

## **Zmiany warunków hydrogeologicznych wokół zbiorników zaporowych w Pieninach**

The changes of hydrogeological settings around the water reservoirs  
in the Pieniny Mts. area

WŁODZIMIERZ HUMNICKI

*Institut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Uniwersytet Warszawski,  
ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa, e-mail: w.humnicki@uw.edu.pl*

*Artykuł ten poświęcam pamięci mojej Mistrzyni i Nauczycielki  
– prof. zw. dr hab. Danucie Małeckiej,  
zmarłej dnia 10 czerwca 2010 r.*

**Abstract.** The construction and operation of dams in the area of the Pieniny Mts. has made a positive impact on the whole water and sewage management in the upper part of the Dunajec catchment area. It has forced the development and extension of water-supply systems and canalization, and construction of water and sewage treatment stations. On the other hand, new elements of hazard for the groundwater quality appeared, like those connected with urbanization, tourism infrastructure extensions, construction of highways in the areas of environment protection. The paper is focused on presentation of long-term (1975–2004) stationary monitoring of groundwater levels and spring discharges. The analysis covers three different periods: prior to construction of dams, when natural hydrogeological conditions existed, since start of the dam construction, and after it, when the reservoirs were filled with water and started to operate.

**Key words:** hydrogeological changes, groundwater quality, long-term monitoring

### WSTĘP

Zbiornik Czorszyński jest jednym z największych sztucznych zbiorników retencyjnych w Polsce, ale nie zajmuje miejsca pierwszego, ani pod względem pojemności, ani wysokości piętrzenia, ani powierzchni. Pod względem pojemności znacznie

wyprzedzają go zbiorniki w Solinie i Włocławku, pod względem wysokości zapory o 4 m wyższa jest Solina, natomiast pod względem powierzchni zajmuje miejsce poza pierwszą dziesiątką.

Pomimo tego budowa Zbiornika Czorszyńskiego była w Polsce inwestycją szczególną i wyjątkową. Złożyło się na to szereg przyczyn:

szczególne usytuowanie zbiornika w pobliżu Pienińskiego Parku Narodowego, blisko stuletnia historia projektu, długość budowy i wielokrotnie przesuwane terminy jej ukończenia, liczne dyskusje i kontrowersje, przyjęte rozwiązania techniczne oraz powtarzające się protesty ekologów, którzy uważali (i pewnie nadal tak uważają), że budowa w tym miejscu zbiornika była zamachem technokratów na bezcenną przyrodę Pienin i unikalne wartości krajobrazu.

#### HISTORIA BUDOWY

Dyskusje nad propozycją budowy zapory w rejonie Czorsztyna datują się od początku XX w. Po katastrofalnej powodzi, która wystąpiła na Podhalu w lipcu 1903 r., budowę zapory w tym rejonie rozważał Karol Pomianowski – wybitny polski hydrotechnik (wówczas adiunkt, później profesor Politechniki Lwowskiej, Warszawskiej i w końcu Gdańskiej) – z jego nazwiskiem należy wiązać pierwsze projekty hydrotechnicznego zagospodarowania doliny Dunajca.

W następnej kolejności problematyką tą zajmował się Gabriel Narutowicz, światowej sławy konstruktor i inżynier, projektant wielu zbiorników retencyjnych i hydroelektrowni w Alpach Szwajcarskich, Niemczech, Włoszech i Hiszpanii, w latach 1907–1919 profesor Katedry Budownictwa Wodnego Politechniki w Zurychu, a później tragiczny pierwszy prezydent II Rzeczypospolitej. Jeszcze przed wybuchem I wojny światowej rozważał on szczegółowo warunki lokalizacji zapory w rejonie Czorsztyna, a ponownie problemem tym zajął się już na zlecenie rządu niepodległej Polski. Niestety historia potoczyła się zupełnie inaczej i autorowi projektu nie dane było kontynuować swego dzieła.

Zainteresowanie problematyką budowy zapory radykalnie wzrosło po katastrofalnej powodzi w lipcu 1934 r., kiedy to zapadła decyzja o hydrotechnicznej zabudowie Wisły, natychmiastowej budowie zbiornika na Dunajcu w Rożnowie, a w następnej kolejności w Niedzicy. Przewidywano wówczas lokalizację zapory w obecnym miejscu przy pojemności zbiornika 350 mln m<sup>3</sup>, czyli znacznie większej od obecnej, wynoszącej

234 mln m<sup>3</sup>. Wybuch wojny przerwał na wiele lat proces inwestycyjny.

Powojenna historia projektu obfitowała w różne, często przeciwstawne opinie, zarówno co do celowości inwestycji jak i wariantów rozwiązania problemu. Zdecydowanie najwięcej kontrowersji wzbudził projekt z 1952 roku, kiedy to zamierzano wybudować zaporę w przekroju Zielonych Skalek ze zbiornikiem o pojemności 650 mln m<sup>3</sup>, czyli znacznie większym od projektu przedwojennego. W projekcie tym postawiono na pierwszym miejscu korzyści hydroenergetyczne, poprzez budowę elektrowni o mocy 200 MW. Wody Dunajca miały być skierowane 9 km sztolnią (kanałem derywacyjnym) wykorzystującą 89 m spad do elektrowni w Tylmanowej, z całkowitym ominięciem Pienin. Projekt przewidywał całkowite zalanie nie tylko Maniowych i Mizernej, jak to jest w chwili obecnej, ale również Frydmana, Dębna, Harklowej i Łopusznej wraz z bezcennymi zabytkami usytuowanymi w tych miejscowościach. Nie rozważano wtedy ani zabezpieczenia nienaruszalnego przepływu wody w przełomie Dunajca, ani utrzymania największej turystycznej atrakcji Pienin – tradycyjnego spływu tratwami flisackimi.

Na skutek licznych protestów specjalistów na szczęście odstąpiono od realizacji tego niefortunnego pomysłu i rozważano alternatywne koncepcje zagospodarowania hydrotechnicznego Dunajca: poprzez budowę 18 małych zbiorników retencyjnych na Podhalu (na dopływach Dunajca) lub jednego, znacznie większego zbiornika (o pojemności ok. 1 mld m<sup>3</sup>), ale już poniżej Pienin, w rejonie Jazowska.

Ostateczna decyzja, przesądzająca o budowie zapory i zbiornika w obecnym miejscu, zapadła w 1964 r. Wybrano najbardziej proekologiczny wariant budowy, opracowany przez Hydroprojekt, zgodny z projektem prof. Z. Żmigrodzkiego, który zapewniał utrzymanie przepływu nienaruszalnego w Dunajcu oraz funkcjonowanie spływu przez Przełom Pieniński. W wariantcie tym przywrócono właściwą wagę poszczególnym funkcjom zbiornika, a priorytetem, zamiast hydroenergetyki, stała się gospodarka wodna i ochrona przeciwpowodziowa. Prace rozpoczęto pięć lat później.

