czasie wezbrań (Onoszko 1964; Cyberski 1969; Łajczak 1986a, b; Rzętała 2003). Wśród materiału akumulowanego w zbiornikach dominuje materiał unoszony, na co wskazują badania prowadzone nie tylko na zbiornikach ale i w samych rzekach (Mikulski 1961; Brański 1968; Froehlich 1975, 1982; Łajczak 1989, 1999). Akumulacja namułów w zbiornikach wodnych prowadzi do stałego zmniejszania ich pojemności, stąd też duże znaczenie w badaniach nad zamulaniem zbiorników wodnych stanowi ustalenie czasu ich żywotności, która według A. Łajczaka (1986a, b) kończy się z chwilą wypełnienia przez osadzający się materiał 80% początkowej pojemności zbiornika. Zdaniem A. Łajczaka (1986b) najdłuższą żywotnością wśród zbiorników karpackich odznaczają się głębokie zbiorniki („Klimkówka" – 11 000, „Solina" 9000 lat) położone w górnych odcinkach rzek, w terenie silnie zalesionym, gdzie transport rumowiska rzecznego jest niewielki. Żywotność zbiorników retencyjnych zlokalizowanych na obszarach, gdzie zachodzi większy transport materiału rzecznego jest zdecydowanie krótsza (np. Rożnów – 260 lat).

Tempo akumulacji rumowiska w zbiornikach zależy od wielu czynników naturalnych: budowy geologicznej zlewni zbiornika, warunków klimatycznych, ukształtowania terenu i jego pokrycia roślinnego oraz zespołu stosunków hydrologicznych, jak i również sztucznych: wielkości zbiornika, użytkowania ziemi w rejonie zlewni, zabudowy technicznej potoków, zwłaszcza tych, które transportują duże ilości rumowiska (Cyberski 1970). W efekcie zbiorniki retencyjne zamulane są w różnym stopniu i tempie (Cyberski 1970; Łajczak 1986a). Roczna wielkość dostawy materiału fluwialnego do zbiorników zaporowych według A. Łajczaka (1986b, 1995) wykazuje w wieloleciu wahania zależne od częstotliwości i wielkości wezbrań, w trakcie których zachodzi także proces erozji zakumulowanych w zbiorniku osadów dennych i wynoszenie ich poza zbiornik w postaci zawiesiny.

http://rcin.org.pl

Odprowadzanie materiału z płytkich zbiorników (w okresie jesienno-zimowym) może być niekiedy, kilkakrotnie większe od jego dostawy, co sprawia, że roczny bilans akumulacji rumowiska w zbiorniku jest ujemny.

Badania przeprowadzone na polskich zbiornikach retencyjnych wskazują, że średnio 90–95% materiału akumulowanego w zbiornikach stanowi materiał mineralny, zaś znikomą resztę materiał organiczny (Cyberski 1969; Banach 1994; Łajczak 1986a), którego zawartość w osadach maleje od zapory w górę rzeki (Banach 1985). Materiał mineralny odznacza się dużym zróżnicowaniem uziarnienia oraz lokalizacji w obrębie zbiorników retencyjnych. W częściach przybrzeżnych obserwuje się najczęściej rumosz skalny pochodzący z abrazji brzegów skalistych. Otoczaki, żwiry i piaski w strefach cofek oraz bardzo drobnoziarniste materiały ilaste w centralnych i przyzaporowych częściach zbiorników. Materiał o przewadze frakcji pylastej i ilastej zajmuje największe obszary dna zbiorników (Onoszko 1964; Wiśniewski 1967; Cyberski 1969; Chomiak i in. 1969). Według M. Banacha (1985, 1988, 1994) zróżnicowanie granulometryczne osadów dennych w przekroju poprzecznym stref brzegowych (zbiornika „Włocławek") wynika z różnic głębokości; im głębiej i dalej od brzegu tym osady są drobniejsze i słabiej wysortowane. Poza strefą brzegową cytowany autor stwierdza bardzo słabe wysortowanie osadów oraz brak warstwowania. Na znikome wysortowanie osadów główny wpływ, obok okresowej zmienności hydrodynamicznej środowiska sedymentacji, mają zjawiska lodowe (różnoziarnisty materiał uwięziony w lodzie po jego stopnieniu opada na dno). Przeprowadzona przez M. Banacha (1993) analiza osadów otwartego akwenu w profilu pionowym zbiornika włocławskiego nie wykazuje zmian właściwości osadów wraz z głębokością. Badania miąższości osadów gromadzonych w zbiorniku włocławskim wskazują, że w profilu poprzecznym zbiornika maksymalne miąższości występują w obrębie krawędzi platformy i maleją zarówno w stronę otwartego akwenu, jak i w stronę brzegu. W profilu podłużnym, natomiast największą miąższością odznaczają się górne części zbiornika (Banach 1985, 1988).

Wielkość akumulacji rumowiska w zbiornikach retencyjnych można określić na podstawie powtarzanych okresowo pomiarów batymetrycznych, polegających na sondowaniu (mechanicznym lub akustycznym) zbiornika, wykonywaniu niwelacji geodezyjnej wyschniętej powierzchni dna w ustalonych przekrojach, lub też na podstawie bilansu transportu rumowiska, w którym wielkość sedymentacji określa różnica pomiędzy ilością materiału dopływającego i odpływającego ze zbiornika (Cyberski 1970). Ponieważ objętość osadów obliczona na podstawie sondowań (przy

http://rcin.org.pl

użyciu echosondy) jest zawyżona, a w oparciu o bilans transportu materiału zaniżona, A Łajczak (1995) uważa za właściwe, aby rozmiary zamulania zbiorników były oceniane jako średnie wartości z danych uzyskanych z sondowań czaszy i z bilansu transportu rumowiska.

## 7.2. DELTA ROPY

Skutkiem wybudowania zapory wodnej „Klimkówka" na Ropie jest akumulacja transportowanego przez tą rzekę materiału klastycznego w obrębie całego zbiornika. Największa akumulacja osadów na zbiorniku retencyjnym „Klimkówka", podobnie jak na innych zbiornikach retencyjnych, ma miejsce w jego cofce (fot. 11) i zachodzi w czasie dużych wezbrań na Ropie. Podłoże na obszarze cofki zbiornika „Klimkówka" budują żwiry, które przed powstaniem zbiornika tworzyły równinę zalewową i niższe terasy Ropy. Od chwili uruchomienia zbiornika, na żwirach akumulowany jest drobny materiał transportowany przez rzekę, głównie w postaci zawiesiny (fot. 12). Efektem wzmożonej akumulacji materiału niesionego przez Ropę w cofce zbiornika jest utworzenie się i ciągłe przyrastanie zarówno w kierunku otwartego akwenu, jak i w pionie delty, która jest nowym, nieistniejącym w warunkach swobodnie płynącej rzeki elementem rzeźby doliny Ropy. Według Ł. Wiejaczki (2009c) miąższość osadów deltowych w cofce zbiornika „Klimkówka" sięga 0,5 m i maleje w stronę otwartego akwenu (fot. 12), a powierzchnia delty wynosi ok. 0,3 km$^2$. Zdaniem A. Łajczaka (2005) szybko przyrastające delty w zbiornikach retencyjnych należy uznać za jedną z najważniejszych oznak współczesnej antropopresji w środowisku górskim.

Analiza składu granulometrycznego osadów pobranych z powierzchniowej warstwy delty Ropy w cofce zbiornika „Klimkówka", wykazała zbliżony skład granulometryczny wszystkich próbek, a występujące pomiędzy nimi różnice nie są duże (Wiejaczka 2009c). Podstawowe frakcje osadów deltowych Ropy to: ił (7% udziału w składzie mineralnym), pył (81%), piasek (11%) i żwir (0,3%). Przewagę frakcji pylasto-ilastej w osadach deltowych innych zbiorników karpackich wykazują badania (Cyberski 1969; Spaleny 1977; Klimek i in. 1989; Ratomski, Stanowski 1993). Wśród czterech głównych frakcji wyróżniono zgodnie ze skalą wielkości ziaren klastycznych R. Gradzińskiego i in. (1976) mniejsze, które w badanych osadach zawierają się pomiędzy iłem a drobnoziarnistym żwirem. Materiał organiczny stanowi ok. 1–2% ogółu osadów budujących deltę Ropy.

