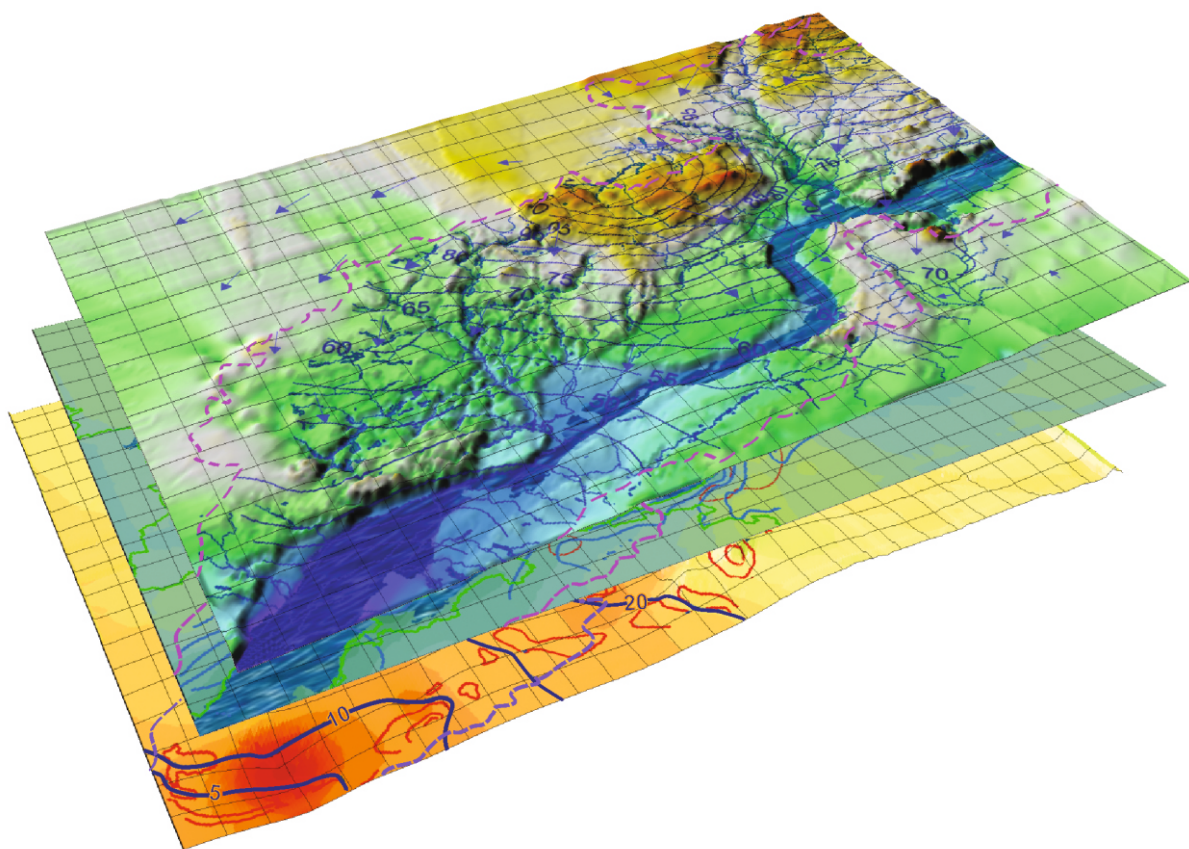


# Metodyka określania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach bilansowych z uwzględnieniem potrzeb jednolitych bilansów wodnogospodarczych

*Poradnik metodyczny*



Piotr Herbich ■ Jacek Kapuściński  
Krzysztof Nowicki ■ Andrzej Rodzoch

**Metodyka określania zasobów dyspozycyjnych  
wód podziemnych w obszarach bilansowych**

z uwzględnieniem potrzeb  
jednolitych bilansów wodnogospodarczych

*Poradnik metodyczny*



# **Metodyka określania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach bilansowych**

z uwzględnieniem potrzeb  
jednolitych bilansów wodnogospodarczych

*Poradnik metodyczny*

Piotr Herbich ■ Jacek Kapuściński  
Krzysztof Nowicki ■ Andrzej Rodzoch

Wykonano na zamówienie Ministra Środowiska  
za środki finansowe wypłacone przez  
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej



MINISTERSTWO  
ŚRODOWISKA

**Recenzenci:** Jan Przybyłek  
Andrzej Szczepański

**Konsultacja:** Lesław Skrzypczyk

**Autorzy:**

Piotr Herbich – Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy  
Jacek Kapuściński – POLGEOL S.A.  
Krzysztof Nowicki – Hydroconsult Sp. z o.o.  
Andrzej Rodzoch – HYDROEKO

**Ilustracje:** zespół autorski

**Komputerowe opracowanie ilustracji:** Jacek Kapuściński

**Korekta:** Jagoda Rodzoch-Malek

**Wykonawca:**

HYDROEKO – Biuro Poszukiwań i Ochrony Wód, Andrzej Rodzoch  
02-796 Warszawa, ul. Wąwozowa 25 lok. 48

© *Copyright by* Ministerstwo Środowiska

ISBN 978-83-63296-02-5

**Skład i łamanie:**

**BORGIS**® Wydawnictwo Medyczne  
02-798 Warszawa, ul. Ekologiczna 8 lok. 103; tel.: + 48 22 836 96 69  
e-mail: wydawnictwo@borgis.pl  
www.wydawnictwo.borgis.pl

**Druk:** Drukarnia Matrix

# SPIS TREŚCI

---

---

<b>1. Wstęp</b> .....	21
<b>2. Podstawowe pojęcia i definicje</b> .....	29
<b>3. Bilans wodnogospodarczy wód podziemnych jako podstawa zarządzania zasobami wód podziemnych</b> .....	41
3.1. Cel i zasady wykonywania bilansu .....	43
3.2. Ogólne równanie bilansu wodnogospodarczego wód podziemnych .....	46
<b>4. Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w gospodarowaniu wodami</b> ...	49
4.1. Systematyka prawna zasobów wód podziemnych dostępnych do zagospodarowania i ich stan rozpoznania w Polsce .....	51
4.2. Historia badań i dotychczasowy przebieg prac dotyczących metodyki ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych ....	65
<b>5. Zasoby odnawialne jako podstawa obliczeń zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych</b> .....	71
5.1. Bilans wód podziemnych .....	73
5.2. Ogólna klasyfikacja analitycznych metod badań odnawialności zasobów wód podziemnych .....	83
5.3. Zasilanie podziemne rzek zlewni zamkniętej przekrojem wodowskazowym .....	85
5.3.1. <i>Podział genetyczny hydrogramu przepływu rzeki</i> .....	86

5.3.2. <i>Analiza statystyczna przepływów niskich miesięcznych MNQ</i> .....	89
5.3.3. <i>Zasilanie podziemne dolinnych stref drenażowych zlewni o kontrolowanym stanie retencji wód podziemnych</i> .....	93
5.4. <i>Drenaż ewapotranspiracyjny wód podziemnych w dolinach rzecznych</i> .....	105
5.5. <i>Wieloletnia zmienność stanu retencji wód podziemnych i zasilania podziemnego rzek</i> .....	107
5.6. <i>Uwagi o stopniu dokładności określania odpływu podziemnego do rzek</i> .....	111
5.7. <i>Lokalna infiltracja efektywna opadów określana na podstawie stacjonarnych obserwacji stanu retencji poziomu wodonośnego o zwierciadle swobodnym</i> .....	114
5.8. <i>Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika odnawialności zasobów wód podziemnych</i> .....	117
5.9. <i>Przykład ustalania odnawialności zasobów wód podziemnych metodą bilansową</i> .....	123
<b>6. <i>Metodyka ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych</i></b> .....	<b>127</b>
6.1. <i>Wymagania formalne i merytoryczne dotyczące prac projektowych i dokumentacyjnych</i> .....	129
6.1.1. <i>Projekt prac (robót) geologicznych</i> .....	129
6.1.2. <i>Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych</i> .....	132
6.2. <i>Zasady wydzielania jednostek ustalania i rozrządu zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych</i> .....	137
6.2.1. <i>Cele i kryteria rejonizacji hydrogeologicznej i wodnogospodarczej</i> .....	137
6.2.2. <i>Przykład rejonizacji wodnogospodarczej i rozrządu zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych</i> .....	141
6.3. <i>Dane wejściowe niezbędne do oceny zasobów</i> .....	147
6.3.1. <i>Dokładność, reprezentatywność, wiarygodność, istotność i waga danych</i> .....	147

6.3.2. Dane hydrogeologiczne .....	149
6.3.3. Dane hydrologiczne .....	151
6.3.4. Dane środowiskowe .....	156
6.3.5. Dane o poborach wód podziemnych .....	160
6.3.6. Dane o zrzutach ścieków .....	162
6.3.7. Identyfikacja ekosystemów zależnych od wód podziemnych ...	163
6.4. Model konceptualny systemu wodonośnego .....	167
6.5. Model matematyczny systemu wodonośnego .....	169
6.5.1. Podstawowy wymóg schematyzacji – warstwowość modelu ...	169
6.5.2. Parametry hydrogeologiczne a parametry modelu .....	174
6.5.3. Granice modelu, warunki brzegowe .....	175
6.5.4. Sposoby prowadzenia symulacji prognostycznych i obliczeń zasobów dyspozycyjnych .....	178
6.5.5. Kryteria szczypania zasobów .....	179
6.5.6. Sposoby prezentacji wyników badań modelowych .....	181
6.5.7. Zmienność odpływu podziemnego do rzek w warunkach zasilania średniego i niskiego .....	184
6.6. Określanie zasobów dyspozycyjnych metodą hydrologiczną .....	187
<b>7. Metodyka przeprowadzania jednolitego bilansu wodnogospodarczego .....</b>	<b>193</b>
7.1. Ogólne założenia jednolitego bilansu wodnogospodarczego regionu wodnego i zlewni .....	195
7.2. Statyczny bilans wodnogospodarczy regionu wodnego .....	198
7.3. Dynamiczny bilans wodnogospodarczy zlewni .....	201
7.4. Wpływ poboru wód podziemnych na przepływ rzeki w przekroju bilansowym .....	204
7.4.1. Wykorzystanie modelu matematycznego przepływu wód podziemnych na potrzeby jednolitego bilansu wodnogospodarczego .....	204



7.4.2. Wpływ poboru wód podziemnych na przepływ rzeki określany do przeprowadzenia statycznego jednolitego bilansu wodnospodarczego zlewni .....	205
7.4.3. Wpływ poboru wód podziemnych na przepływ rzeki określany do przeprowadzenia dynamicznego jednolitego bilansu wodnospodarczego zlewni .....	213
<b>8. Wytyczne do sporządzania programów prac i dokumentacji hydrogeologicznych ustalających zasoby dyspozycyjne wód podziemnych .....</b>	<b>221</b>
8.1. Sporządzanie programu prac geologicznych .....	223
8.2. Bazy danych do opracowania programu prac i dokumentacji hydrogeologicznej .....	240
8.3. Sporządzanie dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych .....	241
<b>9. Literatura .....</b>	<b>259</b>

## SPIS RYSUNKÓW W TEKŚCIE

Rys. 4.1-1. Zasięg obszarów bilansowych o ustalonych zasobach dyspozycyjnych wód podziemnych wg stanu na 31.12.2012 r. ....	54
Rys. 5.1-1. Schemat zlewniowego systemu krążenia wód podziemnych .....	78
Rys. 5.2-1. Klasyfikacja metod określania zasobów odnawialnych wód podziemnych na tle schematu zlewniowego systemu krążenia .....	84
Rys. 5.3-1. Hydrogram przepływu całkowitego rzeki (Wojśławka w Małochwieju) z wydzieleniem zasilania podziemnego doliny rzecznej ( <i>ZPD</i> ) oraz zasilania podziemnego rzeki ( <i>QG</i> ) i drenażu ewapotranspiracyjnego wód podziemnych ( <i>ETD</i> ) w obrębie tarasu niskiego (podmokłego) doliny .....	88
Rys. 5.3-2. Przykłady wydzielenia odpływu podziemnego poprzez podział hydrogramu z uwzględnieniem minimów przepływu występujących w równych przedziałach czasowych ( <i>A</i> ), okresowych regresji przepływu ( <i>B</i> ) i lokalnych minimów przepływu ( <i>C</i> ) .....	89
Rys. 5.3-3. Wielkość niskich miesięcznych przepływów Liwca w Łochowie: średnich rocznych $SMNQ_R$ oraz średnich ruchomych $SMNQ_{(R-CI)}$ z okresu poprzedzającego dany rok o czas opóźnienia $CI = 10$ lat .....	90
Rys. 5.3-4. Wyznaczenie odpływu podziemnego $SQG$ metodą Killego na krzywej kumulacyjnej zbioru $MNQ$ rzeki Liwiec w Łochowie z wielolecia 1951-1980 jako wartości równej przepływowi $MNQ_{(0,5TW)}$ (gdzie $0,5TW = 180$ miesięcy) wraz z mniejszymi: $QG = MNQ_{(0,5TW)} = 4,1 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	92
Rys. 5.3-5. Przykład wyraźnego związku stanów retencji i odpływu podziemnego w zlewniach rzek drenujących poziom wodonośny o swobodnym zwierciadle wody .....	94

Rys. 5.3-6. Interpretacja krzywej związku stanów retencji wód podziemnych $H$ (cm pzk – głębokość [cm] do zwierciadła wody poniżej znaku kontrolnego) i odpływu podziemnego $QG$ [ $m^3/s$ ] w przekroju zamykającym zlewniowy system wodonośny .....	101
Rys. 5.4-1. Rozkład wartości drenażu ewapotranspiracyjnego w tarasie niskim dla 50 wybranych zlewni bilansowych, średniego z wielolecia hydrologicznie normalnego .....	107
Rys. 5.5-1. Odpływ rzeczny z obszaru kraju w latach 1901-1990 .....	108
Rys. 5.5-2. Odpływ podziemny rzeki Omulwi w przekroju wodowskazowym w Białobrzegu Bliższym w latach 1951-1990 .....	109
Rys. 5.5-3. Dynamika stanu retencji poziomego wodonośnego w utworach szczelinowo-porowych kredy górnej (kreda pisząca i margle), rejestrowana w posterunku IMGW Anusin k. Chełma w latach 1959-2000.....	109
Rys. 5.6-1. Porównanie wartości najniższego przepływu miesięcznego $MNQ$ z odpływem podziemnym $QG$ wyznaczonym metodą rozdziału hydrogramu przepływu całkowitego $Q$ ....	114
Rys. 5.7-1. Określanie infiltracji efektywnej metodą analizy zmian stanu retencji wód podziemnych .....	117
Rys. 5.9-1. Położenie posterunków wodowskazowych w obrębie zlewni Wdy jako podstawa wydzielenia zlewni bilansowych .....	125
Rys. 6.2-1. Schemat rejonizacji wodnogospodarczej .....	140
Rys. 6.2-2. Podział regionu wodnego Górnej Wisły na obszary bilansowe oraz rejony wodnogospodarcze wód podziemnych .....	141
Rys. 6.2-3. Zasoby wód podziemnych obszaru bilansowego Z-16 (zlewnia Wkry wraz z fragmentami przyległych obszarów) z podziałem na rejony wodnogospodarcze .....	145
Rys. 6.3-1. Zależność współczynnika $k$ od powierzchni zlewni typu nizinnego, przejściowego (wyzynnego i podgórskiego) oraz górskiego .....	153
Rys. 6.3-2. Różne typy ekosystemów lądowych zależnych od wód .....	165
Rys. 6.4-1. Schemat dokonywania uproszczeń przy konstrukcji modelu matematycznego .....	167

Rys. 6.5-1. Działanie warstwy słabo przepuszczalnej .....	170
Rys. 6.5-2. Schematy odwzorowania na modelu warstwy słabo przepuszczalnej .....	171
Rys. 6.5-3. Schemat struktury modelu matematycznego wykonanego w rejonie Raduni i Motławy .....	173
Rys. 6.5-4. Schemat obliczania skumulowanych wartości dopływu do doliny rzecznej .....	185
Rys. 7.2-1. Schemat lokalizacyjny elementów systemu wodnogospodarczego zlewni uwzględnianych w bilansie wód powierzchniowych (wyznaczających położenie przekroju bilansowego) .....	200
Rys. 7.4-1. Schemat obliczania średniej ruchomej wartości przepływu niskiego miesięcznego $SNMQ(t-CI)$ z okresu poprzedzającego dany miesiąc $t$ o czas inercji $CI = 2$ lata .....	217

## SPIS TABEL W TEKŚCIE

Tab. 4.1-1. Zestawienie dokumentacji hydrogeologicznych ustalających zasoby dyspozycyjne wód podziemnych wykonanych w latach 1993-2012 (do 31.12.2012 r.) .....	55
Tab. 4.1-2. Zestawienie dokumentacji hydrogeologicznych ustalających zasoby dyspozycyjne wód podziemnych będących w trakcie opracowywania .....	63
Tab. 5.1-1. Wartości współczynnika $\lambda$ oraz opóźnienia czasowego $CI$ [lata] zalecane do stosowania w obliczeniach bilansowych przy określaniu udziału krążenia wód podziemnych drenowanych przez rzeki zlewni o powierzchni większej niż ok. 250 km <sup>2</sup> – w krążeniu wód podziemnych strefy aktywnej wymiany ....	81
Tab. 5.3-1. Zestawienie wartości przepływów $MNQ$ [m <sup>3</sup> /s] rzeki Liwiec w Łochowie (powierzchnia zlewni $A = 2466$ km <sup>2</sup> ), średnich rocznych $SMNQ_R$ oraz średnich ruchomych $SMNQ_{(R-CI)}$ określonych dla czasu opóźnienia $CI = 10$ lat .....	91
Tab. 5.3-2. Zestawienie danych wejściowych do obliczeń składników bilansu hydrogeologicznego metodą analizy związku średnich półrocznych wartości stanów retencji $SH$ wód podziemnych i odpływu podziemnego $SQG$ do rzek (w kolumnach 2, 3, 4, 5) oraz średnich ruchomych 15-letnich (kolumny 6, 7) .....	99
Tab. 5.3-3. Bilans wód podziemnych zlewni Liswarty po Zawady .....	104
Tab. 5.8-1. Przykładowe wartości wagowe infiltracji efektywnej w podstawowych wydzieleniach litologicznych, stosowane w badaniach modelowych wschodniej części Pojezierza Pomorskiego .....	120
Tab. 5.8-2. Przykładowe wartości wagowe infiltracji efektywnej w wydzieleniach litologicznych według <i>Szczegółowej mapy geologicznej Polski</i> , stosowane w badaniach stopnia podatności pierwszego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenia z powierzchni terenu .....	121
Tab. 5.8-3. Empiryczne wskaźniki infiltracji efektywnej <i>w</i> wydzieleniach litogenetycznych utworów niżu środkowopolskiego .....	122
Tab. 5.9-1. Zestawienie bilansu hydrogeologicznego zlewni Wdy .....	126

Tab. 6.2-1. Zasoby odnawialne i dyspozycyjne oraz bilans wodnogospodarczy wód podziemnych obszaru bilansowego Z-16: zlewnia Wkry z fragmentem zlewni bezpośredniej Wisły .....	144
Tab. 6.3-1. Uśrednione wartości współczynnika $k$ do wzoru (7.2-1) .....	153
Tab. 6.3-2. Wartości współczynników $W_{SNQ}$ , $W_{90\%}$ , $W_{95\%}$ dla obszarów działalności regionalnych zarządów gospodarki wodnej .....	155
Tab. 6.5-1. Schemat struktury modelu matematycznego wykonanego w rejonie Wyszkowa .....	173
Tab. 6.5-2. Rodzaje symulacji modelowych dla charakterystyki odpływu podziemnego do rzek .....	186
Tab. 6.6-1. Wartości współczynnika $\alpha$ udziału odpływu podziemnego pochodzącego z drenażu poziomów użytkowych $QG_G$ w całkowitym odpływie podziemnym $QG$ ze zlewni .....	190
Tab. 7.4-1. Wykaz symulacji modelowych wykonywanych na potrzeby jednolitego bilansu wodnogospodarczego .....	207

## SKRÓTY UŻYWANE W PORADNIKU

### *I. Nazwy własne*

GUS	– Główny Urząd Statystyczny
GZWP	– Główny Zbiornik Wód Podziemnych
IMGW	– Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy
KDH	– Komisja Dokumentacji Hydrogeologicznych
KZGW	– Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej
MhP	– Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000
MhP GUPW	– Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, główny użytkowy poziom wodonośny
MhP PPW WH	– Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, pierwszy poziom wodonośny, występowanie i hydro- dynamika
MhP PPW WJ	– Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, pierwszy poziom wodonośny, wrażliwość i jakość
NAG	– Narodowe Archiwum Geologiczne
Pgig	– Prawo geologiczne i górnicze
PIG	– Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
PIOŚ	– Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska
PSH	– Państwowa Służba Hydrogeologiczna
RDLP	– Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych
RDOŚ	– Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska
RZGW	– Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej
SmgP	– Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1 : 50 000
TSSE	– Terenowa Stacja Sanitarно-Epidemiologiczna

UE	– Unia Europejska
RDW	– Ramowa Dyrektywa Wodna (Dyrektywa 2000/60/EC) Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r.
WIOŚ	– Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska
ZPPNR PAN	– Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych PAN

## *II. Symbole używane w poradniku*

A	– powierzchnia zlewni [ $L^2$ ]
A(x, y)	– powierzchnia bloku modelu o współrzędnych (x, y) [ $L^2$ ]
Az	– powierzchnia obszarów zasilania wód podziemnych w zlewni [ $L^2$ ]
SCWP	– scalona część wód powierzchniowych
ZSW	– zlewniowy system wodonośny
JB	– jednostka bilansowa wód
OB	– obszar bilansowy
RW	– rejon wodnogospodarczy
JCWPd	– jednolita część wód podziemnych
P	– całkowity opad atmosferyczny (łącznie z kondensacją) [ $LT^{-1}$ , $L^3T^{-1}$ ]
P(x, y)	– opad atmosferyczny w danym bloku modelu (x, y) [ $LT^{-1}$ , $L^3T^{-1}$ ]
E	– parowanie całkowite [ $LT^{-1}$ , $L^3T^{-1}$ ]
EP	– parowanie z wolnej powierzchni wodnej [ $LT^{-1}$ , $L^3T^{-1}$ ]
ETD	– drenaż ewapotranspiracyjny: parowanie i transpiracja z wód gruntowych (głównie w obrębie tarasu niskiego doliny rzecznej i podmokłości, zasilanych lateralnie i ascenzyjnie wodami podziemnymi) [ $LT^{-1}$ , $L^3T^{-1}$ ]



etd	– moduł drenażu ewapotranspiracyjnego <i>ETD</i> wód podziemnych, określony w odniesieniu do powierzchni obszarów zlewni okresowo i stale podmokłych w obrębie dolinnych tarasów niskich (zalewowych – łąkowych) [ $LT^{-1}L^{-2}$ , $L^3T^{-1}L^{-2}$ ]
ETS	– parowanie z powierzchni terenu i gleby wraz z intercepcją i transpiracją [ $LT^{-1}$ , $L^3T^{-1}$ ]
SSETD	– wartość średnia roczna <i>ETD</i> z wielolecia lub dla cyklu <i>CI</i> -lat posusznych [ $LT^{-1}$ , $L^3T^{-1}$ ]
SSZPD	– wartość średnia roczna <i>ZPD</i> z wielolecia lub dla cyklu <i>CI</i> -lat posusznych [ $LT^{-1}$ , $L^3T^{-1}$ ]
$\mu$	– współczynnik odsączalności grawitacyjnej [–]
CI	– czas opóźnienia zasilania rzek na zmiany infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych [T]
IE	– infiltracja opadów do wód podziemnych (infiltracja efektywna – miarodajna) [ $LT^{-1}$ , $L^3T^{-1}$ ]
ie	– moduł infiltracji efektywnej <i>IE</i> , określony w odniesieniu do powierzchni obszarów zasilania wód podziemnych w zlewni [ $LT^{-1}L^{-2}$ , $L^3T^{-1}L^{-2}$ ]
ieR	– moduł infiltracji efektywnej średni roczny z wielolecia $\Delta t$ [ $LT^{-1}L^{-2}$ , $L^3T^{-1}L^{-2}$ ]
ie (x, y)	– moduł infiltracji efektywnej w danym bloku modelu o współrzędnych (x, y), znajdującym się w obszarze zasilania wód podziemnych bilansowanej zlewni, dla której została ustalona wartość <i>ie</i> [ $LT^{-1}L^{-2}$ , $L^3T^{-1}L^{-2}$ ]
LIT(x, y)	– bezwymiarowa wartość wagowa przypisana wydzieleniu litologicznemu, kształtującemu warunki infiltracji efektywnej w danym bloku modelu (x, y) [–]
QZ	– infiltracja wód powierzchniowych do wód podziemnych [ $L^3T^{-1}$ ]
QZN	– naturalna infiltracja wód powierzchniowych do wód podziemnych [ $L^3T^{-1}$ ]

QZS	– sztuczna infiltracja wód powierzchniowych do wód podziemnych (stawy i rowy infiltracyjne, infiltracja brzegowa do obszarów zasilania ujęć) [ $L^3T^{-1}$ ]
SSIE <sub>w</sub>	– wartość średnia $IE$ z wielolecia [ $LT^{-1}$ , $L^3T^{-1}$ ]
SSIE <sub>15</sub>	– wartość średnia $IE$ wybrana z ciągu wartości średnich ruchomych 15-letnich [ $LT^{-1}$ , $L^3/T$ ]
we	– wskaźnik infiltracji efektywnej [-]
SH <sub>Z</sub> , SH <sub>L</sub>	– średnie w półroczach zimowych ( $Z$ ) i letnich ( $L$ ) wartości położenia zwierciadła wody [L]
H	– położenie zwierciadła wody określające stan retencji wód podziemnych [L]
H <sub>Z</sub>	– średnie położenie zwierciadła wody w półroczu zimowym [L]
H <sub>L</sub>	– średnie położenie zwierciadła wody w półroczu letnim [L]
SSH <sub>Z</sub> (w)	– wartość średnia H <sub>Z</sub> z wielolecia [L]
SSH <sub>L</sub> (w)	– wartość średnia H <sub>L</sub> z wielolecia [L]
SSH <sub>Z</sub> (15)	– wartość średnia H <sub>Z</sub> wybrana z ciągu wartości średnich ruchomych 15-letnich [L]
SSH <sub>L</sub> (15)	– wartość średnia H <sub>L</sub> wybrana z ciągu wartości średnich ruchomych 15-letnich [L]
B <sub>OR</sub>	– wielkość odpływu wód podziemnych do regionalnych stref drenażowych [ $L^3T^{-1}$ ]
MNQ	– wartości przepływu niskiego miesięcznego (ciąg) [ $L^3T^{-1}$ ]
NNQ	– najniższy przepływ rzeczny w badanym okresie [ $L^3T^{-1}$ ]
OSW	– obszar spływu wód do ujęcia
Q	– odpływ rzeczny (przepływ rzeki w przekroju wodowskazowym zamykającym zlewnię) [ $L^3T^{-1}$ ]
QG	– odpływ podziemny do rzek [ $L^3T^{-1}$ ]

$Q_g$	– moduł odpływu podziemnego ze zlewni, określony w odniesieniu do całej powierzchni zlewni [ $L^3T^{-1}$ ]
$Q_{nh}$	– przepływ nienaruszalny [ $L^3T^{-1}$ ]
$QP$	– odpływ rzeczny pochodzący ze spływu powierzchniowego i podpowierzchniowego wód opadowych (nie docierającego do poziomu wodonośnego, odbywającego się m.in. w obrębie stokowych pokryw zwietrzelinowych i poziomów zawieszonych) [ $L^3T^{-1}$ ]
$QGP$	– odpływ podziemny pochodzący z drenażu poziomów zawieszonych i przypowierzchniowych poziomów wód gruntowych [ $L^3T^{-1}$ ]
$SMNQ$	– wartość średniego przepływu niskiego miesięcznego [ $L^3T^{-1}$ ]
$SMNQ_Z, SMNQ_L$	– średnie w półroczach zimowych ( $Z$ ) i letnich ( $L$ ) wartości przepływu niskiego miesięcznego [ $L^3T^{-1}$ ]
$SNQ$	– przepływ średni z niskich przepływów w badanym okresie [ $L^3T^{-1}$ ]
$SQG$	– średnia wieloletnia wartość przepływu rzeki pochodząca z zasilania podziemnego [ $L^3T^{-1}$ ]
$SSQ$	– przepływ średni ze średnich w badanym okresie [ $L^3T^{-1}$ ]
$SSQG$	– wartość średnia roczna $QGR$ z wielolecia lub dla cyklu $CI$ -lat posusznych [ $L^3T^{-1}$ ]
$\alpha = \frac{QG_G}{QG}$	– stosunek odpływu podziemnego pochodzącego z drenażu poziomów użytkowych w obrębie zlewni do całkowitego odpływu podziemnego [–]
$SQG_w$	– średni w wieloleciu reprezentatywnym odpływ podziemny do rzek [ $L^3T^{-1}$ ]
$\Delta R$	– zmiana stanu retencji wód w okresie bilansowania [L]
$\Delta RP$	– zmiana stanu retencji wód powierzchniowych w okresie bilansowania
$\Delta RG$	– zmiana stanu retencji wód podziemnych w okresie bilansowania [L]

$\Delta B$	– wielkość wymiany wód podziemnych poprzez boczne granice bilansowanej zlewni [ $L^3T^{-1}$ ]
$\langle LIT \cdot P \rangle$	– średnia wartość iloczynu funkcji $LIT(x, y) \cdot P(x, y)$ w granicach obszarów zasilania bilansowanej zlewni [ $LT^{-1}, L^3T^{-1}$ ]
$\Delta ZD$	– stan rezerw zasobów dyspozycyjnych jednostki bilansowej [ $L^3T^{-1}$ ]
WZ	– wtłaczanie (zatłaczanie) wód do poziomu wodonośnego otworami chłonnymi [ $L^3T^{-1}$ ]
ZD	– zasoby dyspozycyjne wód podziemnych [ $L^3T^{-1}$ ]
ZO	– zasoby odnawialne wód podziemnych [ $L^3T^{-1}$ ]
ZP	– zasoby perspektywiczne wód podziemnych [ $L^3T^{-1}$ ]
ZPD	– zasilanie podziemne dolinnej strefy drenażowej systemu wodonośnego w zlewni bilansowej [ $L^3T^{-1}$ ]
GUPW	– główny użytkowy poziom wodonośny
U	– pobór wód podziemnych [ $L^3T^{-1}$ ]
UA	– pobór aktualny wód podziemnych [ $L^3T^{-1}$ ]
UW	– pobór prawnie dopuszczalny [ $L^3T^{-1}$ ]
UP	– pobór perspektywiczny (prognozowany) [ $L^3T^{-1}$ ]
UD	– pobór na poziomie zasobów dyspozycyjnych [ $L^3T^{-1}$ ]
UB	– bezzwrotny pobór wód podziemnych (pobór wody nie powracający do systemu wodnego zlewni w postaci ścieków i wód z odwodnień budowlanych i górniczych) [ $L^3T^{-1}$ ]
S	– zrzut ścieków i wód z odwodnień budowlanych i górniczych [ $L^3T^{-1}$ ]
JBWG	– jednolity bilans wodnogospodarczy



# 1. Wstęp

---



Ustalanie zasobów dyspozycyjnych zwykłych wód podziemnych rozpoczęło się w naszym kraju w roku 1995, jako jedno z głównych zadań wskazanych w dokumencie *Polityka resortu w zakresie hydrogeologii*, opracowanym w sierpniu 1994 r. w Departamencie Geologii Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa. Ochrona wód podziemnych przed degradacją ilościową i jakościową oraz tworzenie warunków racjonalnego gospodarowania tymi wodami zostały uznane we wspomnianym dokumencie za strategiczny cel resortu w dziedzinie hydrogeologii. Podstawą realizacji tej polityki w zakresie ustalania zasobów wód podziemnych stał się poradnik metodyczny *Ustalanie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych* [Paczyński i in., 1996]. Polityka resortu oraz nakreślone w niej cele strategiczne i program działań nawiązywały do doświadczeń i praktyki gospodarowania wodami stosowanymi od wielu lat w krajach zachodniej Europy, mimo że perspektywa przystąpienia Polski do Unii Europejskiej wydawała się wtedy jeszcze bardzo odległa. Również przywołany wyżej poradnik, mimo że stosunkowo skromny w swej formie i treści, w zakresie metodyki ustalania zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych nawiązywał do doświadczeń i praktyki badań hydrogeologicznych krajów Unii Europejskiej. Autorzy poradnika podkreślali, że definicja *zasobów dyspozycyjnych* wprowadzona do prawa polskiego jest bliska definicji przyjętej w Unii Europejskiej na potrzeby gospodarki wodnej.

Przystąpienie Polski do Unii Europejskiej w 2004 r. i związana z tym konieczność dostosowania prawa krajowego do prawa europejskiego stworzyły zupełnie nową sytuację w dziedzinie gospodarowania wodami. Punktem odniesienia wszelkich działań w zakresie gospodarki



wodnej stała się Ramowa Dyrektywa Wodna (Dyrektywa 2000/60/EC) Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. (RDW) ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. Cele określone w Dyrektywie, jak też specyficzne podejście do gospodarowania wodami i ich ochrony, opierające się na pojęciu *jednolitej części wody* (ang. *water body*) oraz zintegrowanym zarządzaniu wodami powierzchniowymi i podziemnymi w obszarach zlewni hydrograficznych, spowodowało konieczność dostosowania zadań hydrogeologii do nowych potrzeb. Wymagania RDW wpłynęły również na konieczność modyfikacji stosowanego dotąd sposobu ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych, tak, by w większym stopniu uwzględniane były potrzeby ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych oraz wpływ zagospodarowania tych wód na stan zasobów wód powierzchniowych. Mimo podkreślania w polityce resortowej znaczenia ustalania zasobów wód podziemnych, w środowisku hydrogeologów istniało i nadal istnieje wiele wątpliwości i sporów na temat rozumienia oraz interpretacji definicji tych zasobów oraz zasad ich ustalania. Dość wcześnie zaczęto dostrzegać potrzebę opracowania nowego poradnika metodycznego, który zawierałby wytyczne dotyczące ustalania zasobów dyspozycyjnych zwykłych wód podziemnych w sposób uwzględniający wymagania RDW. Decyzja o zleceniu przygotowania takiego poradnika została podjęta w 2010 roku. Ministerstwo Środowiska, zlecając opracowanie nowego poradnika, kierowało się następującymi przesłankami:

- Konieczność dostosowania metodyki ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych do szczegółowych ustaleń zawartych w obowiązującym od 1 stycznia 2012 r. rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w *sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej* (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714), w szczególności zawartych w nowej, znacznie rozszerzonej i uszczegółowionej definicji tych zasobów, zacytowanej w rozdziale 2.
- Konieczność uwzględnienia w dokumentacji hydrogeologicznej, w szerszym niż dotychczas zakresie, potrzeb jednolitych bilansów wodnogospodarczych.
- Konieczność szacunkowej oceny wielkości dostępnych zasobów wód dla jednolitych części wód podziemnych, stanowiących część

zasobów dyspozycyjnych ustalonych dla obszarów bilansowych, w obrębie których JCWPd się znajduje.

- Konieczność uwzględnienia w analizach zasobowych, w szerszym zakresie niż dotychczas, potrzeb wodnych ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych i ograniczeń związanych z istnieniem obszarów chronionych przyrody, w tym w szczególności obszarów Natura 2000.
- Potrzeba metodycznego ukierunkowania w celu realizacji krajowego programu ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z uwzględnieniem potrzeby stworzenia jednolitych bilansów wodnogospodarczych i warunków korzystania z wód.

Wyżej wymienione oczekiwania Ministerstwa Środowiska dotyczące dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych powodują, że zakres i sposób opracowania tej dokumentacji w niektórych elementach będą się różniły od dotychczasowej praktyki i częściowo będą wykraczały również poza zakres dokumentacji określony w ww. rozporządzeniu. Dotyczy to w szczególności szacowania wielkości dostępnych zasobów wód podziemnych dla JCWPd oraz oceny wielkości odpływu podziemnego do rzek przy zmniejszonym zasilaniu z infiltracji opadów, odpowiadającym warunkom lat posusznych. Chociaż odpływ podziemny policzony dla lat posusznych nie jest brany pod uwagę przy ustalaniu wielkości zasobów dyspozycyjnych odnoszonych do średnich warunków zasilania z wielolecia, jego obliczenie dostarczy dodatkowych informacji ważnych do opracowania warunków korzystania z wód regionu wodnego i zlewni.

Zgodnie z oczekiwaniami Ministerstwa Środowiska jako zlecającego prace, prezentowany poradnik, nawiązując do dotychczasowych krajowych doświadczeń w zakresie ustalania zasobów zwykłych wód podziemnych, uwzględnia jednocześnie nowe wymagania zapisane w Ramowej Dyrektywie Wodnej UE, przeniesione do prawa krajowego. Należy jednak podkreślić, że pojęcie *zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych* przyjęte i stosowane w naszym kraju od wielu lat, w sensie definicji nie jest tożsame z pojęciem *zasobów dostępnych wód podziemnych* przyjętym w RDW, ale nie jest też z nim sprzeczne. Dyrektywa określa te zasoby w sposób bardziej ogólny, odnosząc je do obszarów JCWPd, a nie do obszarów bilansowych, tak jak w naszym kraju. Ramowy charakter dyrektywy pozostawia poszczególnym krajom możliwość indywidualnego podejścia do ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych, zgodnego

z ich dotychczasowymi doświadczeniami i dostosowanego do przyjętego sposobu gospodarowania wodami. Dyrektywa wymaga jedynie, aby ocena „dostępności” zasobów była wykonywana także dla obszarów JCWPd, jako podstawowych jednostek oceny stanu ilościowego i chemicznego wód podziemnych, wymagających okresowego raportowania do Komisji Europejskiej.

Zawartość poradnika zasadniczo można podzielić na trzy części. W części pierwszej, ogólnej, przedstawiono podstawowe definicje używanych pojęć (rozdz. 2), krótko opisano bilans wodnogospodarczy wód podziemnych jako podstawę zarządzania zasobami wód podziemnych (rozdz. 3) oraz przedstawiono systematykę zasobów wód podziemnych dostępnych do zagospodarowania, wraz z historią dotychczasowych badań ustalających te zasoby (rozdz. 4). Część druga, podstawowa (rozdz. 5 i 6), dotyczy zagadnień metodycznych dotyczących ustalania wielkości zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych z zastosowaniem badań modelowych. Ponieważ wiele z tych zagadnień jest dobrze i wyczerpująco przedstawionych w poradnikach metodycznych z zakresu modelowania matematycznego wydanych w ostatnich latach w naszym kraju [Dąbrowski i in., 2011; Kulma, Zdechlik, 2009; Michalak, Nawalany, Sadurski, 2011], w prezentowanym poradniku jedynie się te zagadnienia sygnalizuje, odsyłając czytelników do odpowiednich publikacji. Szczególną uwagę zwraca się na te elementy metodyczne, które są specyficzne dla hydrogeologicznych badań regionalnych. Ważną częścią poradnika jest też rozdział 7, w którym przedstawiono procedurę wykonywania jednolitego bilansu wodnogospodarczego. Należy podkreślić, że bilans ten nie jest sporządzany w ramach dokumentacji hydrogeologicznej, lecz stanowi odrębne opracowanie planistyczne, w którym dane pozyskane w wyniku badań hydrogeologicznych stanowią materiał wejściowy do jego opracowania. Uznano, że omówienie procedury wykonywania jednolitego bilansu pozwoli hydrogeologom przygotowującym dokumentację hydrogeologiczną ustalającą zasoby dyspozycyjne wód podziemnych lepiej zrozumieć cel i zadania dokumentacji oraz wagę i przydatność jej ustaleń do opracowania warunków korzystania z wód regionu wodnego.