## ZADANIA ZESPOŁU ZBIORNIKÓW

Głównym zadaniem wszystkich zbiorników retencyjnych jest magazynowanie wody w okresach jej nadmiaru, w celu wykorzystania jej w innym okresie.

Szczegółowo najważniejsze zadania Zespołu Zbiorników Wodnych (ZZW) Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne określone zostały w sposób następujący (Łaniewski 1997; Fiedler-Krukowicz, Łaniewski-Woźk 1998):

- zwiększenie dyspozycyjnych zasobów wodnych Dunajca w stopniu umożliwiającym sterowanie gospodarką wodną rzeki,

- zlikwidowanie przepływów niżówkowych i zagwarantowanie w okresie lata odpowiednich warunków dla turystycznego spływu flisackiego,

- przyczynianie się (we współpracy ze zbiornikiem w Rożnowie) do podniesienia minimalnych i niskich przepływów w Wiśle poniżej ujścia Dunajca, rozcieńczenia tym samym ponadnormalnego zasolenia wody górnej Wisły,

- znaczące obniżanie kulminacyjnych przepływów powodziowych górnego Dunajca, a przy współpracy ze zbiornikiem w Rożnowie – również dolnego Dunajca i Wisły oraz praktyczne likwidowanie przeciętnych wezbrań, przez zmniejszanie ich do przepływów nieszkodliwych,

- umożliwienie wykorzystania spiętrzenia do produkcji energii elektrycznej,

- stworzenie warunków do wypoczynku oraz rekreacji turystycznej i wodnej,

- oprawienie klasy czystości wód zasilających zbiornik poprzez powstałe zaplecze infrastrukturalne (kanalizacja, wodociągi, oczyszczalnie).

Zakończenie inwestycji i oddanie zespołu zbiorników do eksploatacji zbiegło się wielką powodzią w lipcu 1997 r. Fakt, że dzięki zaporze zmniejszyło się zagrożenie powodziowe szeregu niżej położonych miejscowości, osłabiło w znacznym stopniu argumenty ekologów i przeciwników inwestycji, że budowa zapory była niepotrzebna.

Rolę Zbiornika Czorsztyńskiego, także tą przeciwpowodziową, należy widzieć we właściwym wymiarze, uwzględniającym przede wszystkim powierzchnię zlewni zamkniętą zaporą. Bardzo często jest ona przeceniana. Należy również

pamiętać, że zadania Zbiornika Czorsztyńskiego i Sromowieckiego są możliwe do zrealizowania tylko w ścisłej współpracy z niżej położonymi zbiornikami w Rożnowie i Czchowie, a także z innymi zbiornikami retencyjnymi na karpackich dopływach Wisły. W gospodarce wodnej całego dorzecza Wisły kluczowym zagadnieniem jest kompleksowe zagospodarowanie wszystkich jej karpackich dopływów.

## METODY BADAŃ

Do momentu rozpoczęcia budowy zbiorników rejon pieniński nie był w sposób istotny zniekształcony pod wpływem czynników antropogenicznych. Brak przemysłu i dużych aglomeracji miejskich powodowało, że stopień zagrożenia jakości środowiska naturalnego można było określić jako niski lub co najwyżej średni. W pierwszej połowie lat 80. XX w. został zapoczątkowany okres antropogenicznych przemian doliny Dunajca wywołanych budową zespołu zbiorników.

Już w czasie trwania prac inwestycyjnych ukazała się publikacja pod redakcją K. Zarzyckiego (1982), w której specjaliści o różnym profilu zainteresowań, na podstawie wnikliwej znajomości przedmiotu, starali się podać prognozy przemian środowiska przyrodniczego Pienin. Wszyscy zgodnie podkreślali, że nastąpi degradacja naturalnych ekosystemów, do czego przyczynią się nowe arterie komunikacyjne oraz przebudowa doliny Dunajca. Zagrożeniem będzie również nadmierna urbanizacja, przekroczenie pojemności turystycznej terenu, zanieczyszczenie atmosfery i zmiany klimatyczne.

Powstanie ZZW Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne przyczyniło się do tego, że region ten zyskał znacznie na atrakcyjności pod względem turystycznym i rekreacyjnym. Mimo, iż podjęto liczne działania zmierzające do ograniczenia negatywnych skutków inwestycji, postępująca urbanizacja, rozbudowa infrastruktury turystycznej i stale rosnąca liczba przyjeżdżających turystów, są głównymi powodami wzrostu zagrożenia dla środowiska naturalnego, w tym dla jakości wód powierzchniowych i podziemnych.

Dotychczasowe opracowania dotyczące określenia wpływu zbiorników wodnych na stosunki

wodne obszarów przyległych prowadzą do wniosku, że wymaga to uwzględnienia analizy warunków przyrodniczych całej górnej części zlewni Dunajca oraz wykorzystania informacji zarówno monitoringu regionalnego jak i lokalnego, w świetle charakterystyki klimatycznej terenu (Małecka i zespół 1995–1997, Małecka 1996).

W artykule zostały wykorzystane długoletnie ciągi obserwacyjne stanów zwierciadła wód podziemnych oraz wydajności źródeł z posterunków prowadzonych od początku lat 70. XX w. do końca roku hydrologicznego 2004 r. przez zespół badawczy Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem prof. Danuty Małeckiej.

Obserwacje te obejmują okres reprezentujący naturalne warunki hydrogeologiczne istniejące przed rozpoczęciem inwestycji, okres budowy zbiorników, a także pierwsze lata po napełnieniu i rozpoczęciu eksploatacji zbiorników. Praktycznie są to jedyne materiały, które umożliwiają prześledzenie zmian dynamiki wód podziemnych we wszystkich wymienionych okresach i określenie tym samym zmian warunków hydrogeologicznych w otoczeniu zbiorników.

W tym miejscu warto wspomnieć, iż zainstalowane w latach 2001–2003 na obszarze PPN trzy elektroniczne limnimetry i dwa pluwiometry z ciągłą rejestracją danych (Humnicki 2006), ani tradycyjne obserwacje wodowskazowe prowadzone w latach 1998–2004 na kilku wybranych potokach na obszarze Parku (Humnicki 2007), nie mogą zrekomensować w tym aspekcie luki powstałej po zakończeniu wymienionych obserwacji.

#### DOTYCHCZASOWY WPŁYW BUDOWY I EKSPLOATACJI ZBIORNIKÓW

Cena, jaką płaci środowisko przyrodnicze za korzyści wynikające z funkcjonowania zbiorników, jest bardzo wysoka i dotyczy ona również wód podziemnych, choć w nieco mniej spektakularny sposób, niż ma to miejsce w przypadku innych elementów naturalnego środowiska.