Reasumując analizę rozkładu granulometrii osadów delty Ropy w cofce zbiornika wodnego „Klimkówka" przeprowadzoną przez Ł. Wiejaczkę

http://rcin.org.pl

(2009c) stwierdzić można, że w źle wysortowanych osadach budujących deltę Ropy zawartość pyłu w ogólnym składzie osadów zwiększa się w stronę otwartego akwenu. Udział frakcji piaskowej i ilastej w ogólnym składzie materiału mineralnego maleje w kierunku zbiornika. Żwiry stanowiące największą frakcję w obrębie delty, występują śladowo tylko przy brzegach cofki. Abrazja teras rzecznych (na których założone są brzegi cofki zbiornika) jest podstawowym źródłem dostawy żwirów do osadów deltowych. W profilu poprzecznym delty Ropy pomiędzy brzegiem cofki zbiornika a korytem Ropy zauważa się tendencję spadku udziału frakcji pylastej. Zwiększa się natomiast zawartość piasku, a procent iłu generalnie nie ulega większym zmianom. Analiza składu granulometrycznego osadów zdeponowanych na dnie koryta Ropy wykazuje podobny udział poszczególnych frakcji w ogólnym składzie mineralnym, a tendencje zmian w profilu podłużnym są zbliżone do obserwowanych na powierzchni delty.

Żwiry oraz większe okruchy skalne transportowane w czasie wezbrań na Ropie (oraz Zdyni) są akumulowane w korycie rzeki na odcinku pomiędzy ujściem Zdyni a cofką zbiornika. Przy wysokim poziomie wody w zbiorniku cofka zbiornika sięga kilkaset metrów w górę biegu koryta Ropy, dlatego tuż poniżej ujścia Zdyni na Ropie następuje zmniejszenie spadku hydraulicznego rzeki, a tym samym spada siła transportowa wody. Największą akumulację żwirów obserwuje się w miejscu połączenia Ropy i Zdyni, gdzie rozrasta się duża łacha złożona ze żwirów oraz większych okruchów skalnych. Poniżej łachy w stronę cofki zbiornika zaznacza się wyraźny spadek zawartości żwirów w materiale wyścielającym dno koryta Ropy, natomiast zwiększa się zwartość materiału drobnoklastycznego transportowanego w postaci zawiesiny.

Przeprowadzona analiza składu granulometrycznego osadów (Wiejaczka 2009c) odnosi się tylko do cofkowej części zbiornika „Klimkówka", gdzie występuje największa akumulacja materiału klastycznego doprowadzanego w czasie wezbrań. Badania nad składem granulometrycznym i rozkładem przestrzennym osadów akumulowanych w pozostałych partiach akwenu wymagają dalszych prac terenowych i laboratoryjnych. Najbardziej istotne z punktu widzenia żywotności zbiornika „Klimkówka" badania powinny być obecnie ukierunkowane na sporządzenie bilansu rumowiska oraz tempa zamulania zbiornika.

http://rcin.org.pl

# 8. WNIOSKI

Analiza abiotycznych elementów środowiska przyrodniczego doliny Ropy, przeprowadzona na podstawie badań terenowych oraz dostępnych materiałów archiwalnych, wykazała jednoznacznie, że powstanie w 1994 roku zbiornika wodnego „Klimkówka" doprowadziło do istotnych i często nieodwracalnych skutków w środowisku naturalnym. Stwierdzone zmiany ilościowe i jakościowe pozwalają na sformułowanie następujących podstawowych wniosków:

1. Reżim hydrologiczny Ropy poniżej zbiornika retencyjnego „Klimkówka" uległ wyraźnej transformacji na skutek podniesienia przepływów minimalnych i obniżenia przepływów maksymalnych w stosunku do warunków naturalnych – przed uruchomieniem zbiornika. Podwyższenie przepływów minimalnych na Ropie w skrajnych warunkach (dopływ do zbiornika spada do ok. 150 $ls^{-1}$) może być ponad 10 – krotne. W czasie dużych wezbrań (dopływ do zbiornika > 200 $m^3s^{-1}$) zbiornik jest w stanie obniżyć kulminację powstałej fali co najmniej o 65%, a mniejsze wezbrania (dopływ do zbiornika < 70 $m^3s^{-1}$) może przechwycić w całości, w zależności od ilości wody zmagazynowanej w zbiorniku.

2. Funkcjonowanie zbiornika „Klimkówka" istotnie zmieniło cechy fizykochemiczne wody w Ropie poniżej jego lokalizacji. Spośród badanych właściwości fizykochemicznych wody największe zmiany w profilu podłużnym rzeki obserwuje się w przypadku temperatury i przewodności elektrolitycznej właściwej. Wpływ zbiornika na wymienione właściwości wody maleje wraz z biegiem rzeki, a maksymalny zasięg oddziaływania zbiornika, ze względu na zlokalizowane w odległości ok. 20 km od zapory miasto Gorlice jest trudny do określenia. Przeprowadzona w pracy analiza wykazała, że ok. 16 km poniżej zapory, w miejscowości Szymbark, wpływ zbiornika na temperaturę i konduktywność wody jest bardzo dobrze zauważalny.

a) Woda wypływająca z przydennych warstw zbiornika w okresie zimy odznacza się wyższą temperaturą (do ok. 2°C) w odniesieniu do wody w Ropie powyżej „Klimkówki" oraz w przypowierzchniowej warstwie zbiornika. Latem kształtuje się sytuacja odwrotna, a różnica pomiędzy wartościami temperatury może przekroczyć 10°C. Po-

http://rcin.org.pl

miary prowadzone na Ropie w latach 1982–2006 (ok. 16 km poniżej zapory wodnej „Klimkówka"), w miejscowości Szymbark wykazały, że w stosunku do warunków panujących przed powstaniem zbiornika, temperatura wody w rzece jest podwyższona w okresie pomiędzy październikiem a marcem (średnio o 0,5°C – 1,3°C), a obniżona między kwietniem a wrześniem (o 0,2°C – 2,4°C). Wynikiem tych zmian jest spadek rocznej amplitudy temperatury wody – średnio o 5°C. Woda wypływająca z przydennych warstw zbiornika w okresie zimy, o podwyższonej temperaturze, ogranicza tworzenie się zlodzenia na Ropie. W rezultacie obserwuje się mniejszą liczbę dni z występowaniem różnych form zlodzenia w porównaniu do okresu poprzedzającego funkcjonowanie zbiornika. Wyjątkiem jest częściowa pokrywa lodowa oraz lód denny, których frekwencja pojawiania się wzrosła po wybudowaniu zbiornika. Oddziaływanie zbiornika „Klimkówka" na reżim termiczny Ropy w zauważalny sposób zakłóca ścisłą zależność między temperaturą wody w Ropie a temperaturą powietrza. W okresie lata, relacje pomiędzy temperaturą powietrza i temperaturą wody zostały znacznie osłabione, zaś w okresie zimy wzmocnione. Zauważalne są także zmiany w dobowym cyklu temperatury wody w rzece poniżej zbiornika. W warunkach naturalnych (przed powstaniem zbiornika), w okresie wysokiej temperatury powietrza, średnia dobowa temperatura wody była wyższa od analogicznej temperatury powietrza. Obecnie obserwuje się sytuację odwrotną.

b) Po wybudowaniu zbiornika wodnego „Klimkówka" nastąpiło znaczne obniżenie i ustabilizowanie wartości konduktywności wody w Ropie w stosunku do warunków niezaburzonych działalnością zbiornika. Wartości konduktywności wody w Ropie poniżej zbiornika, które przed uruchomieniem obiektu (1982–1993) wahały się pomiędzy 209–769 $\mu Scm^{-1}$, po powstaniu zbiornika (1994–2006) zawierały się w przedziale 116–398 $\mu Scm^{-1}$. Spadek przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie świadczy o obniżaniu przez zbiornik mineralizacji wody. Przyczyny obniżania przez zbiornik „Klimkówka" konduktywności wody w Ropie nie są jednoznaczne, a ich szczegółowe rozpoznanie wymaga dalszych badań. Należy przypuszczać, iż redukcja wartości przewodności elektrolitycznej właściwej wody w Ropie jest efektem magazynowania w zbiorniku (oraz stopniowego wypuszczania) wód pochodzących z wiosennych roztopów oraz letnich wezbrań o niskiej mineralizacji. Na niską konduktywność wód w zbiorniku wpływ mogą mieć także organizmy wodne, pobierające bezpośrednio z wody niezbędne do życia sole mineralne. Dodatkowym czynnikiem, który ob-

http://rcin.org.pl

niżył przewodnictwo właściwe wody w Ropie poniżej zbiornika „Klimkówka" jest podwyższenie przepływu na Ropie poniżej zapory wodnej do minimalnego poziomu 2 $m^3s^{-1}$, a tym samym większe rozcieńczenie substancji rozpuszczonych w wodzie (w stosunku do okresu poprzedzającego funkcjonowanie zbiornika).