Trzecia część poradnika (rozdz. 8) zawiera szczegółowe wytyczne sporządzania programów prac geologicznych oraz wytyczne sporządzania dokumentacji hydrogeologicznych ustalających zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zgodnie z nowymi wymaganiami. Wytycznych tych nie należy traktować jako ścisłej instrukcji wykonawczej, lecz jako rodzaj pomocy dla hydrogeologa, która może przyczynić się do uporządkowania treści przekazywanych w programie i dokumentacji.

---

Autorzy wyrażają specjalne podziękowania recenzentom: prof. dr hab. Janowi Przybyłkowi i prof. dr hab. inż. Andrzejowi Szczepańskiemu, których wnikliwe i konstruktywne uwagi pozwoliły usunąć błędy i uzupełnić braki w opracowaniu, co wpłynęło pozytywnie na jego ostateczny kształt. Podziękowania kierowane są również do innych osób, z których opinii i konsultacji korzystano: dr. Lesława Skrzypczyka oraz szerokiego grona członków zespołu konsultacyjnego PSH.



## **2. Podstawowe pojęcia i definicje**

---

---



W rozdziale tym zestawiono definicje głównych pojęć stosowanych przy ustalaniu odnawialnych i dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych oraz przeprowadzaniu bilansu wodnogospodarczego. Ich zapis jest zgodny z dokumentami źródłowymi (w nawiasie podane jest źródło definicji) albo częściowo rozszerzony i uzupełniony. W stosunku do niektórych pojęć ze *Słownika hydrogeologicznego* [Dowgiałło (red.), 2002] posłużono się definicjami rozwiniętymi w późniejszych poradnikach metodycznych [Dąbrowski i in., 2004; Dąbrowski i in., 2011].

**Bilans wodnogospodarczy wód podziemnych** [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714)] – porównanie wielkości zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych ze stanem ich zagospodarowania, dokonywane w celu wskazania istniejących w obszarze bilansowym albo w jednostce bilansowej rezerw lub deficytu zasobów wód podziemnych. Stan zagospodarowania charakteryzują pobory wód podziemnych, które, w zależności od rodzaju bilansu, są wyrażone przez [Herbich, Dąbrowski, Nowakowski, 2007]:

- **aktualny, rzeczywisty pobór wód podziemnych** ze wszystkich ujęć zlokalizowanych w obszarze bilansowym, na który składa się:
  - pobór realizowany w ramach szczególnego korzystania z wód, tj. wymagający uzyskania pozwolenia wodnoprawnego (pobór rejestrowany urządzeniami pomiarowymi, podlegający zgłaszaniu w celu naliczenia opłat za korzystanie z wód),



- pobór nie wymagający takiego pozwolenia (pobór nierejestrowany – przyjmowany w sposób szacunkowy dla przeciętnych gospodarstw domowych i małych gospodarstw rolnych w obszarach nie objętych zwodociągowaniem);
- **pobór wód podziemnych prawnie dopuszczalny** decyzją pozwolenia wodnoprawnego ze wszystkich ujęć zlokalizowanych w obszarze bilansowym, wymagających uzyskania takiego pozwolenia, określony lub przeliczony jako maksymalny dopuszczalny pobór roczny;
- **pobór prognozowany** wód podziemnych, niezbędny do pokrycia potrzeb użytkowników ujęć wód podziemnych zlokalizowanych w obszarze bilansowym, spodziewany w określonej perspektywie czasowej. Pobór prognozowany może też być określony w sposób globalny dla całego obszaru bilansowego, jako zwiększone zapotrzebowanie wynikające z przyjętego scenariusza rozwoju społecznego i gospodarczego<sup>1</sup>.

**Bilans wodnogospodarczy wód powierzchniowych**<sup>2</sup> [Tyszewski i in., 2008] – rachunek obejmujący porównanie zasobów wód powierzchniowych z potrzebami wodnymi użytkowników w wyznaczonych przekrojach bilansowych oraz kształtowanie i rozrząd tych zasobów z uwzględnieniem potrzeb użytkowników, ich ważności oraz wymagań przepływu i ograniczeń dyktowanych ochroną środowiska przyrodniczego.

**Dolinka strefa drenażowa** [Herbich, Przytuła, 2012] – taras niski (podmokły) doliny rzecznej wraz z korytami występujących w niej wód powierzchniowych. W bilansie wodnogospodarczym rozpatrywana jest ona jako strefa drenażu ewapotranspiracyjnego wód podziemnych (transpiracji i parowania ze strefy saturacji na potrzeby wodne dolinnych ekosystemów mokradłowych i łąkowych) oraz drenażu korytowego tworzącego zasilanie podziemne rzek.

**Dostępne zasoby wód podziemnych** (wg RDW) oznaczają długoterminową średnią roczną wielkość całkowitego zasilania określonej części wód podziemnych pomniejszonego o długoterminową roczną wielkość przepływu

<sup>1</sup> Bilans wodnogospodarczy uwzględniający pobór prognozowany wykonywany jest w sytuacjach, gdy istnieją dane dotyczące perspektywnego zapotrzebowania poszczególnych użytkowników lub regionów (np. województw). W praktyce często zdarza się, że danych takich brak.

<sup>2</sup> W hydrologii wyróżnia się *bilans ilościowy* (porównanie zasobów z użytkowaniem) oraz *bilans jakościowy* (bilans masy składników chemicznych kształtujących jakość wód powierzchniowych). W niniejszym poradniku istotny jest tylko bilans ilościowy i taki właśnie bilans rozumie się pod pojęciem *bilans wodnogospodarczy wód powierzchniowych* i *jednolity bilans wodnogospodarczy*.

wymaganego do osiągnięcia celów jakości ekologicznej, wyszczególnionych na mocy art. 4, związanych z określoną częścią wód podziemnych, tak, aby uniknąć jakiegokolwiek znacznego obniżenia stanu ekologicznego takich wód oraz aby uniknąć wszelkich szkód w związanych z nimi ekosystemach lądowych.

**Drenaż ewapotranspiracyjny wód podziemnych ETD** [Herbich, Przytuła, 2012] – parowanie i transpiracja ze strefy płytko zalegającego zwierciadła wód gruntowych dolinnego tarasu niskiego na potrzeby wodne ekosystemów mokradłowych i łąkowych, bilansowane napływem wód podziemnych spoza siedliska (zasilanie podziemne dolinnych stref drenażowych).

**Główny użytkowy poziom wodonośny** [*Instrukcja opracowania...*, 1999] – pierwszy od powierzchni terenu poziom użytkowy, stanowiący podstawowe źródło zaopatrzenia w wodę, o dominującym zasięgu i zasobności.

**Główny Zbiornik Wód Podziemnych GZWP** [Herbich i in., 2009b] – zbiornik wydzielony ze względu na szczególne znaczenie regionalne dla obecnego i perspektywicznego zaopatrzenia ludności w wodę, spełniający określone podstawowe kryteria ilościowe i jakościowe: wydajność potencjalna otworu studziennego powyżej 70 m<sup>3</sup>/h, wydajność ujęcia powyżej 10 000 m<sup>3</sup>/dobę, przewodność powyżej 10 m<sup>2</sup>/h, woda nadająca się do zaopatrzenia ludności w stanie surowym lub po jej ewentualnym prostym uzdatnieniu przy pomocy stosowanych obecnie i uzasadnionych ekonomicznie technologii. W obszarach deficytowych kryteria ilościowe mogą być znacznie niższe, lecz wyróżniające zbiornik o znaczeniu praktycznym na tle ogólnie mniej korzystnych warunków hydrogeologicznych.

**Inercja systemu wodonośnego** [Szymanko, 1980, s. 152-154] ] jest własnością systemu determinowaną sprężystością ośrodka przewodzącego wodę, samej wody oraz zdolnościami przewodzenia w tym ośrodku. Inercja systemu przejawia się transformacją rozciągającą w czasie odpowiedź systemu na dowolne wymuszenie. Ogólnie systemy charakteryzujące się dużą pojemnością i małą przewodnością cechuje duża inercja, rosnąca zależnie od wymiarów tych systemów. Systemy o małej inercji, tzn. szybko przekazujące sygnały, cechuje mała pojemność i duża wodoprzewodność. Suma czasu inercji i czasu pionowego przepływu wód w stropie głównego użytkowego poziomu wodonośnego jest miarą opóźnienia czasowego **CI** zasilania rzek na zmiany infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych [Byczkowski i in., 2001]. Miara opóźnienia czasowego zasilania rzek na zmiany infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych wyznacza długość przedziałów czasu **CI**, dla których określana jest średnia infiltracja efektywna w celu ustalenia jej wartości ekstremalnych w wieloletiu – niskiej i wysokiej odnawialności zasobów wód podziemnych, uwzględnianej w ba-

daniach modelowych na potrzeby bilansu wodnogospodarczego [Herbich, Przytuła 2012].

**Infiltracja efektywna** [Dowgiałło (red.), 2002] – część wód pochodzących z opadów atmosferycznych, która po pomniejszeniu objętości związanej ze wpływem powierzchniowym, ewapotranspiracją oraz procesem wiązania siłami molekularnymi z ziarnami gruntu w strefie aeracji przedostaje się do strefy saturacji i zasila wody podziemne.

**Jednolita część wód podziemnych JCWPd** (wg RDW i uzupełnione) – oznacza określoną objętość wód podziemnych występującą w obrębie warstwy wodonośnej lub zespołu warstw wodonośnych. Wydzielana jest jako zbiorowisko wód podziemnych występujących w warstwie lub warstwach wodonośnych, stanowiących lub mogących stanowić źródło wody do spożycia znaczące w zaopatrzeniu ludności lub istotne dla kształtowania pożądanego stanu wód powierzchniowych i ekosystemów lądowych. Wyznaczenie i monitorowanie jednolitych części wód podziemnych ma zapewnić możliwość utrzymania lub osiągnięcia – w określonym czasie i zakresie – dobrego stanu wód podziemnych lub ustalenia mniej wymagających celów dla stanu wód podziemnych, w przypadku, gdy osiągnięcie stanu dobrego jest społecznie, technicznie lub ekonomicznie nieuzasadnione.

**Jednolity bilans wodnogospodarczy** [Hydroprojekt, 1992; Tyszewski i in., 2008] jest specjalistycznym opracowaniem analityczno-rachunkowym obejmującym ilościowe i jakościowe porównanie zasobów wód powierzchniowych i podziemnych (z uwzględnieniem ich wzajemnych oddziaływań) z potrzebami wodnymi użytkowników korzystających lub ubiegających się o korzystanie z tych zasobów, uwzględniający oddziaływania obiektów hydrotechnicznych oraz wymagania ochrony środowiska przyrodniczego. Jednolity charakter bilansu wodnogospodarczego realizowany jest poprzez określenie wpływu zagospodarowania wód podziemnych na przepływy rzek w przekrojach bilansowych określonej zlewni, stanowiących dane wyjściowe do bilansu wód powierzchniowych. Przepływy są scharakteryzowane w zależności od rodzaju bilansu:

- a) Bilans dynamiczny – wieloletnie ciągi wartości średnich okresowych przepływów dekadowych lub miesięcznych, skorygowane o wpływ poboru wód podziemnych. Korekta ta uwzględnia czasową zmienność zasilania rzek wodami podziemnymi. Ten rodzaj bilansu wykonywany jest z reguły dla zlewni bilansowych.
- b) Bilans statyczny – wartości o określonej gwarancji czasowej wystąpienia, ustalonej na podstawie analizy statystycznej ciągu wieloletniego (najczęściej  $g = 90, 94, 96, 98\%$ ) lub wartościami przepływów

charakterystycznych (najczęściej *SSQ*, *SNQ*, *NNQ*). Poprzedzająca bilans korekta przepływów charakterystycznych rzeki jest dokonywana z uwzględnieniem średniego poboru wód podziemnych. Ten rodzaj bilansu ma charakter orientacyjny i wykonywany jest głównie dla regionu wodnego.

**Jednostka bilansowa** [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714)] – część obszaru bilansowego wydzielona ze względu na podobieństwo parametrów hydrogeologicznych lub warunków hydrodynamicznych. *Jednostka bilansowa* (w rozumieniu stosowanym w niniejszym Poradniku) to obszar wydzielony do ustalenia zasobów i przeprowadzenia bilansu wód podziemnych. Może to być np. zlewnia hydrogeologiczna, obszar bilansowy, rejon wodnogospodarczy.

**Obszar bilansowy** [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714)] – jednostka hydrogeologiczna wytypowana w celu ustalenia zasobów odnawialnych i zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych wraz z oceną stopnia ich zagospodarowania.

**Obszar spływu wody do ujęcia OSW** [Dąbrowski i in., 2004] to część wyznaczonego pola hydrodynamicznego w granicach obszaru zasilania ujętego poziomu wodonośnego (warstwy wodonośnej) z liniami prądu zbiegającymi się na ujęciu, a więc obszar, z którego strumienie wód podziemnych, w tym – zasilane z infiltracji opadów, a także z infiltracji wód powierzchniowych, kierują się do ujęcia.

**Obszar zasilania ujęcia wód podziemnych** [Dąbrowski i in., 2004] obejmuje część przestrzeni systemu wodonośnego ( $x, y, z$ ), w której formuje się dopływ do ujęcia zarówno z ujętej warstwy (poziomu wodonośnego), jak i warstw towarzyszących nad- i podległych wraz z warstwami słabo przepuszczalnymi. W przypadku schematu jednowarstwowego ( $x, y$ ) obszar zasilania jest równoważny obszarowi spływu wody do ujęcia, wyznaczonego na podstawie siatki hydrodynamicznej przepływu wód podziemnych.

**Pierwszy poziom wodonośny** [Mapa hydrogeologiczna Polski..., 2004] – pierwsza od powierzchni warstwa wodonośna lub zespół warstw wodonośnych wykazujących wzajemną dobrą łączność hydrauliczną. W schematyzacji warunków hydrogeologicznych, dokonywanej na potrzeby *Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1 : 50 000*, ogólnie przyjmuje się, że warstwa lub zespół warstw wodonośnych, wchodzących w skład pierwszego poziomu wodonośnego, posiada średnią wodoprzepuszczalność ponad 3 m/24 godz.,

łącną miąższość przekraczającą 2 m (przy średnim stanie retencji), ciągłość występowania na obszarze o powierzchni przekraczającej 2 km<sup>2</sup>.

Wymienione kryteria powinny być spełnione na przeważającej części wydzielonej jednostki warunków występowania pierwszego poziomu wodonośnego; oznacza to, że w jej obrębie mogą lokalnie występować strefy nie spełniające tych kryteriów. W rozległych obszarach występowania płytkich wód podziemnych w warstwach nie spełniających tych kryteriów wyróżnia się pierwszy poziom wodonośny o znacznie zróżnicowanych warunkach hydrogeologicznych, gdy stanowi on ważne i powszechnie wykorzystywane źródło zaopatrzenia ludności w wodę, pozostaje w związku hydraulicznym z wodami powierzchniowymi i kształtuje stan ekosystemów zależnych od wód podziemnych, a jego zawodnienie ma charakter stały (choć może być ono sezonowo i rocznie zmienne).

**Przekrój bilansowy** [Tyszewski i in., 2008] jest poprzecznym przekrojem koryta rzecznoego wyznaczonym w celu wykonania bilansu wodnogospodarczego wód powierzchniowych dla określonej zlewni lub fragmentu zlewni. Może być nim **przekrój wodowskazowy**, w którym dokonywane są obserwacje hydrologiczne i pomiary hydrometryczne, lub przekrój wyznaczony na podstawie innych kryteriów, np. w miejscu położenia obiektów użytkowania wód (pobory, zrzuty, piętrzenie i retencja, wykorzystanie energetyczne itp.), położenia węzłów hydrograficznych (ujście do cieku wyższego rzędu, do zbiornika wodnego), zgodnie z zasięgiem scalonych części wód powierzchniowych (SCWP).

**Rejon wodnogospodarczy wód podziemnych** [Herbich, Dąbrowski, Nowakowski, 2007] – obszar występowania układu krążenia wód podziemnych w rozpoznanej strukturze hydrogeologicznej, ze zidentyfikowanymi strefami zasilania i drenażu (rzeki, ujęcia komunalne, przemysłowe i odwodnienia górnicze), o zasięgu i granicach (wododziały podziemne, strefy pełnego kontaktu hydraulicznego z wodami powierzchniowymi, horyzonty i bariery nieprzepuszczalne-izolujące) wyznaczonych optymalnie dla przeprowadzenia bilansu wodnogospodarczego z dokonaniem oceny wpływu zagospodarowania wód podziemnych na stan zasobów wód powierzchniowych i stan ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych. W praktyce rejony wodnogospodarcze wyznaczane są najczęściej poprzez podział obszarów bilansowych, jako wydzielenia niższego rzędu.

**Stan wód podziemnych** (wg RDW) – ogólne określenie stanu jednolitych części wód podziemnych (JCWPd) wyznaczonego przez stan ilościowy i chemiczny wód podziemnych. Dobry stan wód podziemnych oznacza taki stan osiągnięty przez JCWPd, w którym zarówno stan ilościowy, jak i chemiczny jest określony jako co najmniej „dobry”. *Dobry stan chemiczny* jest wtedy, gdy stężenia zanieczyszczeń nie przekraczają standardów jako-



ści zgodnych z odpowiednimi przepisami Wspólnoty Europejskiej oraz nie obserwuje się dopływu naturalnych wód słonych lub wód z wysokimi zawartościami wcześniej nie zidentyfikowanych składników. **Dobry stan ilościowy** jest wtedy, gdy długoterminowa, średnioroczna wielkość poboru wody nie przekracza wielkości dostępnych zasobów wodnych JCWPd, definiowanych przez położenie zwierciadła wód podziemnych, którego obniżenie na skutek oddziaływań antropogenicznych nie powinno powodować:

- niespełnienia celów środowiskowych przez wody powierzchniowe związane z wodami podziemnymi,
- znacznych szkód w ekosystemach lądowych bezpośrednio uzależnionych od części wód podziemnych,
- trwałych zmian kierunku przepływu wód podziemnych, które mogłyby spowodować napływ wód słonych lub innych (ingresje wód morskich, ascenzje wód zasolonych lub innych mogących wpłynąć na pogorszenie stanu chemicznego wód podziemnych).

**System wodonośny** [Szymanko, 1980, s. 42] tworzy dający się dzielić na proste elementy i powiązany hydraulicznie układ przestrzenny środowiska wód podziemnych wraz z występującym w jego obrębie zbiornikiem tych wód, okonturowany powierzchnią brzegową o zdeterminowanym działaniu, w obrębie której można wydzielić strefy zasilania i strefy drenażowe.

**Użytkowy poziom wodonośny** [*Instrukcja opracowania...*, 1999] – warstwa lub zespół warstw wodonośnych wykazujących dobrą łączność hydrauliczną, o parametrach ilości i jakości wód kwalifikujących do eksploatacji komunalnej: miąższość utworów wodonośnych ponad 5 m, wodoprzewodność ponad 50 m<sup>2</sup>/24 godz., wydajność potencjalna studni ponad 5 m<sup>3</sup>/godz. W Karpatach i Sudetach parametry te mogą być odpowiednio niższe: miąższość ponad 2 m, przewodność ponad 25 m<sup>2</sup>/24 godz., wydajność potencjalna studni ponad 2 m<sup>3</sup>/godz. Jakość wód poziomu użytkowego umożliwia ich wykorzystanie do zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia z zastosowaniem uzdatniania powszechnie stosowanego w technice komunalnej.

**Zasilanie podziemne dolinnych stref drenażowych ZPD** [Herbich, Przytuła, 2012] – dopływ wód podziemnych do dolinnych stref drenażowych w zlewni rzecznej równoważący drenaż ewapotranspiracyjny wód podziemnych w obrębie tarasu niskiego i zasilanie podziemne rzek. W warunkach bilansu krótkoterminowego zasilanie to bierze udział w zmianach stanu retencji wód podziemnych dolinnej strefy drenażowej.

**Zasoby dyspozycyjne** [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 października 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie Dz. U. z 2005 r., nr 201, poz. 1673) – obowiązujące do 31.12.2011 r.]<sup>3</sup> – ilość wód podziemnych możliwa do pobrania z obszaru bilansowego w określonych warunkach środowiska i warunkach hydrogeologicznych, bez wskazywania szczegółowej lokalizacji i warunków techniczno-ekonomicznych ujmowania wód. Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych ustala się w przypadku:

- określania **stopnia zagospodarowania zasobów** wodnych i stanu dostępnych rezerw zasobowych w regionie wodnym, zlewni lub innym obszarze bilansowym;
- rozpoznawania terenów perspektywicznych do budowy ujęć wód podziemnych;
- **bilansowania i weryfikacji zasobów eksploatacyjnych** w rejonach o intensywnym, skupionym poborze wód podziemnych;
- **wykonywania bilansu wodnogospodarczego** w celu ustalenia warunków korzystania z wód regionu wodnego lub zlewni.

Za **zasoby dyspozycyjne wód podziemnych** [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714) – obowiązujące od 01.01.2012 r.] uznaje się „z wyłączeniem zasobów dyspozycyjnych solanek, wód leczniczych i termalnych, zasoby wód podziemnych dostępne do zagospodarowania, stanowiące średnią z wielolecia wielkość całkowitego zasilania określonego obszaru bilansowego, pomniejszone o średnią z wielolecia wielkość przepływu wód, tak aby nie dopuścić do znacznego pogorszenia stanu wód powierzchniowych związanych z wodami podziemnymi i do powstania znaczących szkód w ekosystemach lądowych zależnych od wód podziemnych, a także określone z zachowaniem warunku niepogarszania stanu chemicznego wód podziemnych, ustalone z uwzględnieniem istniejącego w obszarze przestrzennego zróżnicowania warunków zasilania, występowania, parametrów hydrogeologicznych i kontaktów hydraulicznych poziomów wodonośnych, przestrzennego rozkładu środowiskowych i hydrogeologicznych ograniczeń dla stopnia zagospodarowania zasobów oraz przestrzennego rozkładu istniejącego użytkowania

<sup>3</sup> Pomimo że rozporządzenie już nie obowiązuje, to jednak przedstawia czytelną definicję *zasobów dyspozycyjnych*, która dobrze odzwierciedla obecne rozumienie tego pojęcia. Zgodnie z tym rozporządzeniem wykonane zostały dokumentacje hydrogeologiczne w latach 1994-2011.

wód podziemnych, wyznaczonymi bez wskazywania szczegółowej lokalizacji i warunków techniczno-ekonomicznych ujmowania wód”.

**Zasoby odnawialne** [Szymanko, 1980, s. 217] – całkowity wydatek strumieni wód dopływających do systemu wodonośnego z jego otoczenia.

**Zasoby odnawialne wód podziemnych** [Dowgiałło (red.), 2002] – ilość wody, jaka przepływa przez przekrój poziomu wodonośnego zbiornika wód podziemnych, wyrażona w jednostkach objętości na jednostkę czasu. Wielkość tych zasobów zależy od stopnia odnawialności, tj. dopływu z obszarów zasilania do strefy saturacji, a z drugiej strony – od ubytku na skutek naturalnego drenażu do rzek, jezior i mórz oraz drenażu sztucznego (ujęcia wód podziemnych, odwadnianie kopalń itp.). Wielkości te (dopływ i odpływ) są zbliżone (przyjmuje się, że w okresie wieloletnim są równe), dlatego do oceny tych zasobów są stosowane między innymi metody oparte zarówno na wielkości dopływu, jak i odpływu ze zbiornika wód podziemnych. W rozumieniu stosowanym w niniejszym Poradniku *zasoby odnawialne wód podziemnych* to zasilanie wód podziemnych pochodzące z infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych.

**Zasoby perspektywiczne wód podziemnych** [Herbich, Dąbrowski, Nowakowski, 2003] są to szacunkowo ustalone zasoby użytkowych pięter/poziomów wodonośnych w określonych obszarach/jednostkach bilansowych, możliwe do zagospodarowania, z uwzględnieniem potrzeby zachowania określonego stanu ekosystemów od nich zależnych. Przez szacunkowy charakter ustalania zasobów perspektywicznych rozumie się taki tok prac i obliczeń hydrogeologicznych, w którym stosowane są metody przybliżonej oceny odnawialnych zasobów wód podziemnych, bez prowadzenia dodatkowych obserwacji terenowych oraz bez modelowego odwzorowania warunków hydrogeologicznych obszaru/jednostki bilansowej, zaś potrzeby wodne ekosystemów zależnych od wód podziemnych są uwzględnione w sposób uproszczony, bez modelowej weryfikacji stopnia dopuszczalnego przekształcenia pola hydrodynamicznego i bilansu krążenia wód podziemnych. Potrzeby ekosystemów dolinnych są uwzględniane dzięki zachowaniu rezerwy odpływu podziemnego do rzek w wysokości hydrobiologicznych przepływów nienaruszalnych<sup>4</sup>.

**Zasoby zmagazynowane** [Szymanko, 1980, s. 217] – objętość wody podziemnej znajdującej się w obrębie systemu i mogącej być z niego uwolnionej.

**Zlewnia podziemna** [Dowgiałło (red.), 2002] – obszar, z którego wody podziemne spływają do tego samego systemu drenażowego.

<sup>4</sup> *Zasoby perspektywiczne* zostały wstępnie zdefiniowane na posiedzeniu Zespołu Roboczego Komisji Dokumentacji Hydrogeologicznych w dniu 12 lipca 2001 r.



**Zlewniowy system wodonośny** (w rozumieniu stosowanym w niniejszym Poradniku) – zespół poziomów wodonośnych znajdujących się w kontakcie hydraulicznym, obejmujący system krążenia wód podziemnych w obrębie zlewni podziemnej.

### **3. Bilans wodnogospodarczy wód podziemnych jako podstawa zarządzania zasobami wód podziemnych**

---

---



### **3.1. Cel i zasady wykonywania bilansu**

Stopień wykorzystania zasobów wód podziemnych kontrolowany jest bilansem wodnogospodarczym, w którym porównywany jest pobór tych wód z zasobami dyspozycyjnymi wód podziemnych. Bilans ten, określający stan rezerw lub deficytów zasobów, stanowi podstawę racjonalnego prowadzenia i planowania gospodarki zasobami wód podziemnych, zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju obejmującą zaspokojenie potrzeb wodnych ludności i gospodarki, z zachowaniem dobrego stanu wód podziemnych i ekosystemów od nich zależnych.

Szczegółowe cele bilansu można określić następująco:

- ocena stanu użytkowania dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych, obejmująca identyfikację obszarów występowania deficytu zasobów oraz obszarów posiadających rezerwy zasobowe możliwe do zagospodarowania;
- ocena wpływu poboru wód podziemnych na stan ilościowy tych wód oraz ocena stopnia zagrożenia dotyczącego nieosiągnięcia planowanych celów środowiskowych (np. utrzymania przepływów nienaruszalnych w rzekach) i społeczno-gospodarczych;
- opracowanie wskazań hydrogeologicznych do warunków korzystania z wód, jako dokumentu zawierającego ograniczenia, nakazy i zakazy w zakresie zagospodarowania zasobów wód podziemnych, uwzględniane przy wydawaniu i przeglądzie pozwoleń wodnoprawnych na pobór wód podziemnych i odprowadzanie ścieków.

Omawiając zasady wykonywania bilansu wodnogospodarczego wód podziemnych, należy zaznaczyć, że sposób jego obliczenia i prezentacji zalecany w niniejszym poradniku różni się od metodyki opracowanej przez PIG na potrzeby przygotowania bilansów dla obszarów dorzeczy, opisanej szczegółowo w rozdziale 4 informatora PSH [Herbich, Przytuła, 2012]. Zasadnicza różnica polega na tym, że w opracowaniach PSH dla dorzeczy bilans wód podziemnych odnoszony jest do zasobów tzw. „gwarantowanych”, obliczonych dla przyjętego okresu lat posusznych, a nie do zasobów dyspozycyjnych, ustalanych w dokumentacjach hydrogeologicznych dla warunków zasilania normalnych – średnich z wielolecia. Druga zasadnicza różnica polega na obliczeniach korekty przepływu wód rzecznych o wpływ poboru wód podziemnych, z uwzględnieniem zmiennej w wieloleciu infiltracji efektywnej oraz przyjętego czasu inercji systemu wodonośnego. W opracowaniach PSH dla dorzeczy obliczenia te wykonywane są analitycznie, natomiast w dokumentacjach hydrogeologicznych zasoby wód podziemnych oraz ocena wpływu ich poboru na przepływy w rzekach ustalane są metodą modelowania matematycznego. Opisane wyżej różnice wynikają z odmiennych celów i zadań obu opracowań.

**Bilans wodnogospodarczy wód podziemnych** – wykonywany w ramach sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych, zgodnie z wytycznymi metodycznymi niniejszego poradnika, jest bilansem statycznym, co oznacza, że w przeprowadzonym rachunku bilansowym zasoby dyspozycyjne i pobory wód podziemnych są wielkościami stałymi w czasie. Po stronie przychodowej bilansu uwzględniane są zasoby dyspozycyjne (a nie „gwarantowane”) ustalone w wartościach średnich wieloletnich, tj. w warunkach hydrologicznie normalnych. Po stronie rozchodowej uwzględniane są pobory wód podziemnych w następujących wariantach:

- w obecnym stanie zagospodarowania (**bilans stanu aktualnego**),
- w stanie zagospodarowania **prawnie dopuszczalnym** pozwoleniami wodnoprawnymi,
- w stanie **zagospodarowania prognozowanego** (jeśli dostępne są dane umożliwiające jego przeprowadzanie).

Na dalszym etapie prac, wykraczającym już poza dokumentację hydrogeologiczną, w ramach sporządzania jednolitego bilansu wodnogospodarczego zlewni wykonywane będą symulacje dla zagęszczonej sieci przekrojów bilansowych i różnych poziomów zasilania infiltracyjnego oraz poboru, z określeniem odpływu do doliny rzecznej w tych przekrojach. Zmiany przepływu rzek w wyniku poboru wód podziemnych

i zrzutu powstałych ścieków są wówczas określane w postaci korekty wartości średnich okresowych (dekadowych, miesięcznych) wieloletniego ciągu przepływów wód powierzchniowych w bilansowych przekrojach rzek (bilans dynamiczny) albo wartościami o określonej gwarancji czasowej wystąpienia lub wartościami przepływów charakterystycznych (bilans statyczny).

Ustalenia dokumentacji hydrogeologicznej dotyczące rozpoznania warunków hydrogeologicznych, wielkości zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych i bilansu wodnogospodarczego oraz oceny wpływu zagospodarowania wód podziemnych na przepływy w rzekach stanowią podstawę do opracowania wskazań hydrogeologicznych dla programów działań w planach gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy oraz wskazań potrzebnych do sformułowania warunków korzystania z wód podziemnych regionu wodnego i zlewni. Wynika to wprost z ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (Dz. U. z 2012 r., poz. 145, z późn. zm.), gdzie w art. 115-116 zapisano, że przy sporządzaniu warunków korzystania z wód regionu wodnego uwzględnia się ustalenia zawarte w dokumentacjach hydrogeologicznych dotyczących w szczególności ustalenia zasobów wód podziemnych. Warunki korzystania z wód regionu wodnego określają m.in. szczegółowe wymagania w zakresie stanu wód, wynikające z ustalonych celów środowiskowych, priorytety w zaspokajaniu potrzeb wodnych, ograniczenia w korzystaniu z wód na obszarze regionu wodnego lub jego części, w zakresie poboru wód podziemnych i wykonywania nowych urządzeń wodnych. Warunki korzystania z wód zlewni sporządza się dla obszarów, dla których w wyniku ustaleń planu gospodarowania wodami na obszarze dorzecza jest konieczne określenie szczególnych zasad ochrony zasobów wodnych, a zwłaszcza ich ilości i jakości, w celu osiągnięcia dobrego stanu wód.

Warunki korzystania z wód, wynikające z analizy przeprowadzonego bilansu wodnogospodarczego wód podziemnych, będą stanowiły podstawę wydawania decyzji administracyjnych, w szczególności dotyczących:

- udzielania nowych pozwoleń wodnoprawnych (i ewentualnie weryfikacji już przyznanych) na pobór wód w warunkach przyjętych ograniczeń środowiskowych i hydrogeologicznych, zmierzających do:
  - optymalizacji rozrządu zasobów wód podziemnych (rozmieszczenia i wysokości poboru) w warunkach aktualnych i planowanych potrzeb wodnych (racjonalizacja gospodarki wodnej),

- zmian w technologii produkcji przemysłowej i rolnej oraz w górnictwie, w kierunku oszczędnego użytkowania wód,
  - ograniczenia i likwidacji niekorzystnego wpływu poboru wód podziemnych na ich stan chemiczny ze względu na możliwość dopływu wód słonych lub zanieczyszczonych albo geogenicznie złej jakości,
  - ograniczenia zmian kierunków i natężenia przepływu wód podziemnych oraz położenia zwierciadła wód gruntowych w związku z wymogami ochrony ekosystemów wodnych i lądowych zależnych od wód podziemnych,
- opiniowania projektów na wykonanie ujęcia wód podziemnych wymagającego zatwierdzenia zasobów eksploatacyjnych;
  - opiniowania dokumentacji ustalających zasoby eksploatacyjne wód podziemnych;
  - zmian w planowanych kierunkach wykorzystania gospodarczego terenu, związanego z rozwojem poboru wód podziemnych, zwłaszcza o charakterze skoncentrowanym, w wyniku:
    - wskazania terenów o szczególnie korzystnych warunkach dla skoncentrowanego wysokiego poboru wody,
    - wskazania obszarów, w których dopuszczalny jest niski pobór rozproszony.

Analiza bilansu wodnogospodarczego wód podziemnych stanowi również element oceny stanu ilościowego jednolitych części wód podziemnych, zgodnie z wymogami Ramowej Dyrektywy Wodnej.

### **3.2. Ogólne równanie bilansu wodnogospodarczego wód podziemnych**

Bilans wodnogospodarczy wód podziemnych określonej jednostki bilansowej, przygotowywany w ramach dokumentacji hydrogeologicznej, obejmuje porównanie dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych **ZD** z poborami wód

podziemnych  $U$ , sumarycznymi w obszarze jednostki. Jest on przeprowadzany zgodnie z zależnością:

$$\Delta ZD = ZD - U \quad [L^3T^{-1}] \quad (3.2.1)$$

gdzie:

$\Delta ZD$  – stan zasobów dyspozycyjnych jako wynik bilansu, wyrażony wielkością rezerw (+  $\Delta ZD$ ) lub deficytu (–  $\Delta ZD$ ) zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w jednostce bilansowej.

Jednostkę bilansową stanowi – w zależności od potrzeb – obszar bilansowy lub rejon wodnogospodarczy wód podziemnych.

Bilans wodnogospodarczy wykonywany jest dla 3 wariantów poboru wód podziemnych:

- poboru aktualnego ( $UA$ ) – rejestrowanego i nierejestrowanego (ustalonego szacunkowo),
- poboru prawnie dopuszczalnego pozwoleniami prawnymi ( $UW$ ),
- poboru prognozowanego ( $UP$ ) – planowanego w określonej perspektywie czasowej (jeśli pobór taki jest określony dla danej jednostki bilansowej lub poszczególnych ujęć zlokalizowanych w jej obrębie).

Definicje powyższych pojęć, dotyczących wariantów poboru wody, przedstawiono w rozdziale 2. W każdym z wariantów poboru zakłada się, że obszary zasilania ujęć wód podziemnych uwzględnionych w bilansie w całości mieszczą się w obrębie jednostki bilansowej.

Procedura sporządzania bilansu wodnogospodarczego wód podziemnych w ramach dokumentacji hydrogeologicznej obejmuje następujące główne etapy:

1. Ustalenie wielkości poborów wód podziemnych w obszarze bilansowym i w rejonach wodnogospodarczych dla 3 ww. wariantów poboru.
2. Ustalenie metodą badań modelowych zasobów dyspozycyjnych ( $ZD$ ) wód podziemnych obszaru bilansowego i rejonów wodnogospodarczych w warunkach średniej wieloletniej odnawialności zasobów wód podziemnych.



3. Przeprowadzenie bilansu wodnogospodarczego wód podziemnych dla zasobów dyspozycyjnych ustalonych w warunkach zasilania średnich wieloletnich i stanu zagospodarowania określonego przez trzy warianty poboru podane wyżej. Rachunek bilansowy jest prowadzony w obszarze bilansowym i w rejonach wodnogospodarczych z wykorzystaniem równania [3.2.1].

Należy podkreślić, o czym wspomniano już wcześniej, że w ramach dokumentacji hydrogeologicznych nie będą ustalone zasoby gwarantowane wód podziemnych, które stanowią punkt odniesienia bilansów wodnogospodarczych opracowanych przez PIG dla dorzecza Wisły i Odry.

## **4. Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w gospodarowaniu wodami**

---

---



## **4.1. Systematyka prawna zasobów wód podziemnych dostępnych do zagospodarowania i ich stan rozpoznania w Polsce**

W analizach bilansowych dotyczących stopnia wykorzystania i oceny stanu ilościowego wód podziemnych są stosowane trzy kategorie zasobów:

- zasoby dyspozycyjne wód podziemnych,
- zasoby perspektywiczne wód podziemnych,
- zasoby wód podziemnych dostępne do zagospodarowania.

Jako kategoria formalno-prawna rozpoznawania wód podziemnych pojęcie *zasoby dyspozycyjne* zostało wprowadzone ustawą z dnia 4 lutego 1994 r. – *Prawo geologiczne i górnicze* (Dz. U. z 1994 r., Nr 27, poz. 96) oraz rozporządzeniem Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 23 sierpnia 1994 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinna odpowiadać dokumentacja hydrogeologiczna i geologiczno-inżynierska (Dz. U. z 1994 r., Nr 93, poz. 444). W rozporządzeniu tym i w jego kolejnych nowelizacjach z 2001 i 2005 r. podaje się, że „...w dokumentacji hydrogeologicznej ustala się zasoby wód podziemnych z obszaru bilansowego możliwe do zagospodarowania w określonych warunkach środowiska i hydrogeologicznych, bez wskazywania lokalizacji i warunków techniczno-ekonomicznych ujęć, zwane dalej zasobami dyspozycyjnymi”.

Zapisy ustawy z dnia 18 lipca 2001 – *Prawo wodne* (Dz. U. z 2012 r., poz. 145, z późn. zm.), zobowiązujące dyrektorów regionalnych zarządów gospodarki wodnej do przeprowadzania analiz stanu zasobów wodnych w obszarach dorzeczy i regionów wodnych oraz rząd RP do przedstawiania corocznej informacji o stanie zasobów wodnych kraju, zobligowały do oszacowania zasobów wód podziemnych w obszarach stanowiących 60% powierzchni kraju, a nie objętych wówczas ustaleniem zasobów dyspozycyjnych wód podziemny w trybie dokumentowania hydrogeologicznego.

W tym celu uchwałą Komisji Dokumentacji Hydrogeologicznych z dnia 12 lipca 2001 roku została przyjęta kategoria *zasobów perspektywicznych wód podziemnych* rozumianych jako „szacunkowo ustalone zasoby użytkowych piętér/poziomów wodonośnych w określonych rejonach bilansowych, możliwe do zagospodarowania z uwzględnieniem potrzeby zachowania określonego stanu ekosystemów od nich zależnych” [Herbich, Dąbrowski, Nowakowski, 2003]. Szacunkowy charakter ustalania zasobów perspektywicznych wynika z uproszczonego sposobu uwzględniania potrzeb ekosystemów zależnych od wód podziemnych oraz z przybliżonych metod oceny ich odnawialności (bez prowadzenia dodatkowych obserwacji terenowych i bez modelowej weryfikacji stopnia dopuszczalnego przekształcenia pola hydrodynamicznego i bilansu krążenia wód).