#### *Zmiany w gospodarce wodno-ściekowej*

**Zaopatrzenie w wodę.** Głównym źródłem zaopatrzenia w wodę mieszkańców wsi pienińskich

były do niedawna gospodarskie studnie kopane, a jedynie nieliczne gospodarstwa czerpały wodę ze źródeł. Studnie kopane ujmują głównie czwartorzędowy poziom wodonośny, rozwinięty w obrębie aluwii Dunajca i jego dopływów, a w znacznie mniejszym stopniu w obrębie utworów zwietrzelinowych, położonych na utworach pienińskiego pasa skałkowego (Humnicki 2007). Jakość pozbawionych izolacji wód w utworach czwartorzędowych ulegała stałemu pogorszeniu, a zapotrzebowanie na wodę stale wzrastało, więc mieszkańcy zaczęli poszukiwać nowych sposobów zaopatrzenia w wodę.

W pierwszej kolejności zaczęto nielegalnie ujmować charakteryzujące się dobrą jakością wody źródeł, a w nieco mniejszym stopniu wody powierzchniowe potoków. Nowo powstająca zabudowa wyposażona jest w instalacje hydrauliczne, zaś fakt, iż ujmowane źródła znajdują się powyżej wsi, umożliwia wykorzystywanie tych instalacji bez konieczności stosowania hydroforów. Większość domostw zaopatrywana jest w chwili obecnej wodę z drobnych ujęć bazujących na ujmowanych źródłach. Ujęcia takie są budowane przez tzw. spółki wodne, zrzeszające najczęściej 2–3 gospodarstwa.

Większość ujętych źródeł zlokalizowanych jest w obrębie kompleksu skał fliszowo-marglistych, rzadziej ujmowane są źródła drenujące utwory węglanowe i rumosze skalne. Na obszarze otuliny Parku, a także na obszarze samego PPN, zarejestrowano ponad 50 ujętych źródeł i liczba ich niestety w sposób niekontrolowany stale rośnie. Nielegalne ujęcia źródeł nie mają żadnej dokumentacji, w związku z tym o ich wykorzystaniu i przebiegu linii wodociagowych można wnioskować jedynie na podstawie ustnych relacji mieszkańców.

Jedną z przyczyn rozwoju tego typu działalności jest bez wątpienia wzrost zużycia wody wywołany rozwojem infrastruktury turystycznej wokół zespołu zbiorników. W chwili obecnej większość studni jest wykorzystywana tylko sporadycznie. Wodę z nich przeznacza się głównie do celów gospodarczych i hodowlanych. Nieużywane studnie znajdują się zazwyczaj w fatalnym stanie sanitarnym. W przypadku niektórych studzien doszło nawet do przekształcenia ich w szamba.

**Odprowadzanie ścieków.** Ścieki komunalne na ogół odprowadzane były bezpośrednio do cieków powierzchniowych, co prowadziło do degradacji tych wód. Jeszcze w latach 80. ubiegłego wieku żadne z osiedli otaczających ZZW nie posiadało wodociągu i kanalizacji, czy też oczyszczalni ścieków. Na złą jakość wód Dunajca niekorzystny istotny wpływ miało miasto Nowy Targ, gdzie produkuje się znaczne ilości ścieków o ładunku toksycznym.

Realizacja projektu budowy ZZW Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne wymusiła konieczność zachowania czystości wód w celu uniknięcia niebezpiecznych procesów biologicznych i chemicznych możliwych do zaistnienia w spiętrzonych wodach zbiornika. W związku z powyższym, pod koniec lat 80. XX w. zwrócono baczniejszą uwagę na konieczność przeprowadzenia prac związanych z powstaniem sieci wodociągowej i kanalizacyjnej na szerszą skalę, prac związanych z rozpoczęciem budowy nowej oczyszczalni ścieków w Nowym Targu, a przede wszystkim budową oczyszczalni lokalnych.

Fakt, że proces inwestycyjny Zbiornika Czorsztyńskiego i Sromowieckiego z wielu powodów (również i finansowych) się przedłużał, a oddanie inwestycji do eksploatacji było wielokrotnie przekładane, miało i swoje pozytywne strony. W 1986 r. zapadła decyzja o budowie kompleksowego systemu ochrony jakości wód w zlewniach położonych wokół i powyżej zbiornika. Polegał on na rozbudowie sieci wodociągowych i kanalizacyjnych, budowie ujęć i stacji uzdatniania wody oraz szeregu oczyszczalni ścieków w całej górnej zlewni Dunajca.

Porządkowanie gospodarki wodno-ściekowej obszaru zlewni hydrologicznej zbiornika prowadzone było zgodnie z opracowanym w 1993 r. kompleksowym programem ochrony zlewni górnego Dunajca (Szalińska 2001). Efektem prac jest przede wszystkim etapowa realizacja wielu systemów kanalizacyjnych oraz budowa oczyszczalni ścieków m.in. w Czorsztynie, Niedzicy, Sromowcach Wyżnych, a ostatnio w miejscowościach położonych poniżej zespołu zbiorników m.in. w gminie Krościenko n.D. oraz w Sromowcach Niżnych.

Niektóre miejscowości wokół zbiornika do dziś jednak nie posiadają sieci kanalizacyjnej

i w związku z tym problem utylizacji ścieków gospodarskich pozostaje nierozwiązany. Należy wymienić tu przede wszystkim Falsztyn. Odległości tej wsi od sąsiednich miejscowości i duże różnice wysokości sprawiają, że prace wymagają znacznych nakładów finansowych. Dotąd używane są szamba, które stanowią potencjalne ogniska zanieczyszczeń dla płytko występujących wód gruntowych. W przypadkach skrajnych na szamba zamienia się nieużywane studnie kopane. Po napełnieniu szamba są opróżniane, a ich zawartość trafia do zagłębień wykonanych na powierzchni terenu (skąd infiltruje do wód gruntowych) lub bezpośrednio do cieków powierzchniowych.