3. Asymetryczność zboczy doliny Ropy, ich różna budowa geologiczna oraz użytkowanie terenu, przy współudziale z hydrodynamiczną aktywnością akwenu, stały się zasadniczymi przyczynami wykształcenia i zróżnicowania morfologii strefy brzegowej pomiędzy prawym a lewym brzegiem zbiornika „Klimkówka". W zasięgu strefy brzegowej zbiornika zachodzi ilościowo-jakościowe przekształcanie morfologii zboczy doliny Ropy. Brzegi zbiornika ogólnie można zaliczyć do abrazyjnych lub abrazyjno-akumulacyjnych. Sam zbiornik po kilkunastu latach funkcjonowania znajduje się w początkowej fazie rozwoju.

4. Powszechnymi, nieistniejącymi przed powstaniem zbiornika w obrębie zboczy doliny Ropy formami, występującymi w obrębie strefy brzegowej „Klimkówki" są nadal rozwijające się klify o wysokości 0–3 m oraz mikroterasy o zróżnicowanych parametrach. Formowanie się mikroteras stanowiących swoisty zapis obniżania się stanu wody w zbiorniku, uzależnione jest od nachylenia brzegu oraz frakcji materiału, którym jest wyścielony. Im większe nachylenie brzegu oraz im mniejsza frakcja materiału, tym większa liczba mikroteras i zarazem bardziej dokładny zapis stanów wody w zbiorniku.

5. Dużą rolę w modelowaniu rzeźby strefy brzegowej zbiornika, oprócz hydrodynamicznej aktywności akwenu i ruchów masowych, odgrywa także roślinność. Systemy korzeniowe drzew rosnących na krawędzi klifu hamują proces jego cofania się, utrudniając falom wymywanie materiału budującego zbocza doliny Ropy. Wyrwy powstałe na skutek obsunięcia się drzew wraz z ich systemem korzeniowym zwiększają wysokość klifu oraz ułatwiają falom dalsze jego formowanie, a tym samym degradację zboczy doliny Ropy. Cofanie się klifów jest przyczyną nieodwracalnej degradacji drzewostanu rosnącego bezpośrednio przy zbiorniku. Abrazja brzegów jest również źródłem dostawy materiału organicznego w postaci rumoszu drzewnego do zbiornika

6. Orientacyjna wielkość abrazji na zbiorniku wodnym „Klimkówka" wynosi ok. 57 000 $m^3$, co w przeliczeniu na 1 metr bieżący strefy brzegowej (o średniej szerokości 23 m) daje 5 $m^3$. Prezentowana wielkość abrazji stanowi zaledwie 0,13% całkowitej pojemności zbiornika, co świadczy o tym, że wpływ abrazji brzegowej na proces zamulania zbiornika jest marginalny.

http://rcin.org.pl

7. Przegrodzenie doliny Ropy zaporą zablokowało naturalny transport materiału klastycznego w czasie wezbrań, który obecnie akumulowany jest w obrębie zbiornika retencyjnego „Klimkówka". Największa akumulacja zachodzi na obszarze cofki, gdzie osady na dawnej równinie zalewowej rzeki utworzyły deltę – nową formę w rzeźbie fluwialnej doliny Ropy. Główną frakcją budującą deltę Ropy jest pył, który stanowi aż 81% ogółu osadów mineralnych. Mniejszy udział w składzie granulometrycznym osadów deltowych wykazuje piasek – 11% i ił – 7%. Żwir (0,3% ogółu osadów), praktycznie występuje tylko przy brzegach cofki, które są jedynym źródłem dostawy tej frakcji do osadów deltowych Ropy. Żwiry oraz duże frakcje skalne transportowane w czasie wezbrań deponowane są obecnie w korycie Ropy na odcinku pomiędzy ujściem Zdyni a cofką zbiornika „Klimkówka". Materiał organiczny stanowi 1–2% osadów deltowych.

Wyniki badań dotyczące wpływu zbiornika wodnego „Klimkówka" na abiotyczne elementy środowiska przyrodniczego w dolinie Ropy przedstawione w niniejszej pracy stanowią podstawę oraz punkt odniesienia dla dalszych prac nad omawianym zagadnieniem, zmierzających w dłuższej perspektywie czasu do opracowania monografii zbiornika „Klimkówka".

http://rcin.org.pl

LITERATURA

Achrem E., Gierszewski P., 2007, *Zbiornik włocławski*, Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Bydgoszcz, 146 ss.

Adamczyk B., Gerlach T., 1983, *Charakterystyka warunków przyrodniczych Beskidu Niskiego*, Probl. Zagosp. Ziem Górskich, 23, s. 49–68.

Adamczyk B., Maciaszek W., Januszek K., 1973, *Gleby gromady Szymbark i ich wartość użytkowa*, [w:] Starkel L. (red.), *Gleby i zbiorowiska leśne okolic Szymbarku*, Dokum. Geogr., 1, s. 15–66.

Allan J. D., 1998, *Ekologia wód płynących*, PWN, Warszawa, 450 ss.

Babiński Z., 1986, *Zmiany warunków hydrologicznych i morfologicznych Wisły poniżej stopnia wodnego „Włocławek"*, [w:] J. Szczupryczyński (red.), *Zbiornik włocławski – niektóry problemy z geografii fizycznej*, Dokum. Geogr., 5, s. 41–52.

Banach M., 1981, *Abrazja brzegów a zamulanie zbiornika Włocławek*, Gosp. Wodna, 11 – 12, s. 283–285.

– 1985, *Osady denne – wskaźnik hydrodynamiki zbiornika włocławskiego*, Przegląd Geogr., 57, 4, s. 487–497.

– 1986, *Przekształcenia brzegów zbiornika włocławskiego*, [w:] J. Szczupryczyński (red.), *Zbiornik włocławski – niektóry problemy z geografii fizycznej*, Dokum. Geogr., 5, s. 25 – 40.

– 1988, *Główne procesy a osady w strefie brzegowej zbiornika Włocławek*, Przegląd Geogr., 60, 3, s. 267 – 299.

– 1992, *Morfodynamika form akumulacyjnych strefy brzegowej zbiornika Włocławek*, Dokum. Geogr., 1, s. 8 – 39.

– 1993, *Degradacja brzegów zbiornika Włocławek*, Przegląd Geogr., 45, 1–2, s. 111–135.

– 1994, *Morfodynamika strefy brzegowej zbiornika Włocławek*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 161, 181 ss.

Błachuta J., Jelonek M., Panasiuk D., Roggenbuck A., Mysłajek R., Stój M., 2006, *Zapory a powodzie*, Raport Towarzystwa Na Rzecz Ziemi i Polskiej Zielonej Sieci, Kraków, 66 ss.

Bogan T., Mohseni O., Stefan H.G., 2003, *Stream temperature – equilibrium temperature relationship*, Water Resources Research, 39, s. 1245 – 1256.

Bochenek W., 2005, *Krążenie wody i ługowanie pokryw w profilu podłużnym pogórskiego stoku fliszowego*, maszynopis rozprawy doktorskiej, 150 ss.

Bokwa A., 1998, *Metody oceny wpływu zbiorników wodnych na klimat w obszarach górskich*, [w:] *Przemiany środowiska geograficznego obszarów górskich w Polsce i ich stan współczesny*, Mat. Konf., 26–27.10.1998, Wólka Milanowska, s. 30 – 31.

Brański J., 1968, *Charakterystyka transportu rumowiska unoszonego w rzekach polskich*, Gosp. Wodna, 11, s. 415 – 418.

Breitmajer W., 1938, *Morfologia doliny Ropy*, Wiad. Geogr., 16, s. 79 – 91.

Caissie D., El – Jabi N., Satish M. G., 2001, *Modelling of maximum daily water temperatures in a small stream using air temperatures*, Journal of Hydrology, 251, s. 14–28.