Zasoby perspektywiczne wód podziemnych zostały określone na zamówienie Ministra Środowiska w zlewniach bilansowych, wydzielonych w obszarach działalności regionalnych zarządów gospodarki wodnej [Herbich, 2005]. Zasoby perspektywiczne danej zlewni bilansowej zostają automatycznie anulowane po ustaleniu zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych dla tej zlewni w trybie opracowania właściwej dokumentacji hydrogeologicznej. Aktualny na koniec roku 2012 stan ustalenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych jest przedstawiony na rysunku 4.1.1 oraz w tabeli 4.1.1.

Przystąpienie Polski do Unii Europejskiej zobowiązało nasz kraj do implementacji przepisów UE, co poskutkowało m.in. koniecznością pełniejszego dostosowania definicji *zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych* używanej dotychczas w naszym kraju do definicji dostępnych do zagospodarowania wód podziemnych, wprowadzonej Ramową Dyrektywą Wodną. Implementacja definicji *zasobów dyspozycyjnych* do prawodawstwa krajowego została zrealizowana poprzez wprowadzenie odpowiednich zapisów do Prawa wodnego oraz rozporządzenia wykonawczego do Prawa geologicznego i górniczego.

Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. *Prawo geologiczne i górniczne* (Dz. U., Nr 163, poz. 981, z późn. zm.) stanowi, że ustalenie zasobów oraz właściwości wód podziemnych, określenie warunków hydrogeologicznych ich wystę-

powania, w tym charakterystyki warstw wodonośnych i możliwości poboru wód, dokonywane jest w trybie sporządzenia dokumentacji hydrogeologicznej. Szczegółowe wymagania dotyczące sporządzania tej dokumentacji określone są w rozporządzeniu ministra właściwego do spraw środowiska. Obowiązujące od 01.01.2012 roku Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 roku w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714) wprowadza nową definicję zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych (z wyłączeniem solanek, wód leczniczych i termalnych).

Zgodnie z tą definicją zasoby dyspozycyjne wód podziemnych, będące zasobami wód podziemnych dostępnymi do zagospodarowania, stanowi średnia z wielolecia wielkość zasilania wód podziemnych określonego obszaru bilansowego<sup>5</sup>, pomniejszona o średnią z wielolecia wielkość przepływu wód, tak aby:

- nie dopuścić do znacznego pogorszenia stanu wód powierzchniowych związanych z wodami podziemnymi,
- nie dopuścić do powstania znaczących szkód w ekosystemach,
- zachowany był warunek niepogarszania stanu chemicznego wód podziemnych;

ustalona z uwzględnieniem występującego w obszarze bilansowym:

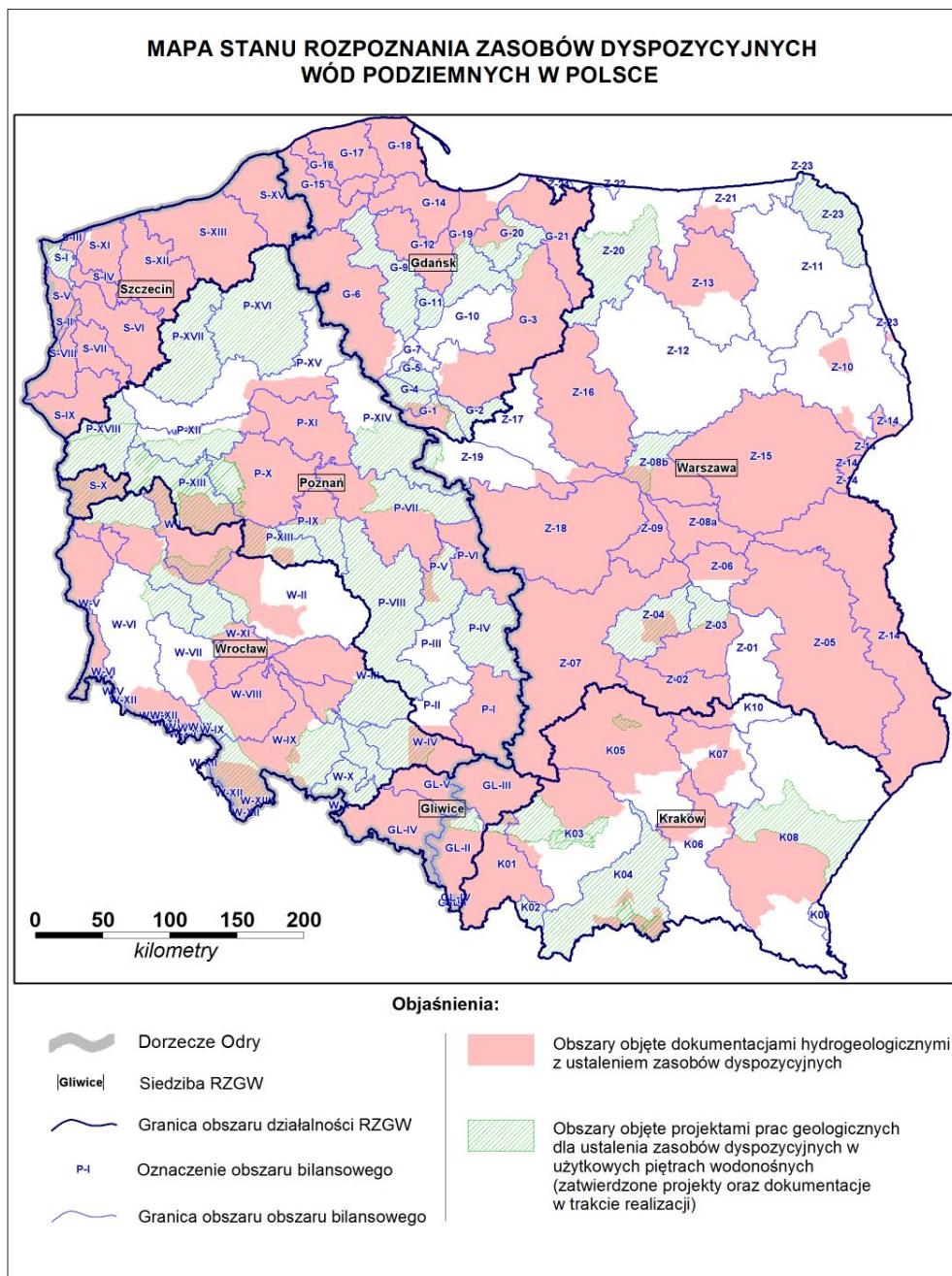
- przestrzennego zróżnicowania warunków zasilania, występowania, parametrów hydrogeologicznych i kontaktów hydraulicznych poziomów wodonośnych,
- przestrzennego rozkładu środowiskowych i hydrogeologicznych ograniczeń dla stopnia zagospodarowania zasobów wód podziemnych w ekosystemach lądowych od nich zależnych oraz
- przestrzennego rozkładu istniejącego użytkowania wód podziemnych;

wyznaczona bez wskazywania szczegółowej lokalizacji i warunków techniczno-ekonomicznych ujmowania wód.

Powyższa definicja zasobów wód podziemnych dostępnych do zagospodarowania, rozumianych jako kryterium oceny stanu ilościowego wód podziemnych JCWPd, zgodnie z wymaganiami RDW, ma być wprowadzona w najbliższym czasie do nowelizowanej ustawy Prawo wodne.

---

<sup>5</sup> *Obszarem bilansowym* jest jednostka hydrogeologiczna wytypowana w celu ustalenia zasobów odnawialnych i zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych wraz z oceną stopnia ich zagospodarowania.



**Rys. 4.1-1. Zasięg obszarów bilansowych o ustalonych zasobach dyspozycyjnych zwykłych wód podziemnych wg stanu na 31.12.2012 r.**

**Tab. 4.1-1. Zestawienie dokumentacji hydrogeologicznych ustalających zasoby dyspozycyjne zwykłych wód podziemnych wykonanych na zamówienie Ministra Środowiska w latach 1993-2012 (do 31.12.2012 r.)**

Lp	Nr w NAG	Tytuł dokumentacji hydrogeologicznej	Rok wyk.	Wykonawca
1	705/95	Dokumentacja hydrogeologiczna dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych w utworach kredy górnej rejonu Nysy Kłodzkiej i Niecki Batorowa	1993	PROXIMA
2	4/95	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych, rozpoznanych w kat. C w rejonie dorzecza górnego Wisłoka i Sanu poniżej Sanoka w granicach Karpat fliszowych	1993	PG Kraków
3	40/95	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych z utworów czwartorzędowych rejonu Kotliny Żmigrodzkiej	1993	PROXIMA
4	1248/95	Zasoby wód podziemnych z utworów czwartorzędowych rejonu Białegostoku	1994	POLGEOL
5	43/95	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych z utworów trzeciorzędowych podsystemu wodonośnego wysoczyzny leszczyńskiej regionu wielkopolskiego	1994	PROXIMA
6	1659/96	Dokumentacja hydrogeologiczna rejonu eksploatacji (RE) Kielce, w tym GZWP 417 Kielce	1994	PIG
7	707/95	Bilans wodnogospodarczy zlewni Ilanki, Pliszki, Konotopu i Kanału Lubońskiego dla RZGW w Szczecinie. Część I – Dok. hydrog. zasobów zwykłych wód podz. w kat. C i B z utworów czwartorzędowych i trzeciorzędowych systemu wodonośnego zlewni jak wyżej	1994	PROXIMA
8	3283/96	Zasoby wód podziemnych z utworów czwartorzędowych i czwartorzędowo-trzeciorzędowych zlewni rzeki Liwiec	1995	POLGEOL
9	1618/95	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby wody podziemnej z utworów dewonu środkowego czwartorzędu dla ujęcia komunalnego Kielce – ujęcie Marzysz – Suków	1995	PG Kielce
10	2888/96	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych z utworów czwartorzędowych w rejonie zlewni rzeki Kani i Kanału Obry	1996	Ekokonrem
11	2950/98	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych z utworów czwartorzędowych regionu Wielkich Jezior Mazurskich	1996	POLGEOL



Lp	Nr w NAG	Tytuł dokumentacji hydrogeologicznej	Rok wyk.	Wykonawca
12	2086/98	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów zwykłych wód podziemnych z utworów czwartorzędowych, trzeciorzędowo-kredowych i jurajskich systemu wodonośnego międzyrzecza Proсны – Warty (część północna)	1996	PROXIMA
13	1212/99	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z utworów czwartorzędowych systemu wodonośnego Baryczy – Rowu Polskiego, woj. leszczyńskie	1996	Hydroconsult
14	1824/98	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych obszaru górnej Wisły, Soły i Skawy	1996	PG Kraków
15	674/97	Bilans wodnogospodarczy zlewni Wieprzy i Przymorza. Część I – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Wieprzy i Przymorza	1996	Hydroconsult
16	Rega/96	Bilans wodnogospodarczy zlewni Regi i Przymorza. Część I – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Regi i Przymorza	1996	Hydroconsult
17	894/97	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych w utworach czwartorzędowych, trzeciorzędowych i triasowych rejonu Niecki Wrocławskiej (II Etap) z uwzględnieniem GZWP	1996	PROXIMA
18	922/97	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych z utworów jury górnej dla rejonu gmin św. Małgorzaty i Piątek, woj. łódzkie	1997	POLGEOL
19	1316/98	Dokumentacja hydrogeologiczna dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych regionu triasu gliwickiego (GZWP Gliwice nr 330)	1997	CzPG
20	1721/98	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych z utworów trzeciorzędowych rejonu Sochaczewa	1997	POLGEOL
21	2814/97	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych z poziomu czwartorzędowego w rejonie Piotrkowa Tryb.	1997	POLGEOL
22	703/99	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych obszaru dolnej Wisłoki – Trześniówki	1997	PG Kraków

Lp	Nr w NAG	Tytuł dokumentacji hydrogeologicznej	Rok wyk.	Wykonawca
23	1453/99	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z utworów czwartorzędowych na obszarze Kotliny Sądeckiej	1997	ProGeo
24	1724/98	Bilans wodnogospodarczy zlewni Jeziorki i Czarnej. Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z utworów czwartorzędowych zlewni Jeziorki, Czarnej i bezpośredniej zlewni Wisły	1997	Hydroconsult
25	156/98	Bilans wodnogospodarczy zlewni górnej Warty po Liswartę. Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych	1997	Hydroconsult
26	1725/98	Dokumentacja zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych wód podziemnych (zwykłych i leczniczych) na obszarze gmin uzdrowiskowych Krynica, Muszyna i Piwniczna	1997	HYDROGEO
27	1050/2000	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych z utworów czwartorzędowych i mioceńskich strefy krawędziowej Pojezierza Kaszubskiego na odcinku Gdynia – Pruszcz Gdański	1997	POLGEOL
28	1256/2000	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych dla obszaru zlewni Dziwny	1998	HYDROGEO
29	267/99	Dokumentacja hydrogeologiczna dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych dla obszaru triasu chrzanowskiego	1998	ProGeo
30	3162/98	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych wód podziemnych z utworów górnojurajskich rejonu Mirów – Srocko – Olsztyn	1998	PIG
31	702/99	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zachodniej części Zapadliska Przedkarpackiego – Kotlina Oświęcimska	1998	PG Kraków
32	445/2001	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w dorzeczu Przemszy poniżej ujścia Białej Przemszy	1998	INTERGEO
33	1265/99	Dokumentacja hydrogeologiczna regionu mazowieckiego centralnej części Niecki Mazowieckiej, zawierająca weryfikację zasobów dyspozycyjnych trzeciorzędowego poziomu wodonośnego	1998	PIG

Lp	Nr w NAG	Tytuł dokumentacji hydrogeologicznej	Rok wyk.	Wykonawca
34	5/2000	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych rejonu Kołobrzegu – Koszalina	1998	PROXIMA
35	293/99	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych dla obszaru zlewni Kalicy i Tywy, woj. szczecińskie	1998	Hydroconsult
36	1171/99	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych i eksploatacyjnych wód podziemnych (zwykłych i leczniczych) na obszarze miasta Szczawnica i gminy Krościenko nad Dunajcem	1998	PG Kraków
37	2099/98	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych dla obszaru lewobrzeżnej zlewni Dolnej Odry	1998	Hydroconsult
38	1807/99	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalenia dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych czwartorzędowego piętra wodonośnego zlewni rzeki Krynki	1998	WG UW
39	1620/2001	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód leczniczych i dwutlenku węgla (jako kopaliny towarzyszącej) ze złoża w uzdrowisku Krynica oraz ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych (zwykłych oraz leczniczych i o właściwościach leczniczych) w zlewni Krynicy	1999	PWr
40	1257/2000	Dokumentacja hydrogeologiczna regionu wrocławskiego i sudeckiego – zlewnie Bystrzycy i Nysy Kłodzkiej, zawierająca ocenę zasobów dyspozycyjnych wszystkich poziomów użytkowych wód podziemnych na danym terenie	1999	HYDROGEO
41	455/2000	Dokumentacja hydrogeologiczna regionu poznańskiego dorzecza Warty zawierająca ocenę zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z utworów czwartorzędowych i trzeciorzędowych. Część A. Synteza wyników badań. Część B. Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w utworach czwartorzędowych regionu poznańskiego dorzecza Warty. Część C. Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w utworach trzeciorzędowych	1999	Hydroconsult
42	9/2000	Dokumentacja hydrogeologiczna regionu sudeckiego – zlewnie górnych biegów Nysy Łużyckiej i Bobru wraz z oceną zasobów poziomów użytkowych	1999	Ekokonrem

Lp	Nr w NAG	Tytuł dokumentacji hydrogeologicznej	Rok wyk.	Wykonawca
43	1051/2000	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z utworów serii węglanowej triasu w rejonie Lubliniec – Myszków. Wg projektu: Określenie zasad eksploatacji zasobów wód podziemnych z utworów triasu w północnej części Górnego Śląska	1999	CzPG
44	2611/2000	Dokumentacja hydrogeologiczna określająca dyspozycyjne zasoby wód podziemnych poziomu kredowego, trzeciorzędowego i czwartorzędowego na obszarze dorzecza Bugu granicznego	2000	POLGEOL
45	2518/2000	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych piętra górnokredowo-paleoceńskiego, trzeciorzędowego i czwartorzędowego zlewni Wieprza	2000	POLGEOL
46	49/2001	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wyspy Wolin	2000	Ekokonrem
47	1367/2001	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Obrzycy. Rejon: Świebodzin – Sława – Kościan	2000	Ekokonrem
48	1905/2001	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych lokalnych struktur czwartorzędowych i zasad ich ochrony na obszarze poznańskiego dorzecza Warty	2000	Hydroconsult
49	1505/2001	Dokumentacja zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych Żuław i Mierzei Wiślanej	2000	PIG
50	1619/2001	Dokumentacja zasobów dyspozycyjnych międzyrzecza Odry i Bobru w tym: GZWP nr 149 Sandr Krosno – Gubin i GZWP nr 301 Zasieki – Nowa Sól (dotyczy obszaru między Nysą Łużycką i Odrą)	2001	PROXIMA
51	250/2002	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Brdy, woj. pomorskie, woj. kujawsko-pomorskie	2001	HYDROEKO
52	652/2002	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych piętra czwartorzędowego zlewni rzeki Białej – dopływu Orlanki wraz z dokumentacją badań elektrooporowych	2001	POLGEOL

Lp	Nr w NAG	Tytuł dokumentacji hydrogeologicznej	Rok wyk.	Wykonawca
53	626/2002	Dokumentacja hydrogeologiczna zlewni Łeby zawierająca ocenę zasobów dyspozycyjnych kenozoicznych poziomów wód podziemnych, woj. pomorskie	2001	POLGEOL
54	1/2002	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca dyspozycyjne zasoby wód podziemnych piętra czwartorzędowego zlewni rzeki Drwęcy	2001	Ekokonrem
55	1867/2001	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Koprzywianki i Opatówki	2001	POLGEOL
56	1904/2001	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z utworów czwartorzędowych i trzeciorzędowych zlewni rzeki Tażyny, woj. kujawsko-pomorskie	2001	Hydroconsult
57	858/2003	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Słupi i Orzechowej	2002	Ekokonrem
58	311/2004	Dokumentacja hydrogeologiczna określająca zasoby dyspozycyjnych wód podziemnych czwartorzędowego piętra wodonośnego na obszarze zlewni Bugu od granicy państwa do Zbiornika Zegrzyńskiego	2003	POLGEOL
59	1217/2004	Dokumentacja hydrogeologiczna zawierająca ustalenie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z utworów czwartorzędowych, trzeciorzędowych i mezozoicznych zlewni Pilicy, woj. łódzkie, mazowieckie, małopolskie, śląskie i świętokrzyskie	2003	Hydroconsult
60	367/2004	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych użytkowych poziomów wodonośnych piętra czwartorzędowego Pradoliny Warszawsko-Berlińskiej obszaru od Wolsztyna do Kościana, woj. wielkopolskie i lubuskie	2003	Hydroconsult
61	415/2005	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Iny, Płoni i Gowienicy wraz z GZWP nr 123 Stargard – Goleniów	2004	PROXIMA
62	2198/2004	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z utworów czwartorzędowych i trzeciorzędowych zlewni Łupawy	2004	IMS
63	45/2006	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w zlewni Kłodnicy	2004	Ekokonrem

Lp	Nr w NAG	Tytuł dokumentacji hydrogeologicznej	Rok wyk.	Wykonawca
64	155/2005	Dokumentacja zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Redy, Zagórskiej Strugi i Piaśnicy oraz rzek Przymorza od Karwianki do Chylonki	2004	POLGEOL
65	1067/2006	Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych na obszarze zasobowym Radom – rejon V, zlewnia Radomki	2005	PROXIMA
66	2092/2006	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych rejonu eksploatacji Zagnańsk – Strawczyn, w tym GZWP nr 414 Zagnańsk	2006	KPG
67	4273/2007	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Myśli, Kurzycy i Słubi	2007	POLGEOL
68	475/2008	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w rejonie Tylicza	2007	ING Uwr
69	1038/2007	Dokumentacja zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych części obszaru bilansowego Z8b wraz ze wskazaniem optymalnej lokalizacji i wydajności ujęcia komunalnego dla Warszawy zasilanego wodami z poziomu plejstocénskiego, w tym z infiltracji brzegowej (Bug, Zalew Zegrzyński)	2007	PIG
70	634/2008	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Raduni i Moltawy	2007	HYDROEKO, SEGI
71	3214/2007	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w utworach górnokredowych Subniecki Gdańskiej	2007	PG Kraków
72	61/2008	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Czarnej Staszowskiej i Wschodniej	2007	IMS
72	4854/2008	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Parsęty	2008	IMS
74	110/2011	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Wierzycy wraz z obszarami bezpośrednich lewostronnych zlewni Wisły na odcinku od ujścia Mąrawy po wodowskaz Tczew	2009	Hydroconsult

Lp	Nr w NAG	Tytuł dokumentacji hydrogeologicznej	Rok wyk.	Wykonawca
75	111/2011	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych obszaru wysoczyzny średzko-gnieźnieńskiej	2009	Hydroconsult (Lider Konsorcjum), POLGEOL, PROXIMA
76	4551/2011	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Wkry z bezpośrednią zlewnią Wisły	2010	POLGEOL
77	2936/2011	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Bzury (bez rejonu aglomeracji łódzkiej)	2010	SEGI (Lider Konsorcjum), HYDROEKO, PROXIMA
78	2842/2011	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Nysy Łużyckiej (od granicy państwa do ujścia do Odry)	2010	PIG
79	4550/2011	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Neru i górnej Bzury	2010	HYDROEKO
80	1105/2012	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Kamiennej i Iłżanki	2011	SEGI
81	1109/2012	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych regionu wodnego Górnej Odry	2011	PROXIMA, Ekokonrem, Profil
82	4014/2012	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Dłubni, Szreniawy i Nidzicy	2012	POLGEOL (Lider Konsorcjum), HYDROEKO
83	1106/2012	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Nidy bez rejonu Kielc	2012	HYDROEKO
84	4587/2012	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Białej Przemszy i Przemszy	2012	HYDROEKO
85	4701/2012	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych części zlewni Zalewu Wiślanego – zlewnia Baudy oraz zlewnia Paśłęki	2012	SEGI
86	1303/2013	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych obszaru bilansowego Międzyodrza, Zalewu Szczecińskiego, wyspy Uznam i zachodniej części wyspy Wolin	2012	PROXIMA
87	1315/2013	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Liwy z rzeką Elbląg (bez obszaru Żuław)	2013	POLGEOL, SEGI (konsorcjum)



**Tab. 4.1-2. Zestawienie dokumentacji hydrogeologicznych ustalających zasoby dyspozycyjne wód podziemnych będących w trakcie opracowywania**

LP	Tytuł dokumentacji hydrogeologicznej	Wykonawca	Planowany termin zakończenia
1	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Gwdy	Hydroconsult, PROXIMA, IMS (konsorcjum)	28-02-2013
2	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Wdy i zlewni Mątawy	POLGEOL	12-10-2013
3	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Gostyni	DHI, BDH	19-10-2013
4	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Widawki ze zlewnią Warty poniżej ujścia Widawki do zbiornika Jeziorsko łącznie	HYDROEKO, SEGI (konsorcjum)	18-11-2013
5	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych prawobrzeżnej zlewni Warty od zlewni Neru po zlewnię Meszny wraz ze zlewnią górnej Noteci po Pakość i zlewnię Kanału Głuszyńskiego (zlewnia Zgłowiączki)	Hydroconsult, PROXIMA (konsorcjum)	28-11-2013
6	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Szprotawy z przyległą częścią bezpośredniej zlewni Odry w rejonie LGOM	PROXIMA, Hydroconsult (konsorcjum)	28-12-2013
7	Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni lewobrzeżnej Wisły od Soły po Prądnik	PG Kraków, ProGeo (konsorcjum)	28-12-2013

**Aktualne nazwy firm i ich skróty używane w tabeli:**

Ekokonrem	Arcadis Ekokonrem Sp. z o.o., 50-512 Wrocław, ul. Tarnogajska 18
BDH	Biuro Doradztwa Hydrogeologicznego w Niemirowie, 17-307 Mielnik, ul. Cmentarna 25
Profil	Arcadis Profil Sp. z o.o., 50-512 Wrocław, ul. Tarnogajska 18



---

CzPG	Częstochofskie Przedsiębiorstwo Geologiczne Sp. z o.o., 42-200 Częstochowa, ul. Wolności 77/79
DHI	DHI Polska Sp. z o.o., 00-182 Warszawa, ul. Dubois 9
Hydroconsult	Biuro Studiów i Badań Hydrogeologicznych i Geofizycznych Hydroconsult Sp. z o.o., 60-161 Poznań, ul. Smardzewska 15
HYDROEKO	Biuro Poszukiwań i Ochrony Wód – HYDROEKO Andrzej Rodzoch, 02-796 Warszawa, ul. Wąwózowa 25/48
HYDROGEO	Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Usługowo-Handlowe HYDROGEO Ltd. Wrocław
IMS	Integrated Management Services Sp. z o.o., 51-141 Wrocław, ul. Kornela Ujejskiego 4/3
ING Uwr	Instytut Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław
INTERGEO	Zakład Badawczo-Usługowy INTERGEO Sp. z o.o. w Sosnowcu, 41- 404 Mysłowice, ul. Fabryczna 7
KPG	EC Katowickie Przedsiębiorstwo Geologiczne Sp. z o.o., 40-156 Katowice, al. W. Korfańtego 125a
PG Kraków	Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A., 30-079 Kraków, al. Kijowska 16A
PG Kielce	Przedsiębiorstwo Geologiczne Sp. z o.o. w Kielcach, 25-214 Kielce, ul. Generała Józefa Hauke-Bosaka 3A
PIG	Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
POLGEOL	Przedsiębiorstwo Geologiczne POLGEOL S.A., 03-908 Warszawa, ul. Berezyńska 39
ProGeo	Krakowskie Przedsiębiorstwo Geologiczne ProGeo Sp. z o.o., 25-214 Kielce, ul. Szlak 10/5
PROXIMA	Przedsiębiorstwo Geologiczne we Wrocławiu PROXIMA S.A., 51-415 Wrocław, ul. Kwidzyńska 71
PWr	Politechnika Wrocławska, Wydział Górniczy, Instytut Górnictwa
SEGI	SEGI-AT Sp. z o.o., 02-867 Warszawa, ul. Baletowa 30
WG UW	Uniwersytet Warszawski Wydział Geologii, Zakład Prac Geologicznych, 02-08 Warszawa, ul. Żwirki i Wigury 93

## **4.2. Historia badań i dotychczasowy przebieg prac dotyczących metodyki ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych**

Rozpoznawanie zasobów dostępnych do zagospodarowania jako zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych, które stanowią część zasobów odnawialnych, ma w polskiej hydrogeologii już ponad 40-letnią historię. Praktycznie od początku lat 60-tych XX w. prowadzone były prace nad podstawami metodycznymi obliczeń zasobów odnawialnych oraz oceną dostępności zasobów wód podziemnych [por. np. Punzet, 1959; Kostrzewa, 1972; Kiciński, 1960, 1961, 1963; Załuski, 1973; Paślawski, Koczorowska, 1974; Pleczyński, Przybyłek, 1974; Gurty-Korycka, 1978; Bieniaszewska, 1980; Krajewski, 1980; Dynowska, 1971, 1974, 1979, 1983; Orsztynowicz 1971, 1973; Poźniak, 1975; Radczuk, Szarska, 1986; Kapuściński, 1989]. Powstały liczne dokumentacje hydrogeologiczne o charakterze regionalnym, w ujęciu strukturalnym i administracyjnym (powiaty, województwa), w których szacowano zasoby oznaczone wówczas kategorią C, traktowane jako regionalne zasoby wód podziemnych dostępne do zagospodarowania. Podsumowanie merytoryczne, regionalne i metodologiczne badań hydrogeologicznych prowadzonych do końca lat 80-tych można znaleźć m.in. w publikacjach: Paczyńskiego [1977] oraz Szymanki i Łodzińskiego [1980].

Pierwsza ocena możliwych do zagospodarowania zasobów wód podziemnych Polski w regionach hydrogeologicznych została dokonana w Instytucie Geologicznym [Malinowski (red.), 1976]. Kolejna ocena zasobów wód podziemnych w obszarze kraju skoncentrowała się na zasobach odnawialnych, ich waloryzacji i ochronie [Paczyński (red.), 1995].

W roku 1990 dokonana została orientacyjna ocena zasobów dyspozycyjnych dla obszarów głównych zbiorników wód podziemnych [Kleczkowski (red.), 1990] i nadal stanowi ona element standardowego rozpoznania GZWP, choć z zastrzeżeniem szacunkowego charakteru tej oceny ze względu na niebilansowe kryteria wydzielania obszarów GZWP [Herbich i in., 2009b].

Lata od 1989 r. do 1994 r. obejmują okres przygotowań do transformacji systemu prawnego, m.in. w dziedzinie ochrony środowiska, w którym wprowadzono – jako powszechną i nadrzędną – zasadę zrównoważonego rozwoju i wykorzystania zasobów, w tym zasobów wód podziemnych. W związku z wdrażaniem zasady gospodarowania wodami w układzie zlewniowym, rozpoczęto prace nad ustalaniem zasobów wód podziemnych, nad bilansami wodnogospodarczymi wód podziemnych i powierzchniowych oraz nad projektami warunków korzystania z wód w wydzielonych obszarach zlewniowych, jako podstawy do rozwiązywania zidentyfikowanych problemów

gospodarki wodnej [m.in. Macioszczyk, Kazimierski, 1990a; Macioszczyk, Kazimierski, 1990b; Szymanko, 1993; Jokiel, 1994].

Zwieńczeniem tych działań było prawne usankcjonowanie pojęcia *zasoby dyspozycyjne wód podziemnych* poprzez jego wprowadzenie do ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. – *Prawo geologiczne i górnicze* (Dz. U. z 1994 r., Nr 27, poz. 96) oraz określenie jego definicji i wskazanie trybu ustanawiania w wydanym 23 sierpnia 1994 r. rozporządzeniu wykonawczym do tej ustawy [rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 23 sierpnia 1994 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinna odpowiadać dokumentacja hydrogeologiczna i geologiczno-inżynierska (Dz. U. z 1994 r., Nr 93, poz. 444)]. Na kanwie nowych przepisów rozwijane były metody badawcze i zasady metodyczne ustalania i wykorzystania zasobów [m.in. Kazimierski, 1995; Macioszczyk, 1995; Kryza, 1996; Kazimierski, 2002].

W roku 1996 z inicjatywy Komisji Dokumentacji Hydrogeologicznych i na zlecenie Departamentu Geologii Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (MOŚZNiL) został opracowany poradnik metodyczny ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych [Paczyński i in., 1996]. W poradniku tym przyjęto, że podstawową metodą ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych są wielowariantowe symulacje prognostyczne prowadzone na modelu matematycznym systemu hydrogeologicznego, w których sprawdza się reakcję systemu na zmiany poboru w obszarach ujęć istniejących oraz na pobór wprowadzany w obszarach uznanych za perspektywiczne – najkorzystniejszych do zagospodarowania zasobów. Autorzy poradnika skoncentrowali swoją uwagę głównie na przedstawieniu szczegółowych wytycznych do kryteriów hydrogeologicznych dotyczących oceny stopnia szcerpania zasobów wód podziemnych, uwzględniających terenowo rozpoznany stan istniejący oraz modelowo symulowany stan w warunkach optymalnego i maksymalnego zagospodarowania zasobów [Paczyński i in., 1996, s. 48, tab. 2]. Ocena stopnia szcerpania zasobów miała być prowadzona w oparciu o identyfikację względnej depresji w warstwach wodonośnych (jako lokalne i regionalne kryteria hydrauliczne), ustalenie zakresu modyfikacji składników bilansu warstw wodonośnych (kryteria bilansowe) i odmłodzenia wód (dynamiczne kryterium regionalne). W formie uzupełnienia do powyższych kryteriów został podany w sposób ogólny „warunek, by przepływ w głównych rzekach nie spadł poniżej nienaruszalnego” [Paczyński i in., 1996].

W poradniku podkreślono, że ustalenie ilości zasobów dyspozycyjnych musi być dokonane z zachowaniem warunku ochrony ich jakości, co wiąże się z identyfikacją anomalii hydrogeochemicznych oraz zagrożeń ze strony zdegradowanych lub zasolonych wód podziemnych oraz zanieczyszczonych

wód powierzchniowych. Wody podziemne o wyższej zawartości składników niż możliwej do zredukowania w warunkach stosowanego standardowo uzdatniania do celów komunalnych powinny być wyodrębnione z ogółu ustalonych dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych jako przeznaczone do innych celów lub wymagające uzdatnienia z zastosowaniem odpowiednio zaawansowanej technologii.

W sytuacji niewystarczającego rozpoznania warunków hydrogeologicznych do przeprowadzenia wiarygodnych badań modelowych, w poradniku warunkowo dopuszczono stosowanie obliczeń analitycznych w ustaleniach zasobowych, jednakże wówczas z 5-letnim okresem ważności dla tak oszacowanych zasobów dyspozycyjnych.

Poradnik przewidywał również sformułowanie w dokumentacji hydrogeologicznej ogólnych zasad ochrony i monitoringu wyznaczonych zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych dla obszarów perspektywicznych i istniejących dużych ujęć, jako wskazań do sterowania gospodarką zasobami wodnymi z uwzględnieniem powiązań wód podziemnych z powierzchniowymi. Należy stwierdzić, że w praktyce dokumentowania zalecenie to było z reguły pomijane.

Brak w poradniku oraz w przepisach prawa jednolitego kryterium wydzielenia obszarów rozpoznania i bilansowania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych powodował, że zasoby te ustalano w różnie określonych jednostkach: w silnie wodonośnych strukturach, regionach hydrogeologicznych, użytkowych poziomach wód wglębnych o rozprzestrzenieniu regionalnym oraz w zlewniach rzecznych. W rezultacie dochodziło do sytuacji, w których ten sam obszar był objęty fragmentami dokumentacji hydrogeologicznych wykonanych w różnym czasie dla ustalenia zasobów w jednostkach odmiennie zdefiniowanych.

Aby nie dopuszczać do takich sytuacji, ogólnie przedstawione w poradniku zasady wydzielenia obszarów bilansowych, potrzebne do ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych, zostały uzupełnione i rozwinięte teoretycznie, z ukierunkowaniem na zlewniowe planowanie i zarządzanie w gospodarce zasobami wód podziemnych i powierzchniowych przy podrzednym uwzględnieniu zasięgu struktur hydrogeologicznych [Herbich, 2002; Rodzoch, 2002; Herbich, Dąbrowski, Nowakowski, 2003; Herbich, Dąbrowski, Nowakowski, 2006; Paczyński, Sadurski (red.), 2007; Szczepański, Szklarczyk, 2007; Szczepański, 2008; Dąbrowski i in., 2011].

W sytuacji powstałej po implementacji Ramowej Dyrektywy Wodnej do prawodawstwa krajowego, rola ograniczeń środowiskowych stała się co najmniej równorzędna w porównaniu z preferowanymi w poradniku kryteriami ściśle hydrogeologicznymi, a wręcz dominująca w jednostkach bilansowych obejmujących obszary ekosystemów chronionych i rzeki o reży-

mie ściśle zależnym od wód podziemnych. Problematyka ta była na bieżąco i w coraz wyższym stopniu uwzględniana w ramach opiniowania ustaleń zasobów dyspozycyjnych przez Komisję Dokumentacji Hydrogeologicznych [Herbich, Kozerski, Ciechanowski, 2005] oraz stanowiła przedmiot wielu opracowań metodycznych i wdrożeniowych [m.in. Prażak, Witczak, Żurek, 2001; Herbich, 2002; Szczepański, 2008; Szklarczyk, Szczepański, 2008a; Herbich, 2005; Witczak, Żurek, 2008; Herbich, Prażak, Przytuła, 2009a; Szklarczyk, Stach-Kalarus, Kmieciak, 2011; Herbich, Przytuła, 2012]. Sformułowane w poradniku [Paczyński i in., 1996] kryteria stopnia szcerpania dla ustalania zasobów dyspozycyjnych okazały się niewystarczające w sytuacji wymagającej uwzględnienia szczególnych ograniczeń dla wartości depresji wód gruntowych (w poziomie o swobodnym, płytkim zwierciadle wód podziemnych) bezpośrednio związanych z chronionymi ekosystemami lądowymi oraz ograniczeń dla zakresu zmian bilansu wymiany wód podziemnych z powierzchniowymi, stawianych przez wymóg utrzymania przepływu nienaruszalnego w rzece.

W praktyce ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych kryteria te zaczęły być pomijane i zastępowane kryteriami lepiej dostosowanymi do specyfiki warunków hydrostrukturalnych i hydrodynamicznych panujących w obszarze bilansowym. Sytuacja taka zachodzi m.in. w obszarach górskich, gdzie dominuje jeden silnie niejednorodny poziom wodonośny, wymagający uwzględnienia stref hydraulicznie uprzywilejowanych i rejonów o niskiej wodonośności [Staśko, Wcisło, 2008; Staśko, Tarka, 2002; Chowaniec, 2009], w wyżynnych obszarach występowania szczelinowo-porowych poziomów kredowych [Meszczynski, Pietruszka, 1997] i rozległych obszarach pozbawionych użytkowych poziomów wodonośnych [Szklarczyk, Stach-Kalarus, Kmieciak, 2011], a także w rejonach występowania silnie wodonośnych struktur kopalnych w obrębie wielowarstwowych systemów hydrogeologicznych [Dąbrowski i in., 2011] i w obszarach monoklinalnych [Bocheńska, Poprawski, (red.), 1998; Bocheńska, Marszałek, Poprawski, 1998].

Odrębnych kryteriów ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych wymagają również obszary o hydrodynamicie kształtowanej w warunkach silnej antropopresji [Kowalczyk, 2003], a zwłaszcza jednostki bilansowe z koncentracją dużych ujęć wód podziemnych i odwodnień kopalnianych w bezpośrednim sąsiedztwie chronionych ekosystemów bagiennych [Herbich, 1999], jednostki bilansowe zawierające rozległe obszary Natury 2000 i parków narodowych o chronionych stosunkach wodnych [Krogulec, Sawicka, 2012] oraz jednostki bilansowe obejmujące tereny górnicze zdegradowane i zagrożone degradacją jakości wód podziemnych [Szczepański, 2003; Witczak, Karlikowska, 2004].

Wdrożenie Ramowej Dyrektywy Wodnej poprzez jej implementację do Prawa wodnego wymusiło rewizję zakresu dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby dyspozycyjne dostosowującą ją do potrzeb planów gospodarowania wodami w obszarach dorzeczy oraz warunków korzystania z wód regionów wodnych i zlewni, a także do wymagań związanych z dokonywaniem oceny stanu jednolitych części wód podziemnych [Nachlik (red.), 2006; Drużyńska, Nachlik (red.), 2006; Herbich, 2012].

Należy jednak zaznaczyć, że polityka państwa w zakresie ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych, realizowana od wielu lat w naszym kraju, nie wynika tylko z wymagań narzuconych przez RDW, i choć bierze je pod uwagę, opiera się głównie na krajowych bogatych doświadczeniach i osiągnięciach w dziedzinie hydrogeologii regionalnej. Podobnie jest także w innych krajach UE i nie pozostaje to w sprzeczności z ideą RDW, która określa jedynie „ramy” wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, nie definiując jej szczegółów. Na tle innych państw europejskich Polska wyróżnia się wysokim stopniem udokumentowania warunków hydrogeologicznych i zasobów wód podziemnych, czego najlepszym przykładem jest *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000* oraz realizowane od wielu lat programy dokumentowania głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) i zasobów dyspozycyjnych obszarów bilansowych. Prace te, stanowiące realizację opracowanej jeszcze w 1994 r. polityki państwa w zakresie hydrogeologii, dały impuls do rozwoju badań metodycznych i powstawania nowych koncepcji ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych. W 20-letniej już prawie historii planowego ustalania tych zasobów powstało wiele publikacji na ten temat, co przyczyniło się do poprawy jakości i wiarygodności oceny zasobów. Najważniejsze z nich zostały zamieszczone w dołączonym spisie literatury.