#### *Zmiany dynamiki wód podziemnych*

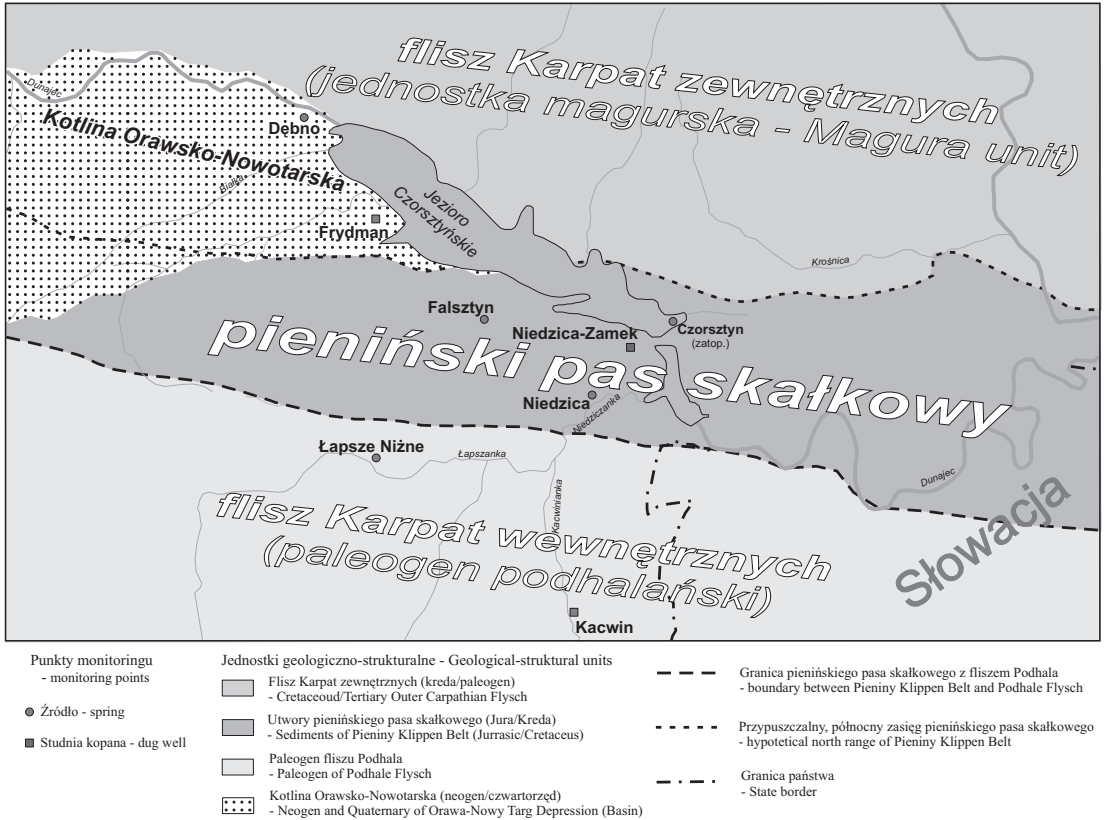
Analiza wyników badań stacjonarnych oparta na długoletnich ciągach obserwacyjnych pozwoliła wyróżnić w reżimie hydrogeologicznym doliny Dunajca trzy okresy:

- do 1982 roku, poprzedzający budowę zapory,
- lata 1983–1995, w których na skutek prac inwestycyjnych dolina Dunajca podlegała stopniowemu przekształceniu powodującemu obniżenie regionalnej bazy drenażowej,
- od 1996 roku, czas napełniania i pracy zbiornika.

Konsekwencją obniżenia bazy drenażowej po 1982 r., spowodowanej budową zbiorników, była regresja wydajności źródeł położonych zarówno na obszarze pienińskiego pasa skałkowego w bezpośrednim sąsiedztwie inwestycji (źródła kontrolnego w Czorsztynie i źródła kontrolnego w Niedzicy), jak i na obszarze Kotliny Orawsko-Nowotarskiej (źródło kontrolne w Dębnie) oraz na terenie fliszu Podhala (źródło kontrolne w Łapszach Niżnych) (Ryc. 1).

Zaznaczyła się także regresja stanów wód gruntowych w studniach położonych na obszarze Kotliny Orawsko-Nowotarskiej, przy czym zasięg oddziaływania inwestycji dotarł aż do granic europejskiego działu wodnego pomiędzy zlewiskami morza Bałtyckiego i Czarnego (Małecka 1996, Kazimierski i in. 1999).

Maksymalne obniżenie zwierciadła wód gruntowych (rzędu 2 m) odnotowano w najbliższej



**Ryc. 1.** Lokalizacja punktów monitoringowych na tle jednostek geologiczno-strukturalnych.  
Position of monitoring points on the background of geological-structural units.

położonej zbiornika – studni kontrolnej we Frydmanie (Ryc. 2).

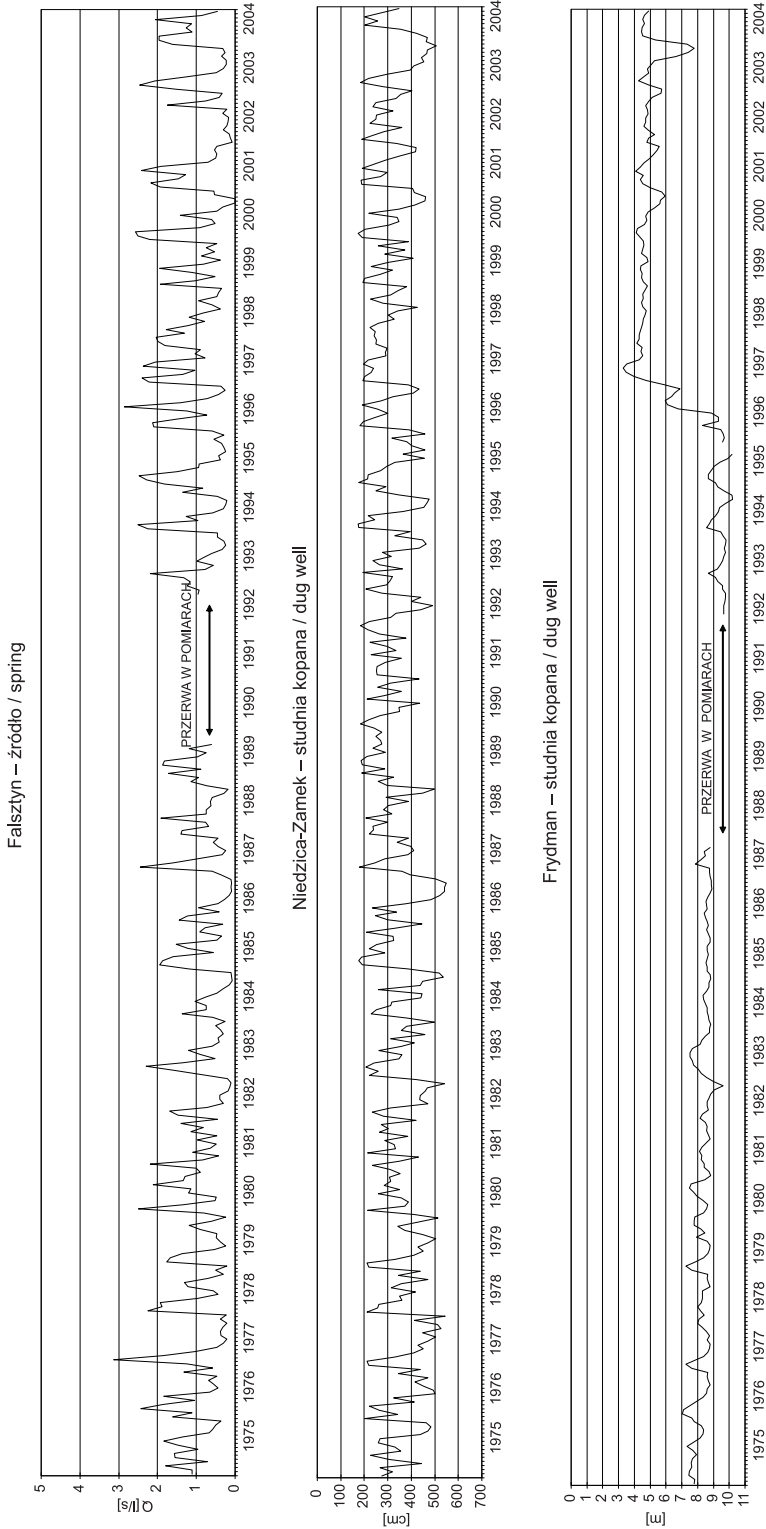
W tym miejscu należy podkreślić, iż w obszarach pozostających poza zasięgiem wpływu budowy np. w obrębie stożka zakopiańskiego, położonego u podnóża Tatr, zwierciadło wód podziemnych oscyloowało wokół wartości średniej z wielolecia i odzwierciedlało intensywność zasilania Tatr i ich przedpola wodami pochodzenia meteorycznego (Małecka 1996).

