

## **PRZEPIY W NIENARUSZALNY JAKO OBSZAR POTENCJALNEGO KONFLIKTU POMIĘDZY ROLĄ WODY PODZIEMNEJ W ZAOPATRZENIU LUDNOŚCI A JEJ FUNKCJĄ ŚRODOWISKOWĄ**

### **ENVIRONMENTAL FLOW AS AN AREA OF POTENTIAL CONFLICT BETWEEN THE ROLE OF GROUNDWATER IN THE SUPPLY AND ITS ENVIRONMENTAL FUNCTION**

Anna Żurek

AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

**Streszczenie.** W artykule zwrócono uwagę na możliwy konflikt przy realizacji dwóch podstawowych wg Dyrektyw UE celów ochrony wód podziemnych: zaopatrzenia ludności w dobrej jakości wodę pitną i spełnienia funkcji środowiskowej w stosunku do ekosystemów zależnych od wód podziemnych. Przedstawiono polskie propozycje dotyczące definicji i metodyk wyznaczania przepływu nienaruszalnego, którego funkcją jest między innymi zagwarantowanie dobrej jakości ekologicznej wód powierzchniowych. Propozycje hydrologów zmierzają generalnie do zwiększenia jego wielkości nawet do poziomu, który odpowiada średniemu odpływowi podziemnemu. Oznacza to w praktyce wielkość przepływu nienaruszalnego na poziomie zasobów odnawialnych wód podziemnych i redukuje do zera wielkość zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych. W artykule przedstawiona jest propozycja oceny wielkości przepływu nienaruszalnego, która zabezpieczałaby przed nadmiernym szcerpaniem zasobów wód podziemnych i obniżeniem zwierciadła wód gruntowych do poziomu zagrażającego ekosystemom lądowym związanym z wodami podziemnymi.

**Abstract.** In the article the possible conflict between the two basic functions of groundwater imposed by EU directives: drinking water supply and environmental role, is indicated. Environmental Water Requirements to maintain good ecological status of Groundwater Dependent Ecosystems mean the same as environmental flow in the case of rivers. The Polish proposals of the environmental flow definitions and methodologies for its value

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Anna Żurek, AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: zurek@agh.edu.pl. Praca została częściowo sfinansowana z funduszu statutowego Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej WGGiOŚ AGH (umowa nr 11.11.140.026).

identification are presented. These proposals are intended to increase the environmental flow rate to the value which corresponds to groundwater outflow. This means in practice that the renewable resources of groundwater are reduced to zero. The idea of groundwater environmental flow is proposed. The main aims of groundwater environmental flow are protecting the groundwater resources against the overexploitation and the groundwater table against permanent dropping in the areas of Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystems.

**Słowa kluczowe:** przepływ nienaruszalny, ekosystemy zależne od wód podziemnych (GDE), Dyrektywy UE, zasoby wód podziemnych

**Key words:** environmental flow, Groundwater Dependent Ecosystems (GDE), EU Directives, groundwater resources

## WSTĘP

Podstawowym celem ochrony wód podziemnych jest według Dyrektyw UE: Ramowej Dyrektywy Wodnej [RDW 2000] i Dyrektywy dotyczącej ochrony wód podziemnych [DWP 2006], zagwarantowanie dobrej jakości wody pitnej. Dyrektywy te, traktujące wody powierzchniowe i podziemne jako niepodzielny zasób środowiska wodnego, zwracają także szczególną uwagę na właściwą ocenę środowiskowej roli wody podziemnej [Witczak i in. 2002, Witczak 2006, Witczak i in. 2013]. W RDW podkreślone jest znaczenie ochrony ekosystemów wodnych oraz ekosystemów lądowych i mokradeł bezpośrednio od tych wód zależnych. Na jakość ekologiczną wód powierzchniowych i ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych wpływa przede wszystkim stan ilościowy tych wód. Zależność ta jest wzajemna, gdyż dobry stan ilościowy wód podziemnych jest uwarunkowany spełnieniem celów środowiskowych przez wody powierzchniowe powiązane z wodami podziemnymi oraz niewystąpieniem znacznych szkód w ekosystemach lądowych bezpośrednio od tych wód zależnych. Stan ilościowy wód podziemnych jest definiowany poprzez reżim poziomu wód podziemnych [RDW 2000], czyli położenie zwierciadła wody podziemnej, odzwierciedlające warunki krążenia wody. Na warunki krążenia składają się: wielkość zasilania, warunki przepływu w strukturze wodonośnej i intensywność drenażu, które są modyfikowane głównie poprzez szeroko rozumianą gospodarkę wodną. W warunkach polskich jest to głównie zwiększenie drenażu poprzez eksploatację wód oraz zabiegi melioracyjne służące odwodnieniu. Eksploatacja wód podziemnych w celu zaopatrzenia ludności w dobrej jakości wodę do picia jest realizacją nadrzędnego celu wytyczonego dyrektywami unijnymi, ale prowadzona z nadmierną intensywnością może doprowadzić do długotrwałego obniżenia zwierciadła wody i niedopełnienia jej funkcji środowiskowej. Świadomość faktu, że wody podziemne i powierzchniowe stanowią niepodzielny zasób środowiska wodnego jest niezbędna do prawidłowej realizacji przepisów dyrektyw UE.

## EKOSYSTEMY ZALEŻNE OD WÓD PODZIEMNYCH

Istnieje wiele propozycji klasyfikacji ekosystemów zależnych od wód podziemnych (GDE – Groundwater Dependent Ecosystems) [Boulton 2005, Kløve i in. 2011, Bertrand i in. 2012]. Klasyfikacje te nie mają charakteru uniwersalnego, gdyż są

ściśle powiązane z warunkami klimatycznymi. Przykładowo doświadczenia hydrologów i hydrogeologów z Australii czy RPA [Colvin i in. 2002, Boulton 2005, Eamus 2009] nie dają się w pełni adaptować w części Europy o klimacie umiarkowanym. Wg Bertranda i in. [2012] wśród ekosystemów zależnych od wód podziemnych można wyróżnić: wody powierzchniowe, czyli jeziora i rzeki drenujące wody podziemne, następnie źródła, bagna i torfowiska (mokradła) oraz tzw. lądowe ekosystemy zależne (Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystems – GDTE), obejmujące głównie te ekosystemy leśne, gdzie głębokości do zwierciadła wody są niewielkie ( $< 2$  m p.p.t.), a system korzeniowy roślin pobiera bezpośrednio wodę gruntową. GDTE występują przede wszystkim w obszarach dolin rzecznych w tzw. strefie brzegowej (*riparian zone*). W poradniku metodycznym [EC 2012], wypracowanym dla potrzeb implementacji RDW w kwestii dotyczącej lądowych ekosystemów zależnych, zalicza się do nich także mokradła.