Mimo trwającej ponad 15 lat stabilizacji przepisów prawa geologicznego i górniczego oraz braku odpowiednich poradników metodycznych akceptowanych przez Ministerstwo Środowiska do stosowania przy ustalaniu zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych, nowe warunki formalno-prawne, związane z wdrażaniem Ramowej Dyrektywy Wodnej wprowadzające zmiany priorytetów, celów i narzędzi w planowaniu gospodarki wodnej, spowodowały ewolucję metodyki dokumentowania hydrogeologicznego w zakresie kryteriów ograniczających ilość możliwych do zagospodarowania zasobów wód podziemnych w obszarach bilansowych. Wdrażanie skorygowanych kryteriów do stosowania w praktyce ustalania zasobów dyspozycyjnych w znacznym stopniu zostało powierzone Komisji Dokumentacji Hydrogeologicznych, opiniującej dokumentację hydrogeologiczną wykonane na zamówienie Ministra Środowiska [Herbich, Kozerski, Ciechanowski, 2005].



Rozbieżność pomiędzy praktyką ustalania zasobów a wskazaniem metodycznymi oraz pomiędzy stanem ich udokumentowania a potrzebami związanymi z realizacją wymogów Ramowej Dyrektywy Wodnej przeniesionych do ustawy Prawo wodne – zarówno w zakresie planów gospodarowania w obszarach dorzeczy i warunków korzystania z wód regionów wodnych i zlewni, jak i w odniesieniu do oceny stanu jednolitych części wód podziemnych – został dostrzeżony w Ministerstwie Środowiska i uwzględniony w *Kierunkach badań w dziedzinie hydrogeologii na lata 2008-2015*, przyjętych w 2008 r. W *Kierunkach* zaplanowano m.in. opracowanie nowego poradnika metodycznego ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych oraz pełne pokrycie do 2018 roku obszaru kraju obszarami bilansowymi z ustaleniem tych zasobów.

## **5. Zasoby odnawialne jako podstawa obliczeń zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych**

---

---





## 5.1. Bilans wód podziemnych

Ze względu na analizowany cel rozpoznania zasobów wód podziemnych, jakim jest określenie ich dostępności dla zagospodarowania w warunkach niedopuszczenia do znacznego pogorszenia stanu wód powierzchniowych związanych z wodami podziemnymi i niedopuszczenia do powstania znaczących szkód w ekosystemach lądowych zależnych od wód podziemnych, bilansowaniem wód podziemnych (zwanym często bilansem hydrogeologicznym) będą objęte wody zwykłe w strefie aktywnej wymiany, w tym wody pierwszego poziomu wodonośnego. W szczególności dotyczy to wód podziemnych, których warunki występowania i stan chemiczny umożliwiają ekonomicznie i technologicznie uzasadniony pobór na cele bytowe, przemysłowe i rolnicze. W niektórych przypadkach bilansem tym mogą być objęte również wody termalne, mineralne i lecznicze, współwystępujące z wodami zwykłymi [Ciężkowski, Kapuściński, 2011].

Bilans wód podziemnych uwzględnia zasoby odnawialne wód podziemnych tworzone w okresie bilansowym przez infiltrację efektywną opadów atmosferycznych oraz zmiany stanu retencji wód podziemnych, kształtowane ich zasilaniem i drenażem w tym okresie. Wody zmagazynowane w poziomach wodonośnych, które tworzą podziemny zbiornik retencyjny, odgrywają zasadniczą rolę w kształtowaniu dostępności zasobów wód podziemnych dla zagospodarowania. Zasoby zmagazynowane umożliwiają zaspakajanie potrzeb użytkowników wód podziemnych w znacznym stopniu niezależnie nawet od długookresowego braku lub obniżenia infiltracji.

Elementy te wchodzą w skład **ogólnego bilansu wodnego zlewni**, który można zapisać w postaci rozwiniętej [za: Pazdro, 1964; Walton, 1970; Macioszczyk (red.), 2006 – zmienione]:

$$P = QP + QG + ETD + EP + ETS + UB \pm \Delta RP \pm \Delta RG \pm \Delta B \quad (5.1.1)$$

lub uproszczonej:

$$P = Q + E + UB \pm \Delta R \pm \Delta B \quad (5.1.2)$$

gdzie:

$$Q = QP + QG \quad (5.1.3a)$$

$$E = ETD + EP + ETS \quad (5.1.3b)$$

$$UB = U - S \quad (5.1.3c)$$

$$\Delta R = \Delta RP + \Delta RG = (\Delta RP_0 + \Delta RP_t) + (\Delta RG_0 + \Delta RG_t) \quad (5.1.3d)$$

$$\Delta B = B_D - B_0 \quad (5.1.3e)$$

Objaśnienia symboli:

- $P$  – całkowity opad atmosferyczny (łącznie z kondensacją),
- $Q$  – odpływ rzeczny (przepływ rzeki w przekroju wodowskazowym zamykającym zlewnię),
- $QP$  – odpływ rzeczny pochodzący ze spływu powierzchniowego i podpowierzchniowego wód opadowych (nie docierającego do poziomu wodonośnego, odbywającego się m.in. w obrębie stokowych pokryw zwietrzelinowych i poziomów zawieszonych),
- $QG$  – odpływ podziemny do rzek,
- $E$  – parowanie całkowite,
- $ETD$  – parowanie i transpiracja z wód gruntowych (głównie w obrębie tarasu niskiego doliny rzecznej i podmokłości, zasilanych lateralnie i ascenzyjnie wodami podziemnymi),
- $EP$  – parowanie z wolnej powierzchni wodnej,
- $ETS$  – parowanie z powierzchni terenu i gleby wraz z intercepcją i transpiracją,

- UB** – bezzwrotny pobór wód podziemnych (pobór wody nie powracający do systemu wodnego zlewni w postaci ścieków i wód z odwodnień budowlanych i górniczych),
- U** – pobór wód podziemnych (z ujęć, odwodnień budowlanych i górniczych),
- S** – zrzut ścieków i wód z odwodnień budowlanych i górniczych,
- $\Delta R$**  – zmiana stanu retencji wód powierzchniowych w okresie bilansowania, w tym:
  - $\Delta RP$**  – zmiana stanu retencji wód powierzchniowych w okresie bilansowania (indeksy  $\theta$  i  $t$  oznaczają odpowiednio – początek i koniec okresu),
  - $\Delta RG$**  – zmiana stanu retencji wód podziemnych (w warstwie wodonośnej, w glebie i strefie aeracji) w okresie bilansowania (indeksy  $\theta$  i  $t$  oznaczają odpowiednio – początek i koniec okresu),
- $\Delta B$**  – wymiana wód podziemnych poprzez boczne granice bilansowanej zlewni, wyznaczonej działem wodnym  $B_D$ ,  $B_O$ 
  - odpowiednio: dopływ i odpływ wód podziemnych.

Wszystkie wielkości wchodzące w skład równań wyrażone są objętością wody i odnoszą się do okresu czasu bilansowania ( $L^3T^{-1}$ ).

Równanie dotyczy przekroju ujściowego rzeki i występują w nim wartości średnie z zadanego okresu bilansowania. Wielkość przepływu rzeki  $Q$  jest ściśle związana z poborem wód powierzchniowych i podziemnych oraz zrzutem ścieków. Na przepływ rzeki  $Q$  w przekroju ujściowym sumarycznie ma wpływ różnica między poborem a zrzutem ścieków.

**Bilans wód podziemnych** jest uszczegółowieniem ogólnego bilansu wodnego, ograniczonym do podziemnej fazy obiegu wód – opisuje wymianę wód podziemnych jednostki hydrogeologicznej z jej otoczeniem. Bilans wód podziemnych jest wykonywany najczęściej dla zlewniowego systemu wodonośnego (**ZSW**), obejmującego układ krążenia wód podziemnych ograniczony wododziałem wyprowadzonym z przekroju wodowskazowego zamykającego zlewnię. Granicą zlewniowego systemu wodonośnego może być wododział powierzchniowy (hydrograficzny) lub wododział podziemny w obrębie pierwszego poziomu wodonośnego lub głównego użytkowego poziomu wodonośnego. W każdym z tych przypadków, ze względu na różny w systemach wielopoziomowych przebieg wododziału powierzchniowego i wododziałów podziemnych, występują przepływy boczne przez powierzchnię graniczną, wyznaczoną przebiegiem jednego z wymienionych wododziałów.

Przykładowe schematy krążenia wód podziemnych w wielopoziomym zlewniowym systemie wodonośnym o układach krążenia związanym ze strefami drenażowymi o różnym zasięgu penetracji hydraulicznej, w warunkach reżimu quasi-naturalnego i reżimu wymuszonego intensywnym poborem z ujęć wód podziemnych – pokazano na rysunku 5.1.1.

**Ogólne równanie bilansu wód podziemnych** zlewniowego systemu wodonośnego (*ZSW*), obejmującego układ krążenia wód podziemnych w zlewni ograniczonej wododziałem podziemnym we wszystkich poziomach wodonośnych i zamkniętej przekrojem wodowskazowym na ujściu rzeki oraz obejmującym obszary zasilania ujęć wód podziemnych o poborze *U* – ma postać:

$$IE + B_D + QZ + WZ = QG + ETD + UB + B_o \pm \Delta RG \quad (5.1.4)$$

gdzie:

*IE* – infiltracja opadów do wód podziemnych (infiltracja efektywna),

$QZ = QZ_N + QZ_S$  – infiltracja wód powierzchniowych do wód podziemnych,

*QZ<sub>N</sub>* – naturalna infiltracja wód powierzchniowych do wód podziemnych,

*QZ<sub>S</sub>* – sztuczna infiltracja wód powierzchniowych do wód podziemnych (stawy i rowy infiltracyjne, infiltracja brzegowa do obszarów zasilania ujęć),

*WZ* – wtlaczanie (zatłaczanie) wód do poziomu wodonośnego otworami chłonnymi,

*QG* – odpływ podziemny do rzek.

Wszystkie wielkości wyrażone są objętością wody i odnoszą się do okresu *t* objętego bilansowaniem [ $L^3T^{-1}$ ].

Analogicznie, jak w przypadku równania 5.1.2, w równaniu 5.1.4 występują wartości średnie z zadanego okresu bilansowania. Wielkość odpływu podziemnego *QG* jest ściśle związana z poborem wód podziemnych oraz zrzutem ścieków (patrz: metodyka określania odpływu podziemnego z ciągu przepływów rzeki). Na odpływ podziemny *QG* w przekroju ujściowym ma zatem wpływ różnica między poborem a zrzutem ścieków.

Gdy spełnione są następujące warunki:

$\Delta B \ll IE$  i można przyjąć, że  $\Delta B \rightarrow 0$ , co oznacza, że zlewnia obejmuje swym zasięgiem wszystkie poziomy wodonośne, występuje zgodność wododziałów powierzchniowego i podziemnego we wszystkich poziomach oraz jest pomijalnie mały udział krążenia regionalnego,

$\Delta RG \ll IE$  i można przyjąć, że  $\Delta RG \rightarrow 0$ ,

$QZ \ll IE$  i można przyjąć, że  $QZ \rightarrow 0$ ,

$WZ \ll IE$  i można przyjąć, że  $WZ \rightarrow 0$ ,

wówczas równanie to ulega uproszczeniu do postaci:

$$IE = QG + ETD + UB \quad (5.1.5)$$

W warunkach, gdy dodatkowo można przyjąć, że bezzwrotny pobór wód podziemnych  $UB$  jest zaniedbanie niski ( $UB \ll IE$ ), zaś niewykorzystana część pobranych wód w postaci ścieków  $S$  lub zrzutu wód z systemu drenażowego trafia do rzek bilansowanej zlewni, wówczas równanie 5.1.5 przyjmuje poniższą postać:

$$IE = QG + ETD \quad (5.1.6)$$

gdzie:

$ZPD$  – zasilanie podziemne dolinnych stref drenażowych.

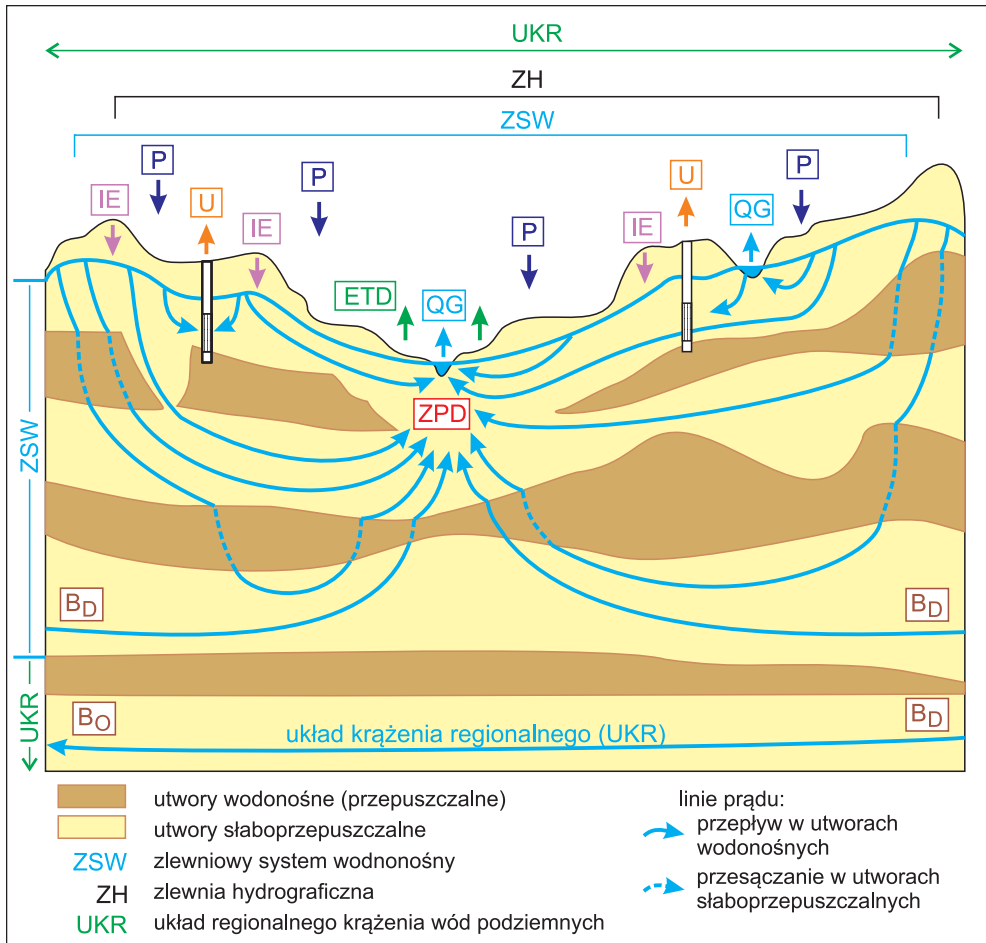
Ponieważ:

$$ZPD = QG + ETD \quad (5.1.7)$$

więc:

$$IE = ZPD \quad (5.1.8)$$

Równanie (5.1.8), przy spełnieniu wszystkich założeń dokonanych powyżej, pozwala określić infiltrację efektywną opadów w oparciu o rozpoznanie korytowego i ewapotranspiracyjnego drenażu wód podziemnych w dolinach rzecznych (patrz rozdz. 5.4).



Rys. 5.1-1. Schemat zlewniowego systemu krążenia wód podziemnych

Podsumowując, uproszczona postać równania bilansu wód podziemnych zlewniowego systemu wodonośnego (5.1.8), zrównująca zasilanie infiltracją opadową wód podziemnych w zlewni z ich drenażem w dolinach rzecznych, może być stosowana dla warunków spełniających następujące założenia:

- $\Delta B = 0$  – co oznacza regionalną zgodność położenia wododziałów zlewni podziemnej (wszystkich poziomów) i hydrograficznej (powierzchniowej), przy zanedbywalnie niskim udziale układu krążenia regionalnego w bilansie zlewni;
- $\Delta R \ll IE$  – co oznacza zanedbywalnie małą zmianę stanu retencji w porównaniu z infiltracją efektywną  $IE$  dla okresu bilansowego i jest spełnione dla wielolecia ( $t > 10$  lat) lub dla okresu, w którym

początkowe  $H_0$  i końcowe  $H_t$  (stany retencji wód podziemnych) są sobie równe ( $H_0 \approx H_t$ , czyli  $\Delta R_t \approx 0$ );

- c)  $QZ \ll IE$  – co oznacza zanedbywalnie niską infiltrację wód powierzchniowych do wód podziemnych;
- d)  $WZ \ll IE$  – co oznacza zanedbywalnie niskie zatłaczanie wód do poziomu wodonośnego studniami chłonnymi;
- e)  $UB \ll IE$  – co oznacza wysoki stopień zwrotu pobranych wód podziemnych do obiegu zlewniowego.

W warunkach bilansowania, w których można pominąć zmiany stanu retencji wód podziemnych i bezwrotny ich pobór, natomiast istotna część wód podziemnych zlewniowego systemu wodonośnego w ilości  $B_{OR}$  odpływa do regionalnych stref drenażowych (poza jego granice wyznaczone przebiegiem wododziału), bilans hydrogeologiczny zlewniowego systemu wodonośnego przyjmuje postać:

$$IE = QG + ETD + B_{OR}$$

Ponieważ

$$ZPD = QG + ETD$$

wówczas:

$$IE = ZPD + B_{OR} \quad (5.1.9)$$

Wprowadzamy następujące oznaczenie:

$$\lambda = \frac{ZPD}{IE} = \frac{ZPD}{ZPD + B_{OR}}$$

gdzie:

$\lambda$  – współczynnik określający stosunek wielkości odpływu wód podziemnych poza bilansowany system wodonośny do wielkości infiltracji efektywnej opadów w obszarze systemu zlewniowego,

$ZPD$  – zasilanie podziemne dolinnej strefy drenażowej systemu wodonośnego w zlewniach bilansowych,

$B_{OR}$  – odpływ wód podziemnych przez boczne granice bilansowanej zlewni do regionalnej strefy drenażowej.

Zasilanie podziemne  $ZPD$  dolinnych stref drenażowych rozkłada się na dopływ do koryt rzecznych  $QG$  oraz ewapotranspirację  $ETD$  z płytko zalegających wód gruntowych w tarasie niskim doliny rzecznej. W typowych zlew-



niach bilansowych (o powierzchni rzędu 250-1000 km<sup>2</sup>, zamkniętych przekrojem wodowskazowym miarodajnym do identyfikacji przepływu rzecznoego) zasilanie podziemne **ZPD** pochodzi z układów lokalnego i przejściowego systemu krążenia wód podziemnych. Regionalną strefę drenażową stanowi dolina rzeki głównej, o głębokiej penetracji hydraulicznej obejmującej swym wpływem część wód podziemnych bilansowanego zlewniowego systemu wodonośnego. Istotny bilansowo zasięg oddziaływania drenażu rzeki głównej zależy od lokalnych warunków hydrogeologicznych i zazwyczaj ogranicza się do wgłębnych poziomów wodonośnych w obrębie zlewni dolnego biegu jej dopływów.

Na podstawie literatury [Toth, 1963; Lamas, Cruces de Abia, 1976; Szymanko, 1980] można przyjąć, że dla bilansowanych zlewni o powierzchni większej niż ok. 250 km<sup>2</sup> współczynnik  $\lambda$  najczęściej przyjmuje wartości od  $\lambda = 0,95$  do  $\lambda = 0,85$ , zależnie od stopnia kontaktu hydraulicznego rzek z wodami podziemnymi oraz zasięgu penetracji hydraulicznej wód podziemnych przez dolinę rzeki wyższego rzędu – recypienta dla rzeki bilansowanej zlewni. Wartość współczynnika  $\lambda$  należy ustalać w oparciu o analizę hydrostrukturalnych warunków drenażu wód podziemnych przez system hydrograficzny bilansowanej zlewni zamkniętej przekrojem wodowskazowym, obejmującej identyfikację stopnia kontaktu hydraulicznego poziomów wodonośnych z wodami powierzchniowymi w dolinach rzek (tab. 5.1-1).

Warunki hydrostrukturalne dla przepływu wód podziemnych i penetracji hydraulicznej dolinnych stref drenażowych, decydujące o dystrybucji układów krążenia, kształtują również własności inercyjne systemu wodonośnego i opóźnienie dotarcia infiltracji opadów do GUPW. Z tego względu w tabeli 5.1-1 zamieszczono również oszacowane wartości opóźnienia czasowego **CI** zasilania rzek. Wartości te są rekomendowane do wyznaczania długości **CI** przedziału czasu, dla których określana jest średnia infiltracja efektywna w celu ustalenia jej wartości ekstremalnych w wieloleciu: niskiej i wysokiej odnawialności zasobów wód podziemnych. Są one traktowane jako reprezentatywne dla cykli posusznych i mokrych, uwzględnianych w badaniach modelowych na potrzeby kontroli stopnia zachowania wymogów środowiskowych (patrz rozdział 6.5.7) i wykonywania bilansu wodnogospodarczego zlewni – patrz rozdział 7 [Herbich, Przytuła, 2012].

**Tab. 5.1-1. Wartości współczynnika  $\lambda$  oraz opóźnienia czasowego  $CI$  [lata] zalecane do stosowania w obliczeniach bilansowych przy określaniu udziału krążenia wód podziemnych drenowanych przez rzeki zlewni o powierzchni większej niż ok. 250 km<sup>2</sup> – w krążeniu wód podziemnych strefy aktywnej wymiany**

Lp	$\lambda$	$CI$	Dominujące warunki systemu wodonośnego zlewni
1	1	< 5	jeden ciągły poziom wodonośny o znacznej miąższości, swobodnym zwierciadle wody i dobrym kontakcie hydraulicznym z rzekami; hydrostrukturalne i hydrodynamiczne warunki regionalne kształtują brak odpływu wód podziemnych poza zlewnię powierzchniową; dobre warunki infiltracji efektywnej opadów
2	1-0,95	5-10	układ dwupoziomowy: pierwszy użytkowy poziom o swobodnym zwierciadle wody jest ciągły i w dobrym kontakcie z rzekami, oddzielony od poziomu drugiego warstwą półprzepuszczalną, lokalnie nieciągłą w dolinach rzecznych; hydrostrukturalne i hydrodynamiczne warunki regionalne utrudniają odpływ wód podziemnych poza zlewnię powierzchniową; dobre warunki infiltracji efektywnej opadów
3	0,95 -0,90	10-15	układ dwupoziomowy: pierwszy poziom o swobodnym zwierciadle wody i dobrym kontakcie z rzekami jest lokalnie nieciągły lub lokalnie o niewielkiej miąższości, od niżejległego użytkowego poziomu wodonośnego jest oddzielony półprzepuszczalną warstwą lokalnie nieciągłą (głównie w dolinach rzecznych); hydrostrukturalne i hydrodynamiczne warunki regionalne nie sprzyjają odpływowi wód podziemnych poza zlewnię powierzchniową; warunki infiltracji efektywnej opadów dobre do pierwszego poziomu, utrudnione – do drugiego
4	0,90- 0,85	15-20	pierwszy poziom jest słabo wodonośny i/lub występuje lokalnie; od niżejległego głównego użytkowego poziomu wodonośnego o zasięgu regionalnym jest oddzielony półprzepuszczalną warstwą wytwarzającą warunki pośredniego kontaktu z rzekami; hydrostrukturalne i hydrodynamiczne warunki regionalne umożliwiają odpływ wód podziemnych poza zlewnię powierzchniową; warunki infiltracji efektywnej opadów zróżnicowane do pierwszego i do drugiego poziomu
5	0,85- 0,75	25-30	system wielopoziomowy: poziomy płytkie nieciągłe o zmiennym kontakcie z rzekami, poziomy w głębie o rozciągłości regionalnej i zróżnicowanym kontakcie z poziomami płytszymi; hydrostrukturalne i hydrodynamiczne warunki regionalne umożliwiają w głębi odpływ wód podziemnych poza zlewnię powierzchniową; warunki infiltracji efektywnej opadów zróżnicowane – utrudnione do poziomów w głębszych
6	< 0,75	> 30	system wielopoziomowy: poziomy płytkie nieciągłe o słabym kontakcie z rzekami, poziomy w głębie o rozciągłości regionalnej i lokalnym kontakcie z poziomami płytszymi; hydrostrukturalne i hydrodynamiczne warunki regionalne są korzystne dla wytworzenia się w głębi odpływu wód podziemnych poza zlewnię powierzchniową; warunki infiltracji efektywnej opadów zróżnicowane i utrudnione do wszystkich poziomów

Podane w tabeli 5.1-1 wartości należy traktować jako średnie w zlewniach poszczególnych typów. Odstępstwa będą dotyczyły zwłaszcza zlewni górnych i dolnych odcinków rzeki o naturalnym układzie krążenia wód podziemnych. System wodonośny znajdujący się w obrębie części zlewni hydrograficznej dolnego biegu rzeki, uchodzącej do rzeki głównej, o głębokiej penetracji hydraulicznej, może wykazywać wyższy udział krążenia regionalnego niż podany w tabeli 5.1-1. Analiza hydrostrukturalnych i hydrodynamicznych warunków systemu wodonośnego zlewni i jej otoczenia, prowadzona na etapie ustalania schematu warunków hydrogeologicznych obszaru bilansowego (rozdz. 6.4), pozwala na dokonanie jego klasyfikacji zgodnie z wytycznymi podanymi w tabeli 5.1-1 oraz w rozdziale 6.4.

Odrębne zagadnienie stanowi problem odpływu wód z poziomów wodonośnych bilansowanej zlewni do antropogenicznych regionalnych ośrodków głębokiego drenażu wód podziemnych. Ta sytuacja wymaga każdorazowo indywidualnej analizy pola hydrodynamicznego i struktury bilansowej. Antropogenicznie układy krążenia wód podziemnych o zasięgu regionalnym są wymuszane głównie odwadnianiem kopalń odkrywkowych węgla brunatnego, płytkich kopalń podziemnych rud cynku i ołowiu oraz eksploatacją zespołów ujęć wód podziemnych w aglomeracjach miejsko-przemysłowych.

Bilans hydrogeologiczny jednostki bilansowej obejmującej obszar spływu wód *OSW* do sztucznej strefy drenażowej, ograniczony wododziałem podziemnym w użytkowym poziomie wodonośnym, może być zapisany w następującej postaci (objaśnienia jak do równań 5.1.1–5.1.4):

$$U = IE - ETD - QG + QZ_s + B_d \pm \Delta RG \quad (5.1.10)$$

Uwzględniając wyłącznie zmiany retencji w poziomie wodonośnym o zwierciadle swobodnym, w równaniu pomija się zmiany pojemności sprężystej poziomów wgłębnych. Pomijając wpływ inercji systemu wodonośnego, pobór  $U$  wód podziemnych może być określany dla okresu bilansowania, w którym ustalane są wartości czynników po stronie rozchodowej bilansu.

Wybrane składniki, wchodzące w skład równań 5.1.1–5.1.10, są wykorzystywane do obliczania ich wartości modułowych, m.in. na potrzeby związane z budową modeli matematycznych przepływu wód podziemnych, a także do przenoszenia informacji metodą analogii hydrogeologicznej z rozpoznanych obszarów bilansowych. Wartości modułowe poszczególnych elementów równań bilansowych są wyznaczane w odniesieniu do powierzchni obszaru, na którym przebiega proces objęty danym elementem. W związku z prowadzonymi analizami przestrzennej zmienności warunków hydrogeologicznych najczęściej wyznaczane są wartości modułowe dla następujących elementów bilansu hydrogeologicznego:

$$qg = \frac{QG}{A} \quad (5.1.11)$$

$$etd = \frac{ETD}{Ad} \quad (5.1.12)$$

$$ie = \frac{IE}{Az} \quad (5.1.13)$$

gdzie:

$qg$  – moduł odpływu podziemnego  $QG$  ze zlewni, określony w odniesieniu do całej powierzchni zlewni  $A$  (najczęściej wyznaczonej wododziałem powierzchniowym);

$etd$  – moduł drenażu ewapotranspiracyjnego  $ETD$  wód podziemnych, określony w odniesieniu do powierzchni  $Ad$  obszarów zlewni okresowo i stale podmokłych w obrębie dolinnych tarasów niskich (zalewowych – łąkowych);

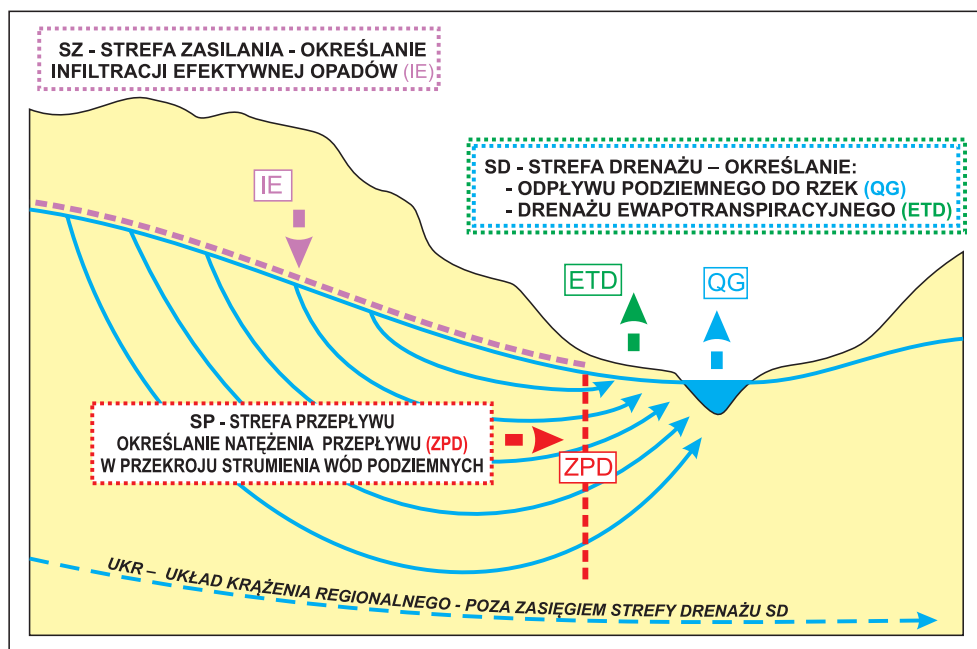
$ie$  – moduł infiltracji efektywnej  $IE$ , określony w odniesieniu do powierzchni obszarów zasilania  $Az$  wód podziemnych w zlewni.

Wszystkie wartości wyrażone w jednostkach [ $L^3L^{-2}T^{-1}$ ] lub [ $LT^{-1}$ ].

## 5.2. Ogólna klasyfikacja analitycznych metod badań odnawialności zasobów wód podziemnych

Zgodnie z ogólnym schematem zlewniowego układu krążenia (rys. 5.2-1) zasoby odnawialne wód podziemnych mogą być wyznaczone poprzez analizę warunków hydrogeologicznych w poszczególnych strefach hydrodynamicznych, na jeden z kilku sposobów:

- określanie wydatków drenażu w strefie dolinnej zlewniowego układu krążenia,
- określanie infiltracji efektywnej opadów do pierwszego poziomu wodonośnego,
- określanie natężenia przepływu w przekroju strumienia wód podziemnych.



Rys. 5.2-1. Klasyfikacja metod określania zasobów odnawialnych wód podziemnych na tle schematu zlewniowego systemu krążenia

Ze względu na regionalny charakter rozpoznawania zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych oraz zlewniowy charakter jednostek bilansowych, do ustalania zasobów odnawialnych predestynowane są metody **analizy wydatku stref drenażowych** zlewniowych układów krążenia kontrolowanych przepływem rzeczny w przekrojach wodowskazowych. Podstawową daną wejściową do analizy są niskie miesięczne przepływy rzeczne określone dla wielolecia lub hydrogramy przepływów dobowych w przekroju wodowskazowym zamykającym zlewnię. Dane te są powszechnie przyjmowane jako w wysokim stopniu miarodajne do oceny zasobów odnawialnych wód podziemnych. Ocena wydatku stref drenażowych prowadzi do identyfikacji zasilania podziemnego **ZPD** dolin rzecznych, obejmującego odpływ podziemny **QG** do rzek i drenaż ewapotranspiracyjny **ETD** wód podziemnych w obszarach stale lub okresowo podmokłych.

Do ustalania zasobów odnawialnych jednostek bilansowych w mniejszym stopniu przydatne są metody oparte na określaniu **infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych** i **natężenia przepływu** wód podziemnych w przekrojach poziomów wodonośnych na granicy strefy drenażowej. Obydwie grupy metod były szeroko wykorzystywane w krajowych regionalnych obliczeniach zasobowych przed wdrożeniem do tego celu badań modelowych [Turek (red.), 1971; Pazdro, 1964, 1977; Bieniaszewska 1973, 1980;

Załoski, 1973]. Omówieniu dynamiki procesów kształtujących elementy bilansu wodnego zlewni i metod ich określania są poświęcone m.in. podręczniki akademickie [Pazdro, Kozerski 1990; Soczyńska (red.), 1990, 1997; Macioszczyk (red.), 2006].

Przyczyną niższej wiarygodności regionalnej oceny **infiltracji efektywnej** w określaniu zasobów odnawialnych wód podziemnych jest głównie znaczny stopień niepewności w ilościowej charakterystyce procesu infiltracji, wynikającej z przenoszenia wyników badań punktowych (lizymetri, piezometri) na obszary wielokrotnie przekraczające zasięg bezpośredniej obserwacji przebiegu zjawiska, wewnątrznie niejednorodne w zakresie hydrometeorologicznych, hydrogeologicznych, morfologicznych, glebowych, gospodarczych i roślinnych warunków kształtujących wsiąkanie i przesączanie wód opadowych. Identyfikacja warunków infiltracji efektywnej jest natomiast niezbędna w ustalaniu przestrzennego zróżnicowania zasilania pierwszego poziomu wodonośnego o rozpoznanym odpływie podziemnym do rzek w zamykającym zlewnię przekroju wodowskazowym.

Natomiast obliczenia **natężenia przepływu** w przekroju poprzecznym strumienia wód podziemnych mają charakter szacunkowy głównie ze względu na niepewność w określaniu przewodności wodnej ośrodka, wraz z jej przestrzenną zmiennością. Mogą one mieć jedynie znaczenie orientacyjne na etapie wstępnej oceny warunków hydrodynamicznych określonych fragmentów systemu wodonośnego. Dopiero modelowa identyfikacja przewodności wodnej umożliwia prowadzenie obliczeń natężenia przepływu przez wybrane przekroje strumienia wód podziemnych i wówczas obliczenia te wykorzystywane są do bilansowania w obrębie wydzielonych fragmentów modelowanego obszaru, np. rejonów wodnogospodarczych.

### **5.3. Zasilanie podziemne rzek zlewni zamkniętej przekrojem wodowskazowym**

Zasilanie podziemne rzek, jako składnik równań bilansowych 5.1.1, 5.1.4, 5.1.5, 5.1.6 i 5.1.10, jest najczęściej określane metodami opartymi na interpretacji wieloletnich ciągów wartości codziennych lub charakterystycznych przepływów rzeki w przekroju wodowskazowym zamykającym badaną zlewnię. W tym rozdziale pomija się zagadnienia związane z techniką wyznaczania natężenia przepływu rzeczno-geologicznego w przekroju pomiarowym; zagadnienie to jest ujęte w rozdziale 5.6 w aspekcie analizy błędów oceny odpływu podziemnego i zasobów odnawialnych.

Do najczęściej stosowanych w tej grupie należą metody:

- podziału genetycznego wieloletniego hydrogramu dobowych przepływów całkowitych rzeki w przekroju wodowskazowym na składowe pochodzące z zasilania podziemnego i spływu powierzchniowego;
- analizy statystyczne wieloletniego zbioru przepływów niskich miesięcznych.

Obydwie metody są szeroko omawiane zarówno w podręcznikach akademickich i poradnikach metodycznych, jak i w powszechnie dostępnej literaturze i z tego względu zostaną omówione poniżej w sposób skrótowy. Natomiast zostaną pominięte metody niestosowane w krajowych badaniach zasobów odnawialnych wód podziemnych na potrzeby ustalania zasobów dyspozycyjnych, ze względu na brak dostępnych danych; do metod tych można zaliczyć m.in. metody identyfikacji składowej podziemnej odpływu rzecznej oparte na wskaźnikach izotopowych i chemicznych.

### **5.3.1. Podział genetyczny hydrogramu przepływu rzeki**

Danymi wejściowymi są codzienne wartości przepływu rzeki w okresie wielolecia, określone dla przekroju wodowskazowego na podstawie codziennych pomiarów stanu wody w rzece (wyznaczonych jako pomiar jednorazowy lub średni dobowy, zależnie od techniki opomiarowania), z wykorzystaniem krzywych konsumpcyjnych ustalających związek pomiędzy stanem a przepływem rzeki oraz uwzględniających sezonowo występujące zarastanie koryta roślinnością i zjawiska lodowe.

Dane wejściowe są poddawane przetwarzaniu, analizie i obliczeniom z wykorzystaniem procedury prowadzącej do wyznaczenia dobowych oraz średnich okresowych i wieloletnich wartości przepływu pochodzącego – zależnie od stopnia dokładności podziału – ze spływu powierzchniowego, spływu podpowierzchniowego oraz z zasilania podziemnego rzeki, w tym – zasilania wodami podziemnymi układów krążenia o sezonowej i wieloletniej dynamice zmian.

Procedura wydzielenia poszczególnych składowych przepływu rzeki obejmuje następujące etapy:

- a) Zestawienie codziennych przepływów całkowitych  $Q$  rzeki w postaci hydrogramu zmienności przepływu, będącego wykresem  $Q = f(t)$  lub  $\lg(Q) = f(t)$  dla wybranego okresu czasu  $t$ . Okresem tym jest wielolecie wytypowane do dokonania ustaleń zasobów odnawialnych.



- b) Identyfikacja i zestawienie krzywych recesji odpływu wydzielonych z hydrogramu badanego wielolecia, w tym krzywych recesji odpływu wód podziemnych o współczynniku wysychania  $\alpha$  (wg Maillet'a):

$$QG_t = QG_0 e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (5.3.1)$$

gdzie:  $QG_0$ ,  $QG_t$  – przepływ pochodzący z zasilania podziemnego, odpowiednio: na początku procesu recesji ( $t = 0$ ) i w czasie  $t$  trwania recesji,

$\alpha$  – współczynnik wysychania (recesji odpływu z zasilania podziemnego).

Należy tu podkreślić, że współczynnik wysychania  $\alpha$  uwzględnia jednorodny charakter zjawiska drenażu wód podziemnych w dolinie rzecznej, jako procesu zasilania podziemnego koryt rzecznych. Jednakże w okresie letnim zasilanie podziemne typowej doliny rzecznej rozkłada się na odpływ do koryta rzeki oraz na ewapotranspirację płytkich wód gruntowych w obrębie tarasu niskiego doliny. Linia hydrogramu przepływu rzeki w okresie szczytowej ewapotranspiracji przebiega wyraźnie poniżej krzywej wysychania o współczynniku  $\alpha$  ekstrapolowanej z hydrogramu w okresie poprzedzającym intensywny drenaż ewopotranspiracyjny wód podziemnych (rys. 5.3-1).