Od 1996 r. obserwujemy odwrócenie tendencji i wzrost stanów wód gruntowych wokół zespołu zbiorników. Najbardziej dobitnym tego przykładem jest przebieg hydrogramu stanów charakterystycznych w studni we Frydmanie.

Nieco odmienny jest przebieg hydrogramów dla studni Niedzica-Zamek oraz źródła Falsztyn. W obu posterunkach dynamika stanów wód podziemnych wyraźnie odbiega od ogólnie

notowanego trendu regresji zapoczątkowanego w latach osiemdziesiątych. Stany w studni Niedzica-Zamek wykazują nawet lekką tendencję wzrostu poziomu zwierciadła wód gruntowych. Fakt ten Małecka (1996) wiąże z zasilaniem studni z lokalnego zbiornika, który stanowi masyw Pienin Spiskich. Stosunkowo duże rozmiary i zasobność tego zbiornika sprawia, że zmagazynowane rezerwy wody nie ulegają okresowemu wyczerpaniu i wystarczają na całoroczny drenaż przez mało wydajne ciekły oraz zasilanie studni kopanych i źródeł w terenie wysoko wyniesionym ponad dno doliny Dunajca. W przypadku źródła w Falsztynie dodatkową rolę w zasilaniu odgrywa położenie źródła w strefie dyslokacyjnej, przecinającej utwory pienińskiego pasa skałkowego.

We wszystkich posterunkach badawczych wyraźnie zaznaczyły się skutki suszy hydrologicznej latem i jesienią 2003 r. Oznacza to, że



**Ryc. 2.** Średnie miesięczne stany zwierciadła wód gruntowych i wydajności źródła w latach 1971–2004 w posterunkach zlokalizowanych w pobliżu Zbiornika Czorsztyńskiego (na podstawie niepublikowanych materiałów D. Małeckiej).  
 Monthly average groundwater levels and spring discharge during the years 1971–2004 in the stations near the Czorsztyn reservoir (after D. Małecka, unpublished data).

reakcja wód podziemnych na opady atmosferyczne (lub ich brak) zachowuje pewne regionalne prawidłowości, niezależnie od sytuacji geologicznej i morfologicznej.

Porównując średnie miesięczne stany wód gruntowych i wydajności źródła z lat hydrologicz-

nych 2002–2004 na tle okresów wcześniejszych, można zauważyć następujące fakty (Ryc. 3):

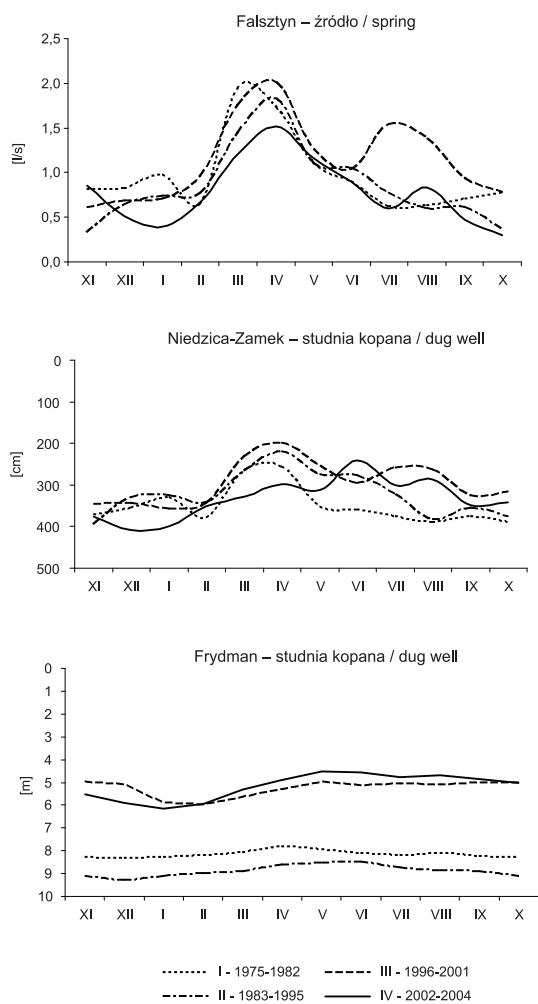
- mimo suszy hydrologicznej 2003 r. stany wód w studni we Frydmanie nadal wykazywały niewielką, ale zauważalną tendencję wzrostową,
- wydajności źródła w Falsztynie wyraźnie się w tym okresie obniżyły, przy zachowaniu podobnej rytmiki wahań w skali roku,
- stany wód gruntowych w studni Niedzica-Zamek oscylowały wokół wartości średnich z wielolecia, przy czym zmienił się w przeciągu lat typ wahań: z wyraźnie roztopowego, przez roztopowo-opadowy na opadowo-roztopowy.

#### PROGNOZOWANY WPŁYW ZBIORNIKÓW NA DYNAMIKĘ WÓD

Pozostaje problem odpowiedzi na pytanie, jak eksploatacja ZZW Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne wpływać będzie w przyszłości na wody podziemne Pienin i ich dynamikę.