Chełmicki W., Bieńkowski T., 2005, *Przepływy niżówkowe w dorzeczu górnego Dunajca w 2003 r. na tle wielolecia 1951–2003*, Folia Geogr. Series Geogr. – Physica, 25–26, s. 65–75.

http://rcin.org.pl

Chomiak T. 1962, *Wpływ zbiornika rożnowskiego na kształtowanie się temperatury wód Dunajca w odpływie ze zbiornika*, Gosp. Wodna – Biul. PIHM, 1, 33.

Chomiak T., Cyberski J., Mikulski Z, 1969, *Akumulacja rumowiska w zbiornikach retencyjnych (wyniki prac polskiej służby hydrologicznej w latach 1957–966)*, Prace PIHM, 96, s. 3–30.

Chrzanowska E., 1980, *Osuwisko "Zapadle" w Szymbarku. Analiza badań geofizycznych i geologiczno-inżynierskich*, Politechnika Krakowska, 64 ss.

Ciszak P., 2006, *Wpływ zbiornika wodnego Klimkówka na zmiany stosunków wodnych w dolinie Ropy*, praca magisterska, Inst. Geogr. UMK, Toruń, 112 ss.

Cyberska B., 1972, *Zmiany w temperaturze i zlodzeniu rzek poniżej zbiorników retencyjnych*, Gosp. Wodna, 7, s. 244–250.

– 1975, *Wpływ zbiornika retencyjnego na transformację naturalnego reżimu termicznego rzeki*, Prace IMGW, 4, s. 45–108.

Cyberski J., 1969, *Sedymentacja rumowiska w zbiorniku rożnowskim*, Prace PIHM, 96, s. 21–42.

– 1970, *Badania akumulacji rumowiska w zbiornikach retencyjnych w Polsce*, Gosp. Wodna, 2, s. 43–46.

– 1984, *Wstępne wiadomości o zbiornikach retencyjnych w Polsce*, Czas. Geogr., 55, 3, s. 289–300.

Dauksza L., 1975, *Dynamika współczesnego procesu fluwialnego w terenie górskim na przykładzie Ropy*, Kraków, maszynopis, 161 ss.

Dauksza L., Kotarba A., 1973, *An analysis of the influence of fluvial erosion in the development of landslide slope*, Stud. Geomorph. Carphato-Balcan., 7, s. 91–104.

Dąbkowski S.L., 1978, *Wyniki wstępnych badań abrazji brzegu zbiornika Nysa*, Gosp. Wodna, 10, s. 312 16.

Deklaracja ICOLD/CIGB, 1996, *Zapory wodne a środowisko,* Polski Komitet Międzynarodowej Komisji Wielkich Zapór, IMGW, Warszawa.

Dojlido J. L., Moraczewski J., 1964, *Uwagi o stosunkach środowiskowych Jeziora Zegrzyńskiego w zimie 1964 r.*, Gosp. Wodna, 4, s.160, 10, s. 296.

Dobrzyński D., 2006, *Chemizm wód podziemnych*, [w:] A. Macioszczyk (red.), *Podstawy hydrogeologii stosowanej*, PWN, Warszawa, s. 137–138.

Drwal J., Gołębiewski R., 1968, *Próba klasyfikacji brzegów i niektóre procesy brzegowe Jeziora Raduńskiego*, Zesz. Geogr. WSP w Gdańsku, 10, s. 185–197.

Dynesius M., Nilsson D., 1994, *Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world*, Science, 266, s. 753–752.

Dynowska I., 1973, *Typy reżimów rzecznych w Polsce*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 50, 150 ss.

– 1984a, *Przedmowa*, Czas. Geogr., 55, 3, s. 287–288.

Dynowska I, 1984b, *Zmiana reżimu odpływu w wyniku oddziaływania zbiorników retencyjnych*, Czas. Geogr. 3, s. 301–316.

Edinger J.E., Duttweiler D.W., Geyer J.C., 1968, *The response of water temperatures to meteorological conditions*, Water Resources Research, 4, s. 1137–1143.

Froehlich W., 1975, *Dynamika transportu fluwialnego Kamienicy Nawojowskiej*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 114, 122 ss.

– 1982, *Mechanizm transportu fluwialnego i dostawy zwietrzelin do koryta w górskiej zlewni fliszowej*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 143, 144 ss.

http://rcin.org.pl

Gierszewski P., 1988, *Zmiany brzegów wywołane termicznymi ruchami lodu na przykładzie zbiornika włocławskiego*, Przegląd Geogr., 60, 4, s. 657–674.

Gil E., 1976, *Spłukiwanie gleby na stokach fliszowych w rejonie Szymbarku*, Dokum. Geogr., 2, 65 ss.

– 1979, *Typologia i ocena środowiska geograficznego okolic Szymbarku*, Dokum. Geogr., 5, 91 ss.

– 1990, *Racjonalne użytkowanie ziemi na stokach pod kątem ochrony przeciwpowodziowej i przeciwerozyjnej*, Probl. Zagosp. Ziem Górskich, 30, s. 31–48.

– 1999, *Obieg wody i spłukiwanie na fliszowych stokach użytkowanych rolniczo w latach 1980–1990*, Zesz. IGiPZ PAN 60, s. 78.

Gil E., Bochenek W., 1998, *Raport Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk w Szymbarku za lata hydrologiczne 1994–1997*, [w:] A. Kostrzewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stan geoekosystemów Polski w latach 1994-1997*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, s. 183–221.

Gil E., Długosz M., 2006, *Threshold values of rainfalls triggering selected deep – seated landslides in the polish flysch carpathians*, Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 40, s. 21–43.

Gil E., Soja R., 1976, *Udział spływu powierzchniowego w całkowitym odpływie ze zlewni fliszowej*, Zesz. Nauk. Polit. Krak. Bud. Wod. i Inż. San., 3, 24, s. 235–243.

Gil E., Starkel L., 1994, *Historia i zakres badań stacji w Szymbarku*, [w:] E. Gil, L. Starkel (red.), *Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego – Stacja Bazowa Szymbark (Karpaty Fliszowe)*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, s. 14–19.

Glazik R., 1976, *Niektóre cechy hydrologiczne zbiornika włocławskiego i jego wpływ na reżim wód Wisły*, Gosp. Wodna, 6, s. 170–175.

– 1978, *Wpływ zbiornika wodnego na Wiśle we Włocławku na zmiany stosunków wodnych w dolinie*, Dokum. Geogr., 2/3, 119 ss.

Głodek J., 1985, *Jeziora zaporowe świata*, PWN, Warszawa, 198 ss.

Gołek J., 1964, *Zlodzenie rzek polskich*, PIHM, 63, 138 ss.

Gomółka E., Szaynok A., 1997, *Chemia wody i powietrza*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 433 ss.

Gradziński R., Kostecka A., Radomski A., Unrug R., 1976, *Sedymentologia*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 614 ss.

Graf W.L., 1980, *The effect of dam closure on downstream rapids*, Water Resources Research, 16, 1, s. 129–136.

Gregory K.J., Park C., 1974, *Adjustment of river channel capacity downstream from a reservoir*, Water Resources Research, 10, 4, s. 870–873.

Grobelska H., 2006, *Ewolucja strefy brzegowej zbiornika pakoskiego (Pojezierze Gnieźnieńskie)*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 205, 122 ss.

Grześ M., Banach M., 1983, *Powódź zatorowa na Wiśle w styczniu 1982 roku*, Przegląd Geogr., 55, 1, s. 91–113.

Hennig J., 2000a, *Historia zbiornika Klimkówka*, [w:] T. Łagosz (red.), *Zbiornik wodny Klimkówka*, Monografia, IMGW, Warszawa, s. 27–32.

– 2000b, *Realizacja inwestycji*, [w:] T. Łagosz (red.), *Zbiornik wodny Klimkówka*, Monografia, Warszawa, IMGW, s. 33–44.

http://rcin.org.pl

Hess M., Niedźwiedź T., Orębska-Starklowa B., 1977, *Stosunki termiczne Beskidu Niskiego*, Prace Geogr. IGiPZ PAN , 123, Warszawa, 101 ss.

Jaguś A., 1997, *Procesy brzegowe w obrębie zbiornika Poraj*, UŚ, Sosnowiec, (maszynopis), 77 ss.

Jaguś A., Rzętała M., 2000, *Procesy brzegowe w obrębie zbiornika Poraj*, [w:] T. Szczypek (red.), Geographia Studia et Dissertationes, 23, UŚ, Katowice, s. 59–90.