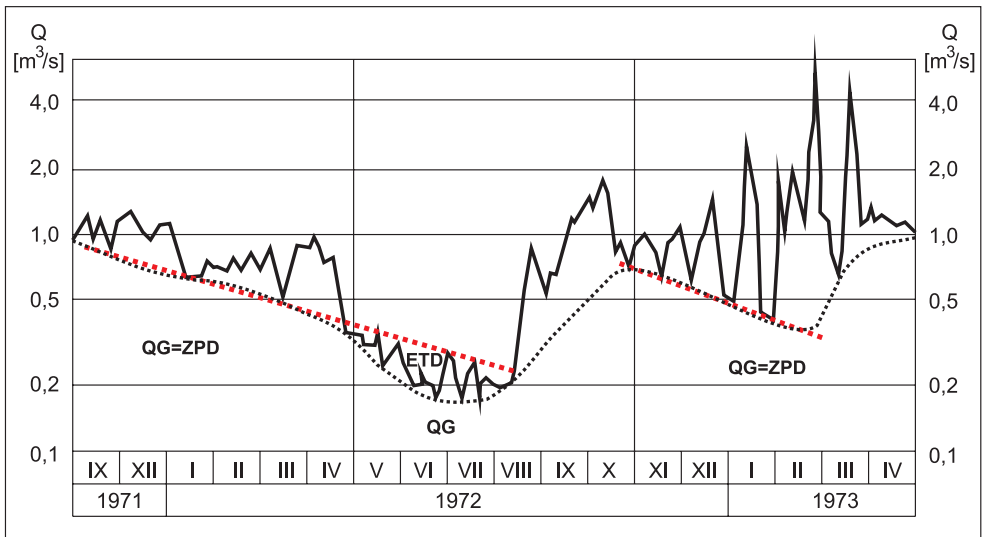
- c) Dokonanie podziału hydrogramu przepływu rzeki na składową pochodzącą z zasilania podziemnego i ze sływu powierzchniowego, poprzez poprowadzenie linii rozdzielającej. Linia rozdzielająca jest prowadzona w sposób odmienny dla poszczególnych faz odpływu – jego koncentracji i recesji:
- dla recesji przepływu rzeki – opadających gałęzi hydrogramu: z wykorzystaniem wartości przepływów niskich okresowych i nachylenia krzywej recesji dla współczynnika  $\alpha$  wysychania (z uwzględnieniem wpływu drenażu ewapotranspiracyjnego wód podziemnych omówionego w punkcie B);
  - dla koncentracji przepływu rzeki – wznoszącej części hydrogramu: poprzez połączenie ostatniego minimum okresowego przepływu z pierwszym minimum znajdującym się na krzywej wysychania  $\alpha$ ; konstrukcja linii przepływu rzeki z zasilania podziemnego lub z wykorzystaniem korelacji odpływów niskich okresowych  $NQ$  w rzece



ze stanami zwierciadła wody  $H$  w posterunku wód podziemnych zlokalizowanym w strefie przydolinnej rzeki na odcinku przekroju wodowskazowego.

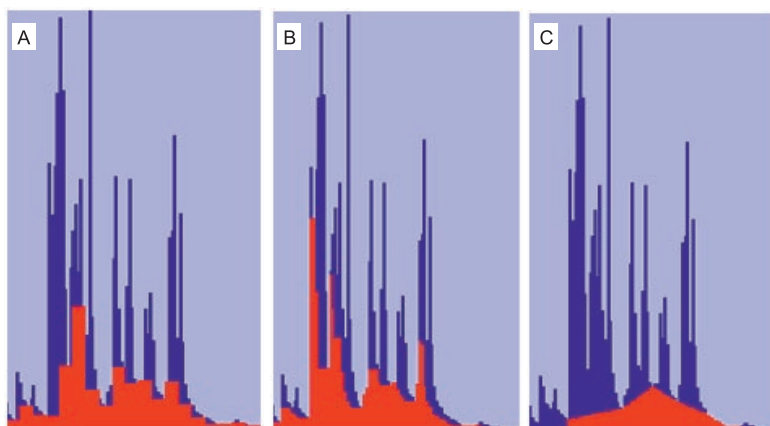
Realizacja powyższej procedury może być osiągnięta w trybie samodzielnego wykonania jej poszczególnych etapów lub z wykorzystaniem specjalistycznych programów komputerowych, zawierających algorytmy realizujące całość zadania (np. programy HydroOffice Software Package for Water Sciences BFI+ 3.0).

Programy te wymagają wprowadzenia danych wejściowych w postaci wartości przepływów codziennych rzeki dla wybranego okresu czasu. Wynikiem obliczeń są wartości odpływu podziemnego, prezentowane również w formie graficznej hydrogramu przepływu z linią podziału genetycznego, pokazującą zmienność czasową przepływu pochodzącego z zasilania podziemnego. Programy te umożliwiają wybór metody wydzielenia odpływu podziemnego oraz graficzną prezentację krzywych recesji odpływu całkowitego i krzywych wysychania dla odpływu podziemnego (rys. 5.3-2).



**Rys. 5.3-1. Hydrogram przepływu całkowitego rzeki (Wojśławka w Małochwieju) z wydzieleniem zasilania podziemnego doliny rzecznej ( $ZPD$ ) oraz zasilania podziemnego rzeki ( $QG$ ) i drenażu ewapotranspiracyjnego wód podziemnych ( $ETD$ ) w obrębie tarasu niskiego (podmokłego) doliny [Herbich, 1980]**

Linia kropkowana czarna – krzywa odpływu podziemnego  $QG$  do rzeki; linia kropkowana czerwona – krzywa recesji zasilania podziemnego  $ZPD$  dolinnej strefy drenażowej (w okresie zimowym tożsama z linią odpływu podziemnego); pomiędzy linią  $ZPD$  a linią  $QG$  w okresie letnim – drenaż ewapotranspiracyjny wód podziemnych  $ETD$ .



Rys. 5.3-2. Przykłady wydzielenia odpływu podziemnego poprzez podział hydrogramu z uwzględnieniem minimów przepływu występujących w równych przedziałach czasowych (A), okresowych regresji przepływu (B) i lokalnych minimów przepływu (C)

Źródło: <http://hydrooffice.org/Downloads/List.aspx?section=Manuals>.

### 5.3.2. Analiza statystyczna przepływów niskich miesięcznych MNQ

Powszechnie stosowaną metodą określania średniej wieloletniej wartości przepływu rzeki pochodzącego z zasilania podziemnego jest metoda oparta na analizie statystycznej przepływów niskich miesięcznych *MNQ* rejestrowanych w przekroju wodowskazowym rzeki. Jej podstawową zaletą jest prostota i niewielki udział podejścia subiektywnego w interpretacji danych wejściowych i w prowadzeniu obliczeń.

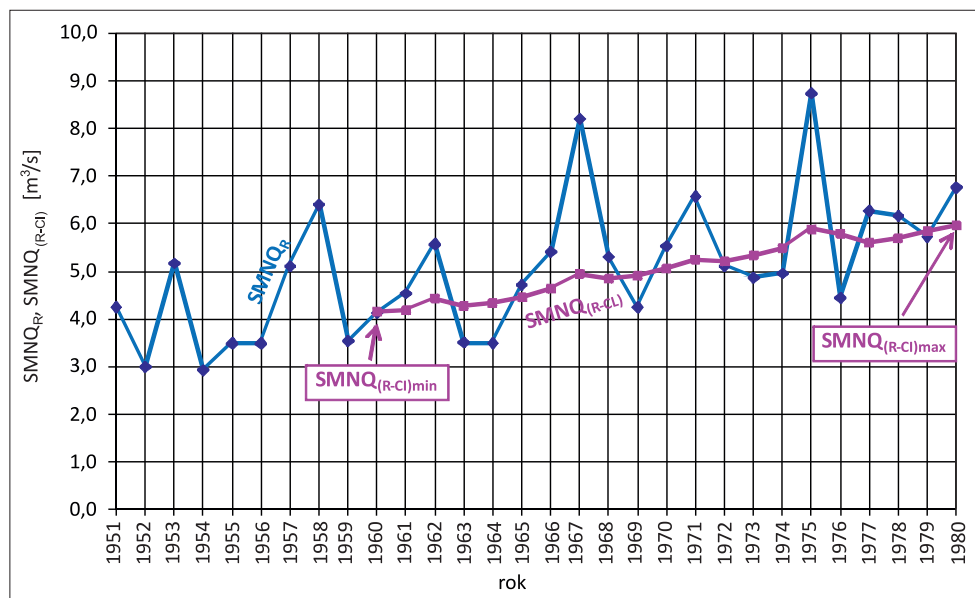
W metodzie Wundta [1953] określa się zasilanie podziemne *QG* rzek jako wartość średnią *SMNQ* dla zbioru *i*-tych wartości *MNQ* z wielolecia obejmującego *n* – miesięcy:

$$QG = \underset{def.}{SMNQ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} MNQ_i \quad (5.3.2)$$

Przykład zastosowania metody Wundta przedstawia tabela 5.3-1. Wartość przepływu średniego z najniższych miesięcznych w 30-leciu 1951-1980 wynosi 5,06 m<sup>3</sup>/s i zgodnie z metodą Wundta jest utożsamiana z odpływem podziemnym średnim dla wielolecia. Kolorem czerwonym zaznaczono najniższą wartość *SMNQ*<sub>(R-CI)</sub> reprezentatywną dla cyklu lat posusznych w wieloleciu 1951-1980, przy czasie opóźnienia *CI* = 10 lat (patrz tab. 5.1-1), zaś kolorem niebieskim wartość *SMNQ*<sub>(R-CI)</sub> reprezentatywną dla cyklu lat mokrych w wieloleciu 1951-1980. Wartości przedstawione w tabeli 5.3-1 zostały zobrazowane na rysunku nr 5.3-3.

**Tab. 5.3-1. Zestawienie wartości przepływów  $MNQ$  [ $m^3/s$ ] rzeki Liwiec w Łochowie (powierzchnia zlewni  $A = 2466$   $km^2$ ), średnich rocznych  $SMNQ_R$  oraz średnich ruchomych  $SMNQ_{(R-CI)}$  określonych dla czasu opóźnienia  $CI = 10$  lat**

Rok	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	$SMNQ_R$	$SMNQ_{(R-CI)}$
1951	12,40	5,77	4,58	3,96	6,65	3,70	3,22	2,52	2,36	2,06	1,46	2,34	4,25	
1952	2,50	3,70	2,45	2,60	3,73	3,10	2,34	2,34	1,58	1,40	1,86	8,38	3,00	
1953	19,10	3,90	5,73	5,57	9,36	4,73	2,56	2,12	1,96	2,04	2,12	2,90	5,17	
1954	2,20	2,09	2,09	2,35	3,61	6,29	2,83	2,55	2,55	2,48	2,55	3,55	2,93	
1955	2,44	3,43	4,21	4,14	4,14	5,44	3,26	2,99	2,90	2,55	2,76	3,62	3,49	
1956	2,44	3,43	4,21	4,14	4,14	5,44	3,26	2,99	2,90	2,55	2,76	3,62	3,49	
1957	7,42	5,16	4,78	5,69	6,37	4,76	3,94	3,30	3,30	4,02	5,20	7,42	5,11	
1958	8,70	7,12	8,77	10,20	8,32	14,10	3,66	2,95	2,95	2,84	2,73	4,46	6,40	
1959	5,29	3,22	3,70	3,02	5,29	5,29	2,95	2,84	2,62	2,40	2,62	3,28	3,54	
1960	3,35	2,47	4,00	4,37	6,80	4,20	2,35	2,15	3,18	5,32	5,32	6,02	4,13	4,15
1961	8,25	7,56	3,89	5,10	6,90	3,91	3,33	2,89	2,75	3,62	3,47	2,84	4,54	4,18
1962	4,20	3,89	3,89	6,95	8,20	7,20	8,75	5,20	4,30	3,60	3,90	6,80	5,57	4,44
1963	5,85	2,85	2,34	2,77	3,84	9,60	3,35	2,30	1,37	1,75	2,60	3,50	3,51	4,27
1964	5,92	3,90	4,10	3,02	2,81	8,93	3,08	1,88	1,64	1,80	2,04	2,92	3,50	4,33
1965	3,72	4,52	5,85	4,33	5,55	6,65	5,20	4,45	2,60	4,15	4,60	5,05	4,72	4,45
1966	3,46	6,61	7,13	8,98	11,10	8,60	3,50	2,36	2,69	2,94	3,64	3,92	5,41	4,64
1967	7,10	12,80	12,60	10,80	21,90	8,25	7,75	5,10	2,94	2,80	2,80	3,50	8,20	4,95
1968	3,70	6,56	10,90	8,30	6,85	6,00	5,32	4,65	2,36	2,12	2,36	4,65	5,31	4,84
1969	5,55	2,36	2,61	3,65	5,11	15,70	5,10	2,92	1,88	1,40	2,12	2,60	4,25	4,91
1970	3,72	2,81	2,45	4,25	5,23	20,30	7,22	3,98	2,62	3,98	3,98	5,78	5,53	5,05
1971	11,80	11,10	7,70	18,30	8,80	7,50	2,64	3,15	1,65	1,39	1,52	3,32	6,57	5,26
1972	6,00	6,93	2,50	3,19	4,40	8,00	3,10	2,42	2,00	2,70	9,30	10,80	5,11	5,21
1973	10,50	5,10	3,95	5,73	12,20	4,70	3,30	2,56	2,35	2,00	2,00	4,10	4,87	5,35
1974	6,10	5,32	4,66	7,25	7,50	3,66	3,15	4,40	5,82	2,70	2,90	6,10	4,96	5,49
1975	14,90	21,50	16,80	10,80	7,32	9,31	5,14	3,73	3,73	3,56	3,28	4,84	8,74	5,90
1976	5,04	5,05	8,12	4,02	6,88	7,22	3,36	2,70	1,04	3,02	1,88	5,11	4,45	5,80
1977	5,95	5,95	5,49	6,03	9,77	10,00	4,32	3,62	3,20	3,94	8,62	8,39	6,27	5,61
1978	7,32	5,78	4,29	5,32	12,70	10,70	6,60	3,94	4,26	2,40	4,12	6,60	6,17	5,69
1979	7,75	5,35	4,20	3,48	8,97	12,50	6,59	2,40	2,68	3,78	5,30	5,73	5,73	5,84
1980	4,46	9,61	4,27	4,66	5,72	12,40	5,20	5,95	7,20	7,20	5,70	8,70	6,76	5,96
1951-80	6,57	5,86	5,41	5,77	7,34	7,94	4,21	3,25	2,85	2,95	3,52	5,03	5,06	5,06

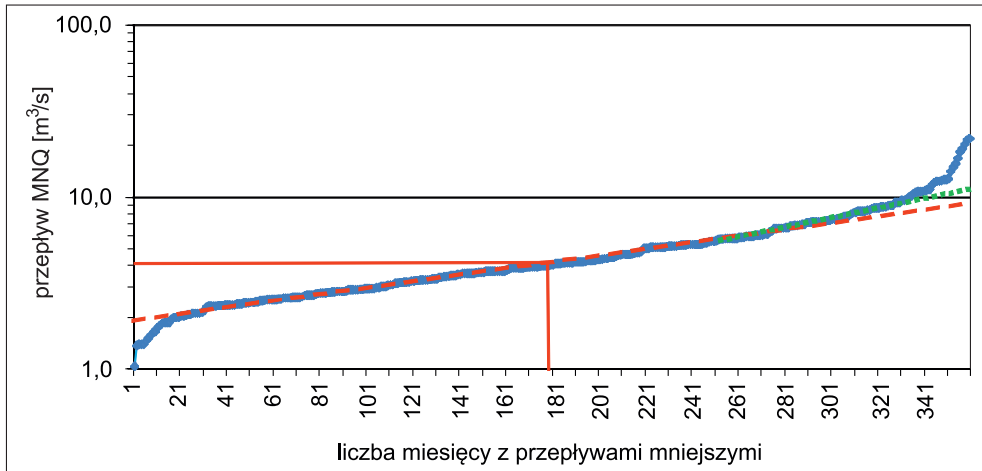


Rys. 5.3-3. Wielkość niskich miesięcznych przepływów Liwca w Łochowie: średnich rocznych  $SMNQ_R$  oraz średnich ruchomych  $SMNQ_{(R-CI)}$  z okresu poprzedzającego dany rok o czas opóźnienia  $CI = 10$  lat

Kille [1970] zaproponował ustalanie wartości  $SMNQ$  na podstawie analizy krzywej kumulacji przepływów niskich miesięcznych  $MNQ$  w rozpatrywanym wieloleciu  $TW$ . Analiza krzywej pozwala na dokonanie identyfikacji niskich przepływów miesięcznych niejednorodnych genetycznie: składających się z zasilania podziemnego oraz ze spływu powierzchniowego.

$$QG \underset{def.}{=} MNQ_{(0,5TW)} \quad [L^3T^{-1}] \quad (5.3.3)$$

gdzie  $MNQ_{(0,5TW)}$  – przepływ niski miesięczny odpowiadający wartości przepływu dla połowy zbioru wraz z mniejszymi (rys. 5.3-4).



**Rys. 5.3-4.** Wyznaczenie odpływu podziemnego  $SQG$  metodą Killego na krzywej kumulacyjnej zbioru  $MNQ$  rzeki Liwiec w Łochowie z wielolecia 1951-1980 jako wartości równej przepływowi  $MNQ_{(0,5TW)}$  (gdzie  $0,5TW = 180$  miesięcy) wraz z mniejszymi:  $QG = MNQ_{(0,5TW)} = 4,1 \text{ m}^3/\text{s}$

Linia przerywaną czerwoną zaznaczono krzywą kumulacyjną dla odpływu pochodzącego z zasilania podziemnego, linią zieloną – z zasilania podziemnego wraz z zasilaniem podpowierzchniowym; w strefie najwyższych przepływów ponad nią leży linia niebieska – obejmująca przepływy wraz ze spływem powierzchniowym.

Przepływ w rzece może być okresowo współtworzony przez tzw. spływ podpowierzchniowy, pochodzący z opadów wód wsiąkowych drenowanych przez źródła i wysięki zboczowe na stokach wzniesień z pokrywami utworów o skokowo wyższej przepuszczalności i pojemności wodnej niż ich podłoże (np. pospółki zwietrzelinowe na skale spękanej, piaski na glinach). Przepływy niejednorodne genetycznie występują zwłaszcza w miesiącach objętych długotrwałym okresem roztopów zimowo-wiosennych i deszczy jesiennych.

W zlewniach, generujących znaczny udział przepływów podpowierzchniowych i długotrwałych spływów powierzchniowych, różnica pomiędzy wartością odpływu podziemnego wyznaczoną metodą Wundta i metodą Killego jest wyraźna i może osiągać do 25%. Przepływ średni wieloletni pochodzący z zasilania podziemnego rzek w zlewni Liwca po Łochów wyznaczony metodą Wundta wynosi  $5,06 \text{ m}^3/\text{s}$  i jest 23% większy od przepływu wynoszącego  $4,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , wyznaczonego dla tego samego wielolecia metodą Killego (rys. 5.3-4).

Należy tu jednak podkreślić, że metoda Killego może istotnie zaniżać wartość zasilania podziemnego rzek w stosunku do metody podziału

genetycznego hydrogramu, wyznaczającej linię odpływu podziemnego na hydrogramie przepływów całkowitych. To zagadnienie jest szerzej omówione w rozdziale 5.6 (patrz rys. 5.6-1). Obliczenia prowadzone zgodnie z metodą Wundta – oparte o pełen zbiór wartości  $MNQ$  obejmujący część przepływów niskich miesięcznych niejednorodnych genetycznie – potencjalnie redukują stopień zaniżenia wartości odpływu podziemnego, najwyższy w metodzie Killego.

### **5.3.3. Zasilanie podziemne dolinnych stref drenażowych zlewni o kontrolowanym stanie retencji wód podziemnych**

Prezentowana w poradniku metodyka konstrukcji krzywych związku stanów retencji i odpływu wód podziemnych, a następnie ich analizy na potrzeby określania elementów bilansu hydrogeologicznego, została opracowana głównie w oparciu o prace Sawickiego [1978] i Herbicha [1987], rozwijające wcześniejsze ustalenia Schichta i Meybooma [za: Walton, 1970]. Metoda ta opiera się na uzasadnionym teoretycznie i stwierdzonym empirycznie związku stanów  $H$  retencji wód podziemnych w zlewni i odpływu podziemnego  $QG$  do rzek rozpatrywanym oddzielnie w półroczach letnich i zimowych (rys. 5.3-5). Przyjmuje się w niej założenia Wundta – Killego, dotyczące ustalení odpływu podziemnego w rzece jako przepływu niskiego miesięcznego  $MNQ$ .

Analiza korelacji  $QG = f(H)$  pozwala na identyfikację średnich okresowych wartości składników równania 5.1.6 i 5.1.7: zasilania podziemnego  $QG$  rzek, drenażu ewapotranspiracyjnego  $ETD$  wód podziemnych w tarasie niskim doliny rzeki oraz zasilania podziemnego dolinnej strefy drenażowej  $ZPD$  i zasobów odnawialnych wód podziemnych zlewni.

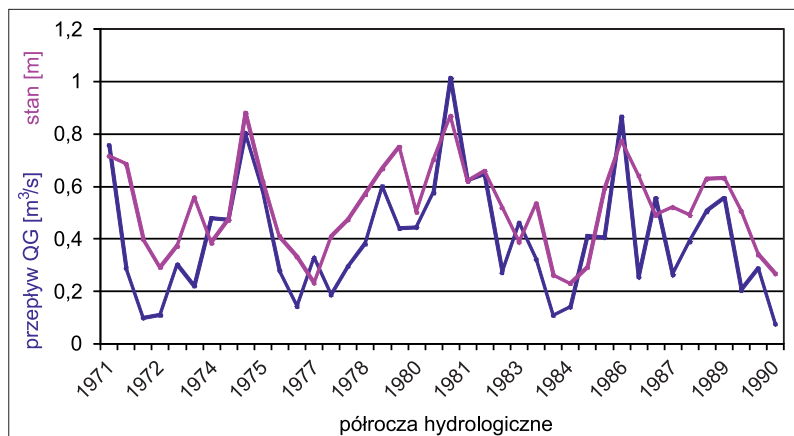
Metoda jest preferowana do stosowania w zlewniach o powierzchni nie większej niż 1000 km<sup>2</sup>, z wieloletnimi (> 10 lat) stacjonarnymi obserwacjami przepływu rzeki w przekroju wodowskazowym i stanu retencji wód podziemnych w poziomach wodonośnych.

Danymi wejściowymi do obliczeń są:

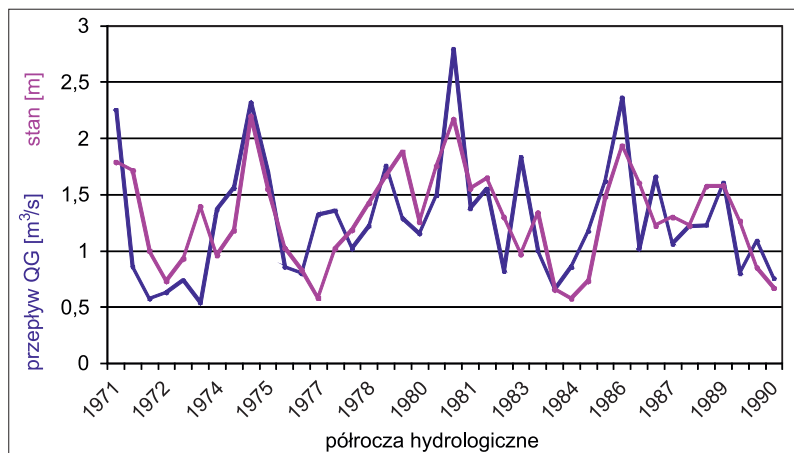
- średnie w półroczach zimowych ( $Z$ ) i letnich ( $L$ ) wartości przepływu niskiego miesięcznego ( $SMNQ_Z$  i  $SMNQ_L$ ) pochodzącego z zasilania podziemnego rzek identyfikowane w przekroju wodowskazowym zamykającym badaną zlewnię,

- średnie w półroczach zimowych ( $Z$ ) i letnich ( $L$ ) wartości stanu zwierciadła wody ( $SH_Z$  i  $SH_L$ ) w poszczególnych posterunkach wód podziemnych zlokalizowanych w obrębie badanej zlewni (dopuszcza się uwzględnianie posterunków położonych w bezpośrednim sąsiedztwie zlewni, w warunkach hydrogeologicznie i meteorologicznie reprezentatywnych dla zlewni badanej).

a)



b)



**Rys. 5.3-5. Przykład wyraźnego związku stanów retencji i odpływu podziemnego w zlewniach rzek drenujących poziom wodonośny o swobodnym zwierciadle wody**

- odpływ podziemny średni półroczny rz. Udał w Ostrowie na tle stanów wód podziemnych w Anusinie,
- odpływ podziemny średni półroczny rz. Włodawki w Okunince na tle stanów wód podziemnych w Anusinie.

Wartości stanów i przepływów – średnie w półroczach zimowych i letnich kolejnych lat hydrologicznych.

Dane te są ustalane dla poszczególnych półroczy w okresie wielolecia, odrębnie dla półrocza letniego (trwającego od V do X) i półrocza zimowego (XI–IV).

Wynikiem obliczeń są średnie długookresowe wartości zasilania podziemnego  $ZPD$  dolinnych stref drenażowych, odpływu podziemnego  $QG$  do rzek oraz drenażu ewapotranspiracyjnego  $ETD$  w tarasie niskim dolin rzecznych. Na podstawie wartości półrocznych (odpowiednio:  $SZPD_L$  i  $SZPD_Z$ ,  $SQG_L$  i  $SQG_Z$  oraz  $SETD_L$ ) wyznaczane są średnie wieloletnie wartości roczne ( $_R$ ) zasilania podziemnego, odpływu podziemnego i drenażu ewapotranspiracyjnego  $SZPD_R$ ,  $SQG_R$  i  $SETD_R$  dolinnych stref drenażowych badanej zlewni. Wartości te są ustalane jako średnie wieloletnie w warunkach hydrologicznie normalnych oraz cyklach lat pousznych i mokrych.

W metodyce ustalania i interpretacji związku stanów retencji i odpływu podziemnego zakłada się, że:

- w półroczu zimowym drenaż ewapotranspiracyjny wód podziemnych nie występuje (całość zasilania podziemnego strefy dolinnej jest kierowana na zasilanie rzek):

$$ETD_Z = 0 \quad (5.3.4)$$

$$ZPD_Z = QG_Z \quad (5.3.5)$$

- w półroczu letnim zasilanie podziemne dolinnej strefy drenażowej  $ZPD_L$  rozkłada się na drenaż ewapotranspiracyjny  $ETD_L$  płytkich wód podziemnych w tarasie niskim oraz zasilanie podziemne rzek  $QG_L$ . Zasilanie podziemne dolinnej strefy drenażowej w sezonie letnim jest określane dla średniego letniego stanu retencji  $H_L$  z krzywej korelacji stanów  $H_Z$  i przepływów  $QG_Z$  półrocza zimowego (ponieważ w półroczu zimowym ewapotranspiracja nie zachodzi) – patrz rys. 5.3.6:

$$ZPD_{L(HZ)} = ETD_L + QG_L \quad (5.3.6)$$

- w roku hydrologicznym wartości zasilania i drenażu są wyznaczane jako średnie z wartości sezonowych:

$$ZPD_R = 0,5(ZPD_Z + ZPD_{L(HZ)}) \quad (5.3.7)$$

$$QG_R = 0,5(QG_Z + QG_L) \quad (5.3.8)$$



$$ETD_R = 0,5ETD_L \quad (5.3.9)$$

Ustalanie wydatku dolinnych stref drenażowych metodą związku korelacyjnego stanu retencji wód podziemnych i zasilania podziemnego rzeki badanej zlewni obejmuje następujące etapy:

- a) Zebranie, analiza i przetworzenie hydrologicznych danych wejściowych w postaci najniższych przepływów miesięcznych  $MNQ$  [ $m^3/s$ ]. Zgodnie z założeniami Killego [1970] dokonywana jest odpowiednia korekta przepływów  $MNQ$  niejednorodnych genetycznie (współtworzonych przez zasilanie powierzchniowe) lub zaburzonych antropogenicznie (np. pod wpływem oddziaływania okresowego poboru wód z rzeki lub zrzutów wód). Skorygowany zbiór najniższych przepływów miesięcznych  $MNQ$  jest podstawą ustalenia średnich wartości przepływu pochodzącego z zasilania podziemnego  $QG$  rzeki w przekroju wodowskazowym zamykającym zlewnię, w półroczu zimowym  $SQG_Z = SMNQ_Z$  i półroczu letnim  $SQG_L = SMNQ_L$  w poszczególnych latach wielolecia objętego obserwacjami.
- b) Zebranie, analiza i przetworzenie hydrogeologicznych danych wejściowych w postaci średniego okresowego położenia  $H$  zwierciadła wody względem punktu pomiarowego (stanów retencji) w posterunkach monitoringu wód podziemnych IMGW oraz PIG. Dane źródłowe z posterunków obserwacyjnych zawierają wyraźną w centymetrach głębokość do zwierciadła wody poniżej znaku pomiarowego i tą wartość można traktować jako umowny stan retencji  $H$  wód podziemnych uwzględniany w dalszych obliczeniach. Analiza obejmuje wytypowanie posterunków reprezentatywnych dla warunków hydrogeologicznych zasilania i drenażu systemu krążenia wód podziemnych w badanej zlewni. Na podstawie średnich miesięcznych stanów retencji wód podziemnych w wytypowanych  $i$ -tych posterunkach ( $SHM_{(i)}$ ) wyznaczane są stany średnie półroczne ( $SH_{Z(i)}$ ,  $SH_{L(i)}$ ) w poszczególnych latach wielolecia objętego obserwacjami.
- c) Zestawienie w arkuszu kalkulacyjnym Excel (lub innym programie statystycznym; przykład podany w tab. 5.3-2) półrocznych wartości przepływu  $SQG_Z$  i  $SQG_L$  dla przekroju wodowskazowego rzeki zamykającego badaną zlewnię oraz półrocznych wartości  $SH_{Z(i)}$  i  $SH_{L(i)}$  dla poszczególnych  $i$ -tych posterunków wód podziemnych, reprezentatywnych dla badanej zlewni oraz wartości półrocznych średnich z tych posterunków  $SH_Z$  i  $SH_L$ .

$$SH_Z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} SH_{Z(i)} \quad (5.3.10)$$

$$SH_L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} SH_{L(i)} \quad (5.3.11)$$

gdzie  $n$  – liczba uwzględnionych w obliczeniach posterunków reprezentatywnych dla danej zlewni.

W przypadku uzasadnionym charakterem rozkładu przestrzennego warunków hydrogeologicznych w obrębie badanej zlewni zaleca się wprowadzanie współczynników korekcyjnych w celu odzwierciedlenia roli reżimu wahań zwierciadła wody w posterunkach reprezentatywnych dla określonego rejonu hydrostrukturalnego i hydrodynamicznego zlewni:

$$SH_Z = \left( \frac{1}{\sum x_{(i)} \cdot i} \right) \sum_{i=1}^{i=n} (x_{(i)} \cdot SH_{Z(i)}) \quad (5.3.12)$$

$$SH_L = \left( \frac{1}{\sum x_{(i)} \cdot i} \right) \sum_{i=1}^{i=n} (x_{(i)} \cdot SH_{L(i)}) \quad (5.3.13)$$

gdzie  $x_{(i)}$  – współczynnik korekcyjny [-], ustalony dla  $i$ -tego posterunku wód podziemnych, odzwierciedlający udział rejonu reprezentowanego przez ten posterunek w warunkach hydrostrukturalno-hydrodynamicznych panujących w badanej zlewni.

- d) Ustalenie równań regresji i krzywych korelacji dla zbioru wartości  $SH_Z$  i  $SQG_Z$  z kolejnych półroczy zimowych oraz zbioru wartości  $SH_L$  i  $SQG_L$  z kolejnych półroczy letnich w badanej zlewni z okresu analizowanego wielolecia. Zgodnie z doбором danych wejściowych (równania 5.3.7–5.3.13) równania regresji są zestawiane dla stanów retencji z poszczególnych  $i$ -tych posterunków obserwacyjnych oraz dla stanów średnich z  $n$  posterunków:

$$SQG_Z = f(SH_{Z(i)}) \quad (5.3.14)$$

$$SQG_L = f(SH_{L(i)}) \quad (5.3.15)$$

W przypadku braku istotnej korelacji pomiędzy równoczesowymi (wyznaczonymi dla tych samych półroczy) wartościami  $SQG_z$  i  $SH_z$  oraz  $SQG_L$  i  $SH_L$ , gdzie korelowane stany retencji  $SH$  były ustalone jako średnie arytmetyczne (wzorami 5.3.10 i 5.3.11) i średnie ważone (wzorami 5.3.12 i 5.3.13), należy znaleźć równania regresji oddzielnie dla poszczególnych posterunków wód podziemnych i oprzeć dalszą analizę bilansową na związku o największej sile korelacji. W warunkach hydrogeologicznych wskazujących na możliwość znacznego opóźnienia reakcji odpływu podziemnego na zmiany stanu retencji (przekraczające pół roku), wykazywaną w analizowanych posterunkach wód podziemnych, należy również przeprowadzić analizę korelacyjną opartą na parach wartości  $SQG$  i  $SH$ , w których  $SH$  jest wprowadzone z przesunięciem czasowym tak, aby poprzedzało korelowane  $SQG$  o rok lub dłużej.

W sytuacji, gdy w badanej zlewni brak posterunków wód podziemnych spełniających postawione wymagania (patrz punkt b), dopuszcza się ustalenie związku korelacyjnego z wykorzystaniem posterunków zlokalizowanych w sąsiedniej zlewni, o ile spełniają one warunek reprezentatywności hydrogeologicznej dla systemu wodonośnego badanej zlewni.

Obliczenia równań regresji dla związku stanów retencji wód podziemnych i przepływów niskich okresowych rzeki pochodzących z zasilania podziemnego oraz ustalanie średnich wieloletnich wartości  $SSQG$  i  $SSETD$  – mogą być prowadzone z wykorzystaniem funkcjonalności arkusza kalkulacyjnego Excel MS: „wstaw wykres” (wykres punktowy XY – porównanie par wartości) oraz „dodaj linię trendu” (wraz z wyświetleniem równania i wartości  $R^2$ ).

Do identyfikacji składników  $SSQG$ ,  $SSZPD$  i  $SSETD$  bilansu hydrogeologicznego (równania 5.3.7–5.3.9) wykorzystywana jest krzywa korelacyjna o najwyższej wartości współczynnika Pearsona  $R^2$  (przykład wyników na rys. 5.3-6).

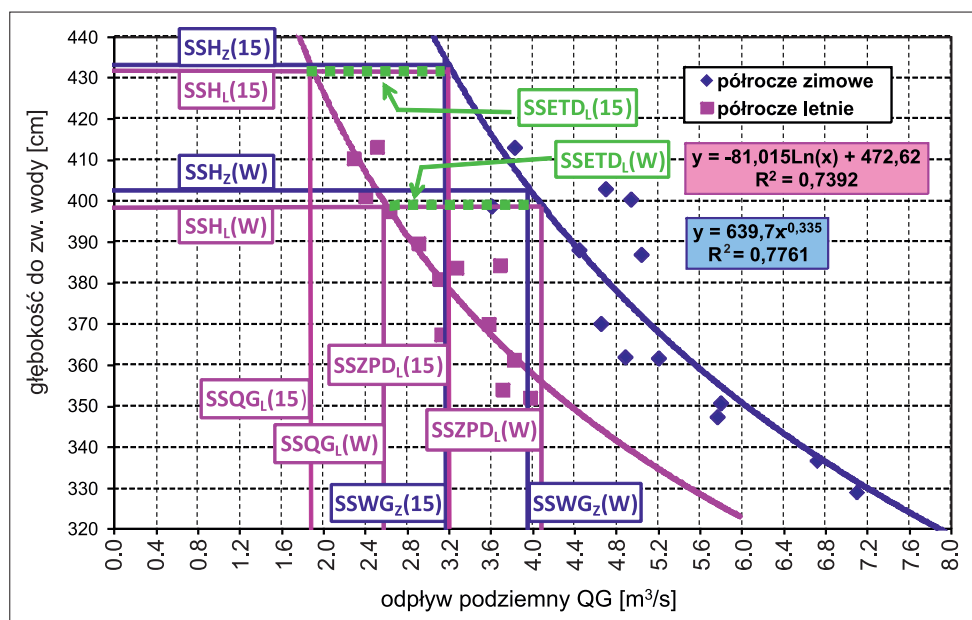
Należy tu podkreślić istotną rolę doświadczenia hydrogeologicznego i – co za tym idzie – czynnika subiektywnego w ustalaniu danych wejściowych, a następnie w prowadzeniu analizy korelacyjnej. Ten element procedury obliczeń musi być brany pod uwagę w ocenie marginesu błędu określenia parametrów bilansu, a następnie w ich wykorzystaniu do budowy modelu matematycznego.

**Tab. 5.3-2. Zestawienie danych wejściowych do obliczeń składników bilansu hydrogeologicznego metodą analizy związku średnich półrocznych wartości stanów retencji *SH* wód podziemnych i odpływu podziemnego *SQG* do rzek (w kolumnach 2, 3, 4, 5) oraz średnich ruchomych 15-letnich (kolumny 6, 7)**

Średnia ruchoma jest obliczona jako średnia z lat 1957-1971. Następna – jako średnia z lat 1958-1972 itd.

Rok hydrologiczny	<i>SH</i> średnia głębokość do zw. wody z 3 posterunków wód podziemnych [cm]		<i>SQG</i> średni przepływ podziemny Liswarty w Zawadach [m <sup>3</sup> /s]		<i>SSH<sub>Z</sub>(15)</i> średnia głębokość do zw. wody z 3 posterunków [cm]	
	półrocze zimowe XI-IV	półrocze letnie V-X	półrocze zimowe XI-IV	półrocze letnie V-X	półrocze zimowe XI-IV	półrocze letnie V-X
1	2	3	4	5	6	7
1957	408	402				
1958	393	383				
1959	404	427				
1960	449	405				
1961	389	402				
1962	399	352				
1963	397	414				
1964	436	437				
1965	432	390				
1966	402	378				
1967	339	351				
1968	367	348				
1969	383	410				
1970	425	390				
1971	347	354	5,77	3,72	395	394
1972	387	384	6,04	3,69	393	392
1973	400	413	4,94	2,52	393	394
1974	413	397	3,83	2,63	394	393
1975	337	370	6,72	3,59	389	388
1976	362	401	5,20	2,00	387	387
1977	388	352	5,45	3,98	387	387
1978	351	381	5,80	3,11	385	384
1979	362	367	4,89	3,13	382	379

<b>1980</b>	399	390	3,61	2,91	378	378
<b>1981</b>	370	361	4,65	3,82	377	377
<b>1982</b>	329	384	7,10	3,27	376	377
<b>1983</b>	403	410	4,70	2,29	379	381
<b>1984</b>	455	457			383	385
<b>1985</b>	465	414			386	387
<b>1986</b>	393	418			388	390
<b>1987</b>	406	391			391	391
<b>1988</b>	407	406			392	391
<b>1989</b>	440	461			392	394
<b>1990</b>	482	500			399	403
<b>1991</b>	500	484			408	411
<b>1992</b>	455	437			413	416
<b>1993</b>	453	438			419	421
<b>1994</b>	440	407			424	425
<b>1995</b>	429	422			426	427
<b>1996</b>	447	389			430	431
<b>1997</b>	401	357			433	432
<b>1998</b>	334	365			430	428
<b>1999</b>	358	368			425	422
<b>2000</b>	367	360			419	417
<b>1951-2000</b>	<b>402</b>	<b>398</b>			<b>399</b>	<b>400</b>
<b>1971-1983</b>	<b>373</b>	<b>382</b>	<b>5,28</b>	<b>3,13</b>	<b>386</b>	<b>386</b>



**Rys. 5.3-6.** Wykorzystanie krzywej związku stanów retencji wód podziemnych i odpływu podziemnego w przekroju zamykającym zlewniowy system wodonośny do ustalenia wartości średnich wieloletnich odpływu podziemnego i drenażu ewapotranspiracyjnego

Krzywa i równanie regresji dla związku korelacyjnego odpływu podziemnego  $QG$  ze zlewni Liswarty po wodowskaz w Zawadach i średniego stanu retencji z posterunków wód podziemnych IMGW w Żarkach, Droniowicach i Dobrodzieniu z lat 1970-1983. Wartości średnie wieloletnie odpływu podziemnego i drenażu ewapotranspiracyjnego określono z zastosowaniem danych o stanach retencji z lat 1957-2000 (dane z *Roczników hydrologicznych* IMGW oraz strony internetowej OTKZ-IMGW). Objasnienia w tekście – punkt e.