W celu zachowania GDE w stanie trwale nieuszkodzonym konieczny jest dopływ wody podziemnej o wydatku gwarantującym dobry stan ekologiczny tych ekosystemów (tzw. EWRs – Environmental Water Requirements). Metodyka oceny EWRs jest aktualnie przedmiotem intensywnych prac badawczych [GENESIS 2012].

W przypadku wód płynących, funkcję EWRs spełnia przepływ nienaruszalny (*environmental flow*). Jednym z celów gospodarki wodnej jest zagwarantowanie odpowiedniej jakości wód płynących przy przepływach niskich i nienaruszalnych [Witczak i in. 2013]. W okresach niżówkowych rzekami płyną: (1) wody z zasilania podziemnego, (2) ścieki, oraz (3) ewentualne zrzuty wód ze zbiorników retencyjnych. Rola ogromnego zbiornika retencyjnego, jakim są wody podziemne, oraz stanu jakościowego tych wód jest ciągle niedoceniana w zdominowanych przez wody powierzchniowe planach gospodarki wodnej [Witczak i in. 2013] i nie dotyczy to jedynie rejonów dogodnych dla eksploatacji wód podziemnych, ale większości zlewni, w których wody powierzchniowe pozostają w ścisłym związku z wodami podziemnymi [Winter i in. 1998].

## POJĘCIE PRZEPLYWU NIENARUSZALNEGO

Pojęcie przepływu nienaruszalnego funkcjonuje w świadomości hydrologów i hydrogeologów w Polsce już od lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku. Jeszcze wcześniej wyróżniono tak zwany przepływ biologiczny, który miał za zadanie ochronę przed potencjalnie możliwą degradacją biologiczną wód rzecznych wobec przewidywanej intensyfikacji procesów gospodarczych i wywołanych nią zmian ilościowych i jakościowych zasobów wodnych rzek [Kostrzewa 1977, 1980]. Definicja ta, podobnie jak późniejsze, nie miała umocowania prawnego.

Złożoność zagadnień związanych ze zdefiniowaniem przepływu nienaruszalnego została podniesiona w pracach Kostrzewy [1977, 1980]. Uznała ona, że uzasadnieniem dla pozostawiania w korytach rzek określonych ilości wody jako  $Q_n$  powinny być cele wynikające z przesłanek ochrony środowiska przyrodniczego i zaspokajania potrzeb społecznych, zależnych od funkcji powierzchniowych wód płynących. Sformułowała także podstawowe kryteria służące ustaleniu wielkości przepływu nienaruszalnego. Kryteria te określone zostały jako: hydrobiologiczne, wędkarsko-rybackie, ochrony

przyrody, zachowania piękna krajobrazu terenów przybrzeżnych, turystyczne [Kostrzewa 1980, Więzik 2002, Gręplowska i Stochliński 2004]. Przepływem nienaruszalnym był najwyższy z przepływów określonych wg powyższych kryteriów. Szpindor i Piotrowski [1986], uznawszy kryterium hydrobiologiczne za najważniejsze, terminy przepływ nienaruszalny i przepływ hydrobiologiczny stosowali zamiennie.

W Ramowej Dyrektywie Wodnej [RDW 2000], która spowodowała zmianę podejścia do problemu przepływu nienaruszalnego, pojęcie to nie występuje bezpośrednio. Pośrednio jest natomiast ukryte w pojęciu „dostępnych zasobów wód podziemnych”, jako średnia z wielolecia wartość przepływu, wymagana do zapewnienia poziomu jakości ekologicznej związanych z nim wód powierzchniowych.

Obowiązujący w Polsce, prawnie zdefiniowany termin przepływu nienaruszalnego pojawił się w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 28 kwietnia 2004 roku (uchylonym 31 lipca 2006) w sprawie zakresu i trybu opracowywania planów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy oraz warunków korzystania z wód regionu wodnego. W myśl tego Rozporządzenia przepływ nienaruszalny to umowny (w danym przekroju ciek i dla danego okresu roku), właściwy dla założonego ekologicznego stanu ciek przepływ, którego wielkość i jakość, ze względu na zachowanie tego stanu, nie mogą być, a ze względu na instytucję powszechnego korzystania z wód, nie powinny być, z wyjątkiem okresów zagrożeń nadzwyczajnych, obniżane poprzez działalność człowieka. Dla części przepływu nienaruszalnego związanej z koniecznością zachowania założonego ekologicznego stanu ciek przyjęto nazwę przepływ nienaruszalny hydrobiologiczny (przepływ hydrobiologiczny) [Rozporządzenie... 2004, KZGW 2014].

Występujące w definicji pojęcie „stanu ekologicznego” zostało wprowadzone bezpośrednio przez Ramową Dyrektywę Wodną [RDW 2000] i jest określeniem jakości struktury i funkcjonowania ekosystemu wód powierzchniowych, klasyfikowanej zgodnie z załącznikiem V RDW.

Według tego załącznika, do elementów jakościowej klasyfikacji stanu ekologicznego rzek należą:

- elementy biologiczne – skład i liczebność: flory wodnej, fauny bezkręgowców bentosu, oraz skład, liczebność i struktura wiekowa populacji ryb;
- elementy hydromorfologiczne wspierające elementy biologiczne – reżim hydrologiczny, wielkość i dynamika przepływu wód, połączenia ze zbiornikami wód podziemnych oraz ciągłość rzeki;
- warunki morfologiczne – zmienność głębokości i szerokości rzeki, struktura i podłoże koryta rzeki oraz struktura strefy nadbrzeżnej;
- elementy chemiczne i fizykochemiczne wspierające elementy biologiczne – ogólne: warunki termiczne, warunki natlenienia.