Jezioro P., 2003, *Wpływ zbiornika wodnego w Dobczycach na stosunki termiczne powietrza na podstawie serii pomiarowej 1976–1996*, [w:] *Dynamika zmian środowiska geograficznego pod wpływem antropopresji*, Mat. Konf. 2. Ogólnopol. Symp., 25–27.09.2003, Kraków-Sanok, s. 42–51.

Kieraś W., Majka J., Racinowski R., 1973, *Próba określenia ilościowej charakterystyki abrazji na zbiorniku solińskim*, Gosp. Wodna, 4, s. 129–131.

Klimaszewski M., 1946, Podział morfologiczny południowej Polski, Czas. Geogr., 17, 3–4, s. 133–180.

Klimaszewski M., 1981, *Geomorfologia*, PWN, Warszawa, 1063 ss.

Klimek K., Łajczak A., Zawilińska L., 1989, *Cechy sedymentologiczno-geochemiczne osadów delty Soły w zbiorniku Żywieckim*, Probl. Zagosp. Ziem Górskich, 29, s. 85–92.

Kosicki M., Krężel J., 1977, *Wpływ zasilania ze zbiorników retencyjnych na głębokości w Odrze środkowej*, Gosp. Wodna, 9, s. 274–276.

Kostecki M., 1975, *Wstępne obserwacje nad transformacja brzegów zbiornika w Tresnej*, Gosp. Wodna, 4, s. 144–145.

Kostrakiewicz L., 1979, *Stosunki mezoklimatyczne Pienińskiego Parku Narodowego i jego obrzeża oraz prognoza przypuszczalnych zmian klimatu po wybudowaniu zapory wodnej na Dunajcu w Czorsztynie–Niedzicy*, Ochr. Przyr., 42, s. 245–279.

– 1982, *Prognoza przemian stosunków klimatycznych i wodnych*, [w:] K. Zarzycki (red.), *Przyroda Pienin w obliczu zmian*, PWN, Warszawa–Kraków, s. 508–511.

Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A., Zwoliński Z., 1992, *Hydrochemiczna interpretacja przepływów wezbraniowych w zlewniach młodoglacjalnych*, [w:] A. Kostrzewski, M. Pulina (red.), *Metody hydrochemiczne w geomorfologii dynamicznej*, s. 127–142.

Kotarba A., 1970, *Charakterystyka rzeźby okolic Szymbarku*, Dokum. Geogr., 3, s. 7–24.

– 1972, *Powierzchniowa denudacja chemiczna w wapienno-dolomitowych Tatrach Zachodnich*, Prace Geogr. IG PAN, 96, 116 ss.

– 1986, Rola osuwisk w modelowaniu rzeźby beskidzkiej i pogórskiej, Przegląd Geogr., 58, 1/2, s. 119 29.

Kozikowski H., 1956, *Geologia płaszczowiny magurskiej i jej okien tektonicznych na południowy zachód od Gorlic*, Z badań geologicznych w Karpatach, 1, s. 47–91.

Krzanowski S., 2000, *Wpływ retencji zbiornikowej na wybrane elementy środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem zmian reżymu przepływów w rzece poniżej zbiornika (na przykładzie dorzecza Sanu)*, Rozprawa habilitacyjna, Zeszyty Naukowe AR w Krakowie. Ser. Rozprawy, 259, 156 ss.

Krzanowski S., 2002a, *Wpływ zbiornika wodnego „Dobczyce" na zmienność charakterystyki hydrologicznej rzeki Raby*, Zeszyty Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku Białej, 7, Inżynieria Włókiennicza i Ochrona Środowiska, 3, s. 52–60.

http://rcin.org.pl

– 2002b, *Zasięg i efektywność oddziaływania zespołu zbiorników wodnych Solina–Myczkowce na reżym przepływów Sanu poniżej zapory w Myczkowcach*, Problemy Zagospodarowania Ziem Górskich, 48, s. 23–30.

Lach J., Deptuch U., 1988, *Wpływ zbiornika Besko na zmiany ustroju wodnego Wisłoka*, Folia Geograph. Series Geograph.-Physica, 20, s. 85–99.

Lewik P., 1992, *Klimat otoczenia zbiornika wodnego „Dobczyce" na Rabie*, Rocz. Nauk.-Dydakt. WSP w Krakowie, 151, s. 63–77.

Lewińska J., 1967, *Metoda prognozy wpływu zbiorników wodnych na reżim termiczny*, Folia Geogr. Series Geograph.–Physica, 3, s. 67–86.

– 1969, *Ocena wpływu sztucznych zbiorników wodnych na klimat lokalny na przykładzie kaskady górnego Sanu*, Prace Inst. Met. Gosp. Wodn., 3, s. 5–84.

Lewińska J., Lewiński A., 1972, *Wpływ energetycznego wykorzystania zbiorników wodnych na zmianę reżimu termicznego wody*, Gosp. Wodna, 8, s. 295–296.

Łagosz T. (red.), 2000, *Zbiornik wodny Klimkówka*, Monografia, IMGW, Warszawa, 115 ss.

Łajczak A., 1986a, *Zamulanie i lokalizacja zbiorników zaporowych w polskich Karpatach*, Gosp. Wodna, 2, s. 47 – 50.

– 1986b, *Retencja rumowiska w zbiornikach zaporowych karpackiego dorzecza Wisły*, Czas. Geogr., 1, s. 47 – 77.

– 1989, *Zróżnicowanie transportu zawiesiny w karpackiej części dorzecza Wisły*, Dokum. Geogr., 5, 85 ss.

– 1991, *Termika i zlodzenie rzek*, [w]: I. Dynowska, M. Maciejewski, (red.), *Dorzecze górnej Wisły*, cz. 1, PWN, Warszawa-Kraków, s. 243 – 249.

– 1995, *Studium nad zamulaniem wybranych zbiorników zaporowych w dorzeczu Wisły*, Monog. Kom. Gosp. Wodn. PAN, 8, 108 ss.

– 1999, *Współczesny transport i sedymentacja materiału unoszonego w Wiśle i jej dopływach*, Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, 15, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 215 ss.

– 2005, *Delty w zbiornikach zaporowych – nowy element rzeźby fluwialnej w górach i warunki ich formowania (na przykładzie polskich Karpat)*, [w:] A. Łajczak (red.), *Antropopresja w górach średnich strefy umiarkowanej i skutki geomorfologiczne na przykładzie wybranych obszarów Europy środkowej*, Human Impact on Mind Mountain Ecosystem, 2, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec, s. 127–137.

Mazur Z., 1975, *Formowanie się brzegów sztucznych zbiorników wodnych*, Gosp. Wodna, 4, s. 142–143.

Mohseni O., Stefan H. G., 1999, *Stream temperature/air temperature relationship: a physical interpretation*, Journal of Hydrology, 218, s. 128–141.

Mikulski Z., 1961, *Transport zawiesiny mineralnej w rzekach polskich*, Gosp. Wodna, 10.

Morawska M., 1969, *Przewidywany wpływ zbiorników wodnych w Pieninach na klimat lokalny*, Folia Geogr. Series Geograph.–Physica, 3, s. 325–326.

Niemirowska J., 1970, *Charakterystyka hydrograficzna zlewni Bystrzanki i Bielanki*, Dokum. Geogr., 3. s. 25–38.

Nowicka D., 2000, *Charakterystyka geologiczna czaszy zbiornika*, [w:] T. Łagosz (red.), *Zbiornik wodny Klimkówka*, Monografia, IMGW, Warszawa, s. 49–52.

http://rcin.org.pl

O'Driscoll M. A., DeWalle D. R., 2006, *Stream–air temperature relations to classify stream–ground water interactions in a karst setting, central Pennsylvania, USA*, Journal of Hydrology, 329, s. 140–153.

Obrębska-Starklowa B., 1973, *Stosunki mezo- i mikroklimatyczne Szymbarku*, Dokum. Geogr., 5, 123 ss.

– 1997, *Współczesne fluktuacje klimatu w rejonie zbiornika wodnego w Dobczycach i ich znaczenie dla gospodarki w górach*, Probl. Zagosp. Ziem Górskich, 43, s. 13–22.

– 2002, *Influence of the water reservoir on the transformation of the ecoclimate of the Foothill Oak-Hornbeam forest Tilio-Carpinetum in Gaik-Brzezowa*, Prace Geogr. IG i GP UJ, 109, s. 111–197.