Po zakończeniu w 1997 r. inwestycji, zarówno stany zwierciadła w obu zbiornikach jak i stany Dunajca, zależą głównie od sposobu ich eksploatacji. Dyspozycyjne ilości wody, zgromadzone w zbiorniku w tzw. warstwie wyrównawczej, pozwalają wyrównywać odpływ likwidując długotrwałe niżówki jesienne i zimowe, dzięki alimentacji gwarantującej w okresie półrocza zimowego (1 X–31 III) co najmniej 9 m<sup>3</sup>/s, a w okresie letnim – 12 m<sup>3</sup>/s średnio dobowo (Fiedler-Krukowicz, Łaniewski-Wołk 1998).

Zmiany reżimu hydrogeologicznego dotyczą więc przede wszystkim wód porowych w obrębie jednostki dolin rzecznych, które są w bezpośrednim kontakcie hydraulicznym z wodami Dunajca i ujściowego odcinka Niedziczanki. Nie można wykluczyć również bezpośredniego wpływu zbiornika na wody szczelinowe w jego najbliższym otoczeniu, w rejonie Góry Zamkowej w Czorsztynie, w ujściowych odcinkach dolin: Harczygrunt i Głębokiego Potoku. W związku z faktem, że została w tym rejonie zmieniona nie tylko regionalna baza erozyjna, ale również drenażowa, może to mieć wpływ na układ krążenia wód podziemnych, przez zmniejszenie regionalnego spadku hydraulicznego. Czy będzie to miało przełożenie na zmiany reżimu źródeł lub wielkości



**Ryc. 3.** Wahania zwierciadła wód gruntowych i wydajności źródła w posterunkach obserwacyjnych zlokalizowanych w pobliżu Zbiornika Czorsztyńskiego w latach: I – 1975–1982, II – 1983–1995, III – 1996–2001, IV – 2002–2004 (na podstawie niepublikowanych materiałów D. Małeckiej). Fluctuation of groundwater levels and spring discharges observed in stations near the Czorsztyn reservoir in the following years: I – 1975–1982, II – 1983–1995, III – 1996–2001, IV – 2002–2004 (after D. Małecka, unpublished data).



odpływu podziemnego – trudno rozstrzygnąć to jednoznacznie na obecnym etapie badań, przy stosunkowo krótkich ciągach obserwacyjnych, obejmujących okres już po napełnieniu zbiorników.

Ze względu na znaczne wyniesienie terenu ponad dolinę Dunajca, znakomita większość obszaru Pienin posiada własny reżim hydrogeologiczny, w dużej mierze niezależny od stanów Dunajca oraz stanów zwierciadła wody w obu zbiornikach. Wydaje się, że można zastosować tu pełną analogię do obszaru Pienin Spiskich, gdzie postępowanie obserwacyjne nadal wykazują własną rytmikę wahań uzależnioną przede wszystkim od czynników naturalnych i należy przypuszczać, iż wpływ ten nie będzie znaczący. Wpływ akwenów wodnych o znacznej powierzchni może się natomiast ujawnić jedynie na drodze pośredniej, głównie poprzez zmiany parametrów klimatycznych.

#### NOWE ZAGROŻENIA DLA JAKOŚCI WÓD PODZIEMNYCH

Brak przemysłu i większych aglomeracji miejskich powoduje, że stopień zagrożenia środowiska naturalnego Pienin, w tym również jakości wód podziemnych i powierzchniowych, do chwili obecnej określa się co najwyżej jako średni (Chowaniec, Witek 1997).

Wody podziemne Pienin, ze względu na związek z intensywnym współczesnym zasilaniem infiltracyjnym, oraz krótkie czasy przebywania w środowisku skalnym, są niezwykle wrażliwe na wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia pochodzenia antropogenicznego.

Najsilniej narażone na zanieczyszczenia są wody porowe związane z doliną Dunajca i jego dopływów. Poziom wodonośny rozwinięty w aluwkach nie posiada tam praktycznie żadnej izolacji od powierzchni terenu. Niestety niewiele lepsza sytuacja jest na pozostałym obszarze Pienin, gdzie wody szczelinowe w strefie przypowierzchniowej stanowią wspólny, pozostający w łączności hydraulicznej, poziomy wodonośny o swobodnym charakterze i mogą przemieszczać się z jednego ośrodka skalnego do drugiego (Humnicki 2007).

Stopień zagrożenia dla jakości wód jest przestrzennie zróżnicowany i zależy od lokalnych

warunków hydrogeologicznych, rodzaju potencjalnego zagrożenia oraz sposobu użytkowania i stanu zagospodarowania terenu. Szczególnym zagrożeniem są miejsca dużej koncentracji ruchu turystycznego powstałe wokół zbiorników wraz z towarzyszącymi elementami infrastruktury turystycznej, takimi jak parkingi, punkty gastronomiczne, punkty widokowe i przystanie wodne.

Budowa zespołu zbiorników wymusiła powstanie zupełnie nowej, kompleksowej sieci komunikacyjnej zastępującej drogi w czaszy zbiornika. Na szczególną uwagę zasługuje nowo powstała szosa z Krośnicy do Sromowiec Wyżnych i Kątów, która przecięła i podzieliła na dwie części obszar Pienińskiego Parku Narodowego. Jest to szosa bardzo ruchliwa, zwłaszcza w sezonie letnim, w czasie trwania spływu Dunajcem. Stanowi ona jedno z największych potencjalnych ognisk zanieczyszczeń dla wód podziemnych.

Jednym z efektów przeprowadzonych w latach 1995–2004 szczegółowych badań hydrogeologicznych Pienin było określenie naturalnego tła hydrogeochemicznego wód podziemnych (Tab. I).

Wyznaczenie wartości tła hydrogeochemicznego odgrywa dużą rolę w hydrogeologicznych badaniach regionalnych, w opracowaniach dotyczących ochrony naturalnego środowiska przyrodniczego, a zwłaszcza przy wykrywaniu i rejestracji wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń antropogenicznych. Ostatni aspekt ma szczególne znaczenie w tak cennym przyrodniczo obszarze, jakim są Pieniny, gdzie naturalna równowaga hydrogeochemiczna nie została jeszcze zniekształcona przez człowieka.

W celu ułatwienia śledzenia ewentualnych przekształceń składu chemicznego wód podziemnych w przyszłości, oraz uwzględniając fakt, że nawet niskie stężenia niektórych składników przekraczające naturalne tło hydrogeochemiczne, mogą być wskaźnikami sygnalizującymi początkowe stadium antropopresji (Błaszyk, Macioszczyk 1993), w kilku przypadkach dodatkowo wyróżniono wartości podwyższone w stosunku do tła, tzn. pośrednie między tłem a wartościami anomalnymi.

Po wyznaczeniu tła badań poddano szczegółowej, indywidualnej analizie wszystkie źródła

**Tabela I.** Wartości tła hydrogeochemicznego wybranych elementów wód podziemnych Pienin (Humnicki 2007)  
Hydrogeochemical background values for selected constituents of groundwaters in the area of the Pieniny Mts.