Na rysunku 5.3.6 pokazano sposób graficznego wykorzystania krzywych związku  $QG \sim H$  oraz średnich wartości stanu retencji wód podziemnych  $SSH$  do identyfikacji odpływu podziemnego do rzek  $SSQG_z$  i  $SSQGL$ , drenażu ewapotranspiracyjnego w tarasie niskim dolin rzecznych  $SSETD_L$  oraz zasilania podziemnego dolinnych stref drenażowych  $SSZPD_L$  i  $SSZPD_z = SSQG_z$  występujących w półroczu zimowym ( $Z$ ) i letnim ( $L$ ) jako wartości średnich wieloletnich ( $W$ ) oraz średnich z 15-letniego ( $15$ ) cyklu skrajnie posusznego w wieloleciu.

- e) Identyfikacja składników  $SSQG$ ,  $SSZPD$  i  $SSETD$ , ustalonych jako wartości średnie roczne  $QG_R$ ,  $ZPD_R$  i  $ETD_R$  z wielolecia ( $W$ ) lub dla cyklu  $CI$ -lat posusznego (w podanym przykładzie – z wielolecia 1957-2000 i cyklu posusznego 15-letniego) (patrz równania 5.3.7–5.3.9), jest

dokonywana z wykorzystaniem krzywej korelacyjnej związku  $QG \sim H$  (także w sposób graficzny – rys. 5.3-6). W sytuacji typowej dla zakresu i jakości dostępnych danych hydrologicznych i hydrogeologicznych, stany  $H$  zwierciadła wód podziemnych obejmują dłuższe ciągi obserwacyjne oraz w mniejszym stopniu są skażone oddziaływaniem czynników antropogenicznych i błędem pomiarowym niż informacje o odpływie podziemnym  $QG$  w przekrojach wodowskazowych. Wartość  $QG$  jest otrzymywana w wyniku analizy przepływów  $Q$ , dostępnych dla różnych okresów czasu, uzyskanych w wyniku przetworzenia stanów wody w rzece, często znajdujących się pod wpływem zagospodarowania wód w zlewni – pobory, zrzuty, piętrzenia). Dlatego też podstawową daną do wyznaczania średnich wieloletnich wartości składników bilansu hydrogeologicznego w oparciu o analizę związku stanów retencji i odpływu podziemnego są średnie wieloletnie wartości stanów retencji wód podziemnych, ustalone dla ciągów obserwacji zwierciadła wody w byłej (zlikwidowanej po 2000 r.) sieci posterunków płytkich wód podziemnych IMGW (dane za lata 1951-2000) oraz uzupełniająco – sieci monitoringu wgłębnych wód podziemnych państwowego Instytutu Geologicznego (rozbudowywanej od 1975 do chwili obecnej). W tym celu są ustalane następujące wartości stanu retencji  $H$  wód podziemnych (patrz tab. 5.3-2) w półroczu zimowym ( $Z$ ) i w półroczu letnim ( $L$ ):

- stan średni z wielolecia (z całego okresu obserwacji)  $SSH_Z(W)$  i  $SSH_L(W)$ ,
- stan średni z długotrwałego cyklu lat posusznych w okresie obserwacji, ustalonego jako 15-lecie o najniższych wartościach  $SSH_Z(15)$  i  $SSH_L(15)$ , wybrane z ciągu wartości średnich ruchomych 15-letnich (zgodnie z tab. 5.3-1), po analizie warunków hydrogeologicznych systemu wodonośnego zlewni Liswarty, jego czas inercji oszacowano na 15 lat.

Wartości średnie ruchome dla cyklu 15-tu lat posusznych w okresie wielolecia obserwowanego są wyznaczane jako wartości minimalne ze zbioru wartości średnich ustalonych dla okresu poprzedzającego każde kolejne półrocze o 15 lat.

Z zastosowaniem tak ustalonych wartości  $SH$  wyznaczane są średnie w półroczu zimowym ( $Z$ ) i letnim ( $L$ ) oraz średnioroczne wartości:

- odpływu podziemnego do rzek średniego z wielolecia (z całego okresu obserwacji) – odpowiednio:  $SSQG_Z(W)$ ,  $SNQG_L(W)$ ,  $SNQGR(W)$ ;

- odpływu podziemnego do rzek średniego z długotrwałego cyklu lat posusznych (15-letniego) – odpowiednio:  $SSQG_z(15)$ ,  $SNQG_L(15)$ ;
  - odpływu podziemnego do rzek średniego z krótkotrwałego cyklu lat posusznych (5-letniego) – odpowiednio:  $SSQG_z(5)$ ,  $SNQG_L(5)$ ;
  - drenażu ewapotranspiracyjnego wód podziemnych średniego z wielolecia (z całego okresu obserwacji) – odpowiednio:  $SSETD_L(W)$ ,  $SSETD_R(W)$ ;
  - drenażu ewapotranspiracyjnego wód podziemnych średniego z długotrwałego cyklu lat posusznych (15-letniego) – odpowiednio:  $SSETD_L(15)$ ,  $SSETD_R(15)$ ;
  - zasilania podziemnego dolinnych stref drenażowych średniego z wielolecia (z całego okresu obserwacji) – odpowiednio:  $SSZPD_z(W)$ ,  $SSZPD_L(W)$ ,  $SSETD_R(W)$ ;
  - zasilania podziemnego dolinnych stref drenażowych średniego z długotrwałego cyklu lat posusznych (15-letniego) – odpowiednio:  $SSZPD_z(15)$ ,  $SSZPD_L(15)$  i  $SSETD_R(15)$ .
- f) Na podstawie uzyskanych wartości  $SSZPD_R(W)$  i  $SSZPD_R(15)$ , z wykorzystaniem wzoru 5.1.6, ustalana jest wartość infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych  $SSIE_R(W)$  i  $SSIE_R(15)$ , uznawanej jako zasoby odnawialne wód podziemnych bilansowanej zlewni – odpowiednio – średnie wieloletnie i średnie dla 15-letniego cyklu posusznego. Wartość współczynnika  $\lambda$ , określającego stosunek odpływu wód podziemnych poza bilansowany zlewniowy system wodonośny do infiltracji efektywnej opadów w obszarze zlewni, jest wyznaczana z uwzględnieniem warunków hydrodynamicznych i hydrostrukturalnych zlewni i klasyfikacją systemu wodonośnego zgodnie z tab. 5.1-1. Dla zlewni Liswarty przyjęto wartość  $\lambda = 0,90$ .
- g) W obliczeniach modułu infiltracji efektywnej, zasilania podziemnego rzek i drenażu ewapotranspiracyjnego wód podziemnych wykorzystuje się wzory 5.1.11–5.1.13. Wyniki dla prezentowanego przykładu zestawione są w tabeli 5.3-3. Moduł infiltracji efektywnej jest podstawowym parametrem bilansowym, wprowadzanym do modelu matematycznego, który następnie podlega weryfikacji w wyniku jego tarowania.
- h) Wykorzystywanym do wprowadzenia zasilania wód podziemnych w blokach matematycznego modelu przepływu wód podziemnych obszaru bilansowego, dla którego ustalane są zasoby dyspozycyjne wód podziemnych.



**Tab. 5.3-3. Bilans wód podziemnych zlewni Liswarty po Zawady** $A = 1109 \text{ km}^2, A_z = 889 \text{ km}^2, A_d = 220 \text{ km}^2, \lambda = 0,9$ 

Okres bilansowania	$H$ [cm pzk]	$QG$ [m <sup>3</sup> /s]	$ETD$ [m <sup>3</sup> /s]	$ZPD$ [m <sup>3</sup> /s]	$IE$ [m <sup>3</sup> /s]	$IE$ [mm/r]	$ETD$ [mm/r]	$QG$ [mm/r]
półrocze zimowe – stan średni wieloletni 1957-2000	402	4,00						
półrocze zimowe – stan średni z 15-lecia o najniższej retencji	433	3,19						
półrocze letnie – stan średni wieloletni 1957-2000	398	2,60	1,50	4,10				
półrocze letnie – stan średni z 15-lecia o najniższej retencji	428	1,88	1,33	3,21				
wartości średnie z okresu wielolecia 1957-2000		3,30	0,75	4,05	4,50*	160	107	94
wartości średnie z okresu 15-lecia o najniższej średniej retencji w wieloleciu		2,54	0,67	3,20	3,56*	126	95	72

Objaśnienia do tabeli:

$H$  – stan retencji wód podziemnych (liczona od znaku kontrolnego głębokość do zwierciadła wody; wartość średnia z trzech posterunków wód podziemnych IMGW: w Żarkach, Droniowicach i Dobrodzieniu);

$IE$  – infiltracja efektywna opadów w obszarach zasilania wód podziemnych o powierzchni  $A_z$ ;

$ZPD$  – zasilanie podziemne dolinnych stref drenażowych;

$ETD$  – drenaż ewapotranspiracyjny wód podziemnych w obrębie tarasu niskiego o powierzchni  $A_d$ ;

$QG$  – średni w okresie bilansowania odpływ podziemny do rzek w obrębie zlewni o powierzchni  $A$ .

\* $IE = ZPD/\lambda$ .

Zasady przestrzennego różnicowania wartości modułu infiltracji efektywnej w obrębie obszarów zasilania wód podziemnych, prowadzonego metodą przekształcenia stałoobjętościowego z uwzględnieniem rejonizacji warunków infiltracji do pierwszego modelowanego poziomu wodonośnego, są przedstawione w rozdziale 5.8.

## 5.4. Drenaż ewapotranspiracyjny wód podziemnych w dolinach rzecznych

Ocena wielkości drenażu ewapotranspiracyjnego wód podziemnych w dolinach rzecznych jest bardzo trudna i obciążona dużym marginesem niepewności, ponieważ parametr ten jest trudno mierzalny w sposób bezpośredni. Przedstawiona w rozdziale 5.3.3 metoda określania elementów drenażu wód podziemnych w dolinach rzecznych – w tym drenażu ewapotranspiracyjnego w obrębie tarasu niskiego – opierająca się na ustaleniach związku stanów retencji i odpływu wód podziemnych do rzek, posiada jednak swoje ograniczenia. Są one związane głównie z koniecznością posiadania odpowiednio gęstej sieci punktów monitoringu wód podziemnych oraz dysponowania danymi z obserwacji stacjonarnych przepływów rzecznych i stanu zwierciadła wód podziemnych z okresu co najmniej 10 lat.

W przypadku braku takich danych ustalenie wielkości drenażu ewapotranspiracyjnego w dolinach rzecznych musi odbywać się w sposób szacunkowy z wykorzystaniem opublikowanych lub archiwalnych wyników badań w tym zakresie [Sawicki, 1978, 2000; Herbich, 1989, 2007]. Pomocne przy określaniu wartości tego drenażu mogą być hydrogramy przepływów rzecznych (patrz rys. 5.3-1), które jednak umożliwiają ilościową charakterystykę zjawiska zróżnicowaną w czasie (okresy zimowe i letnie), podczas gdy do celów bilansowych potrzebne są dane średnie w wieloletniu. Przed przystąpieniem do obliczeń należy ocenić, czy w danych warunkach hydrogeologicznych, geomorfologicznych, klimatycznych i agrarnych drenaż ewapotranspiracyjny w obrębie dolin rzecznych jest istotnym składnikiem równania bilansowego. Można przyjąć, że udział tego drenażu po stronie rozchodowej równania bilansu hydrogeologicznego (5.1-4) może być pominięty, gdy jest spełnione co najmniej jedno z niżej podanych założeń:

- suma wskaźnika opadów pomierzonych w półroczu wegetacyjnym jest wyższa niż 500 mm;
- udział powierzchni tarasu niskiego podmokłego w obszarze zlewniowej jednostki bilansowej jest niższy niż 5%;
- taras niski jest objęty użytkami zielonymi intensywnie nawadnianymi powierzchniowo w okresie wegetacyjnym.

Wyżej wymienione założenia określają jednocześnie warunki, w których > 90% zasilania podziemnego **ZPD** dolinnej strefy drenażowej tworzy zasilanie podziemne rzek **QG**. Analiza zasięgu przestrzennego występowania obszarów spełniających co najmniej jedno z ww. założeń

pozwała na wysunięcie wniosku, że będą one występowały przede wszystkim w obrębie Karpat i Sudetów, wyżyn środkowopolskich i Pojezierza Pomorskiego.

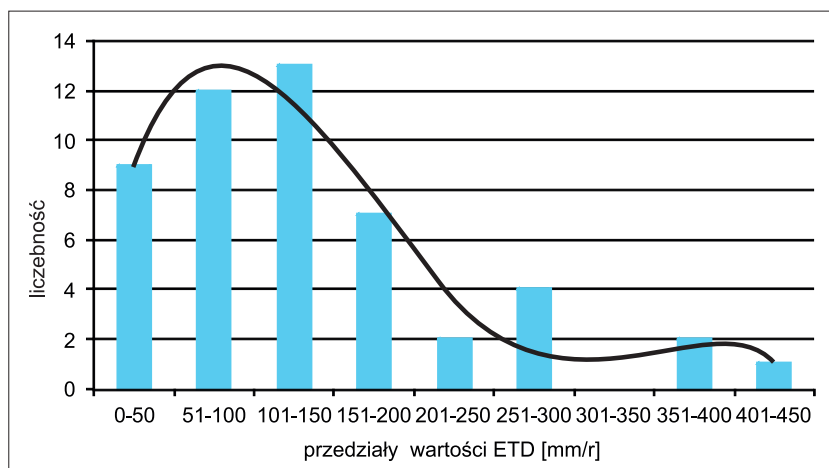
Terenowemu rozpoznaniu drenażu ewapotranspiracyjnego wód podziemnych były poświęcone badania potrzeb wodnych łąk i pastwisk w okresie wegetacyjnym, gdzie zasilanie podziemne identyfikowano jako źródło pokrycia deficytu wodnego siedliska w bilansie klimatycznym i hydrologicznym. Obszerna literatura tego zagadnienia jest dostępna m.in. w specjalnie temu zagadnieniu poświęconych „Zeszytach Problemowych Postępów Nauk Rolniczych” PAN: tom 277. *Ewapotranspiracja roślin uprawnych* [Warszawa 1983, s. 260], tom 347. *Zasilanie dolin rzecznych wodami gruntowymi* [Warszawa 1988, s. 237], tom 390. *Ewapotranspiracja roślin uprawnych w świetle najnowszych badań* [Warszawa 1990, s. 10].

W wymienionych pracach cytowane są wyniki badań lizymetrycznych i bilansowych na stanowiskach o monitorowanym opadzie, parowaniu, ewaporacji, stanie wód gruntowych, zasilaniu rowami i drenami oraz plonowaniu. Drenaż ewapotranspiracyjny wód podziemnych jest tu utożsamiany z podsiąkiem wód gruntowych, pokrywającym sezonowe niedobory wodne bilansu strefy glebowej i powierzchniowej łąki, wymagającym zrównoważenia napływem wód podziemnych spoza siedliska. W zależności od lokalnych warunków hydrogeologicznych i klimatycznych prowadzonej gospodarki na użytku zielonym (łąka wielokośna lub pastwisko – uprawa intensywna lub ekstensywna) i nawadniania powierzchniowego wyrażony wskaźnikowo roczny drenaż ewapotranspiracyjny wód podziemnych w obrębie okresowo podmokłej łąki i pastwiska wynosił od  $ETD = 50$  mm/r do  $ETD = 290$  mm/r.

Wyniki badań bilansu dolinnych stref drenażowych prowadzonych metodą analizy związku stanów retencji i odpływu wód podziemnych do rzek [Herbich Mordzonek, Przytuła, 2011], pokazują, że 50% obliczonych średnich rocznych wartości  $ETD$  z wielolecia hydrologicznie normalnego mieści się w przedziale 51-150 mm/r (rys. 5.4-1).

W ostatnim czasie w kraju i na świecie prowadzi się intensywne prace badawcze mające na celu opracowanie metod i narzędzi informatycznych pozwalających wiarygodnie ustalać wielkość ewapotranspiracji. Wykorzystuje się do tego techniki geoinformatyczne, które pozwalają integrować numeryczne modele przepływu z systemami monitoringu wód podziemnych [Gurwin, 2010]. Badania tego typu prowadzone są także na potrzeby bilansów wód powierzchniowych, ale ich wyniki mogą być wykorzystywane także do sporządzania bilansów wód podziemnych. Przykładem takich narzędzi informatycznych, coraz częściej wykorzystywanych także w naszym

kraju [Kajewski, 2004; Pokojaska, 2004; Choromański, Michałowski, 2011; Graf, Kajewski, 2013], są programy *WetSpass*<sup>6</sup> [Batelaan, Wang, De Smedt, 1996; Batelaan, Smedt, 2001] oraz *SWAT*<sup>7</sup> [Neitsch i in., 2001; Piniewski, Okruszko, 2011]. Są one przeznaczone do modelowania procesów wymiany wody i energii w skali regionalnej pomiędzy ośrodkiem glebowym, pokryciem i użytkowaniem terenu oraz atmosferą i poziomem wód gruntowych w warunkach quasi-ustalonych.



**Rys. 5.4-1.** Rozkład wartości drenażu ewapotranspiracyjnego w tarasie niskim dla 50 wybranych zlewni bilansowych, średniego z wielolecia hydrologicznie normalnego

## 5.5. Wieloletnia zmienność stanu retencji wód podziemnych i zasilania podziemnego rzek

Ustalanie odnawialnych i dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych oraz przeprowadzanie bilansów wodnogospodarczych wymaga uwzględnienia zmienności zarówno odpływu rzecznoego jak i kształtujących go czynników klimatycznych. Dotyczy to zwłaszcza zmienności obserwowanej w skali okresów wieloletnich, będących podstawą wyznaczania średnich wartości infiltracji efektywnej opadów i zasilania podziemnego rzek.

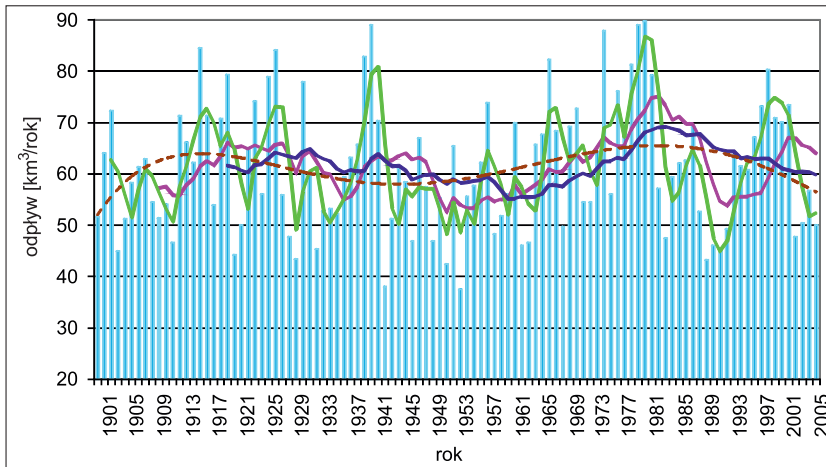
Odpływ z dorzecza Odry i Wisły, odpowiednio w Gozdowie i w Tczewie, rejestrowany w latach 1901-2008 pomiarami przepływu, jest cyklicznie zmienny, zgodnie z występowaniem serii lat mokrych i posusznych [Fal, 2000; Stachy,

<sup>6</sup> *Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere under quasi-Steady State.*

<sup>7</sup> *Soil and Water Assessment Tool.*

2010, 2011]. W XX wieku wyróżnione zostały m.in. dwa sąsiadujące z sobą wyraźne długotrwałe okresy: posuszny (1950-1964) i mokry (1965-1982) o przepływach rzek różniących się od wartości średniej stuletniej odpowiednio o:  $-10\%$  i  $+23\%$ .

Analiza statystyczna zbioru rocznych objętości odpływu rzeczno-ego w latach 1901-2007 (z obszaru kraju w granicach po 1945 r., łącznie z obszarami dorzeczy poza granicami państwa [na podstawie: Fal, 1993 i roczników GUS], obejmująca wyznaczenie wartości średnich ruchomych (rys. 5.5-1), wykazała skrajne wartości odpływów średnich 3-letnich wynoszące  $45 \text{ km}^3/\text{rok}$  i  $87 \text{ km}^3/\text{rok}$ , średnich 10-letnich:  $53 \text{ km}^3/\text{rok}$  i  $75 \text{ km}^3/\text{rok}$  oraz średnich 20-letnich:  $55 \text{ km}^3/\text{rok}$  i  $69 \text{ km}^3/\text{rok}$ . Linia regresji wielomianowej wykazała zmienność odpływu o okresie 60 lat (rozstęp między kolejnymi maksimami) i amplitudę zmian w przedziale od  $57 \text{ km}^3/\text{rok}$  do  $67 \text{ km}^3/\text{rok}$ .

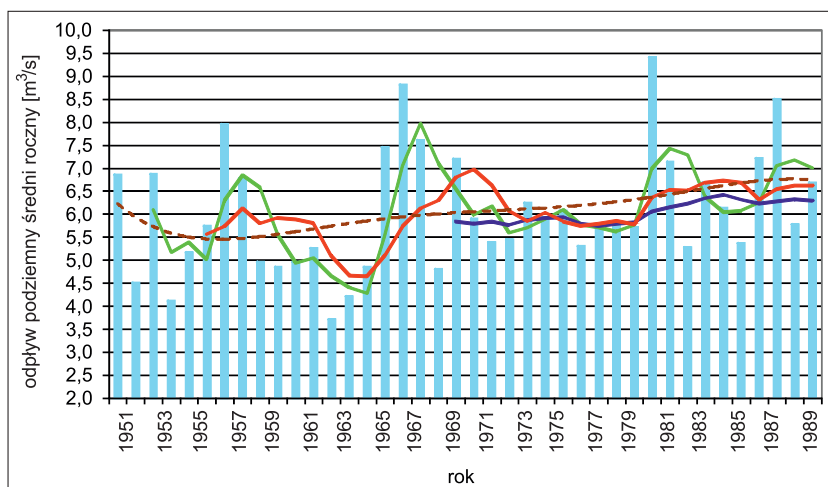


**Rys. 5.5-1. Odpływ rzeczny z obszaru kraju w latach 1901-1990 [na podstawie: Fal, 1993 oraz roczników statystycznych GUS]**

Linie trendu dla średnich ruchomych: 3-letnich (zielona), 10-letnich (fioletowa), 20-letnich (niebieska) oraz linia regresji wielomianowa (brązowa przerywana).

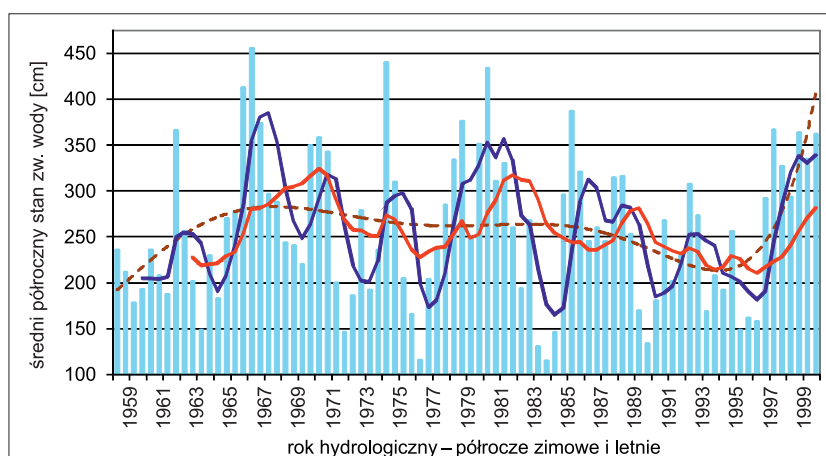
Długotrwałe okresy i serie lat mokrych i posusznych są efektem dominacji różnych typów cyrkulacji atmosferycznej o zasięgu przekraczającym znacznie terytorium naszego kraju, znajdującego się w strefie ścierania się klimatu kontynentalnego i oceanicznego [Stachy, 1970, 2010]. Wskazuje to na konieczność przeprowadzania obliczeń zasobowych i bilansowych oraz międzyobszarowych analiz porównawczych w zakresie zasobów wodnych: w jednolite dobranych przedziałach czasowych z uwzględnieniem celu dokonywanych ustaleń.

Dotyczy to zwłaszcza określania zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych oraz przeprowadzania jednolitych bilansów wodnogospodarczych. Wskazują na to analizy statystyczne 50-letnich zbiorów danych dla odpływu podziemnego w rzekach i stanu retencji wód podziemnych (rys. 5.5-2, rys. 5.5-3).



**Rys. 5.5-2. Odpływ podziemny rzeki Omulwi w przekroju wodowskazowym w Białobrzegu Bliższym w latach 1951-1990**

Wielomianowa linia regresji (linia przerywana brązowa) o okresie  $\Delta t = 20$  lat i amplitudzie  $\Delta QG = 2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Linie trendu dla średnich ruchomych: 3-letnich (zielona), 6-letnich (czerwona), 20-letnich (niebieska).



**Rys. 5.5-3. Dynamika stanu retencji poziomego w utworach szczelinowo-porowych kredy górnej (kreda pizująca i margle), rejestrowana w posterunku IMGW Anusin k. Chełma w latach 1959-2000 [Herbich, Prażak, Przytuła, 2009a]**

Linie trendu dla średnich ruchomych: 2-letnich (niebieska) i 5-cioletnich (czerwona). Linia brązowa przerywana – regresja wielomianowa.

Widoczna na rys. 5.5-2 zmienność odpływu podziemnego do rzek w zlewni Omulwi (wg danych z przekroju wodowskazowego w Białobrzegu Bliższym) obrazuje dynamikę odnawialności zasobów pierwszego, a jednocześnie głównego użytkowego poziomu wodonośnego (około 30-metrowej serii piasków i żwirów sandrowych), bezpośrednio związanego hydraulicznie z rzekami i drenowanego przez nie z wydatkiem zmiennym stosownie do zmian stanu retencji wód podziemnych. Warunki hydrogeologiczne zlewni Omulwi pozwalają oszacować czas inercji jej systemu wodonośnego na  $CI \approx 5$  lat. Amplituda zmian średnich rocznych wartości odpływu podziemnego według linii trendu dla średnich ruchomych 5-letnich wynosi  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ , co stanowi 50% wartości średniego z wielolecia rocznego odpływu podziemnego.

Średni odpływ podziemny ze zlewni Omulwi w 5-leciu 1961-1965, skrajnie posuszny, wynosi  $4,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , co stanowi 74% wartości średniej w 50-leciu (rys. 5.5-2). W zlewni Liswarty, stanowiącej przykład zlewni o systemie wodonośnym charakteryzowanym inercją  $CI = 15$  lat (rozdział 5.3.3, tab. 5.3-3), średni odpływ podziemny z 15-lecia posusznego 1983-1997 stanowi 77% odpływu średniego z lat 1957-2000.

Podobną dynamikę zasilania i drenażu wód podziemnych wykazują zlewnie wyżyn środkowopolskich w mezozoicznych utworach szczelinowych, bez pokrywy utworów młodszych i zwierciadła wód podziemnych na średniej głębokości mniejszej niż 20 metrów (rys. 5.5-3).

Przedstawione wartości wskazują na skalę redukcji zasobów odnawialnych w okresach reprezentatywnych dla analizy dostępności zasobów wód podziemnych w systemach wodonośnych wrażliwych na cykliczne zmiany infiltracji efektywnej. W okresie serii lat posusznych intensywna i skoncentrowana eksploatacja ujęć jest bilansowana spadkiem retencji wód podziemnych oraz obniżeniem zasilania podziemnego rzek. Obydwa te elementy są analizowane w procedurze oceny stanu ilościowego wód podziemnych zgodnej z wymogami ramowej dyrektywy wodnej i są uwzględniane w ustalaniu zasobów dyspozycyjnych jako czynniki kształtujące warunki środowiskowe w ekosystemach lądowych (wilgotność mokradła) i wodnych (przepływ nienaruszalny w rzekach) zależnych od wód podziemnych.

System wodonośny o cyklicznie zmiennej odnawialności zasobów wymaga zatem ustalenia zasobów dyspozycyjnych w oparciu o wartości zasobów odnawialnych średnich z wielolecia tzw. normalnego, za które uważa się okres co najmniej 30-letni. Do przeprowadzania bilansów wodnogospodarczych, na potrzeby ustanawiania warunków korzystania z wód regionów wodnych i zlewni rekomendowane jest 30-lecie 1981-2010. Z tego względu, aby spełnić warunek kompatybilności usta-



leń zasobowych i bilansowych, zaleca się ustalanie odnawialnych i dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych dla tego właśnie wielolecia.

Zasadne jest jednak wskazanie zmian odpływu podziemnego do rzek, które mogą nastąpić w wyniku zmniejszenia zasilania infiltracyjnego w cyklu lat skrajnie posusznych. Zmiany te uzyskuje się, wykonując odpowiednie symulacje na modelu matematycznym (patrz rozdz. 6.5.7) i choć ich charakterystyka jest uproszczona do analizy dopływu podziemnego do rzek w przekrojach bilansowych, to jednak w przypadku niedoboru zasobów umożliwi sformułowanie odpowiednich wniosków i zaleceń do warunków korzystania z wód regionu wodnego i zlewni.

## **5.6. Uwagi o stopniu dokładności określania odpływu podziemnego do rzek**

Podstawową metodą rozpoznania zasobów odnawialnych wód podziemnych zlewniowego systemu wodonośnego jest identyfikacja wydatku jego stref drenażowych, obejmująca przede wszystkim ustalenie zasilania podziemnego rzek w oparciu o analizę przepływów w przekroju wodowskazowym z długoletnimi obserwacjami stanów wody (rozdz. 5.3). Wprowadzeniu tak określonego zasilania wód podziemnych do modelu matematycznego systemu wodonośnego musi towarzyszyć ocena dokładności wyznaczenia danych wejściowych do ustalenia zasobów dyspozycyjnych. W ocenie tej uwzględnia się znaczące błędy powstające w etapie przetwarzania pomiarów stanu na przepływy, w doborze przepływów do dalszych obliczeń oraz przyjęte w obliczeniach uproszczenia metodyczne. Efektem takiej oceny możliwego błędu danych hydrologicznych jest ustalenie wartości skrajnych modułu zasilania podziemnego dla zakresu dopuszczalnych korekt w trakcie tarowania modelu.

Wśród głównych czynników wpływających na jakość wyników obliczeń odpływu podziemnego należy wymienić przede wszystkim uproszczenia stosowane w kwalifikacji okresowych przepływów niskich rzeki, jako przepływów reprezentatywnych dla ustalania podziemnego zasilania rzeki oraz uproszczenia w założeniach metodycznych przetwarzania danych.

Do czynników z grupy kształtujących chwilowy przepływ rzeki w sposób eliminujący go ze zbioru miarodajnych danych wejściowych do obliczeń odpływu podziemnego zalicza się czynniki antropogeniczne, w tym:



- zmiany przepływu rzeki przez pracę hydroelektrowni na sztucznych zbiornikach,
- stały pobór wód powierzchniowych (ujęcia komunalne, przemysłowe),
- międzyzlewniowy przerzut wód,
- okresowe pobory wód powierzchniowych (stawy rybne, nawodnienia),
- odprowadzanie ścieków komunalnych i przemysłowych,
- zrzut wód odwodnieniowych

oraz czynniki naturalne, takie jak:

- retencyjne wyrównywanie przepływu rzeki poniżej jeziora,
- długotrwały spływ powierzchniowy po roztopach oraz intensywnych długotrwałych opadach.

Wśród czynników powodujących błędy na etapie przetworzenia pomiarów stanu wody na wodowskazie na natężenie przepływu w przekroju koryta rzeki należy wymienić przede wszystkim:

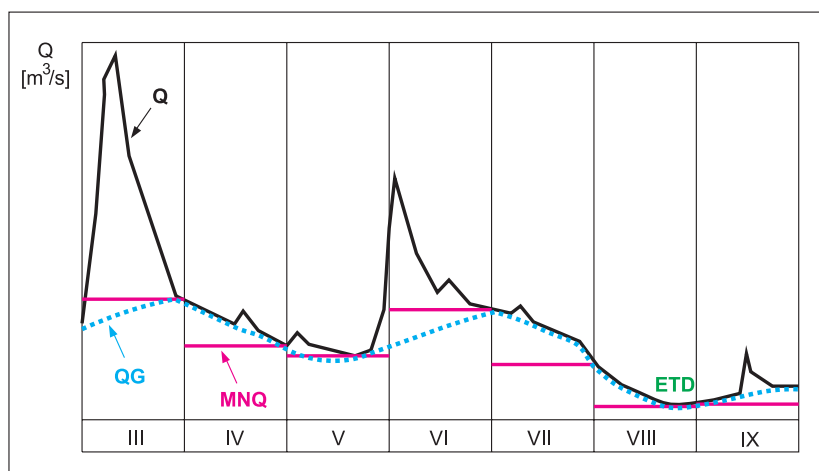
- stosowanie krzywej konsumcyjnej nieodpowiedniej do stopnia zarastania koryta roślinnością lub rozwoju zjawisk lodowych w okresie pomiaru stanu zwierciadła;
- stosowanie nieaktualnej krzywej konsumcyjnej po zmianie powierzchni przekroju koryta rzeki (głównie ruch rumowiska oraz erozja denna i boczna koryta);
- nieuwzględnianie fazy przepływu nieustalonego w korycie rzeki (rozwoju wezbrania rzeki – opadania fali wezbraniowej);
- brak bilansowej weryfikacji przepływu w przekrojach wodowskazowych na dopływach rzeki wyższego rzędu kontrolowanej limnigrafem (stosowanie tzw. danych surowych niewyrównanych).

Do grupy czynników mogących mieć wpływ na błąd w ustaleniu wartości przepływu rzeki, mających swe źródło w uproszczeniach metodycznych, zaliczyć należy przede wszystkim:

- przyjmowanie założenia Wundta, że  $MNQ = QG$  w sytuacji, gdy przepływ najniższy w danym miesiącu  $MNQ$  może osiągać wartość

przepływów średnich i niższych od średniego, a jednocześnie może być niejednorodny genetycznie (z udziałem spływu powierzchniowego), co w takiej sytuacji nie jest eliminowane w metodzie Killego;

- przyjmowanie założenia, że przepływ  $MNQ$  jest równy średniemu zasilaniu podziemnemu rzek w danym miesiącu  $MNQ = QG$ , podczas gdy zasilanie podziemne  $QG$  rzeki jest najczęściej wyższe od wartości przepływu najniższego  $MNQ$  w miesiącu (jest to dobrze widoczne, gdy porównuje się przebieg hydrogramu odpływu podziemnego z hydrografem schodkowym miesięcznych wartości  $MNQ$  – patrz rys. 5.6-1);
- subiektywny charakter rozdziału genetycznego hydrogramu w fazie wzrostu natężenia przepływu, prowadzony różnymi metodami (przez analogię do przebiegu przyrostu stanów retencji wód podziemnych, poprzez połączenie minimum przepływu poprzedzającego wezbranie i po jego zakończeniu).



**Rys. 5.6-1. Porównanie wartości najniższego przepływu miesięcznego  $MNQ$  z odpływem podziemnym  $QG$  wyznaczonym metodą rozdziału hydrogramu przepływu całkowitego  $Q$**

Zaznaczono wpływ letniego drenażu ewapotranspiracyjnego  $ETD$  wód podziemnych w tarasie niskim doliny na spadek zasilania podziemnego rzeki wyższy niż w półroczu zimowym (rysunek poglądowy).

Odnosnie do ostatniego punktu należy stwierdzić, że subiektywny charakter prowadzonej analizy hydrogramu przepływów – zależy od indywidualnego podejścia autora – zanika, gdy do wydzielenia odpływu

podziemnego stosowany jest program obliczeniowy wymagający jedynie wprowadzenia danych wejściowych. Algorytm obliczeniowy zastosowany w programie dokonuje selekcji danych, identyfikacji i kwalifikacji krzywych regresji, wyznaczenia przebiegu linii pokazującej zasilanie podziemne zmienne krótko- i długookresowo oraz podaje wartości średnie dla wyznaczonych przedziałów czasowych. Obecnie dostępnych jest szereg programów do realizacji obliczeń odpływu podziemnego (np. programy HydroOffice Software Package for Water Sciences BFI+ 3.0). Zaletą stosowania wybranych programów obliczeniowych jest także późniejsza kompatybilność wyników badań prowadzonych przez różne zespoły autorskie w ramach ustalania zasobów poszczególnych obszarów bilansowych.

W analizie dynamiki zasilania  $QG$  podziemnego rzek, prowadzącej do rozpoznania zasobów odnawialnych zlewniowego systemu wodonośnego, źródłem błędu ustalania zasobów jest szacunkowy charakter oceny drenażu ewapotranspiracyjnego w dolinnym tarasie podmokłym. Ocena ta ma charakter przybliżony – pośredni – i wykorzystuje orientacyjne wartości wskaźników drenażu ewapotranspiracyjnego pozyskane z literatury zagadnienia.

Istotnym czynnikiem błędów w ocenie zasobów odnawialnych – w oparciu o analizę przepływów w przekroju wodowskazowym w zlewniowych systemach wodonośnych charakteryzujących się niepełnym kontaktem hydraulicznym z wodami powierzchniowymi – jest szacunkowy (częściowy) charakter określania udziału odpływu podziemnego do rzek w systemie krążenia wód podziemnych obejmującym układ regionalny w zasięgu penetracji hydraulicznej rzek wyższego rzędu.

Odrębnym zagadnieniem pozostaje natomiast właściwe wykorzystanie uzyskanych wyników w procedurze ustalania zasobów odnawialnych, z uwzględnieniem założeń metodycznych stosowanego programu obliczeniowego.

## **5.7. Lokalna infiltracja efektywna opadów określana na podstawie stacjonarnych obserwacji stanu retencji poziomego wodonośnego o zwierciadle swobodnym**

W procedurze ustalania zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych wykorzystywane są informacje o wartościach infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych o charakterze punktowym – lokalnym, umożliwiające ocenę zakresu przestrzennego zróżnicowania

i zmienności czasowej zasilania wód podziemnych. Danymi do oceny infiltracji są wyniki monitoringu: obserwacje wahań zwierciadła wód podziemnych prowadzone w latach 1950-2000 w posterunkach Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej oraz sukcesywnie rozwijanej od lat 70-tych sieci monitoringu wód podziemnych Państwowego Instytutu Geologicznego.

Identyfikacja przyrostów zwierciadła wody w posterunku ujmującym pierwszy poziom wodonośny o swobodnym zwierciadle wody pozwala na określenie infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych z wykorzystaniem wzoru [Pleczyński, Przybyłek 1974]:

$$IE = \Delta h \cdot \mu \quad [LT^{-1}] \quad (5.6.1)$$

$$IE_R = \frac{1}{n} \sum_{\Delta t} \Delta h \cdot \mu \quad [LT^{-1}] \quad (5.6.2)$$

gdzie:

- $IE$  – infiltracja efektywna opadów atmosferycznych generująca przyrost stanów zwierciadła swobodnego wód podziemnych  $\Delta h$  w czasie prowadzenia obserwacji,
- $IE_R$  – infiltracja efektywna średnia roczna z wielolecia  $\Delta t$  o czasie  $n$ -lat,
- $\mu$  – współczynnik odsączalności grawitacyjnej [-].