W ramach projektu „Metodyczne podstawy narodowego planu zintegrowanego rozwoju gospodarki wodnej w Polsce” [Nachlik i in. 2004, 2006] zaproponowano prostszą definicję, w myśl której przepływ nienaruszalny  $Q_{nn}$  w danym przekroju ciek i dla danego okresu w roku jest to ustanowiony, właściwy dla założonego stanu/potencjału ekologicznego ciek, przepływ, którego wielkość nie może być obniżana przez działalność człowieka. Tak zdefiniowany przepływ  $Q_{nn}$  określa się na podstawie następujących kryteriów:

- hydrobiologicznego (zapewniającego ochronę ekosystemu cieków –  $Q_{nh}$ );
- ochrony ekosystemu lądowego (odnoszące się szczególnie do terenów prawnie chronionych –  $Q_{ns}$ );
- krajobrazowego (zapewniającego ochronę prawa do powszechnego korzystania z wód –  $Q_{nk}$ ).

Przyjęto zasadę, że za wartość przepływu nienaruszalnego  $Q_{nn}$  przyjmuje się maksymalną wartość z wielkości  $Q_{nh}$ ,  $Q_{ns}$ ,  $Q_{nk}$ . W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się rezygnację z kryterium ochrony ekosystemu lądowego i/lub krajobrazowego [Nachlik i in. 2006].

W ustawie Prawo wodne [Obwieszczenie... 2012], w artykule 128 dotyczącym pozwoleń wodnoprawnych pojawia się termin przepływ nienaruszalny, ale brak jest jego definicji.

Pojęciu przepływu nienaruszalnego odpowiada stosowany w krajach UE oraz na świecie termin *environmental flow* [Dyson i in. 2003, Arthington i in. 2006, Sophocleous 2007, Act Government 2009]. Oddaje on lepiej rolę środowiskową tego przepływu niż stosowane wcześniej terminy: *instream flow* czy *minimum acceptable flow* [Grela i Stochliński 2005b], które stosowane były głównie w kontekście zapór i stopni wodnych, ograniczających swobodną migrację ryb w rzekach [Bunn i Arthington 2002, Richter i Thomas 2008].

## METODYKA OKREŚLANIA WIELKOŚCI PRZEPLYWU NIENARUSZALNEGO

Proponowane przez hydrologów metody oceny wielkości  $Q_n$  ewoluowały od tych bardzo uproszczonych, w których podawana jest jedna stała wartość tego przepływu [Kostrzewa 1977], do bardzo skomplikowanych, ze zmiennymi w czasie wartościami  $Q_n$  [Witowski i in. 2001], czy tzw. metod habitatowych, opartych na wskaźnikach środowiskowych [Gręplowska i Stochliński 2004]. Przykładem tej ostatniej jest metodyka IFIM – *Instream Flow Incremental Methodology*, zwana także metodyką preferowanych miejsc występowania [Grela i Stochliński 2005b, 2005c, 2005d].

Propozycja H. Kostrzewy [1977, 1980] zróżnicowała metodykę dla poszczególnych kryteriów wyznaczania przepływu nienaruszalnego ( $Q_n$ ).

Ogólny wzór (1) na  $Q_n$  dla **kryterium hydrobiologicznego**, uwzględnianego na wszystkich rzekach objętych gospodarką wodną, ustalono w postaci:

$$Q_{nh} = k \cdot SNQ \quad [1]$$

gdzie:

$k$  – parametr określony empirycznie, zależny od typu hydrologicznego rzeki i powierzchni zlewni, przyjmuje wartości należące do przedziałów  $\langle 0,5;1,0 \rangle$ ,  $\langle 0,5;1,27 \rangle$ ,  $\langle 0,5;1,52 \rangle$  – odpowiednio dla rzek nizinnych, przejściowych i podgórskich oraz górskich; tak określona wartość nie może być niższa od  $NNQ$  [Grela i Stochliński 2005a];

$SNQ$  – przepływ średni niski roczny z wielolecia.

**Kryterium rybacko-wędkarskie** (przeżywalności ryb) było uwzględniane przy określaniu przepływu nienaruszalnego w rzekach wskazanych przez Polski Związek Wędkarski i przyporządkowanych do jednego z dwóch typów pod względem ichtiologicznym (rzeka ryb łososiowatych lub rzeka ryb nizinnych). W zależności od ichtiologicznego typu rzeki określano okresy charakterystyczne dla cyklu życiowego ryb i dla tych okresów obliczano średnie niskie przepływy miesięczne, wybierając najmniejsze z nich. Na podstawie tego kryterium uzyskiwało się nie jedną wartość przepływu nienaruszalnego, lecz kilka wartości obowiązujących w wydzielonych okresach charakterystycznych [Kostrzewa 1980, Grela i Stochliński 2005a, Wyźga i in. 2009].

Wyznaczenie wielkości  $Q_n$  wg **kryterium ochrony przyrody** miało na celu ochronę obiektów przyrodniczych przed szkodliwymi skutkami gospodarczego wykorzystywania zasobów wodnych rzek, mogącymi powstać na skutek ich nadmiernego szczypania, a w konsekwencji spowodować niekorzystne zmiany stosunków wodnych (przesuszenie) i warunków siedliskowych roślin [Kostrzewa 1980]. Dla tego kryterium zakładano, że dla każdego z sezonów hydrologicznych (zima, wiosna, lato, jesień) i kolejnego roku wielolecia określa się dwie wielkości przepływu pochodzenia podziemnego: najniższy –  $NNQ$ ; najwyższy –  $WNQ$ . Dla każdego z sezonów hydrologicznych tworzone dwa ciągi przepływów, dla każdego ciągu obliczano estymatory parametrów rozkładu prawdopodobieństwa Fishera-Tippetta i na podstawie tych rozkładów przyjmowano przepływ nienaruszalny w przedziale  $\langle NNQ; WNQ \rangle$  [Grela i Stochliński 2005a].