Element hydrochemiczny Chemical component		Zakres tła Background range	Zakres wartości podwyższonych w stosunku do tła Exceeded values range
Na <sup>+</sup>		2–10	10–14
K <sup>+</sup>		0,6–2,6	–
Ca <sup>2+</sup>		70–110	–
Mg <sup>2+</sup>		<24	–
Cl <sup>-</sup>		3–8,5	8,5–10
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		<72	–
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	200–360	–
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		<10	10–17
SiO <sub>2</sub>		6–9	–
Ba		0,06–0,28	–
Li		0,004–0,013	–
Sr		0,18–0,28	–
Mineralizacja ogólna Total dissolved solids		220–330	330–370
Przewodność elektrolityczna właściwa (w temp. 25°C) Specific Conductivity (in temp. 25°C)	μS/cm	300–490	490–570

o anomalnych i podwyższonych w stosunku do tła zawartościach poszczególnych składników. Umożliwiło to wykrycie prawidłowości mających konkretne uzasadnienie geologiczne, hydrogeologiczne, a także wskazujących na lokalne, wyraźne wpływy antropogeniczne.

Przykładem może być stężenie chlorków, które jest jednym z najczulszych wskaźników zanieczyszczenia antropogenicznego wód podziemnych (Macioszczyk, Jeż 1995). W większości źródeł pienińskich nie przekracza ono kilku mg/dm<sup>3</sup>. Górną granicę tła chlorkowego w Pieninach ustalono na 8,5 mg/dm<sup>3</sup>, a górną granicę wartości podwyższonych w stosunku do tła na 10 mg/dm<sup>3</sup>. Anomalne wartości jonu Cl<sup>-</sup> pojawiły się w 23 źródłach, przy czym w 7 źródłach zanotowano je tylko sporadycznie. Najwyższe stężenia chlorków stwierdzono w trzech wypływach:

- w źródle w zlewni Zagórnego Potoku, położonym w obrębie pól uprawnych, bezpośrednio poniżej uczęszczanej (również zimą) szosy z Wygonu do przystani flisackiej w Kątach – 20,6 mg/dm<sup>3</sup>;

- w źródle kontrolnym w Falsztynie, w obrębie zabudowy wiejskiej (pojenie bydła) – do 18,8 mg/dm<sup>3</sup>;

- w jednym źródle w zlewni Macelowego Potoku, zlokalizowanym na terenie otuliny parku narodowego, w strefie użytków zielonych (być może wykładanie soli dla bydła) – 16,3 mg/dm<sup>3</sup>.

W przypadku Pienińskiego Parku Narodowego stężenie chlorków powyżej 10 mg/dm<sup>3</sup> powinno budzić niepokój. Przekroczenie tej wartości notowano przede wszystkim na terenie otuliny, w pobliżu zabudowań wsi Tylka i Sromowce Średnie, m.in. w źródle kontrolnym Balarówka (Humnicki 2007). Sporadyczne przekroczenia zarejestrowano również w kilku źródłach w ściślejszych granicach parku, m.in. w dwóch źródłach w zlewni Białego Potoku przy ścieżkach leśnych, w jednym w Wąwozie Szopczańskim przy szlaku turystycznym i – nieprzypadkowo – aż w trzech źródłach położonych poniżej wzmiankowanej szosy na terenie zlewni Głębockiego Potoku.

W źródłach tych chlorki są bez wątpienia pochodzenia antropogenicznego i istnieje niebezpieczeństwo dalszego zanieczyszczenia. Przedział wartości podwyższonych w stosunku do tła umożliwił zwrócenie uwagi na kolejne jedenaście źródeł, z których siedem położonych jest na obszarze PPN, znów głównie w zlewni Głębockiego Potoku. W tym miejscu warto zaznaczyć, iż

dla chlorków dopuszczalna wartość normatywna dla wód pitnych wynosi  $250 \text{ mg/dm}^3$  (Rozporządzenie 2007), natomiast górna wartość graniczna dla I klasy jakości wód dla potrzeb monitoringu –  $60 \text{ mg/dm}^3$  (Rozporządzenie 2008), czyli znacznie powyżej prezentowanych wartości. Analogiczna sytuacja dotyczy również szeregu innych elementów, dla których wyznaczono tło.

Podane w tabeli I zakresy naturalnego tła hydrogeochemicznego wód podziemnych Pienin mogą stanowić cenny materiał porównawczy dla śledzenia wielkości i kierunku zmian wywołanych działalnością człowieka, zwłaszcza w początkowych stadiach tego procesu.

Na zakończenie warto zwrócić uwagę, że praca zespołu zbiorników może mieć zdecydowanie większy wpływ na jakość wód na terenie Podhala, niż w samych Pieninach i bezpośrednim otoczeniu zbiornika. Istnieje realne niebezpieczeństwo, iż wskutek podpiętrzenia bazy drenażowej może dojść do uruchomienia migracji zanieczyszczeń z niekontrolowanych wysypisk śmieci i odpadów garbarskich zrzuconych często wprost do potoków zasilających zbiorniki (Małecka i in. 1996, Kazimierski i in. 1999). Do chwili obecnej nie zostało to jednak potwierdzone konkretnymi wynikami badań.

#### PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Cena, jaką płaci środowisko przyrodnicze za korzyści gospodarcze wynikające z budowy i eksploatacji zespołu zbiorników jest wysoka i dotyczy ona także wód podziemnych, choć w znacznie mniej widoczny sposób, niż to ma miejsce odniesieniu do innych elementów środowiska przyrodniczego. Wpływ inwestycji dotyczy przede wszystkim:

- zmian w gospodarce wodno-ściekowej,
- zmian stanów wód gruntowych i wydajności źródeł,
- powstania nowych zagrożeń dla jakości wód podziemnych.

Zmiany w gospodarce wodno-ściekowej mają zarówno aspekt pozytywny, jak i negatywny. Z jednej strony budowa zbiornika wymusiła powstanie kompleksowego systemu ochrony jakości wód w zlewniach położonych wokół

i powyżej Zbiornika Czorsztyńskiego i Sromowieckiego, który polegał on na rozbudowie sieci wodociągowych i kanalizacyjnych, budowie ujęć i stacji uzdatniania wody, a także szeregu oczyszczalni ścieków. Z drugiej strony postępująca urbanizacja, rozbudowa infrastruktury turystycznej wokół zbiorników i stale rosnąca liczba przyjeżdżających turystów wzmacnia presję na ujmowanie wszelkich naturalnych wód podziemnych, bardzo często w sposób niekontrolowany i nielegalny.