Obrębska-Starklowa B., Grzyborowska A., 1995, *Sezonowe zróżnicowanie dobowego przebiegu temperatury powietrza w rejonie dobczyckiego zbiornika wodnego*, Probl. Zagosp. Ziem Górskich, 38, s. 15–26.

Onoszko J., 1964, *Zamulanie zbiornika rożnowskiego w 19-leciu jego eksploatacji*, Prace IBW–PAN, Gdańsk.

Ozaki N., Fukushima T., Harasawa H., Toshiharu K., Kawashima K., Ono M., 2003, *Statistical analyses on the effects of air temperature fluctuations on river water qualities*, Hydrological Processes, 17, s. 2837–2853.

Pasternak K., 1984, *Zmiany w chemicznych i biologicznych stosunkach środowiska wodnego rzeki jako rezultat oddziaływania zbiorników retencyjnych*, Czas. Geogr., 55, 3, s. 365–377.

Petts G. E., 1984, *Impounded rivers. Perspective for ecological management*, Chichester, Wiley and Sons, 326 ss.

Pilgrim J.M., Fang X., Stefan H.G., 1998, *Stream temperature correlations with air temperatures in Minnesota: implications for climate warming*, Journal of the American Water Resources Association, 34, s. 1109 – 1121.

Prokop P., Soja R., 1994, *Denudacja chemiczna w zlewni Ropy*, [w:] L. Starkel, P. Prokop (red.), *Przemiany środowiska przyrodniczego Karpat i kotlin Podkarpackich*, Conf. Papers, 20, IGiPZ PAN, Warszawa, s. 87–88.

Punzet J., 1959, *Wpływ zbiornika wodnego w Goczałkowicach na ostatnie wezbranie Małej Wisły*, Gosp. Wodna, 3, s. 23–28.

– 1972, *Badania ruchu fal wypuszczanych ze zbiornika wodnego w Myczkowcach*, Gosp. Wodna, 8, s. 286–290.

– 1973, *Wpływ zbiorników retencyjnych na prawdopodobieństwo występowania wielkich wód w dorzeczu Wisły górnej*, Gosp. Wodna, 2, s. 46–49.

– 1991, *Wpływ zespołu zbiorników Rożnów–Czchów na reżim wodny Dunajca*, Gosp. Wodna, 6, s.122–26.

*Raport Światowej Komisji Zapór Wodnych 2000, Zapory a rozwój – nowe wytyczne dla podejmowania decyzji*, Klub Gaja, Bielsko Biała, 405 ss.

Ratomski J., Stonawski J., 1993, *Survey and evaluation of the sedimentation of Tresna Reservoir on the Soła River*, Proc. of the Intern. Symp. on Runoff and Sediment Yield Modelling (RSY–93), Warszawa, s. 249–254.

*Roczniki Hydrologiczne Wód Powierzchniowych*, 1973–1983, Wisła, IMGW, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.

Rydzik E., 1978, *Przyczyny i formy niszczenia brzegów zbiornika solińskiego*, Gosp. Wodna, 2, s. 47–52.

http://rcin.org.pl

Rzętała M., 1994, *Klasyfikacja wybrzeży i procesy brzegowe wybranych zbiorników antropogenicznych Kotliny Dąbrowskiej*, [w:] *Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych*, 14, WBIOŚ UŚ–WNoZ UŚ, Katowice–Sosnowiec, s. 29–37.

Rzętała M., 1998, *Procesy brzegowe w obrębie zbiornika Dzierżno Duże*, [w:] T. Szczypek (red.), Geogr. Studia et Dissert., 22, UŚ, Katowice, s. 29–51.

– 2003, *Procesy brzegowe i osady denne wybranych zbiorników wodnych w warunkach zróżnicowanej antropopresji (na przykładzie Wyżyny Śląskiej i jej obrzeży)*, Wydawnictwo UŚ, Katowice, 156 ss.

Sawicki L., 1917, *Osuwisko ziemne w Szymbarku i inne zsuwy powstałe w Galicyi Zachodniej w 1913*, Rozpr. Wydz. Mat. Przyr. AU, 16, ser. III, Dział A, s. 227–313.

Sikora W., 1970, *Budowa geologiczna płaszczowiny magurskiej między Szymbarkiem Ruskim a Nawojową*, Z badań geologicznych w Karpatach, Instytut Geologiczny, Biuletyn 235, 13, 127 ss.

Słupik J., 1973, *Zróżnicowanie spływu powierzchniowego na fliszowych stokach górskich*, Dokum. Geogr., 2, 118 ss.

– 1978, *Obieg wody na stokach a rolnicze użytkowanie ziemi*, [w:] L. Starkel (red.), *Studia nad typologią i oceną środowiska geograficznego Karpat i Kotliny Sandomierskiej*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 125, s. 93–108.

– 1981, *Rola stoku w kształtowaniu odpływu*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 142, 98 ss.

Słysz K., Schmager M., Jelonek M., 2000, *Określenie stopnia oddziaływania elektrowni wodnych Czorsztyn–Niedzica i Sromowce Wyżne na życie biologiczne Dunajca*, IGPiK, maszynopis.

Soja R., 1972, *Precipitation and discharge during the flood in July in catchment basin of Bystrzanka*, Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 6, s. 203–206.

– 1973, *Termika wody w dorzeczu Ropy w okresie maksymalnych temperatur rocznych*, Przegląd. Geogr., 3, s. 587–597.

– 1977a, *Deepening of channel in the light of the cross profile analysys (Carpathian river as example)*, Stud. Geomorph. Carpatho-Balcan., 11, s. 127–138.

– 1977b, *Przestrzenne zróżnicowanie opadów w dorzeczu Ropy*, Dokum. Geogr., 6, s. 9–22.

– 1981, *Analiza odpływu z fliszowych zlewni Bystrzanki i Ropy (Beskid Niski)*, Dokum. Geogr., 1, 91 ss.

– 1999, *Procesy erozji i akumulacji w korytach zlewni górnej Ropy. Określenie podatności stoków i brzegów potoków na erozję na przykładzie zlewni Ropy*, Studia Rozprawy i Monografie, 61, IGSiE PAN, s. 75–100.

– 2002, *Regime of the water level oscillations of the Dobczyce Reservoir*, Prace Geogr. IGiGP UJ, 109, s. 11–20.

Soja R., Hennig J., 2000, *Rzeźba terenu, sieć rzeczna i zasoby wodne*, [w:] T. Łagosz (red.), *Zbiornik wodny Klimkówka*, Monografia, IMGW, Warszawa, s. 7–11.

Spaleny M., 1977, *Badania zamulania zbiornika Tresna na Sole*, Gosp. Wodna, 10, s. 304–309.

Sroczyński W. (red.), 2006, *Studium form i mechanizmów degradacji środowiska w systemach rekreacyjnych brzegów jezior zaporowych południowo-wschodniej Polski*, Wydawnictwo IGSMiE, Kraków, 310 ss.

Sroczyński W., Józefko U., 2002, *Geoochorna górnych odcinków dolin rzek beskidzkich przeznaczonych pod budownictwo wodne na przykładzie projektowanego zbiornika Krempna na rzece Wisłoce*, Wyd. Instytutu GSMiE PAN, Kraków.

http://rcin.org.pl

Starkel L., 1972, *Charakterystyka rzeźby Polskich Karpat (i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej)*, Probl. Zagosp. Ziem Górskich, 10, s. 57–150.

– 1973, *Cel i zakres studiów nad środowiskiem geograficznym okolic Szymbarku*, Dokum. Geogr., 1, s. 7–14.

– 1978, *Studia nad typologią i oceną środowiska przyrodniczego Karpat i Kotliny Sandomierskiej*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 125, 165 ss.

Staszkiewicz J., 1973, *Zbiorowiska leśne okolic Szymbarku (Beskid Niski)*, Dokum. Geogr., 1, s. 73–94.

Szczerkowska Majchrzak E., Grzybkowska M., 2008, *Piętrzenia rzek i energia wodna: za i przeciw*, Kosmos, Problemy Nauk Biologicznych 57, 3/4, s. 295–303.

Szubert M., 1992, *Budowa geologiczna strefy brzegowej zbiornika retencyjnego na Rabie w Dobczycach*, Rocz. Nauk.–Dydak. WSP w Krakowie, 151, Prace Geogr., 14, s. 19–31.

Świdziński H., 1973, *Budowa geologiczna i roponośność rejonu Szymbarku koło Gorlic, Z badań geologicznych w Karpatach*, Przegląd Geolog., 80, s. 11–61.