Według **kryterium turystycznego**  $Q_n$  miał zapewniać odpowiednie głębokości napełnienia koryta cieku wymagane dla szlaków kajakowych (25–30 cm) oraz żeglarskich (100–125 cm) i być utrzymywany sezonowo (od czerwca do września). W rzekach swobodnie płynących istnieje zależność pomiędzy głębokością oraz natężeniem przepływu i dlatego  $Q_n$  był określany jako funkcja głębokości [Kostrzewa 1980].

Szpindor i Piotrowski [1986] uznają, że kryterium hydrobiologiczne, traktowane jako podstawowe do wyznaczania przepływów nienaruszalnych, dobrze oddaje przepływ najmniejszy z wielolecia –  $NNQ_r$ . Wielkość przepływu nienaruszalnego opartą na  $NQ_r$  wykorzystano do obliczenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych dla zlewni Koprzywianki [Witczak i in. 2002] i zlewni Raby [Nachlik 2006]. W opracowaniach tych przyjęto, że wartość przepływu nienaruszalnego jest równa wartości środkowej (medianie) z przepływów niskich rocznych z wielolecia ( $ZNQ_r$ ), która w przypadku rozkładu normalnego jest taka sama jak wartość przeciętna (średnia arytmetyczna), czyli przepływ średni niski ( $SNQ_r$ ).

Wg poradnika metodycznego IMGW [Witkowski i in. 2001] główną przesłanką określenia przepływu nienaruszalnego jest teza, że przyrodzie szkodzi nie tylko obniżenie przepływów wody poniżej pewnej krytycznej wielkości, ale również poważne zwiększenie częstotliwości, głębokości i czasu trwania niżówek, wynikające z poborów wody. W związku z tym przepływ nienaruszalny w danym przekroju cieku nie powinien mieć stałej wartości, lecz ma zmieniać się w sposób ciągły (na bieżąco) w zależności od przepływu naturalnego w cieku, pomiędzy dwoma przyjętymi poziomami (ograniczeniami) przepływu [Gręplowska i Stochliński 2004].

Dolne ograniczenie ( $d$ ) wielkości przepływu nienaruszalnego szacuje się wg zależności [2]:

$$d = \text{MAX} (Q_{7,10}; Q_{nb}) \quad (2)$$

gdzie:

$Q_{7,10}$  – wielkość minimalnego przepływu 7-dniowego o okresie powtarzalności 10 lat, czyli wielkość minimalna z dziesięciolecia, dla siedmiodniowej średniej ruchomej;

$Q_{nb}$  – wielkość przepływu nienaruszalnego określana wg kryterium hydrobiologicznego w metodzie Kostrzewy [1977,1980].

Ograniczenie górne ( $g$ ) wielkości przepływu nienaruszalnego, wymagane przy przepływie naturalnym równym lub wyższym od średniego z wielolecia ( $Q \geq SSQ$ ), wyznacza się z zależności:

$$g = \text{MAX} (Q_{NT}, Q_{2/3 \text{ roku}}) \quad [3]$$

gdzie:

$Q_{NT}$  – wielkość najdłużej trwającego przepływu w ciągu roku (wartość modalna);  
 $Q_{2/3 \text{ roku}}$  – wielkość  $Q$  trwającego wraz z wyższymi przez 2/3 roku [Grela i Stochliński 2005a].

Zmienność przepływu nienaruszalnego dla naturalnych wielkości  $Q$  z przedziału  $\langle d; SSQ \rangle$  obrazuje funkcja o parametrach  $SSQ, d, g$ .

Metoda tzw. małopolska szacowania przepływu nienaruszalnego [Stochliński i in.2007] nawiązuje do wprowadzonych przez RDW pojęć związanych ze stanem ekologicznym cieków. Metoda ta wychodzi z założenia, że w najbliższej przyszłości, ze względów gospodarczo-społecznych i na skutek powszechnie niskiej świadomości ekologicznej, nie można zapewnić dobrego stanu (potencjału) ekologicznego wód. Jednak w sytuacji zbyt dużego niekorzystnego wpływu człowieka na warunki przepływu wody oraz w okresach w sposób naturalny niekorzystnych dla życia w wodach należy wspomóc naturę w jej dążeniu do przetrwania i ciągłego odradzania się [Grela i Stochliński 2005a]. Okolicznościami wymagającymi szczególnego zwiększenia przepływu nienaruszalnego (sytuacjami kryzysowymi) uwzględnianymi w tej metodyce są: wzrost temperatury wody w miesiącach letnich (VII, VIII) powyżej wartości średnich, tarło i rozród wiodących gatunków ryb, zanieczyszczenie wody obniżające klasę wody poniżej klasy właściwej dla wiodących gatunków ryb oraz dokonana, nieekologiczna regulacja cieków poniżej przekroju obliczeniowego [Stochliński i in. 2007].

Ocena wielkości przepływu nienaruszalnego odbywa się wg następującego algorytmu [Stochliński i in. 2007]:

- wielkość przepływu nienaruszalnego  $Q_n$  jest określana osobno dla każdego miesiąca (miesięczna zmienność wielkości  $Q_n$ );
- wielkość  $Q_n$  jest sumą wielkości podstawowej (bazowej) i wielkości pomocowej (szczególnego zwiększenia przepływu);
- wielkość podstawowa (bazowa)  $Q_n$  zależy od założonego (w celu środowiskowym) stanu (potencjału) ekologicznego cieków. Dla założonego stanu dobrego:  $Q_n = SNQ_m$ , a dla stanu umiarkowanego:  $Q_n = SNQ_m + DQ_m/2$ , gdzie:  $DQ_m = SNQ_m - NNQ_m$ , a  $SNQ_m$  to średnia dla wielolecia z najniższych przepływów w danym miesiącu, natomiast  $NNQ_m$  to niski niski przepływ w danym miesiącu (najniższy w wieloleciu); wartości  $SNQ_m$  i  $NNQ_m$  obliczane są dla naturalnych warunków przepływu, niezaburzonych

wplywami antropogenicznymi; Stochliński i in. [2007] korzystali z ciągów pomiarowych dla wielolecia 1951–1965;

- wielkość pomocowa przepływu  $Q_n$  jest sumą wielkości elementarnych (domyślnie  $0,15 DQ_m$ ) przyznawanych z tytułu występowania którejs z wyżej wymienionych sytuacji kryzysowych i dodawanych w odpowiednich okresach ich zaistnienia;
- ze względów praktycznych, w sytuacji niewielkich różnic w wielkościach przepływów nienaruszalnych dla grupy sąsiadujących ze sobą miesięcy (wielkościach nie przekraczających 10% najmniejszej wielkości w grupie), dokonuje się uśrednienia tych wielkości [Stochliński i in. 2007].