W dynamice wód podziemnych na obszarach wokół obu zbiorników wyróżnić można trzy okresy: pierwszy – do 1982 roku, poprzedzający budowę zapory, drugi – obejmujący lata 1983–1995, w których na skutek prac inwestycyjnych dolina Dunajca podlegała stopniowemu przekształceniu powodującemu obniżenie regionalnej bazy drenażowej i wreszcie trzeci – od 1996 roku, czas napełniania i eksploatacji zespołu zbiorników. Obniżenie zwierciadła wód gruntowych zaznaczyło się przede wszystkim na obszarze Kotliny Orawsko-Nowotarskiej, w sposób najbardziej wyraźny w studniach położonych w najbliższym sąsiedztwie zbiornika, ale wpływ ten dotarł aż do granic europejskiego działu wodnego pomiędzy zlewiskami morza Bałtyckiego i Czarnego w rejonie Czarnego Dunajca.

Po napełnieniu zbiornika, w związku z faktem, że została w tym rejonie podniesiona baza erozyjna i drenażowa, może to mieć wpływ na układ krążenia wód podziemnych, przez zmniejszenie regionalnego spadku hydraulicznego. Ze względu jednak na znaczne wyniesienie terenu ponad dolinę Dunajca, znakomita większość obszaru Pienin posiada własny reżim hydrogeologiczny, w dużej mierze niezależny od stanów Dunajca oraz stanów zwierciadła wody w obu zbiornikach. W związku z powyższym należy przypuszczać, iż wpływ ten na obszarze Pienin nie będzie duży i będzie miał znaczenie jedynie lokalne.

Budowa zespołu zbiorników wymusiła powstanie zupełnie nowej, kompleksowej sieci komunikacyjnej, zastępującej drogi w czaszy zbiornika. Nowo powstała szosa z Krośnicy do Sromowiec Wyżnych, przecinająca obszar Parku, stanowi jedno z największych potencjalnych ognisk zanieczyszczeń dla wód podziemnych. Wyznaczone wartości tła hydrogeochemicznego

mogą być pomocne przy wykrywaniu i rejestracji wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń antropogenicznych, zwłaszcza w ich początkowej fazie.

## PIŚMIENNICTWO

Błaszyk T., Macioszczyk A. 1993. Klasyfikacja jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu środowiska. — Wydawnictwo Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska, Warszawa.

Chowanec J., Witek K. 1997. Objasnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1: 50 000. Arkusz Szczawnica-Krościenko (1050). — Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

Fiedler-Krukowicz H., Łaniewski-Wolk J. 1998. Przepływy Dunajca w pienińskim Parku Narodowym w warunkach normalnej i powodziowej eksploatacji Zespołu Zbiorników Wodnych Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne. — *Pieniny Przyroda i Człowiek*, **6**: 111–124.

Humnicki W. 2006. Reżim źródeł pienińskich w świetle obserwacji limnimetrycznych. — *Pieniny Przyroda i Człowiek*, **9**: 29–39.

Humnicki W. 2007. Hydrogeologia Pienin. — Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.

Kazimierski B., Małecka D., Rózkowski A. 1999. Cel, metody i wyniki monitoringu wód podziemnych w Polsce. — *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, **388**: 79–114.

Łaniewski J. 1997. Czorsztyn. — *Gospodarka Wodna*, **12**: 384–390.

Macioszczyk A., Jeż Ł. 1995. Chlorki czułym wskaźnikiem zanieczyszczeń antropogenicznych wód podziemnych. — *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, **7**: 259–267.

Małecka D. 1996. Wpływ zbiornika czorsztynskiego na środowisko wodne obszarów przyległych. [W:] Konferencja Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, Jachranka 3–5 czerwca 1996 r. — Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, ss. 25–44.

Małecka D. i zespół, 1995–1997. Ocena wpływu zespołu zbiorników Czorsztyn-Niedzica-Sromowce Wyżne na środowisko wodne obszarów przyległych. Cz. I–II. [Maszynopis]. — Archiwum Okręgowej Dyrekcji Gospodarki Wodnej w Krakowie.

Małecka D., Humnicki W., Małecki J.J., Łabaszewski W. 1996. Charakterystyka i ocena aktualnej jakości wód w rejonie zbiornika czorsztynskiego. — *Przegląd Geologiczny*, **44**(11): 1103–1110.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych. — *Dz. U.* 2008, Nr 143.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. — *Dz. U.* 2007, Nr 61, poz. 417.

Szalińska E. 2001. Jakość powierzchniowych wód płynących w zlewni górnego Dunajca w latach 1993–1998. — *Gospodarka Wodna*, **3**: 114–118.

Zarzycki K. (red.) 1982. Przyroda Pienin w obliczu zmian. — *Studia Naturae*, ser. B, **30**: 1–578.

## SUMMARY

The analysis of long-term stationary monitoring data of hydrogeological regime of the Dunajec valley allows to distinguish three main periods:

- the first one, before 1982, i.e. prior to the Czorsztyn reservoir construction,
- the second one, in the years 1983–1995, when, as a consequence of construction works, the regional drainage basement of the Dunajec River revealed gradual subsidence,
- the third one, after 1996, the process of filling the reservoir and its operation.

The consequence of the drainage basement subsidence after 1982 was discharge decrease of springs located within the Pieniny Klippen Belt in the direct vicinity of the reservoir (springs in Czorsztyn and Niedzica), in the Nowy Targ – Orawa valley (spring in Dębno) and in the area of Podhale flysch (spring in Łapsze Nizne) (Fig. 1).

The largest decrease in groundwater level in the range of about 2 m, was observed in a dug well located in Frydman, in direct vicinity of the Czorsztyn reservoir. Since 1996, the opposite tendency was observed, as well as the increase in groundwater levels around the reservoir (Fig. 2).

The monitoring well in Niedzica-Zamek and the Falsztyn spring revealed different course of their hydrograms. This fact strongly suggests that the well was recharged from the local groundwater reservoir located within the Spisz-Pieniny. Moreover, additional recharge of the Falsztyn spring resulted probably from location at dislocation zone intersecting the Pieniny Klippen Belt.

A comparison of monthly mean-groundwater levels as well as spring discharges from the years 2002–2004 to earlier periods revealed the following:

- despite hydrological drought in 2003, groundwater levels in the vicinity of Frydman showed an upward trend,
- the Falsztyn spring was characterized by

a considerable decrease in discharge, simultaneously demonstrating a very similar annual rhythm of fluctuations,

– groundwater level in the Niedzica-Zamek well fluctuated around long-term mean values (last many years). However, the type of fluctuated changed: from typical thawing, through thawing-precipitation, to precipitation-thawing.

One of the main results of the research performed over the period of 1995–2004, was determination of natural hydrogeochemical background of groundwater in the area of the Pieniny Mts. (Table I). Such data can be a valuable comparative material for future quantitative and qualitative tracking of any changes caused by human activity, especially in the initial stage.