Stosowalność metody określania infiltracji efektywnej, opartej na analizie naturalnych wahań zwierciadła wody w otworze hydrogeologicznym, ograniczona jest do następujących warunków:

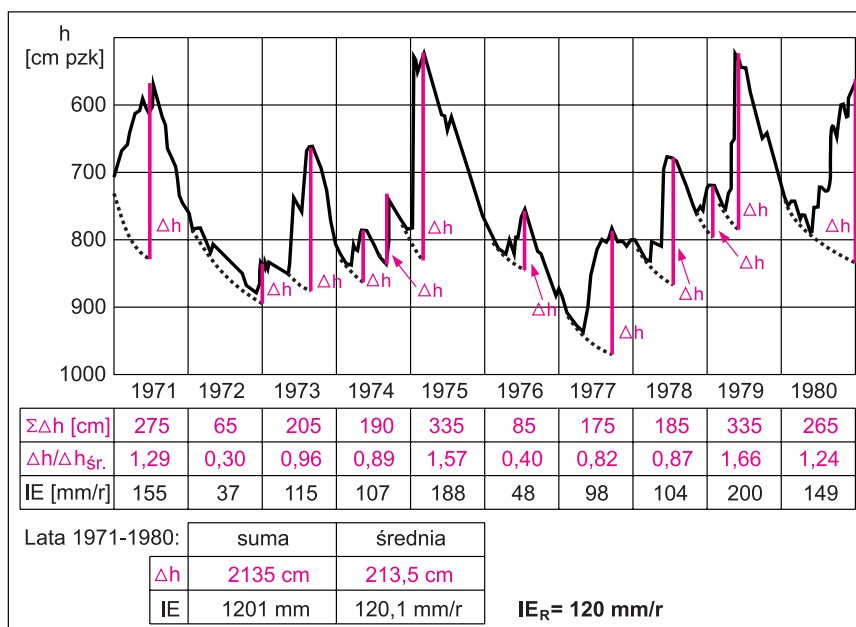
- otwór hydrogeologiczny (studnia, piezometr) rejestruje naturalne wahania zwierciadła wód podziemnych (położenie zwierciadła podczas pomiaru nie znajduje się pod wpływem eksploatacji wód podziemnych);
- otwór hydrogeologiczny ujmuje poziom wodonośny o zwierciadle swobodnym;
- w rejonie otworu rozpoznany jest profil litologiczny strefy aeracji i ustalona jest wartość współczynnika odsączalności grawitacyjnej w strefie wahań zwierciadła wody;

- strefę wahań zwierciadła wody charakteryzuje mała zmienność litologiczna;
- dopływ boczny wód podziemnych w rejon otworu hydrogeologicznego jest pomijalnie mały (lokalizacja otworu w strefie wododziału wód podziemnych).

Analiza wahań zwierciadła wody w otworze hydrogeologicznym spełniającym powyższe warunki pozwala na określenie okresowych, rocznych oraz średnich wieloletnich wartości infiltracji efektywnej opadów do pierwszego poziomu wodonośnego kształtującej lokalne zasoby odnawialne wód podziemnych (rys. 5.7-1).

Obliczenia infiltracji efektywnej obejmują następujące etapy:

- sporządzenie wykresu położenia zwierciadła wody w otworze hydrogeologicznym dla okresu prowadzonych obserwacji;
- identyfikację krzywych recesji zwierciadła wody;
- ekstrapolację krzywych recesji zwierciadła wody do czasu, w którym położenie zwierciadła osiągnie kolejne maksimum okresowe (obrazuje to efekt odpływu wód podziemnych z rejonu otworu, trwającego w okresie przyrostu stanów spowodowanego infiltracją opadów);
- ustalenie wartości  $\Delta h$  przyrostów stanu zwierciadła po kolejnych kresach recesji, sum przyrostów rocznych i wieloletnich;
- określenie profilu litologicznego i współczynnika odsączalności utworów w strefie wahań zwierciadła wody (przy wykorzystaniu danych zawartych w karcie posterunku obserwacyjnego, karcie otworu lub z innych dostępnych źródeł);
- ustalenie wartości infiltracji efektywnej z wykorzystaniem wzorów 5.6.1–5.6.2, jako zbioru wartości infiltracji efektywnej wyrażonej w sumach rocznych oraz średniej wieloletniej (rys. 5.7-1).



**Rys. 5.7-1. Określenie infiltracji efektywnej metodą analizy zmian stanu retencji wód podziemnych**

Objaśnienia: *pzk* – poniżej znaku kontrolnego (ustalonego jako punkt odniesienia pomiarów zwierciadła wody),  $\Delta h$  – przyrost stanu retencji pierwszego poziomu wodonośnego o swobodnym zwierciadle wody;  $\Sigma\Delta h$  – roczna suma przyrostów stanu retencji (analizowano lata hydrologiczne).

Na rysunku pokazano przykład interpretacji wahań zwierciadła wody w szczelinowo-porowej kredzie piszącej w posterunku IMGW w Anusinie k. Chełma, w strefie lokalnego wododziału wód podziemnych [Herbich 1983]. Współczynnik odsączalności spękaną kredy piszącej w strefie wahań zwierciadła został określony na  $\mu = 0,056$  (na podstawie badań szczelinowatości w sąsiednich kopalniach odkrywkowych oraz wyników bilansu obszaru zasilania ujęć zespołowych podczas długotrwałych pompowań badawczych).

## 5.8. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika odnawialności zasobów wód podziemnych

W procesie realizacji badań modelowych, umożliwiających ocenę zasobów odnawialnych w zlewniowych obszarach bilansowanych, istotne znaczenie ma dokonanie przestrzennego rozkładu infiltracji efektywnej w oparciu o jej szacunkową wielkość ustaloną dla całego obszaru zlew-

niowego. Rozkład ten jest dokonywany na etapie przygotowania danych wejściowych do modelu, w postaci mapy warunków zasilania, który następnie jest wprowadzany do poszczególnych bloków modelu z warunkiem brzegowym II rodzaju. Wstępnie przygotowany przestrzenny rozkład zasilania jest później korygowany w ramach procesu tarowania modelu.

Jednym ze sposobów przygotowania mapy zasilania jest wykorzystanie metody przekształcenia stałoobjętościowego [Śmietański, 2012]. Metoda ta jest właściwa do stosowania w przypadkach dobrego rozpoznania utworów powierzchniowych (na poziomie wielkości bloku w modelu), tworzących nadkład osadów wodonośnych uwzględnianych na modelu, a także jako metoda wskaźnikowego zróżnicowania wartości zasilania w warunkach dużej jego zmienności przestrzennej. Jeśli rozpoznanie takie jest niewystarczające w skali bloków modelowych, należy dokonać przestrzennego rozkładu zasilania na podstawie zgeneralizowanych map utworów powierzchniowych i sposobu użytkowania terenu, ale w skali regionalnej, tj. różnicując zasilanie nie w poszczególnych blokach obliczeniowych, lecz w rejonach charakteryzujących się podobnym wykształceniem nadkładu utworów wodonośnych. W każdym przypadku przestrzenne zróżnicowanie zasilania ma charakter wstępny, a więc mapa prezentująca to zasilania traktowana jest jako robocza. Ważnym elementem powyższych rozważań są uwagi dotyczące interpretacji parametrów hydrogeologicznych w odniesieniu do parametrów modelu, co szerzej opisane zostało w rozdziale 6.5.2.

Oryginalna metodyka Śmietańskiego [2012] została zmieniona w niniejszym poradniku w punkcie dotyczącym sposobu ustalania wartości modułu infiltracji efektywnej  $ie$ , który jest określany zgodnie ze wzorem 5.1.13, a czego konsekwencją jest odnoszenie jego wartości wyłącznie do obszarów  $Az$  zasilania wód podziemnych (obszaru zlewni z wyłączeniem dolinnych stref drenażowych).

W obliczeniach prowadzonych tą metodą wykorzystywany jest wzór:

$$ie(x, y) = \frac{LIT(x, y) \cdot P(y, x)}{\langle LIT \cdot P \rangle} ie \quad [LT^{-1}] \quad (5.7.1)$$

gdzie:

$$\langle LIT \cdot P \rangle = \frac{\sum [LIT(x, y) \cdot P(x, y) \cdot Az(x, y)]}{Az} \quad [LT^{-1}] \quad (5.7.2)$$

oraz:

- $ie(x, y)$  – moduł infiltracji efektywnej w danym bloku o współrzędnych  $(x, y)$ , znajdujący się w obszarze zasilania  $A_z$  wód podziemnych bilansowanej zlewni, dla której została ustalona wartość  $ie$ ;
- $ie$  – średnia wieloletnia wartość modułu infiltracji efektywnej w obszarach zasilania  $A_z$  bilansowanej zlewni, ustalona w oparciu o badania zasilania podziemnego dolinnych stref drenażowych, kontrolowanego w przekroju wodowskazowym zamykającym zlewnię (rozdz. 5.3);
- $LIT(x, y)$  – bezwymiarowa wartość wagowa przypisana wydzieleniu litologicznemu, kształtującemu warunki infiltracji efektywnej w danym bloku  $(x, y)$  zgodnie z tab. 5.8-1;
- $P(x, y)$  – wskaźnik opadu atmosferycznego, średni w danym bloku  $(x, y)$ ;
- $\langle LIT \cdot P \rangle$  – średnia wartość iloczynu funkcji  $LIT(x, y) \cdot P(x, y)$  w granicach obszarów zasilania  $A_z$  bilansowanej zlewni.

Wartość  $ie$  powinna być określana w oparciu o zasilanie dolinnych stref drenażowych  $ZPD$ , ustalonych z uwzględnieniem zasilania podziemnego rzek  $QG$  i drenażu ewapotranspiracyjnego  $ETD$  wód podziemnych w okresowo lub stale podmokłym tarasie niskim dolin rzecznych oraz współczynnika  $\alpha$  określającego udział wód podziemnych drenowanych bilansowanej zlewni w krążeniu wód strefy aktywnej wymiany (rozdz. 5.1 i 5.3).

Wartość wagowa  $LIT(x, y)$ , przypisana wydzieleniu litologicznemu w bloku  $(x, y)$ , powinna być ustalana w oparciu o tab. 5.8-1 i tab. 5.8-2, opracowane z uwzględnieniem m.in. prac Śmietańskiego [2012] oraz Herbicha, Prażaka i Przytuły [2009a].

W sytuacji, gdy w obrębie bloku  $(x, y)$  występują wydzielienia litologiczne o różnej wartości wagowej  $LIT$ , dla takiego bloku jest ustalana wartość  $LIT_s(x, y)$  jako średnia ważona:



$$LIT_s(x, y) = \frac{\sum[LIT(i) \cdot Az(i)](x, y)}{Az(x, y)} \quad [-] \quad (5.7.3)$$

gdzie:  $LIT(i)$  – wartość wagowa przydzielona  $i$ -temu wydzieleniu litologicznemu o powierzchni  $Az(i)$  w obrębie bloku  $(x, y)$  o powierzchni  $Az(x, y)$ .

W skali regionalnej uwzględniana w badaniach modelowych wartość wagowa  $LIT$  łączy charakterystykę zdolności do infiltracji opadów wykazywaną przez typ litologiczny utworów powierzchniowych (w strefie sięgającej do głębokości ok. 2-3 m od powierzchni terenu), warunki morfologiczne do tworzenia się powierzchniowej i podziemnej formy odpływu wód (spadki terenu, zagłębienia bezodpływowe chłonne i ewapotranspiracyjne) i hydrogeologiczną ocenę wpływu zagospodarowania terenu (lasy, pola uprawne, tereny zurbanizowane i przemysłowe itd.).

Wydzieleniem stref zasilania z określonymi wartościami wagowymi infiltracji efektywnej powinny być objęte te obszary, w których głębokość do zwierciadła wody pierwszego poziomu wodonośnego przekracza 2 m, co jest równoznaczne z wyodrębnieniem stref drenażu ewapotranspiracyjnego wód podziemnych.

W tabeli 5.8-1 podane wartości wagowe odnoszą się do wydzieleni litogenetycznych, wyznaczonych z uwzględnieniem panujących w nich typowych warunków morfologicznych wschodniej części Pojezierza Pomorskiego. W tabeli 5.8.2 zestawiono wartości wagowe infiltracji efektywnej w wydzieleniach litologicznych według *Szczegółowej mapy geologicznej Polski*, stosowane w badaniach stopnia podatności pierwszego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenia z powierzchni terenu [Herbich i in., 2008].

**Tab. 5.8-1. Przykładowe wartości wagowe infiltracji efektywnej w podstawowych wydzieleniach litologicznych, stosowane w badaniach modelowych wschodniej części Pojezierza Pomorskiego [Śmietański, 2012]**

Lp	Opis wydzielenia	Wartość wagowa
1	piaski i żwiry wodnolodowcowe	10
2	glina zwałowa	3
3	piaski i żwiry akumulacji lodowcowej na glinie zwałowej	5

4	iły i mułki zastoiskowe	1
5	piaski eoliczne na wysoczyznach i na nizinie nadmorskiej	10
6	mady, torfy, namuły	1
7	piaski i żwiry rzeczne na wysoczyznach i na nizinie nadmorskiej	10
8	plejstocenijskie piaski i żwiry rzeczne w dolinach rzek	5
9	piaski eoliczne w dolinach rzecznych	5

**Tab. 5.8-2. Przykładowe wartości wagowe infiltracji efektywnej w wydzieleniach litologicznych według SmgP, stosowane w badaniach stopnia podatności pierwszego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenia z powierzchni terenu [Herbich i in., 2008]**

Lp	Opis wydzielenia	Wartość wagowa
1	piaski, miejscami ze żwirami akumulacji rzecznej, piaski i żwiry akumulacji rzeczno-lodowcowej, piaski i żwiry ozów	3,0
2	piaski i żwiry kemów, piaski ze żwirami i mułkami akumulacji rzecznej	2,0
3	opoki i wapień (również w facji kredy piszącej), margle i piaskowce, dolomity, wapień, wapień oolitowe, margle oraz iłowce ze zlepieńcami, brekcjami i zlepieńcami	2,0
4	głazy, żwiry, piaski i gliny zwałowe akumulacji czołowlodowcowej, lessy, lessy spiaszczone, mułki i piaski akumulacji rzecznej	1,0
5	piaskowce, mułowce, iłowce i łupki ilaste, piaskowce grubo-, średnio- i cienkoławicowe oraz łupki – flisz serii magurskiej; granitoidy	1,0
6	piaski i mułki akumulacji jeziornej, gliny zwałowe, ich eluwia piaszczyste i piaski z głazami akumulacji lodowcowej, mułki i piaski akumulacji rzeczno-jeziornej, gliny lessowate	0,5
7	piaskowce, iłowce, mułowce, lokalnie margle i wapień oolitowe; łupki i piaskowce – flisz oraz margle w facji niefliszowej serii podśląskiej; zlepieńce, piaskowce arkozowe, mułowce i iłowce pstre; łupki ilaste i piaszczyste oraz kwarcyty; gnejsy, łupki krystaliczne	0,5
8	piaski, mułki i iły zastoiskowe	0,2
9	iłowce, łupki ilasto-piaszczyste – pstre, z wkładkami zlepieńców oolitowo-brekcjowych, dolomitów i wapieni	0,2
10	iły i mułki akumulacji zastoiskowej, gliny zwałowe ciężkie	0,1

Zestawione w tabelach 5.8-1 i 5.8-2 wartości wagowe odzwierciedlają zróżnicowanie warunków infiltracji efektywnej określone empirycznie badaniami lizymetrycznymi. Wynikiem tych badań były wskaźniki infiltracji efektywnej *w<sub>e</sub>* podające, jaka część średniego rocznego opadu atmosferycznego *P* z wie-

lolecia zasila wody podziemne w określonych warunkach występowania różnych typów litogenetycznych utworów powierzchniowych:

$$IE = we \cdot P \quad [LT^{-1}] \quad (5.7.4)$$

Przykład wskaźników infiltracji efektywnej  $we$ , określonych z uwzględnieniem wyników badań lizymetrycznych dla wydzieleń litogenetycznych regionu nizin środkowej Polski, podany jest w tabeli 5.8-3 [Bogusławska, 1967]. Należy tu podkreślić, że do ustalenia infiltracji efektywnej bezpośrednio wzorem (5.7.4) powinien być wprowadzany opad w wartości średniej wieloletniej sumy rocznej, skorygowanej o poprawkę na błąd pomiarowy deszczomierza Hellemana [Chomicz, 1976]. Wydzielenia mają charakter regionalny, co oznacza możliwe zróżnicowanie przestrzenne wykształcenia utworów w obrębie danego typu litogenetycznego.

**Tab. 5.8-3. Empiryczne wskaźniki infiltracji efektywnej  $we$  wydzieleń litogenetycznych utworów nizu środkowopolskiego [za: Bogusławska, 1967]**

Lp	Rodzaj utworów	$we$ (%)
1	wydmy	65
2	piaski i żwiry akumulacji wodnolodowcowej oraz przemyte piaski i żwiry akumulacji lodowcowej	55
3	piaski rzeczne tarasów akumulacyjnych, piaski i żwiry stożków napływowych	50
4	piaski i żwiry ozów lub moreny czołowej, żwiry i skupienia głazów moreny czołowej	40
5	gliny zwałowe, mady i piaski rzeczne	20
6	iły warwowe, piaski pylaste, pyły i mułki	10
7	iły pstre plioceńskie	5

Procedura ustalenia modułu infiltracji efektywnej  $ie$  z zastosowaniem wzoru 5.7.1 obejmuje następujące etapy:

- a) ustalenie infiltracji efektywnej  $IE$  średniej wieloletniej w bilansowanej zlewni;
- b) sporządzenie siatki bloków obejmującej modelowaną zlewnię;
- c) dokonanie analizy wykształcenia utworów powierzchniowych w bilansowanej zlewni, z uwzględnieniem stopnia zróżnicowania przestrzennego, warunków geomorfologicznych ich występowania, za-

sięgu niskiego tarasu dolin rzecznych oraz własności filtracyjnych utworów (zdolności do infiltracji opadów);

- d) wydzielenie bloków obejmujących rzeki wraz z ich dolinami, przewidziane do zamodelowania warunkiem III rodzaju, a następnie wyłączenie ich z obliczeń wskaźnika infiltracji efektywnej;
- e) ustalenie powierzchni  $A_z$  bloków obejmujących obszary zasilania wód podziemnych bilansowanej zlewni i modułu rocznej infiltracji efektywnej  $ie$  średniej wieloletniej dla obszarów  $A_z$ ;
- f) opracowanie mapy izohiet w bilansowanej zlewni dla sumy rocznej średniego opadu wieloletniego (ze względu na wagowy charakter obliczeń wskaźnika nie jest konieczne korygowanie wskaźnika opadu pomierzonego do opadu rzeczywistego);
- g) sporządzenie tabeli wydzieleni litogenetycznych i wartości wagowych (analogicznej do tabel 5.7.1 i 5.7.2), zgodnie z ustaleniami analizy przeprowadzonej w punkcie c);
- h) utworzenie mapy litogenetycznych warunków infiltracji efektywnej, zgeneralizowanej w stopniu dostosowanym do podziału siatki bloków;
- i) przypisanie poszczególnym blokom wartości wagowej dla występującego w nim typu litogenetycznego, zgodnie z tabelą wydzieleni i zgeneralizowaną mapą litogenetycznych warunków infiltracji efektywnej;
- j) przypisanie poszczególnym blokom wartości rocznej sumy opadów wynikającej z mapy izohiet;
- k) określenie średniej wartości iloczynu  $\langle LIT(x, y) \cdot P(x, y) \rangle$  w granicach obszarów zasilania  $A_z$  bilansowanej zlewni (wzór 5.7.2);
- l) określenie wartości modułu infiltracji efektywnej  $ie(x, y)$  dla każdego bloku obliczeniowego w obszarach zasilania bilansowanej zlewni (wzór 5.7.1).

Przestrzenne zróżnicowanie infiltracji efektywnej jest wyrażone iloczynem modułu infiltracji efektywnej  $ie(x, y)$  i powierzchni bloku  $A(x, y)$ :

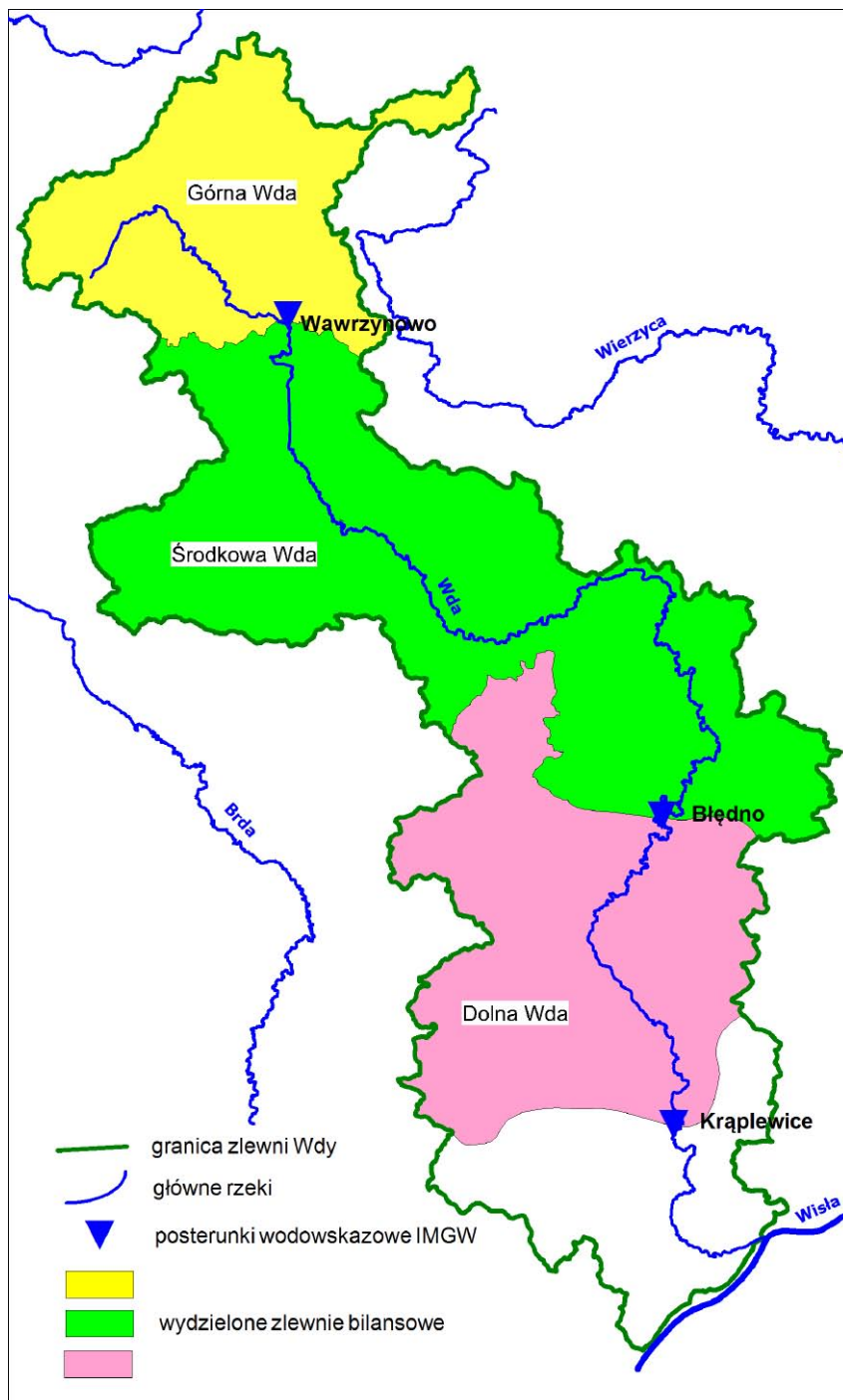
$$IE(x, y) = ie(x, y) \cdot A(x, y) \quad [L^3T^{-1}] \quad (5.7.5)$$

## 5.9. Przykład ustalania odnawialności zasobów wód podziemnych metodą bilansową

Za przykład ilustrujący zaprezentowane w powyższych rozdziałach metody ustalania zasobów odnawialnych posłuży zlewnia rzeki Wdy [wg Hulboj i in., 2013], która jest lewostronnym dopływem Wisły i graniczy ze zlewniami: Słubi i Łeby – od północy, Wierzycy – od wschodu i północnego-wschodu, Brdy – od zachodu, a od południa z bezpośrednią zlewnią Wisły. Powierzchnia zlewni Wdy, według opracowania *Komputerowa mapa podziału hydrograficznego Polski*, wynosi 2 322 km<sup>2</sup>. W obrębie zlewni Wdy zlokalizowane są 3 przekroje wodowskazowe IMGW (rys. 5.9-1), które mogą być wykorzystane do obliczeń zasobów odnawialnych. W oparciu o położenie każdego z tych przekrojów wydzielono w obrębie zlewni Wdy zlewnie bilansowe i dla każdej z nich (traktowanej jako zlewnia różnicowa) sporządzono bilans. Podstawą wykonania bilansu były następujące dane:

- Zestawienie przepływów średnich z minimalnych miesięcznych (*SMNQ*) dla kolejnych lat okresu bilansowego – pozyskane z IMGW. Na podstawie tych danych, metodą Wundta, obliczono wartość odpływu podziemnego (*QG*).
- Zestawienie wielkości poborów przez ujęcia wód podziemnych (*U*) – pozyskane w wyniku kartowania hydrogeologicznego (średni pobór roczny – stan na rok 2011).
- Zestawienie wielkości zrzutów ścieków (*S*) – pozyskane w wyniku kartowania hydrogeologicznego, obejmujące lokalizację punktów zrzutu i średnią jego wielkość w roku 2011.
- Obliczenia ewapotranspiracji w obrębie doliny rzecznej wykonane w roku 2009 dla obszaru dolnej Wdy metodą analizy związku zmian stanów retencji i odpływu podziemnego, jako odrębne zadanie badawcze PSH [Herbich i in., 2009c].

Na podstawie powyższych danych sporządzono bilans wg równania 5.1.5 przedstawionego w rozdziale 5.1. Wielolecie bilansowe obejmuje okres 1977-2011, co wynika z dostępności danych o przepływach. Wyniki bilansu przedstawia tabela 5.9-1, w której zestawiono poszczególne składniki równania bilansowego i w efekcie otrzymano zasoby odnawialne dla każdej z analizowanych zlewni cząstkowych.



Rys. 5.9-1. Położenie posterunków wodowskazowych w obrębie zlewni Wdy jako podstawa wydzielenia zlewni bilansowych

Przedstawiony bilans należy traktować jako uproszczony, ponieważ w obrębie omawianej zlewni występuje skomplikowana zabudowa hydrotechniczna, a także znaczne pobory wód powierzchniowych, z których ścieki wykorzystywane są rolniczo, a więc woda, w części, trafia na powrót do systemu wodonośnego. Wyniki pełnego bilansu przedstawione są w dokumentacji ustalającej zasoby dyspozycyjne zlewni Wdy [Hulboj i in., 2013]. Należy podkreślić, że bezzwrotne zużycie wód podziemnych jest na bardzo niewielkim poziomie (w porównaniu do wartości  $QG$ ) i nie wpływa w sposób istotny na wyniki obliczeń. Tym niemniej w przedstawionym bilansie zostało ono uwzględnione po to, aby zobrazować prawidłową metodykę obliczeń.

Obliczone w przedstawiony sposób zasoby odnawialne poszczególnych zlewni bilansowych zostały wykorzystane do konstrukcji i identyfikacji modelu matematycznego. Stanowią one wartości wejściowe do obliczeń i będą skorygowane w procesie identyfikacji modelu.

**Tab. 5.9-1. Zestawienie bilansu hydrogeologicznego zlewni Wdy [wg Hulboj i in., 2013]**

Zlewnia bilansowa	Pow. zlewni różnic. [km <sup>2</sup> ]	$QG$ (1977-2011) [m <sup>3</sup> /h]		$U$ [m <sup>3</sup> /h]	$S$ [m <sup>3</sup> /h]	$UB$ (kol. 7-8) [m <sup>3</sup> /h]	$ETD^*$ [m <sup>3</sup> /h]	$IE$ (kol. 5+9+10) [m <sup>3</sup> /h]	$ie$ [m <sup>3</sup> /h/km <sup>2</sup> ]
		wg wodowskazów	dla zlewni różnic.						
2	3	4	5	7	8	9	10	11	12
górna Wda – po Wawrzynowo	421,0	10659,3	10659,3	100,8	47,6	53,2	1065,9	11778,5	27,98
środkowa Wda – po Błędno	96,0	32221,9	21562,5	178,3	96,3	82,0	2156,3	23800,8	24,66
dolna Wda – po Krąplewice	636,0	41676,0	9454,1	185,3	47,8	137,4	945,4	10536,9	16,57

\* Wartość drenażu ewapotranspiracyjnego ustalono w oparciu o opracowanie archiwalne [Woźnicka i in., 2009], przyjmując, że stanowi ono 10% wartości  $OG$ .

## **6. Metodyka ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych**

---

---





## **6.1. Wymagania formalne i merytoryczne dotyczące prac projektowych i dokumentacyjnych**

### **6.1.1. Projekt prac (robót) geologicznych**

Zasady wykonywania **prac geologicznych** pozwalających ustalić zasoby dyspozycyjne wód podziemnych reguluje ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U., Nr 163, poz. 981, z późn. zm.). W rozumieniu ustawy **pracą geologiczną** jest „projektowanie i wykonywanie badań oraz innych czynności, w celu ustalenia budowy geologicznej kraju, a w szczególności **poszukiwania i rozpoznawania** złóż kopalin oraz **wód podziemnych**, określania warunków hydrogeologicznych, geologiczno-inżynierskich, a także sporządzanie map i dokumentacji geologicznych oraz projektowanie i wykonywanie badań na potrzeby wykorzystania ciepła Ziemi lub korzystania z **wód podziemnych**”. Przez poszukiwanie rozumie się „wykonywanie prac geologicznych w celu ustalenia i wstępnego udokumentowania złoża kopaliny albo wód podziemnych”, zaś **rozpoznawaniem** jest „wykonywanie, utrzymywanie, zabezpieczanie lub likwidowanie wyrobisk górniczych oraz zwałowanie nadkładu w odkrywkowych zakładach górniczych w związku z działalnością regulowaną ustawą”.

Prawo geologiczne i górnicze wprowadza definicję **robót geologicznych**, do których zaliczamy „wykonywanie w ramach prac geologicznych wszelkich czynności poniżej powierzchni terenu, w tym przy użyciu środków strzałowych”. Prace geologiczne wykonywane z zastosowaniem robót geologicznych mogą być wykonywane tylko na podstawie **zatwierdzone-**

**go projektu robót geologicznych.** Wynika stąd ważny wniosek dla procedury ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych. Z formalnego punktu widzenia projekt wymagany jest tylko wtedy, gdy planowane jest wiercenie otworów rozpoznawczych albo jakichkolwiek innych prac wiertniczych (np. otworów sozologicznych do rozpoznania stopnia zanieczyszczenia wód podziemnych). Wówczas zawartość projektu musi spełniać wymogi rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz. U. z 2011 r., Nr 288, poz. 1696) i projekt taki podlega zatwierdzeniu przez Ministra Środowiska (jako regionalne badania hydrogeologiczne – art. 161, ust. 3, pkt. 3 ustawy Pggig). Należy zauważyć, że rozporządzenie to określa wyłącznie wymogi techniczne i środowiskowe związane z wykonywaniem otworów wiertniczych lub innych wyrobisk (a więc robót geologicznych) i nie reguluje w żaden sposób zasad projektowania prac geologicznych pozwalających ustalić zasoby dyspozycyjne wód podziemnych, które w aktualnym stanie prawnym mogą być wykonywane bez żadnego projektu, jeśli nie zawierają prac wiertniczych. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że z chwilą wejścia w życie aktualnej ustawy Pggig przestało obowiązywać rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. w sprawie projektów prac geologicznych, które dość szczegółowo określało wymagania, jakim powinny odpowiadać projekty prac geologicznych, także te obejmujące roboty geologiczne. Mimo że formalnie rozporządzenie to już nie obowiązuje, stanowi ono dobry punkt odniesienia dla projektowania prac geologicznych nie wymagających zatwierdzenia.

Brak formalnego wymogu sporządzania projektu prac geologicznych na potrzeby ustalenia zasobów dyspozycyjnych w sytuacji, gdy nie planuje się robót geologicznych, nie zamyka oczywiście takiej możliwości i decyzja w tej sprawie należy do zamawiającego, który może zlecić wykonanie projektu, a następnie poddać go merytorycznej ocenie (np. przez zamówienie fachowej opinii). W ten sposób może mieć pewność, że prace geologiczne zostały zaprojektowane w sposób prawidłowy i metodycznie właściwy dla żądanej dokładności oceny zasobów dyspozycyjnych. W takiej sytuacji projektu nie należy tytułować *Projekt robót geologicznych...*, tylko *Projekt prac geologicznych...* lub *Program prac geologicznych...*

Natomiast w każdym przypadku, niezależnie od tego, czy prace geologiczne obejmowały roboty geologiczne, czy też nie, ich podsumowaniem jest dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zgodna z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geo-

*logiczno-inżynierskiej* (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714), która podlega formalnemu zatwierdzeniu przez Ministra Środowiska.

Podstawowym zadaniem projektu (lub programu) prac geologicznych pozwalających ustalić zasoby dyspozycyjne wód podziemnych jest inwentaryzacja i wstępna weryfikacja danych wejściowych niezbędnych do obliczenia oraz ogólna charakterystyka i ocena stanu rozpoznania hydrogeologicznego obszaru badań. W oparciu o zebrane i wstępnie przeanalizowane dane i wyniki opracowań archiwalnych określa się zakres i metodykę prac, które należy wykonać, aby zasoby zostały ustalone z zadowalającą dokładnością. Projekt powinien zawierać także planowany harmonogram prowadzenia prac dokumentacyjnych.

Przyjmuje się, że projekt (program) przygotowuje się tylko w oparciu o zebrane materiały archiwalne i bez wykonywania prac terenowych. Materiały wyjściowe pozyskiwane są z centralnych baz danych, dostępnych publikacji lub ze źródeł dostępnych w Internecie. Najważniejsze źródła danych to:

- Narodowe Archiwum Geologiczne (NAG) – bank HYDRO, MhP, SmgP, baza POBORY, MONBADA, MIDAS, baza danych geofizycznych i inne;
- Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) – dane hydrologiczne o stanach i przepływach rzecznych oraz dane meteorologiczne (głównie opady);
- Główny Urząd Statystyczny (GUS) – użytkowanie terenu, stopień zurbanizowania, gęstość zaludnienia, stopień zwodociągowania i skanalizowania gmin, zużycie wody w gminach z podziałem na cele wykorzystania i inne;
- Główny Urząd Geodezji i Kartografii – numeryczny model terenu, mapy topograficzne w wersji rastrowej i wektorowej, mapa hydrograficzna Polski w skali 1 : 50 000;
- Internet – głównie strony gmin (gospodarka wodno-ściekowa w gminach, gospodarka odpadami, kierunki rozwoju gmin i związane z tym inwestycje w dziedzinie zaopatrzenia w wodę i inne);
- inne materiały publikowane (np. atlasy, monografie itp.).

Generalnie projekt (program) składa się z dwóch głównych części: ogólnej i projektowej. Część ogólna zawiera krótką charakterystykę obszaru badań oraz ocenę stopnia rozpoznania i udokumentowania warunków hy-

drogeologicznych i zasobów wód podziemnych, natomiast część projektowa przedstawia zakres i metodykę prac niezbędnych do wykonania, aby zasoby dyspozycyjne mogły być ustalone z zadowalającą dokładnością. Ustalenie zakresu prac poprzedzone jest identyfikacją i wskazaniem głównych problemów badawczych, tj. zagadnień problemowych, specyficznych dla terenu badań, które wymagają rozwiązania w ramach ustalania zasobów dyspozycyjnych (np. nadmierna eksploatacja, zmiany chemizmu wód podziemnych, niedostateczne rozpoznanie więzi hydraulicznej wód powierzchniowych i podziemnych, zmiany reżimu hydrogeologicznego w rejonach o silnej antropopresji, obecność ekosystemów o określonych wymogach związanych ze stanami wód gruntowych i inne). Identyfikacja tych podstawowych problemów hydrogeologicznych i gospodarki wodnej sprawia, że projekt nie jest dokumentem powtarzalnym, zaś autor akcentuje rozpoznanie problemów wymagających szczególnej uwagi w ramach prac dokumentacyjnych.

W części projektowej należy określić również koncepcję ustalania zasobów. Podstawową metodą jest modelowanie matematyczne, ale wymagane jest także omówienie proponowanej metody uzupełniającej oceny zasobów odnawialnych. Projektując prace terenowe, należy zwrócić uwagę, że ich celem nie jest zbieranie od podstaw potrzebnych informacji, ale uzupełnienie i zweryfikowanie tych z nich, które uzyskano na etapie przygotowywania projektu. W szczególności nie jest obecnie zasadne prowadzenie pełnego kartowania hydrogeologiczno-sozologicznego, ponieważ większość potrzebnych informacji pozyskuje się z istniejących baz danych (bank HYDRO, MhP, baza POBORY i inne). Własne pomiary terenowe należy ograniczyć do zakresu niezbędnego do prawidłowego sporządzenia modelu hydrogeologicznego (w tym głównie do wykreślenia wiarygodnej mapy hydroizohips).

Szczegółowe zalecenia dotyczące sposobu przygotowania projektu prac geologicznych (zwanego dalej *Programem prac*) dotyczących realizacji zadania dokumentowania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zostały przedstawione w rozdz. 8.1.