W sytuacji braku długich ciągów obserwacyjnych natężenia przepływu, niezbędnych dla zastosowania powyższej metody, możliwa jest ich predykcja dzięki zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych [Krzanowski i Wałęga 2007].

Metodyka IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*) jest jedną z najbardziej rozpowszechnionych w ostatnich latach tzw. metod preferowanych miejsc występowania (*habitat preference methods*) [Grela i Stochliński 2005b]. Metody te analizują środowisko przyrodnicze i wyznaczają takie wartości przepływu, które są najbardziej pożądane przez faunę rzeczną, głównie ryby, i pozwalają określać nienaruszalny przepływ hydrobiologiczny. Metodę tą zastosowano także w Polsce dla dwóch wzorcowych stanowisk w Karpatach: Wisłoki poniżej projektowanej zapory Krempana oraz Skawy poniżej projektowanej zapory w Świnnej Porębie [Grela i Stochliński 2004, 2005c, 2005d]. Metoda IFIM zakłada, że wielkość siedliska nadającego się do wykorzystania przez ryby jest funkcją przepływu. Należy rozpoznać preferencje ryb w stosunku do środowiska fizycznego i ustalić, jak wielkość przestrzeni dostępnej dla ryb zmienia się z wielkością przepływu [Grela i Stochliński 2005b]. Stosuje się kilka etapów postępowania:

- 1) wybór wzorcowego odcinka ciekłu lub pojedynczego stanowiska i jego szczegółowy pomiar (pomiar geodezyjne, hydrometryczne);
- 2) wybór miarodajnego (przewodnego) organizmu wodnego, dla którego będą badane reakcje na ograniczenie przepływu – zwykle jest to określony gatunek ryby;
- 3) utworzenie krzywych określających przydatność siedliska (krzywe preferencji);
- 4) symulacja za pomocą modelu hydraulicznego dostępności siedlisk przy różnych wielkościach przepływu, w oparciu o obliczone głębokości i prędkości przepływu wody;
- 5) wyznaczenie krzywej ważonej miary powierzchni przydatnego siedliska (przy wykorzystaniu krzywych preferencji i danych modelowych dotyczących dostępności siedlisk) i odczytanie z wykresu krzywej, zalecanej (referencyjnej) wielkości przepływu nienaruszalnego, właściwej dla wybranego stadium wiekowego miarodajnego organizmu wodnego.

Szerszy opis metodyki IFIM zawiera praca Grela i Stochlińskiego [2004]. Ocenę przepływu nienaruszalnego, z dokładnością możliwą do uzyskania przy zastosowaniu metodyki IFIM, zaleca się stosować w sytuacjach, gdy rozważa się inwestycje kosztowne oraz przynoszące duże szkody w środowisku wodnym, na przykład budowę zbiorników retencyjnych, dużych ujęć wody czy zasilanie wodą kanałów żeglownych [Grela i Stochliński 2005d].



## METODYKA OKREŚLANIA PRZEPŁYWÓW NIENARUSZALNYCH A ZASOBY WÓD PODZIEMNYCH

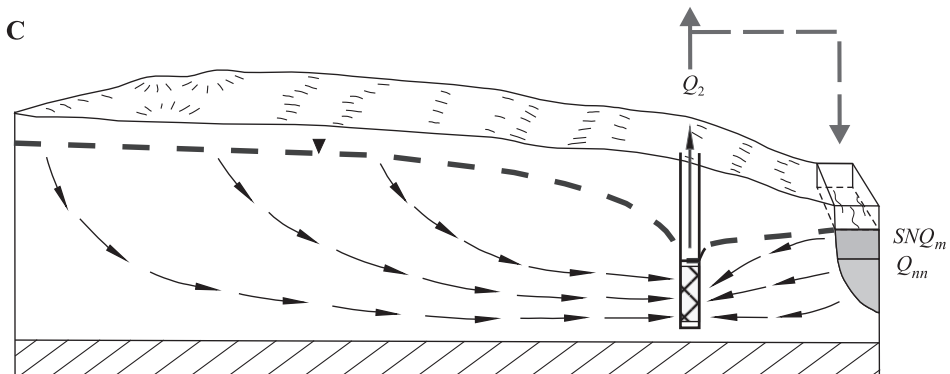
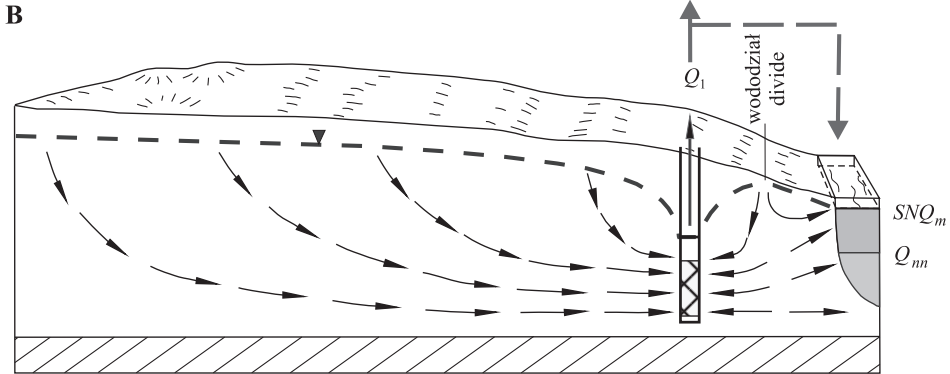
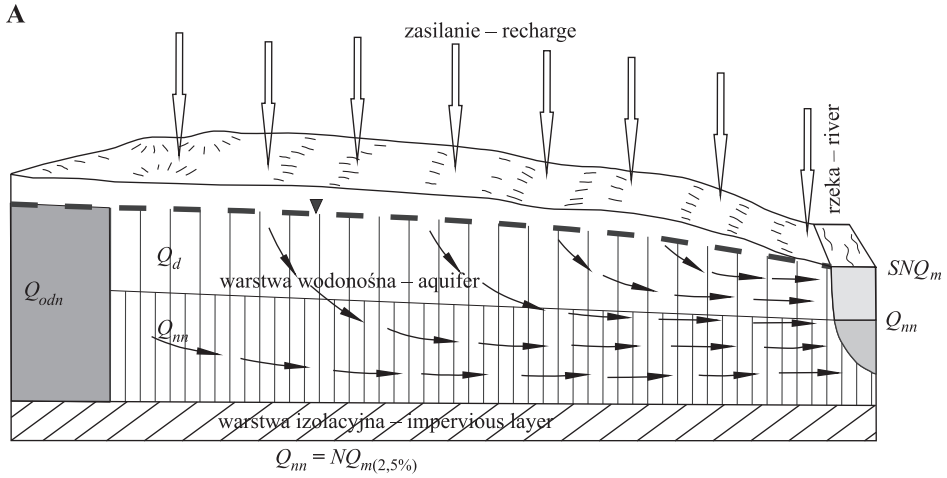
Przedstawione metody wyznaczenia przepływów nienaruszalnych pokazują, że jest to zagadnienie bardzo złożone. Realizowane jest ono przeważnie przez specjalistów związanych z wodami powierzchniowymi, często bez realnej znajomości roli, jaką w kształtowaniu  $Q_{nn}$  odgrywają wody podziemne. Metody te nie uwzględniają bardzo istotnej roli wód podziemnych. Przykładem jej niezrozumienie jest takie samo traktowanie udziału w przepływie rzeczonym naturalnego odpływu podziemnego i dopływu ścieków.