Tomik T., 1969, *Próba charakterystyki termicznej zbiornika rożnowskiego*, Prace PIHM, 96, s. 43–55.

Ujda K., Mrówka H., 1977, *Określenie średniego przepływu dobowego na Wdzie w profilu Krąplewice poniżej elektrowni wodnej*, Gazeta Obserw. IMGW, 10, s. 10–12.

Webb B.W., Clack P.D., Walling D.E., 2003, *Water–air temperature relationships in a Devon river system and the role of flow*, Hydrological Processes, 17, s. 3069–3084.

Welc A., 1977, *Procesy eoliczne w zlewni Bystrzanki koło Szymbarku 1969–1971*, Dokum. Geogr., 6, s. 67–85.

– 1980, *Wpływ opadów na wielkość denudacji chemicznej w obszarze górskim na przykładzie badań w zlewni Bystrzanki*, Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 235, s. 307–318.

– 1985, *Zmienność denudacji chemicznej w Karpatach fliszowych, (na przykładzie zlewni potoku Bystrzanka)*, Dokum. Geogr., 5, 102 ss.

– 1988, *Wpływ opadów na wielkość i czas trwania transportu zawiesiny w potoku Bystrzanka (Karpaty Zachodnie)*, Stud. Geomorph. Carphato–Balcan., 22, s. 145–169.

Wit-Jóźwik K., 1977, *Analiza deszczów w Szymbarku w latach 1969–1973 (w okresie od maja do września)*, Dokum. Geogr., 6, s. 23–65.

Wiejaczka Ł., 2007a, *Wpływ zbiornika wodnego „Klimkówka" na reżim termiczny rzeki Ropy*, [w:] A Kostrzewski, A. Andrzejewska (red.), *Program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego a zadania ochrony obszarów Natura 2000"*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Izabelin, s. 367–378.

– 2007b, *Dynamika temperatury wody w rzece Ropie w latach 1982–2006*, [w:] R. Sołtysik, R. Suligowski (red.), *Rola geografii fizycznej w badaniach regionalnych*, tom I, Kielce, s. 255–257.

– 2007c, *Relacje pomiędzy temperaturą wody w rzece a temperaturą powietrza (na przykładzie rzeki Ropy)*, Folia Geogr. Series Geograph–Physica, 37/38, s. 95–105.

– 2007d, *Dobowy cykl temperatury wody w rzece Ropie poniżej zbiornika retencyjnego w Klimkówce*, Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 8, s. 91–98.

http://rcin.org.pl

– 2008, *Próba typologii brzegów zbiornika wodnego „Klimkówka"*, Landform Analysis, 9, s. 217–221.

– 2009a, *Shore erosion on the Klimkówka water reservoir*, [w:] P. Mentlik, F. Hartvich (red.), *State of geomorfological research in 2009*, Geomorfologicky sbornik, 8, Międzynarodowa Konferencja Geomorfologiczna, Czechy, Sumava, s. 66–67.

– 2009b, *Wpływ zbiornika wodnego „Klimkówka" na zlodzenie Ropy*, [w:] W. Bochenek, M. Kijowska (red.), *Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego w okresie przemian gospodarczych w Polsce*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, s. 172–187.

– 2009c, *Wpływ zbiornika wodnego „Klimkówka" na abiotyczne elementy środowiska przyrodniczego w dolinie Ropy*, maszynopis rozprawy doktorskiej, IGiPZ PAN, Szymbark, 295 ss.

Wierczek E., 1969, *Problem stosunków wiatrowych i ich zmian w świetle wpływów zbiorników wodnych*, Folia Geogr. Series Geograph.-Physica, 3, s. 139–150.

Williams G.P., Wolman M.G., 1984, *Downstream effects of dams on alluvial rivers*, Geolog. Surv. Prof. Paper, 1286, Washington, s. 1–83.

Wiśniewski B. 1967, *Zamulanie zbiornika wodnego w Myczkowcach po 5 latach eksploatacji (09.1960–09.1965)*, Gosp. Wodna, 7, s. 246–248.

– 1972, *Parametry fal wiatrowych Jeziora Zegrzyńskiego*, Mat. Bad. Inst. Gosp. Wodna, 28, s. 1–41.

Wit-Jóźwik K., 1977, *Analiza deszczów w Szymbarku w latach 1969-1973 (w okresie od maja do września)*, Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN.

Wójcik A., 1997, *Late glacial deposits in the Ropa Valley floor in Wysowa, Beskid Niski Mts, Carpathians*, Studia Geomorph. Carpatho-Balcan., 31, s. 101–109.

Wójcik Z., 1977, *Charakterystyka siedlisk polnych na pogórzu Beskidu Niskiego metodami biologicznymi*, Prace Geogr. IGiPZ PAN, 121, 111 ss.

Zabuski L., Gil E., Rączkowski W., Wójcik A., 2003, *Badania reprezentatywnego procesu osuwiskowego w masywie fliszu karpackiego – osuwisko eksperymentalne w Beskidzie Niskim*, Sprawozdanie z projektu badawczego KBN 8T12B 047 20, Arch. Bud. Wod. PAN, Gdańsk, 35 ss.

Ziętara T., 1992, *Wstępne wyniki badań i prognozy dotyczące przebiegu niszczenia brzegów zbiornika w Dobczycach*, Rocz. Nauk.-Dydak. WSP w Krakowie, 151, Prace Geogr., 14, s. 95–107.

– 1994, *Niszczenie brzegów zbiornika „Besko" przez współczesne procesy geomorfologiczne*, Rocz. Nauk.-Dydak. WSP w Krakowie, 170, Prace Geogr., 15 s. 167–180.

http://rcin.org.pl

# THE INFLUENCE OF THE KLIMKÓWKA WATER RESERVOIR ON THE ABIOTIC ELEMENTS OF THE NATURAL ENVIRONMENT IN THE ROPA RIVER VALLEY

## Summary

The topic of this dissertation is connected with a very important current problem which is the influence of human economic activity on the natural environment. The subject of the conducted research has been the Klimkówka water reservoir on the Ropa river in the Beskid Niski (Polish Carpathian Mountains) and the river valley. The Klimkówka water reservoir started operating in 1994 and its main purpose is the detention of flooding and control of low-flows on the river. As a result of developing a water reservoir, practically all components of the natural environment become transformed and the ensuing changes are basically irreversible.

The main purpose of the dissertation is a complex presentation of changes in the abiotic elements of the natural environment in the Ropa river valley which have emerged due to the operation of the Klimkówka water reservoir. The dissertation presents the influence of the reservoir on the hydrological regime of the Ropa river, the physico-chemical properties of the river's water and the morphology of the Ropa river valley in the section where the reservoir is located.

The analysis of the abiotic elements of the natural environment of the Ropa river valley, conducted on the basis of a field research and materials available from the archives, has clearly indicated that the construction of the Klimkówka water reservoir has brought about important and often irreversible consequences to the natural environment. The established quantity and quality changes allow us to formulate the following basic conclusions:

1. The hydrological regime of the Ropa river below the Klimkówka water reservoir has undergone a clear transformation due to a rise in minimal flows and a drop in maximal flows. Increasing minimal flows in extreme conditions recorded in the basin (the inflow to the reservoir drops to approximately 150 $Is^{-1}$) may be even tenfold. During large floods (the inflow to the reservoir > 200 $m^3s^{-1}$), the reservoir is able to reduce the culmination of the wave by at least 65%; in the case of a smaller flood (the inflow to the reservoir < 70 $m^3s^{-1}$) it can capture it entirely, depending on the amount of water stored in the reservoir.