W warunkach naturalnych w okresie niskich przepływów o ilości wody rzecznej decyduje odpływ podziemny. Dotyczy to szczególnie najniższych stanów wody odpowiadających przepływowi nienaruszalnemu. Świadomość tej decydującej dla  $Q_{nn}$  roli wód podziemnych jest dość ograniczona. Wody powierzchniowe są zazwyczaj w ścisłym związku z wodami podziemnymi, ale regulacje prawne i praktyka gospodarowania wodami nie zawsze to uwzględniają. Zakłada się czasem wielkość  $Q_{nn}$  na poziomie odpływu podziemnego do rzeki (por. metoda małopolska, w której  $Q_{nn} = SNQ_m$ ), co praktycznie oznacza brak zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych.

W celu uniknięcia potencjalnie konfliktowej sytuacji, gdy funkcja środowiskowa wody podziemnej ogranicza istotnie możliwości zaopatrzenia ludności w wodę pitną, należy niezależnie od przepływu nienaruszalnego rzek wprowadzić pojęcie **przepływu nienaruszalnego wód podziemnych** [Witczak i Żurek 2008] w obrębie jednostki hydrogeologicznej (na przykład JCWPd) lub obszaru bilansowego i wyrażać go przez moduł przepływu nienaruszalnego wód podziemnych ( $q_{nn}$ ) w stosownych jednostkach ( $L \cdot (s \cdot km^2)^{-1}$ ,  $m^3 \cdot (d \cdot km^2)^{-1}$ ).

Dla odkrytych systemów mających związek z wodami powierzchniowymi ocena przepływu nienaruszalnego wód podziemnych może być oparta na ocenie hydrologicznej (ryc. 1), ale należy mieć świadomość, że przepływ nienaruszalny wód podziemnych nie jest tożsamy z przepływem nienaruszalnym cieku powierzchniowego. Określenie  $q_{nn}$  pozwoliłoby ograniczyć nadmierne szcerpywanie wód podziemnych. Takie nadmierne szcerpywanie jest możliwe, jeśli eksploatowana woda wraca w postaci ścieków do tej samej rzeki jak to pokazano opcjonalnie na rysunkach 1B i 1C. Ilość wody płynącej rzeką ulega pomniejszeniu tylko o niewielkie straty bezzwrotne i w bilansie wodno-gospodarczym nie ma niedoboru wody powierzchniowej. Może to zachęcać do nadmiernej eksploatacji wód podziemnych połączonej z ich degradacją jakościową (ścieki).

W warunkach naturalnych (ryc. 1A) zasoby odnawialne wód podziemnych są utożsamiane zazwyczaj z odpływem odpowiadającym średniemu niskiemu przepływowi miesięcznemu ( $SNQ_m$ ). Praktycznie odpowiadają one zasilaniu zbiornika wód podziemnych pochodzącemu z infiltracji. Przepływ nienaruszalny wód podziemnych powinien być ustalany na poziomie, który odpowiada minimalnemu zasilaniu w warunkach roku suchego, o opadach z gwarancją 2,5%, czyli jak w najbardziej suchym roku w okresie 40 lat. Taki przepływ nienaruszalny wód podziemnych zapewnia przepływ w rzece na poziomie zbliżonym do poziomu nieco wyższego od  $SNQ_r$ , stanowiącego dotychczas najczęściej przyjmowany przepływ nienaruszalny dla rzek oparty na kryterium hydrobiologicznym [Kostrzewa 1977, 1980].



Objaśnienia – Explanations:  $Q_{odn}$  – zasoby odnawialne wód podziemnych – renewable groundwater resources,  $Q_d$  – zasoby dyspozycyjne (dostępne) wód podziemnych – groundwater safe yield,  $Q_m$  – przepływ nienaruszalny wód podziemnych – groundwater environmental flow,  $Q_1, Q_2$  – eksploatacja wód podziemnych – groundwater abstraction

Eksploatacja wód podziemnych obniża wielkość odpływu do rzek (ryc. 1B), a przy większej intensywności może także przejmować część wody płynącej rzeką (ryc.1C). Należy zwrócić uwagę, że każdy pobór wód podziemnych zmniejsza odpływ podziemny do rzeki, czyli wpływa na przepływ rzeki, a nie jak sądzi się potocznie, że taka sytuacja występuje dopiero wtedy, gdy rzeka traci wodę na rzecz wód podziemnych. Z drugiej strony jeśli wydobyta woda podziemna wraca do tej samej rzeki w postaci ścieków (możliwość taką sygnalizują ryc. 1B i 1C) to praktycznie przepływ w rzece może się niewiele zmienić (straty bezzwrotne są zazwyczaj na poziomie rzędu 20%). Problemy tego typu są rozpatrywane w ramach bilansu wodno-gospodarczego zlewni, a wynikające z nich wnioski powinny być uwzględniane przy wydawaniu pozwoleń wodnoprawnych na korzystanie z wód.

Przepływ nienaruszalny wód podziemnych powinien być określony bez brania pod uwagę techniczno-ekonomicznych warunków gospodarki wodnej. Jego oceny należy dokonywać na podstawie warunków przyrodniczych, zapewniając strumień wody zasilający ekosystemy wodne zależne od wód podziemnych na racjonalnym poziomie, który to poziom w warunkach naturalnych utrzymuje się w okresach niżówkowych. Dla ekosystemów wodnych i ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych zmienność odpowiednio: przepływu w cieku i wahania zwierciadła wody, które wynikają z naturalnych procesów krążenia wody w przyrodzie, nie powodują pogorszenia ich stanu ekologicznego. Istotne zmiany w ekosystemach lądowych są powodowane przez obniżenie zwierciadła wody poniżej strefy korzeniowej roślin trwające dłużej niż kilka tygodni [Eamus 2009].

Przy bilansowaniu wodno-gospodarczym należy również ocenić, czy w warunkach konkretnych rozwiązań gospodarki wodnej, istotnie modyfikujących naturalne związki wód podziemnych z powierzchniowymi, zapewniony zostanie odpowiedni strumień wodny, potrzebny dla zapewnienia dobrego stanu ekologicznego ekosystemów zależnych od wód podziemnych.

## WNIOSKI

Wody powierzchniowe i podziemne należy traktować jako jeden niepodzielny zasób środowiska. Wody podziemne decydują o przepływie rzek przy stanach niskich i nienaruszalnych oraz o stanie ekologicznym ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych. Znacząca, a często nadrzędna rola wód podziemnych powinna być przedmiotem szerokiej i skutecznej kampanii informacyjnej w środowiskach zarządzają-



Ryc. 1. Model pojęciowy ilustrujący zasady wydzielenia przepływu nienaruszalnego wód podziemnych na tle schematu wpływu eksploatacji wód podziemnych na wody powierzchniowe [za Witczak i Żurek 2008, zmodyfikowane]: A – warunki naturalne, B – eksploatacja bez infiltracji wód rzecznych, C – eksploatacja z poborem części wód rzecznych

Fig. 1. Conceptual model illustrating the concept of groundwater environmental flow evaluation regarding the influence of groundwater abstraction on the river flow [acc. Witczak and Żurek 2008, modified]: A – natural conditions; B – groundwater abstraction does not cause the river water infiltration, C – groundwater abstraction causes the river water infiltration

cych gospodarką wodną, a także w społeczeństwie przy okazji implementacji Ramowej Dyrektywy Wodnej UE.

Wydaje się celowe wprowadzenie pojęcia **przepływu nienaruszalnego wód podziemnych** w obrębie jednostki hydrogeologicznej (np. JCWPd) lub obszaru bilansowego; pojęcie to pozwala ograniczać nadmierne szczyptywanie wód podziemnych i utrzymywać zasilanie wód powierzchniowych oraz ekosystemów zależnych od wód podziemnych na racjonalnym poziomie, gwarantującym zachowanie ich jakości ekologicznej. Wspomniany przepływ odpowiada wielkości zasilania w warunkach naturalnych w okresach nizinowych.

## PIŚMIENNICTWO

- Act Government, 2009. Environmental Flows. Factsheet. Department of the Environment, Climate Changes, Energy and Water Canberra (Australia).
- Arthington A.H., Bunn S.E., Poff N. L., Naiman R. J., 2006. The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications* 16(4), 1311–1318.
- Bertrand G., Goldscheider N., Gobat J.-M., Hunkeler D., 2012. Review: From multi-scale conceptualization to a classification system for inland groundwater-dependent ecosystems. *Hydrogeol. J.* 20, 5–25.
- Boulton A.J., 2005. Chances and challenges in the conservation of groundwaters and their dependent ecosystems. *Aquatic Conservation – Marine and Freshwater Ecosystems* 15(4), 319–323.
- Bunn S.E., Arthington A.H., 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environm. Manag.* 30, 492–507.
- Colvin C., Le Maitre D., Hughes S., 2002. Assessing terrestrial groundwater dependent ecosystems in South Africa. Report 1090-2/2/03. Water Research Commission Pretoria.
- DWP, 2006. Dyrektywa 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu. *Dz.Urz. Unii Europejskiej* L. 372, T. 49, 27 grudnia 2006.
- Dyson M., Bergkamp G.J.J., Scanlon J. (red.), 2003. *Flow: The Essentials of Environmental Flows*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) Gland (Switzerland) – Cambridge (UK).
- Eamus D., 2009. Identifying groundwater dependent ecosystems. A guide for land and water managers. Land & Water Sydney (Australia).
- EC, 2012. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive. Technical Report on Groundwater Dependent Ecosystems. Technical Report 6.
- GENESIS, 2012. Deliverable 4.3: New indicators for assessing GDE vulnerability, [www.thegenisproject.eu](http://www.thegenisproject.eu).
- Grela J., Stochliński T., 2004. Obliczanie przepływu hydrobiologicznego według metodyki IFIM. *Czas. Techn.* 15-Ś, 39–57.
- Grela J., Stochliński T., 2005a. O metodach wyznaczania wielkości przepływu nienaruszalnego (1). *Aura* 6, 15–17.
- Grela J., Stochliński T., 2005b. O metodach wyznaczania wielkości przepływu nienaruszalnego (2). *Doświadczenia zagraniczne. Aura* 7, 30–31.
- Grela J., Stochliński T., 2005c. Zastosowanie metody IFIM do wyznaczenia przepływu nienaruszalnego dla przekroju zbiornika Krempna. *Aura* 8, 18–20.
- Grela J., Stochliński T., 2005d. Doświadczenia w zastosowaniu metody IFIM do obliczenia wielkości przepływu hydrobiologicznego na obszarze Karpat. *Gosp. Wodna* 2, 52–57.