2. The functioning of the Klimkówka water reservoir has significantly changed the physico-chemical properties of water further down the Ropa river. The examined influence of the water reservoir on the temperature, electrolytic conductivity and water reaction (pH) diminishes as we move down the river starting from the reservoir. Among the mentioned physico-chemical properties of water, major changes in the longitudinal profile of the river can be observed in the case of temperature and electrolytic conductivity. No significant influence of the Klimkówka water reservoir on the water reaction values has been observed in the longitudinal profile of the Ropa river.

a) Water flowing from the bottom layer of the Klimkówka reservoir in winter is characterized by a higher temperature (up to about 2°C) compared to the temperature of water in the Ropa river above the reservoir and in the upper layer of the reservoir. In summer the situation is reversed and the difference between the temperatures exceeds 10°C. Measurements carried out in the Ropa river between 1982 and 2006 in Szymbark (approximately 16 km below the Klimkówka water dam) shows that, compared to conditions pre-

http://rcin.org.pl

vailing before the construction of the reservoir, the water temperature in the river is higher in the period between October and March (on average by 0,5°C–1,3°C), and lower between April and September (by 0,2°C–2,4°C). The result of these changes is a drop in the annual amplitude of water temperature – on average of 5°C. Water flows from the bottom layer of the reservoir during winter is characterized by higher temperature which limits the formation of ice on the Ropa river. As a consequence, there are fewer days when various forms of freezing occur compared to the period before the Klimkówka reservoir started its operation. Exceptions to this are a partial ice cover and anchor ice which have been appearing more frequently since the construction of the reservoir. The impact of the Klimkówka reservoir on the thermal regime of the Ropa river appreciably disturbs the close relationship between the river water temperature and air temperature. During summer the relationship between the air and water temperatures has been significantly weakened and in winter it has significantly increased. There are also noticeable changes in the daily cycle of temperature in the Ropa river below the reservoir. Under natural conditions (before the reservoir started working), during the period of maximal air temperatures, daily average water temperature was generally higher than the corresponding temperature of air. Currently, a reverse situation is observed.

b) After constructing the Klimkówka water reservoir, a significant reduction in the values of water electrolytic conductivity in the longitudinal profile of the Ropa river and its stabilization took place, compared to the conditions seen before the reservoir's existence. The values of water conductivity in the Ropa river below the reservoir before opening the facility (1982–1993) ranged between 209 $\mu Scm^{-1}$ and 769 $\mu Scm^{-1}$. Since the reservoir was opened (1994–2006) the corresponding values have ranged between 116 $\mu Scm^{-1}$ and 398 $\mu Scm^{-1}$. The decrease in the water conductivity in the Ropa river below the Klimkówka reservoir is connected with lowering mineralization of water by the reservoir – this problem requires further research.

3. The asymmetry of the slopes of the Ropa river valley, different geological structure and use of the area, together with hydrodynamic activity of the reservoir have been the major causes of the differentiation in the morphology of the shoreface between the right and the left side of the Klimkówka reservoir. Within the shoreface of the reservoir there is a quantitative and qualitative transformation of the slopes morphology of the Ropa valley. The reservoir's shores can be generally classified as abrasive or abrasive-accumulative. After a couple of years of functioning, the water reservoir is in its first phase of development.

4. Although not existing before the Klimkówka reservoir started operating, now common forms on the Ropa valley slopes which are observed in the reservoir's shoreface are cliffs with a height of 0–3 m that are still being developed and microterraces with different parameters. The greater the slope of shores and the fraction of the material smaller, the greater the number of microterraces and the more accurate record of the water level in the reservoir are.

5. Apart from the hydrodynamic activity of the basin and mass movements, a great role in modelling the shoreface relief of the Klimkówka reservoir is also played by vegetation. Root systems of trees growing on the edge of the cliff inhibit the process of its receding and hinder the process of scouring slopes of the Ropa valley by waves. Breaches created by trees sliding down the slope together with their root systems increase the height of the cliff and facilitate its formation by waves, and thus degradation of the Ropa valley

http://rcin.org.pl

slopes. The process of receding cliffs is the cause of irreversible degradation of trees growing directly next to the reservoir. Shore abrasion is also a source of organic material supply in the form of wood debris for the reservoir.

6. The approximate estimate of abrasion in the Klimkówka reservoir is about 57.000 $m^3$. The presented size of abrasion accounts for only 0.13% of the total reservoir's capacity, which is the evidence for the fact that the influence of the shore abrasion on the process of silting the reservoir is marginal.

7. Dividing the Ropa river valley with a water dam has blocked the natural transport of material brought in times of rising water. Currently this material is accumulated in the Klimkówka water reservoir. The greatest accumulation takes place in the area of the eddy where the sediments on the former floodplain of the river have formed a delta – a new form in the fluvial relief of the Ropa river valley, The formation of the delta is connected with a different than before process of material accumulation in the area of the river valley. The main fractions building the Ropa river's delta are dust (81%), sand (11%) and loam (7%).

The results of the research on the influence of the Klimkówka water reservoir on the abiotic elements of the natural environment in the Ropa river valley, presented in this thesis, constitute a basis for further work on the subject issue, the long-term purpose of which is the preparation of a monograph about the Klimkówka reservoir.

http://rcin.org.pl

Fot. 1. Dolina Ropy w miejscu dzisiejszej lokalizacji zbiornika „Klimkówka" (fot. Korpal, 1967)
Photo 1. Ropa river valley at the location of the Klimkówka reservoir (photo: Korpal, 1967)

Fot. 2. Brzeg abrazyjny po prawej stronie zbiornika „Klimkówka"
Photo 2. Abrasive shore on the right side of the Klimkówka reservoir

http://rcin.org.pl

Fot. 3. Brzeg abrazyjny po lewej stronie zbiornika „Klimkówka"
Photo 3. Abrasive shore on the left side of the Klimkówka reservoir

Fot. 4. Brzeg abrazyjnoakumulacyjny z mikroterasami na zbiorniku „Klimkówka"
Photo 4. Abrasive–accumulative shore with microterraces at the Klimkówka reservoir

http://rcin.org.pl

Fot. 5. Zerwy darniowe powodujące rozwój klifu na zbiorniku „Klimkówka"
Photo 5. Sod landslides resulting in the development of a cliff at the Klimkówka reservoir

Fot. 6. Powalone drzewa wraz z systemem korzeniowym powodujące rozwój klifu na zbiorniku „Klimkówka"
Photo 6. Fallen trees with their root system resulting in the development of a cliff at the Klimkówka reservoir

http://rcin.org.pl

Fot. 7. Zbiornik wodny "Klimkówka"
Photo7. Klimkówka water reservoir

Fot. 8. Degradacja drzew porastających zbocza doliny Ropy na skutek funkcjonowania zbiornika „Klimkówka"
Photo 8. Degradation of trees growing on the slopes of the Ropa valley as a result of the Klimkówka reservoir operation

http://rcin.org.pl

Fot. 9. Mikroterasy na lewym brzegu zbiornika „Klimkówka
Photo 9. Microterraces on the left side of the Klimkówka reservoir

Fot. 10. Pnie drzew w obrębie strefy brzegowej zbiornika „Klimkówka"
Photo 10. Trunks of trees in the area of the Klimkówka reservoir shoreface

http://rcin.org.pl

Fot. 11. Delta Ropy w cofce zbiornika „Klimkówka"
Photo 11. Delta of the Ropa river in the backwater area of the Klimkówka reservoir

Fot. 12. Osady budujące deltę Ropy zdeponowane na podłożu żwirowym w cofce zbiornika „Klimkówka"
Photo 12. Sediments building the delta of the Ropa river deposited on the gravel substrate in the backwater area of the Klimkówka reservoir

http://rcin.org.pl

W opracowaniu przedstawiono wyniki badań nad oddziaływaniem karpackiego zbiornika retencyjnego na abiotyczne składowe środowiska przyrodniczego. Zagadnienie zmian środowiskowych spowodowanych przez budowę i funkcjonowanie zbiorników retencyjnych na rzekach jest istotną częścią złożonego problemu wpływu gospodarczej działalności człowieka na środowisko przyrodnicze.

Przedmiotem badań był uruchomiony w 1994 roku na rzece Ropie w Beskidzie Niskim zbiornik Klimkówka. Główne cele, dla których wybudowano zbiornik to: wyrównanie przepływów niżówkowych Ropy, ochrona przeciwpowodziowa i niewielka produkcja energii elektrycznej. Zbiornik jest nowym, obcym elementem w krajobrazie Beskidu Niskiego, do którego środowisko przyrodnicze powoli się adaptuje.

Analizę oparto na wynikach badań terenowych przeprowadzonych w obrębie zbiornika Klimkówka oraz na rzece Ropie. Wykorzystano także archiwalne dane zbierane na Stacji Naukowej IGiPZ PAN w Szymbarku k/Gorlic oraz udostępnione przez RZGW w Krakowie. Praca dokumentuje wpływ zbiornika Klimkówka na zmianę reżimu hydrologicznego rzeki, właściwości fizykochemiczne wody oraz morfologię doliny Ropy w miejscu lokalizacji zbiornika.

PL ISSN 0373-6547
ISBN 978-83-61590-19-4

http://rcin.org.pl