- Gręplowska Z., Stochliński T., 2004. Przepływ nienaruszalny. Cz. 1. Podstawy. Czas. Techn. 15-Ś, 59–96.
- Kløve B., Ala-aho P., Bertrand G., Boukalova Z., Ertürk A., Goldscheider N., Ilmonen J., Karakaya N., Kupfersberger H., Kværner J., Lundberg A., Mileusnić M., Moszczynska A., Muotka T., Preda E., Rossi P., Siergieiev D., Šimek J., Wachniew P., Widerlund A., 2011. Groundwater dependent ecosystems. Cz. I. Hydroecology, threats and status of ecosystems. Environ. Sci. Policy 14, 770–781.
- Kostrzewa H., 1977. Weryfikacja kryteriów i wielkości przepływów nienaruszalnych dla rzeki Polski. Mat. Bad. IMGW. Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód. Warszawa, ss. 208.
- Kostrzewa H., 1980. Przepływy nienaruszalne – stan i kierunki badań. Gosp. Wodna 1, 12–15.
- Krzyszowski S., Wałęga A., 2007. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do predykcji szeregów czasowych stanów wody i przepływów w rzece. Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus 6(4), 59–73.
- KZGW, 2014. Encyklopedia RDW – Ramowej Dyrektywy Wodnej, <http://www.rdw.org.pl/encyklopedia-rdw/p.html>.
- Nachlik E. (red.), 2004. Identyfikacja i ocena oddziaływań antropogenicznych na zasoby wodne dla wskazania części wód zagrożonych nieosiągnięciem celów środowiskowych. Monografia 318, Seria: Inżynieria Środowiska. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej Kraków.
- Nachlik E. (red.), 2006. Identyfikacja i ocena oddziaływań antropogenicznych na zasoby wodne rzeki Raby wraz z oszacowaniem ryzyka nieosiągnięcia celów środowiskowych. Monografia 340, Seria: Inżynieria Środowiska. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej Kraków.
- Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 10 stycznia 2012 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo wodne. Dz.U. z 2012 r., poz. 145.
- RDW, 2000. Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. Dz.Urz. Wspólnot Europejskich L 327, T. 43, 22 grudnia 2000.
- Richter B., Thomas G.A., 2008. Dam Good Operations. International Water Power and Dam Construction July 2008, s. 14–17.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 kwietnia 2004 r. w sprawie zakresu i trybu opracowywania planów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy oraz warunków korzystania z wód regionu wodnego. Dz.U. z 2004 r. Nr 126, poz. 1318.
- Sophocleous M., 2007. The Science and Practice of Environmental Flows and the Role of Hydrogeologists. Ground Water 45(4), 393–401.
- Stochliński T. i in., 2007. Opracowanie metodycznych podstaw oraz narzędzi gospodarowania zasobami wodnymi w zlewni z uwzględnieniem ich jakości. Proj. Badawczy KBN nr T12B 035 27. IMGW Oddz. w Krakowie – AGH Kraków.
- Szpindor A., Piotrowski J., 1986. Gospodarka wodna. PWN Warszawa.
- Więzik U., 2002. Metoda określenia przepływu nienaruszalnego w rzekach i potokach górskich. Zesz. Nauk. Inżynieria Włókiennicza i Ochrona Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Ser. 3, Konferencje 7, 214–221.
- Winter T.C., Harvey J.W., Franke O.L., Alley W.M., 1998. Ground Water and Surface Water. A Single Resource. U.S. Geological Survey Circular 1139. Denver (Colorado), ss. 79.
- Witczak S., 2006. Ochrona jakości wód podziemnych w świetle dyrektyw UE. [W:] Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej. XVI Symp. Nauk.-Techn. Problemy związane z wprowadzaniem ramowej dyrektywy wodnej. PZITS Częstochowa, 61–71.
- Witczak S., Kania J., Żurek A., Duliński M., Różański K., Wachniew P., 2013. Gospodarowanie wodami podziemnymi w Polsce a kierunki zmian w dyrektywach UE w świetle realizacji europejskiego projektu GENESIS. Gosp. Wodna 3, 96–102.

- Witczak S., Prazak J., Żurek A., 2002. Wody podziemne i powierzchniowe jako niepodzielny zasób środowiska wodnego. [W:] Gospodarowanie zasobami wód podziemnych. XIV Konf. Problemy wykorzystywania wód podziemnych w gospodarce komunalnej. Częstochowa, 19–28.
- Witczak S., Żurek A., 2008. Problemy związane z uwzględnieniem przepływu nienaruszalnego przy ocenie dyspozycyjnych zasobów wodnych. [W:] Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej. XVII Symp. Nauk.-Techn. Zrównoważone gospodarowanie zasobami wód podziemnych na terenach przekształconych antropogenicznie. PZITS Częstochowa, 38–48.
- Witowski K., Filipkowski A., Gromiec M., 2001. Obliczanie przepływu nienaruszalnego. Poradnik IMGW. Zakład Gospodarki Wodnej Warszawa.
- Wyżga B., Amirowicz A., Radecki Pawlik, Zawiejska J., 2009. Hydromorphological conditions, potential fish habitats and the fish community in a mountain river subjected to variable human impacts, the Czarny Dunajec. Polish Carpath. River Res. Applic. 25(5), 517–536.

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 22.12.2014*