### **6.1.2. Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych**

Zasady sporządzania dokumentacji ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych reguluje rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714). Rozporządzenie zawiera w miarę kompletny zestaw informacji co do treści dokumentacji

i załączników graficznych. Zgodnie z § 5.1 część opisowa dokumentacji powinna zawierać:

- „1) opis wykonanych badań geologicznych, hydrogeologicznych, hydrologicznych, geofizycznych i innych niezbędnych dla rozpoznania warunków hydrogeologicznych i ustalenia zasobów wód podziemnych;
- 2) opis morfologii, hydrografii i warunków klimatycznych terenu przeprowadzonych prac geologicznych;
- 3) opis zakresu i wyników badań wykonanych w celu ustalenia zasobów dyspozycyjnych w stosunku do projektu prac geologicznych lub projektu robót geologicznych;
- 4) zestawienie wyników przeprowadzonej w terenie inwentaryzacji ujęć wód podziemnych, z podaniem ich stanu technicznego, zasobów eksploatacyjnych, wydanych pozwoleń wodnoprawnych i wielkości poboru wód, a także dokonanych pomiarów poziomu zwierciadła wód podziemnych;
- 5) zestawienie wyników inwentaryzacji i charakterystykę istniejących i projektowanych obszarów objętych ochroną, w szczególności cennych ekosystemów wodnych i lądowych zależnych od wód podziemnych, oraz istniejących i potencjalnych ognisk zanieczyszczeń wód podziemnych, a także ocenę stopnia ich oddziaływania na jakość tych wód;
- 6) analizę wyników pomiarów przepływów w rzekach na podstawie obserwacji przeprowadzonych przez państwową służbę hydrologiczno-meteorologiczną oraz pomiarów dokonanych na potrzeby sporządzenia dokumentacji w tymczasowych przekrojach hydrometrycznych;
- 7) analizę wyników monitoringu stanów wód podziemnych i powierzchniowych oraz jakości tych wód;
- 8) opis budowy geologicznej, warunków hydrostrukturalnych krążenia wód podziemnych, charakteru granic obszaru bilansowego oraz jego związku z sąsiednimi obszarami, wskazanie stref zasilania i drenażu poziomów wodonośnych (będących warstwami lub zespołami warstw wodonośnych wykazujących łączność hydrauliczną), charakterystykę kontaktów hydraulicznych poszczególnych poziomów wodonośnych oraz związków wód podziemnych z wodami powierzchniowymi;

- 9) ocenę parametrów hydrogeologicznych utworów wodonośnych i utworów rozdzielających;
- 10) ocenę właściwości fizyczno-chemicznych wód podziemnych i jakości tych wód oraz wydzielenie typów chemicznych wód (będących zespołami właściwości fizyczno-chemicznych wody, przedstawionymi w formie skróconej, wynikającej z powszechnie stosowanych w badaniach hydrogeochemicznych podziałów klasyfikacyjnych wód podziemnych – klasyfikacji hydrogeochemicznych);
- 11) opis przyjętego sposobu ustalania zasobów odnawialnych i zasobów dyspozycyjnych, uwzględniający konieczność przeprowadzenia obliczeń co najmniej dwiema niezależnymi metodami, w tym przy użyciu modelowania matematycznego;
- 12) opis przeprowadzonych badań modelowych, w tym:
  - a) opis przyjętego schematu warunków hydrogeologicznych i zastosowanych zasad schematyzacji,
  - b) charakterystykę i uzasadnienie przyjętych warunków brzegowych modelu i stanu hydrodynamicznego stanowiącego podstawę identyfikacji modelu,
  - c) opis algorytmu obliczeń i uzasadnienie wyboru programu obliczeniowego do badań modelowych,
  - d) opis metodyki identyfikacji modelu ze wskazaniem przyjętych kryteriów identyfikacji (tarowania),
  - e) analizę dokładności wytarowania modelu i otrzymanego bilansu krążenia wód oraz tabelaryczne albo graficzne porównanie stanów zwierciadła wód podziemnych zmierzonych w terenie i otrzymanych na modelu,
  - f) charakterystykę kryteriów przyjętych do ustalenia zasobów dyspozycyjnych, w tym ograniczeń dla dopuszczalnego przekształcenia pola hydrodynamicznego i bilansu krążenia wód podziemnych, w szczególności wynikających z ochrony obszarów, w tym cennych ekosystemów wodnych i lądowych zależnych od wód podziemnych oraz obszarów Natura 2000,
  - g) opis symulacji modelowych wykonanych w celu ustalenia zasobów dyspozycyjnych wraz z opisem otrzymanych bilansów krążenia wód podziemnych, w szczególności dla wybranego wariantu optymalnego zagospodarowania zasobów dyspozycyjnych,

- h) ocenę wiarygodności wykonanego modelu i przeprowadzonych symulacji modelowych;
- 13) analizę porównawczą wyników obliczeń wielkości zasobów odnawialnych i zasobów dyspozycyjnych otrzymanych przy użyciu różnych metod obliczeniowych;
  - 14) analizę stanu środowiska i prognozę zmian jakości wód podziemnych wynikającą z oceny odporności na wpływy spowodowane przez działalność człowieka (oddziaływania antropogeniczne);
  - 15) bilans wodnogospodarczy wód podziemnych (będący porównaniem wielkości zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych ze stanem ich zagospodarowania, w celu wskazania istniejących w obszarze bilansowym albo w jednostce bilansowej – będącej częścią obszaru bilansowego wydzieloną ze względu na podobieństwo parametrów hydrogeologicznych lub warunków hydrodynamicznych – rezerw lub deficytu zasobów wód podziemnych) i propozycje optymalnego sposobu zagospodarowania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych oraz monitorowania zmian ich ilości i jakości;
  - 16) ustalenie wielkości zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych, z uwzględnieniem rozdziału zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego na jednostki bilansowe z wyłączeniem zasobów dyspozycyjnych solanek, wód leczniczych i termalnych (będących ilością wód podziemnych możliwą do pobrania z obszaru bilansowego w określonych warunkach środowiskowych i hydrogeologicznych, bez wskazywania szczegółowej lokalizacji i warunków techniczno-ekonomicznych ujmowania wód), a w przypadku współwystępowania wód podziemnych oraz solanek, wód leczniczych i termalnych – z uwzględnieniem podziału na typy wód i współoddziaływania ujęć tych wód”.

Część graficzna dokumentacji powinna zawierać (§ 5.2):

- „1) mapę przeglądową z lokalizacją terenu przeprowadzonych prac geologicznych;
- 2) mapę dokumentacyjną sporządzoną na podkładzie topograficznym z naniesionymi siecią hydrograficzną granicami obszarów dorzeczy, regionów wodnych, rejonów wodnogospodarczych i jednolitych części wód podziemnych, granicami zbiorników wód podziemnych (będących zespołem przepuszczalnych utworów wodonośnych o znaczeniu



użytkowym, których granice są określone parametrami hydrogeologicznymi lub warunkami hydrodynamicznymi oraz warunkami formowania się zasobów wód podziemnych), i ich istniejących lub projektowanych obszarów ochronnych, granicami obszarów i terenów górniczych wyznaczonych dla solanek, wód leczniczych i termalnych, lokalizacjami ujęć wód podziemnych i otworów wiertniczych, liniami przekrojów hydrogeologicznych oraz przekrojów pomiarowych na rzekach, punktami monitoringu i innymi elementami istotnymi dla zastosowanej metodyki ustalenia zasobów dyspozycyjnych;

- 3) mapy hydrogeologiczno-tematyczne, jakie sporządza się w przypadku przyjęcia określonej metody ustalania zasobów dyspozycyjnych, w tym mapę hydroizohips wykonaną na podstawie datowanych pomiarów poziomu zwierciadła wód podziemnych;
- 4) mapy wejściowe i wynikowe modelu matematycznego, w tym mapy hydroizohips stanu aktualnego i stanu prognozowanego dla maksymalnego wykorzystania zasobów dyspozycyjnych;
- 5) mapę zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego i jednostek bilansowych;
- 6) mapę jakości, zagrożeń i ochrony wód podziemnych, zawierającą lokalizację ognisk zanieczyszczeń, stanowiących rzeczywiste i potencjalne zagrożenie dla jakości wód podziemnych, granice istniejących i projektowanych obszarów objętych ochroną, w szczególności cennych ekosystemów wodnych i lądowych zależnych od wód podziemnych oraz obszarów Natura 2000;
- 7) przekroje hydrogeologiczne”.

Oprócz wymogów dotyczących treści dokumentacji rozporządzenie wprowadza jednolitą formę strony tytułowej (§ 2.4) i karty informacyjnej dokumentacji (§ 2.5), a także wymogi dotyczące skali map stanowiących część graficzną dokumentacji (§ 17.1).

Przywołując tekst powyższego rozporządzenia, należy zwrócić uwagę na sformułowanie zawarte w § 5., ust 1.11, w którym wymaga się, aby zasoby odnawialne i dyspozycyjne wód podziemnych ustalone zostały co najmniej dwiema niezależnymi metodami. Może to być wykonane w sposób szacunkowy z wykorzystaniem metody hydrologicznej opartej na analizie wyników stacjonarnych obserwacji przepływu wód powierzchniowych w przekroju wodowskazowym. Określa się wielkość zasilania podziemnego  $QG$  rzek oraz przepływu nienaruszalnego  $Q_{nh}$

rzeki i różnica tych dwóch wartości może być traktowana jako przybliżona wielkość zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych. Metoda ta została zastosowana w 2003 r. do określenia zasobów perspektywicznych wód podziemnych dla tych obszarów, które do tej pory nie posiadały ustalonych zasobów dyspozycyjnych [Herbich, Dąbrowski, Nowakowski, 2003; Herbich, 2005].

W celu spełnienia formalnego wymogu przeprowadzenia obliczeń wielkości zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych co najmniej dwiema niezależnymi metodami (w tym badaniami modelowymi) zaleca się wykonanie obliczeń dodatkowych zgodnie z wyżej opisaną metodą hydrologiczną. Sposób obliczeń wartości  $QG$  i  $Q_{nh}$  został przedstawiony w rozdziale 5.

Szczegółowe zalecenia i wytyczne dotyczące sporządzania dokumentacji hydrogeologicznych ustalających zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zostały przedstawione w rozdz. 8.2. Uwzględniają one wszystkie wymagania zawarte w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714) oraz dodatkowe zadania wynikające z rozszerzonego zakresu dokumentacji opisanego we wstępie do poradnika.

## **6.2. Zasady wydzielenia jednostek ustalania i rozrządu zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych**

### **6.2.1. Cele i kryteria rejonizacji hydrogeologicznej i wodnogospodarczej**

Podstawy rejonizacji hydrogeologicznej, prowadzącej do wydzielenia jednostek gospodarowania wodami podziemnymi, zostały podane ponad 30 lat temu [Szymanko, 1980; Dąbrowski, Szymanko, 1980]. Sformułowane wówczas zasady prowadzenia rejonizacji wodnogospodarczej obejmowały wykorzystanie rozpoznania hydrostrukturalnego i hydrodynamicznego, uzupełnionego o identyfikację aktualnego i planowanego stanu zagospodarowania zasobów wód podziemnych, a następnie odwzorowanie systemu wodonośnego na modelu matematycznym, jako narzędziu wspomagającym działania dla optymalizacji rozrządu zasobów wód podziemnych.

Zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji

*geologiczno-inżynierskiej* (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714) oraz ustaleniami opracowania wykonanego na zamówienie Ministra Środowiska [Herbich, Dąbrowski, Nowakowski, 2006], jednostkami hydrogeologicznymi ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych i zarządzania ich dystrybucją są obszary bilansowe oraz jednostki niższego rzędu – rejonów wodnogospodarcze. Wstępne wydzielenie obszarów bilansowych polegało na podziale na hydrograficzne zlewnie bilansowe wprowadzonym w regionach wodnych przez regionalne zarządy gospodarki wodnej (początek lat 90-tych ubiegłego wieku). Tak ustalone granice obszarów bilansowych były aktualizowane w kolejnych dokumentacjach hydrogeologicznych ustalających zasoby dyspozycyjne wód podziemnych, z uwzględnieniem położenia stref wododziałowych w poziomach wodonośnych będących w związku hydraulicznym z wodami powierzchniowymi, a także z uwzględnieniem zasięgu oddziaływania regionalnych ośrodków poboru wód podziemnych. W obszarach bilansowych nieobjętych do 2007 roku ustaleniem zasobów dyspozycyjnych granice te zostały skorygowane (wraz z granicami rejonów wodnogospodarczych) w opracowaniu Herbicha, Dąbrowskiego i Nowakowskiego [2007]. Podział ten ulega dalszej weryfikacji w miarę postępującego ustalania zasobów dyspozycyjnych i stopnia ich zagospodarowania.

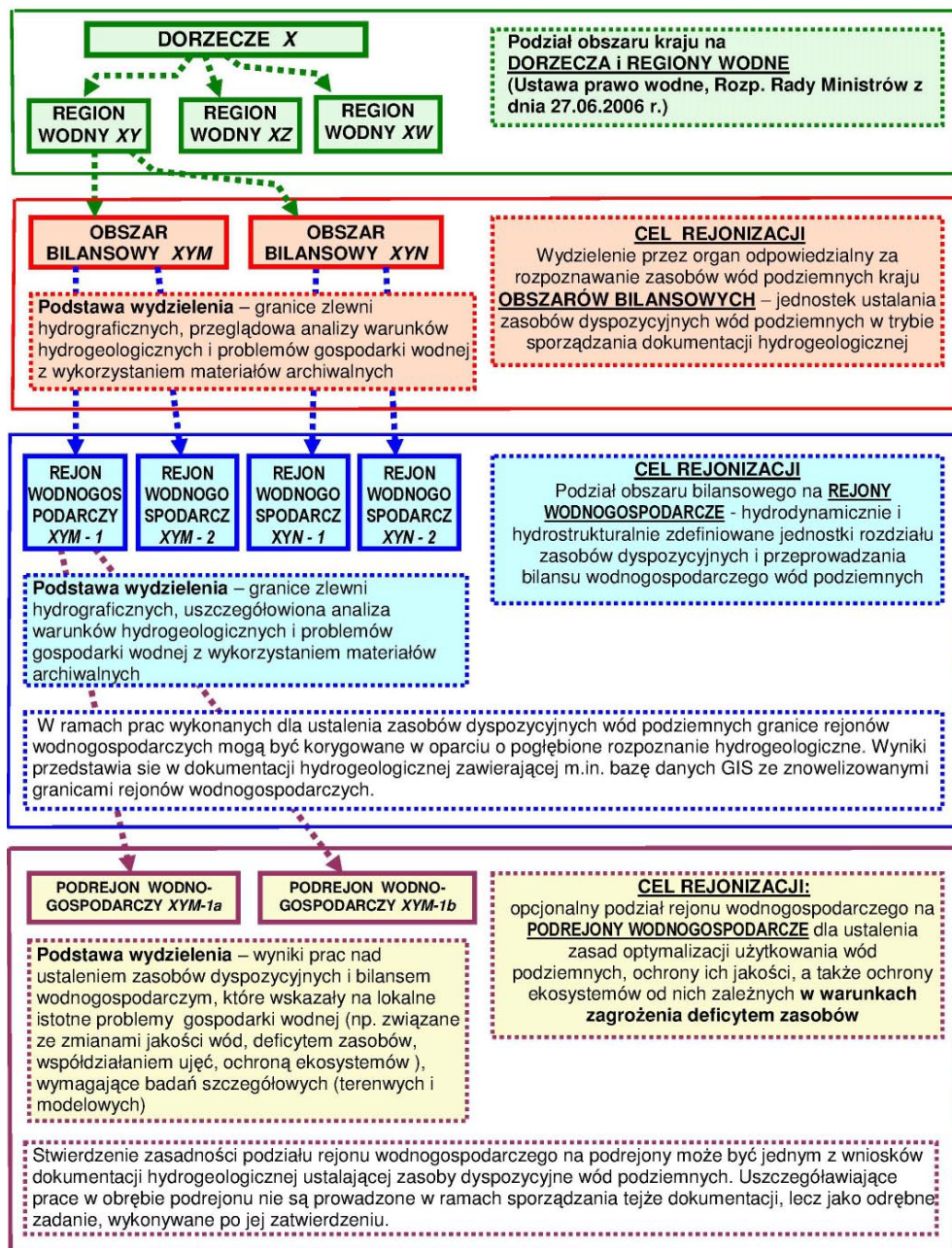
Tak wydzielane obszary bilansowe odznaczają się wysokim stopniem stabilności granic w aktualnym stanie zagospodarowania wód podziemnych. Granice obszarów są optymalnie zamknięte, co umożliwia modelowanie poborów przekraczających obecną eksploatację przy zminimalizowanym udziale wymiany wód podziemnych z otaczającymi systemami wodonośnymi.

Rejony wodnogospodarcze obejmują część obszaru bilansowego o zbliżonym charakterze antropopresji na wody podziemne i podobnych warunkach hydrogeologicznych. W warunkach wymagających szczegółowego rozpoznania hydrogeologicznego oraz rozwiązania istotnych i zróżnicowanych problemów gospodarki wodnej mogą być wydzielane także podrejonów wodnogospodarcze (rys. 6.2.1) Przy wydzieleniu rejonów wodnogospodarczych wód podziemnych uwzględniane są w szczególności:

- granice niższego rzędu zlewniowych systemów wodonośnych o przepływie rzeki kontrolowanym w przekroju wodowskazowym z wieloletnimi obserwacjami;
- rozmieszczenie ośrodków aktualnego i perspektywicznego poboru wód podziemnych kształtujących układy krążenia o znaczeniu istotnym w skali rejonu wodnogospodarczego;

- granice scalonych części wód powierzchniowych wraz z charakterem kontaktu wód powierzchniowych z wodami podziemnymi w ich obrębie;
- zasięg jednolitych części wód podziemnych o złym stanie ilościowym lub zagrożonych nieosiągnięciem stanu dobrego;
- oddziaływanie obiektów hydrotechnicznych (zbiorniki retencyjne, poldery, siłownie energetyczne, jazy piętrzące, kanały przerzutu wód powierzchniowych, stawy) na pole hydrodynamiczne wód podziemnych;
- międzyzlewniowe przerzuty wód podziemnych (pobór z ujęć dla odbiorców w innej zlewni);
- rozrząd wód kopalnianych (osadniki, rekultywacja wodna nieczynnych odkrywek, zrzut do sąsiednich zlewni);
- występowanie obiektów stanowiących czynne lub potencjalne zagrożenie dla jakości wód podziemnych w skali rejonu wodnogospodarczego, w tym strefy degradacji stanu chemicznego wód podziemnych w rejonie zatapianych kopalń i zaniku lejów depresji;
- położenie ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych;
- programy działań oraz ograniczenia w korzystaniu z wód, ustanowione w celu utrzymania i polepszenia stanu wód podziemnych, przyjęte w planach gospodarowania wodami na obszarze dorzeczy i w warunkach korzystania z wód regionów wodnych i zlewni.

W rejonizacji wodnogospodarczej wydzielenia wyższego rzędu tworzą dorzecza i regiony wodne jako jednostki ustanowione ustawą Prawo wodne, dla planowania i prowadzenia gospodarki wodnej na poziomie krajowym. Przykład podziału regionu wodnego Górnej Wisły na obszary bilansowe i rejonu wodnogospodarcze przedstawiono na rysunku 6.2.2.



Rys. 6.2-1. Schemat rejonizacji wodnogospodarczej





Rys. 6.2-2. Podział regionu wodnego Górnej Wisły na obszary bilansowe oraz rejony wodnospodarcze wód podziemnych

### **6.2.2. Przykład rejonizacji wodnospodarczej i rozrządu zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych**

Przykładem przeprowadzonej rejonizacji wodnospodarczej może być zlewnia Wkry, która została objęta dokumentacją ustalającą zasoby dyspozycyjne wód podziemnych na obszarze o łącznej powierzchni 5 640 km<sup>2</sup> [Kapuściński i in., 2010]. Obejmuje on: obszar bilansowy Z-16 zlewnia Wkry w obrębie regionu wodnego dorzecza Wisły Środkowej, rejon wodnospodarczy E w obrębie obszaru bilansowego Z-17 (bezpośrednia prawobrzeżna zlewnia Wisły od ujścia Bugu po ujście Bzury) oraz fragmenty bezpośredniej zlewni Bugu wchodzące w skład obszaru bilansowego Z-8b.

W zlewni Wkry występują typowe dla pasa nizin środkowopolskich warunki hydrogeologiczne, meteorologiczne, hydrologiczne i gospodarcze oraz związane z nimi problemy zaopatrzenia w wodę, wyrażające się zmiennością czasową i nierównomiernym przestrzennie rozkładem zasobów wód podziemnych dostępnych do zagospodarowania, z ich lokalnym niedoborem w obszarach koncentracji potrzeb wodnych, wymagającym opracowania warunków korzystania z wód.

Zlewnia Wkry obejmuje w większości tereny o charakterze rolniczym i leśnym, z kilkoma niewielkimi ośrodkami miejsko-przemysłowymi: Ciechanów, Mława, Działdowo, Nidzica, Płońsk i Raciąż, gdzie występuje koncentracja ujęć komunalnych i przemysłowych, wymagających kontroli i optymalizacji poboru w sytuacji niskich zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych wód podziemnych, charakterystycznych dla pasa nizin środkowopolskich. Zwraca uwagę niska wartość wskaźnika odpływu całkowitego ze zlewni Wkry po wodowskaz Ciekryn, wynosząca jedynie  $SQ = 105$  mm/rok średnio w latach 1951-1965, co stanowi 21% średniej sumy rocznej opadu atmosferycznego w tym okresie ( $P = 505$  mm/r). Wartości te dla 30-letniego okresu 1951-1980 wynoszą:  $SQ = 129$  mm/r i  $P = 552$  mm/r oraz  $SQ/P = 23\%$ .

W obrębie zlewni ustanowione zostały obszary prawnie chronione w postaci parków krajobrazowych, rezerwatów przyrody i obszarów Natura 2000 z ekosystemami mokradel dolinnych, bezpośrednio zależnych od stanu retencji i zasilania wód podziemnych.

Dobra więź hydrauliczna pierwszego poziomu wód podziemnych z wodami powierzchniowymi wpływa na silną zależność przepływów rzecznych od zasilania podziemnego. Odpływ podziemny do rzek w zlewni Wkry po wodowskaz Ciekryn w latach 1951-1965 wynosił średnio jedynie  $QG = 53$  mm/rok, co stanowi 79% odpływu podziemnego  $QG = 67$  mm/rok średniego z 30-letniego okresu 1951-1980. Natomiast w posuszonym pięcioleciu 1951-1955, przy opadzie średnim  $P = 450$  mm/r, odpływ całkowity wyniósł 84 mm/rok, zaś odpływ podziemny  $QG = 47$  mm/rok (70% wartości wieloletniej). W skrajnie posusznych latach (np. 1952, 1954, 1984, 1993) dochodziło do naturalnego zaniku przepływu w górnych odcinkach dopływów Wkry: Raciążnicy, Płonki, Nasiennej, Naruszewki i Sony. W badaniach modelowych, będących podstawą ustalenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych, uwzględniono infiltrację efektywną opadów tworzącą zasoby odnawialne wód podziemnych o średniej wartości  $IE = 60,5$  mm/r.

W obrębie zlewni Wkry do zaopatrzenia ludności i przemysłu spożywczego w wodę wykorzystywane są prawie wyłącznie wody podziemne czwartorzędowego piętra wodonośnego, wykształconego głównie w postaci trzech poziomów użytkowych: poziomu przypowierzchniowego (górnego), który tworzą aluwialne utwory piaszczyste w dolinach rzecznych oraz fragmentarycznie również piaszczyste osady wysoczyznowe oraz dwu poziomów międzyglinowych, odizolowanych pakietem słabo przepuszczalnych glin zwałowych lub osadów zastoiskowych – iłów i mułków. Występują tu również dość liczne obszary pozbawione poziomów wodonośnych, szczególnie w rejonach wypiętrzenia iłów neogeńskich. Dotyczy to zwłaszcza zlewni Raciążnicy, Płonki, Sony i Nasiennej oraz Strugi.

Sumaryczna w obszarze ustalania zasobów wielkość średniego poboru wód podziemnych dopuszczalnego pozwoleniami wodnoprawnymi wynosi  $\sim 130,0$  tys. m<sup>3</sup>/d. Rejestrowany na potrzeby opłat w 2008 r. łączny pobór

wynosił  $\sim 79,8$  tys.  $m^3/\text{dobę}$ . Dostawą wody z wodociągów jest objęte od 26% do 97% (najczęściej 70-90%) ludności gmin. Wielkość poboru wody na potrzeby socjalno-bytowe mieszkańców w tym obszarze określono w dokumentacji na podstawie danych GUS z 2008 r. w ilości  $\sim 45,6$  tys.  $m^3/\text{dobę}$ . Natomiast stopień kanalizacji, poza gminami miejskimi, jest niski:  $\sim 30\%$  gmin nie jest skanalizowanych.

Główne problemy gospodarki wodnej, wymagające wydzielenia rejonów wodnogospodarczych i określenia dla nich funkcji, jakie mają spełniać w obszarze bilansowym zlewni Wkry, koncentrują się na:

- utworzeniu zaplecza zasobowego dla lokalnych ośrodków miejsko-przemysłowych o takim zasięgu przestrzennym i powiązaniu z wodami powierzchniowymi, które umożliwiają przeprowadzenie jednolitych bilansów wodnogospodarczych dla identyfikacji stanu rezerw i deficytów zasobów wód podziemnych oraz dla optymalizacji ich zagospodarowania z uwzględnieniem potrzeb ekosystemów zależnych od wód podziemnych;
- ilościowej ochronie zasobów wód podziemnych i racjonalnym wykorzystaniu wód z ujęć głębinowych w zlewniach rzek – dopływów Wkry, w warunkach głębokich naturalnych niżówek przepływu oraz zagrożenia spadkiem przepływów poniżej wartości przepływów nienaruszalnych w sytuacji niekontrolowanego wzrostu poboru wód podziemnych;
- wskazaniu obszarów wykazujących deficyt lub zagrożenie deficytem zasobów, wymagających wprowadzenia ograniczeń w wykorzystaniu zasobów wód podziemnych oraz obszarów posiadających znaczne rezerwy zasobów dyspozycyjnych i wykazujących korzystne warunki hydrogeologiczne do koncentracji i intensyfikacji poboru wód podziemnych, bez zagrożenia dla ekosystemów od nich zależnych.

Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych dla obszaru bilansowego Z-16 (zlewnia Wkry) wraz z fragmentem zlewni bezpośredniej Wisły i Bugu ustalone zostały w wysokości  $\sim 272,2$  tys.  $m^3/\text{dobę}$  (tab. 6.2-1). Zostały one określone w trybie prognozy modelowej poprzez maksymalizację poborów przy zachowaniu przyjętych kryteriów ograniczających: maksymalnego dopuszczalnego obniżenia zwierciadła wody (w użytkowych poziomach wodonośnych – ze względu na istniejące ujęcia wód podziemnych oraz w poziomie przypowierzchniowym – ze względu na wymogi obszarów ochronnych uzależnionych od położenia zwierciadła wód podziemnych), dopuszczalnej modyfikacji struktury bilansu i zachowania przepływów nienaruszalnych w rzekach. Średni w zlewni Wkry odpływ podziemny wyznaczony z 10-ciu przekrojów wodowskazowych, gwarantujący utrzymanie w nich przepływów nienaruszalnych, wynosi  $QG = 20$  mm/r.



Tab. 6.2-1. Zasoby odnawialne i dyspozycyjne oraz bilans wodnospodarczy wód podziemnych obszaru bilansowego Z-16: zlewnia Wkry z fragmentem zlewni bezpośredniej Wisty [Kapuściński i in., 2010]

Obszar bilansowy i wydzielony rejon wodnospodarczy	Pow. [km <sup>2</sup> ]	Zasilanie – zasoby odnawialne [m <sup>3</sup> /d]	Aktualny pobór wód z ujęć podziem. [m <sup>3</sup> /d]	Pobór ujęć zgodny z pozw. wodnoprawn. [m <sup>3</sup> /d]	Zasoby dyspozycyjne [m <sup>3</sup> /d]	Bilans zasobów dyspozycyjnych i poboru	
						– rzeczywistego [m <sup>3</sup> /d]	– z pozwoleń wodnoprawn. [m <sup>3</sup> /d]
obszar bilansowy Z-16	5 640,0	934 888	79 815,0	130 024,6	272 225	192 409	142 200
1 – Nidzica	402,8	94 918	2 605,4	7 334,1	26 534	23 929	19 200
2 – Działdowo	480,1	81 946	5 760,2	10 445,0	20 645	14 885	10 200
3a – Mławka górna	374,0	72 045	13 263,0	20 072,0	23 072	9 809	3 000
3b – Mławka dolna	298,8	55 402	1 561,4	2 205,5	16 605	15 044	14 400
4 – Żuromin	297,0	56 195	3 792,2	4 540,8	16 541	12 749	12 000
5 – Ciechanów	587,2	85 163	13 941,9	25 377,0	30 177	16 235	4 800
6 – Sońsk	306,1	16 846	1 926,4	3 941,9	3 942	2 016	0
7 – Raciąż	594,3	69 984	12 471,0	13 427,0	14 627	2 156	1 200
8 – Płońsk	402,1	58 811	6 788,2	13 881,0	17 481	10 693	3 600
9 – Głinojeck	677,3	169 450	4 247,8	7 328,6	51 729	47 481	44 400
10 – Nowe Miasto	405,9	65 117	2 103,6	4 864,7	20 465	18 361	15 600
11 – Nasielsk	503,7	66 764	5 742,5	8 181,7	17 782	12 040	9 600
12 – Wisła - zl, bezp.	310,7	42 247	5 612,3	8 425,3	12 625	7 013	4 200

rejony o niskich rezerwach zasobów dyspozycyjnych

rejon o braku rezerw zasobów dyspozycyjnych

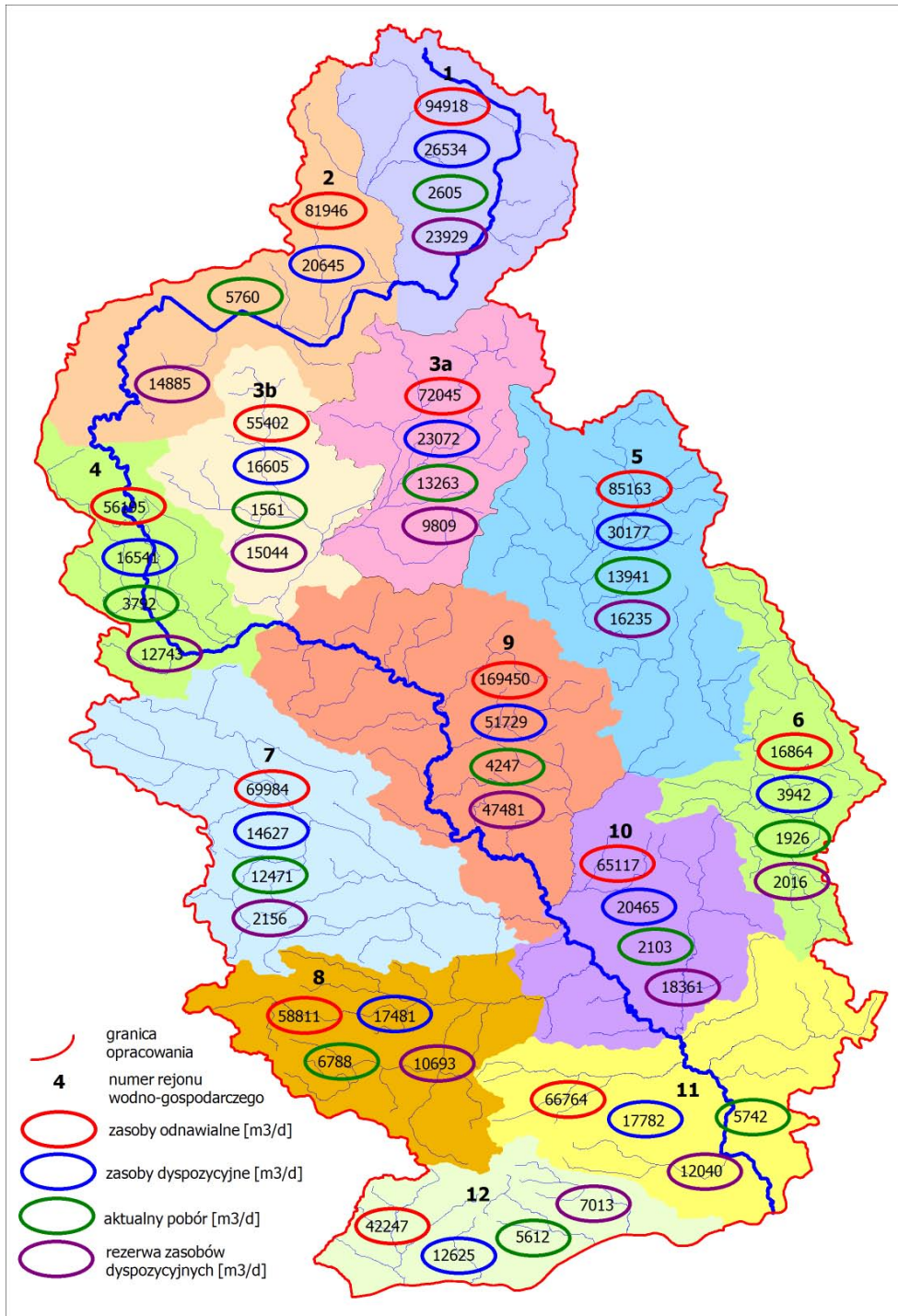
Zasoby odnawialne i dyspozycyjne obszaru bilansowego Z-16 wraz z przyległym fragmentem zlewni bezpośredniej Wisły i Narwi określone zostały dla wydzielonych 13 rejonów wodnogospodarczych, których granice poprowadzono z uwzględnieniem zasięgu zlewni i lokalizacji głównych ośrodków poboru wód podziemnych (rys. 6.2-3). Bilans wodnogospodarczy zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych (tab. 6.2-1) dla stanu poboru rzeczywistego w 2008 r. i poboru dopuszczalnego wydanymi pozwoleniami wodnoprawnymi wykazał znaczne zróżnicowanie w stopniu zagospodarowania zasobów, upoważniające do sformułowania konkretnych wskazań do warunków korzystania z wód zlewni.

W jednym rejonie wodnogospodarczym (nr 6 – Sońsk) stwierdzony został brak rezerw zasobowych na udzielanie nowych pozwoleń na pobór wód podziemnych, zaś rezerwa zasobowa, istniejąca w stosunku do poboru rzeczywistego, wskazuje na konieczność dokonania przeglądu wydanych pozwoleń wodnoprawnych, wprowadzenia oszczędności w zużyciu wody i obniżenia dopuszczalnego poboru do wysokości wykazanej racjonalnie uzasadnionymi potrzebami.

Podobne działania powinny być przeprowadzone w odniesieniu do dalszych 5-ciu rejonów wodnogospodarczych (nr 3a, 5, 7, 8 i 12) ze względu na istniejące w nich potrzeby wodne, które są ograniczane wysokim stopniem rozdysponowania zasobów dyspozycyjnych wydanymi pozwoleniami wodnoprawnymi na pobór wód, przy jednocześnie niepełnym ich wykorzystaniu rzeczywistym poborem wód (wynoszącym 48-67%, tylko w nr 7 – Raciążu sięgającym 93%).

Uporządkowanie gospodarki wodnej we wskazanych rejonach jest konieczne ze względu na wykazaną badaniami hydrologicznymi istotną zmienność odpływu podziemnego w cyklach 15-letnich i 5-letnich, i co za tym idzie – spadek odnawialności zasobów wód podziemnych systemu wodonośnego zlewni Wkry w długotrwałych okresach posusznych, wymagający uwzględniania w planowaniu gospodarki wodnej.

W wyniku przeprowadzonego bilansu wskazano również na znaczne rezerwy zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w odniesieniu do wydanych pozwoleń wodnoprawnych w 7 wydzielonych rejonach wodnogospodarczych, wynoszące po 10-20 tys. m<sup>3</sup>/dobę do 44 tys. m<sup>3</sup>/dobę w rejonie nr 9.



Rys. 6.2-3. Zasoby wód podziemnych obszaru bilansowego Z-16 (zlewnia Wkry wraz z fragmentami przyległych obszarów) z podziałem na rejonów wodnogospodarcze

## **6.3. Dane wejściowe niezbędne do oceny zasobów**

### **6.3.1. Dokładność, reprezentatywność, wiarygodność, istotność i waga danych**

Najważniejsze pojęcia charakteryzujące dane wejściowe używane w procedurze oceny zasobów dyspozycyjnych to: wiarygodność, dokładność, reprezentatywność i istotność (waga). Oznaczają one zupełnie różne cechy danych i nie powinny być mylone.

Dokładność danych charakteryzuje metodologię i technikę ich pozyskiwania. Istotą dokładności jest „mierzalność” samego procesu lub zjawiska zachodzącego w przyrodzie oraz stan przyrządów pomiarowych (np. dokładność wyskalowania taśmy mierniczej wykorzystywanej do pomiarów położenia zwierciadła wód podziemnych, dokładność aparatu GPS umożliwiającego lokalizację w terenie, dokładność wyskalowania młynka hydrometrycznego do pomiaru przepływu w cieku itp.).

Reprezentatywność danych jest cechą charakteryzującą wybrany zbiór danych opisujący konkretny parametr czy funkcję. Nawet najdokładniejsze i najbardziej wiarygodne dane mogą być niereprezentatywne dla konkretnego obszaru lub czasu prowadzenia badań. Przykładem może być dokładnie wykonany pomiar przepływu w rzece, który jednak rejestruje ekstremalne stany wód, np. w okresie powodziowym.

Największą dokładność mają często dane mierzone przy użyciu prostych przyrządów: położenie zwierciadła wody, pobór wód czy wielkość opadu, ale najczęściej wyniki tych pomiarów nie są reprezentatywne dla obszaru badań lub czasu ich prowadzenia. Położenie zwierciadła wody może być związane z aktualnymi warunkami klimatycznymi, chwilowym reżimem pracy ujęcia lub współdziałaniem z innymi ujęciami. W pracującej studni rzędna zwierciadła wody na pewno nie jest reprezentatywna dla fragmentu obszaru (np. bloku obliczeniowego modelu), a położenie zwierciadła wody z okresu budowy ujęcia najczęściej nie jest reprezentatywne dla okresu wykonywania dokumentacji. Dodatkowo parametry filtracyjne wyinterpretowane dla studni najczęściej nie są reprezentatywne dla szerszego otoczenia (lokalizację studni wybiera się w miejscu o potencjalnie najlepszych parametrach filtracyjnych). Tak więc z tego, że dane charakteryzują się dobrą dokładnością wcale nie wynika, że są reprezentatywne dla pewnego obszaru lub że dobrze reprezentują zmiany w czasie.

Wiarygodność danych charakteryzuje sposób ich pozyskania lub przetworzenia. Znacznie większą wiarygodność będą miały dane, które jesteśmy w stanie zweryfikować lub dla których istnieją i są stosowane standardowe procedury ich pozyskiwania lub określania, niż dane pozbawione możliwości zastosowania takich procedur.

Istotność (poziom istotności) danych, w odniesieniu do budowy modeli hydrogeologicznych i matematycznych, nabiera nieco innego znaczenia, niż nadaje się mu w badaniach statystycznych. Istotne dla hydrogeologa mogą być nawet informacje o niskiej wiarygodności i dokładności, ale pochodzące z obszaru o słabym rozpoznaniu. Na przykład bardzo istotne okazać się mogą dane uzyskane od właściciela studni kopanej zlokalizowanej z dala od innych ujęć, które pozwolą zbudować koncepcję rozprzestrzenienia przypowierzchniowego poziomu wodonośnego. Innym przykładem mogą być dane o podziemnych magazynach produktów ropopochodnych, które wykorzystywane były w nieodległej przeszłości, ale nie posiadają stosownej dokumentacji. Jeśli dane takie uzyskamy od okolicznych mieszkańców, to będą one mało dokładne, niekoniecznie wystarczająco wiarygodne, ale bardzo istotne, ponieważ umożliwią zaprojektowanie stosownych prac umożliwiających rozpoznanie ewentualnych zanieczyszczeń ropopochodnych. Problem istotności danych pozyskiwanych w terenie ma również swój aspekt ekonomiczny. Nie ma potrzeby zdobywania danych wymagających poświęcenia dużej ilości czasu lub poniesienia znacznych kosztów, jeśli są one mało istotne dla procedury ustalania zasobów dyspozycyjnych.

Waga (czułość) danych modelu matematycznego (parametrów filtracyjnych, zasilania, miąższości warstw, ale również zdefiniowania warunków brzegowych). Jest to pojęcie mające bardzo istotne znaczenie w procesie tarowania (kalibracji) modelu matematycznego. Odzwierciedla ono, w jakim stopniu zmiana danych w modelu matematycznym ma wpływ na wynik końcowy (położenie zwierciadła wody i bilans przepływu wód). Przykładowo: zmiana współczynnika filtracji czy miąższości może pozostać bez znaczącego wpływu na globalny wynik, gdy takie same procentowo zmiany innego parametru (np. oporności filtracyjnej pomiędzy warstwami) czy zmiana położenia warunków brzegowych I rodzaju mogą wykazywać istotny wpływ na obliczone położenie zwierciadła wody i składniki bilansowe w obrębie modelu.

Najczęściej nie jest możliwa precyzyjna, liczbowa ocena scharakteryzowanych powyżej pojęć. Dla wielu rodzajów danych wejściowych jest to bardziej ocena jakościowa niż ilościowa. Dlatego tak ważna jest umiejętność właściwego rozpoznania rangi problemów charakteryzujących obszar badań, dla którego ustala się zasoby dyspozycyjne. Wiąże się to z koniecznością jasnego zdefiniowania głównych problemów badawczych zlewni czy obszaru



bilansowego, i to już na etapie projektu prac (robót) geologicznych. Jeśli takiej gradacji problemów się nie dokona, wówczas ustalone zasoby trudno będzie uznać za wiarygodne, w pełni przydatne do jednolitego bilansu wodnogospodarczego.

### **6.3.2. Dane hydrogeologiczne**

Dane hydrogeologiczne, niezbędne do przestrzennego rozpoznania systemu wodonośnego, w obrębie którego ustala się zasoby dyspozycyjne, to:

- parametry hydrogeologiczne warstw (poziomów) wodonośnych ( $k, m, T$ ),
- zasięg występowania warstw, rozkład ich miąższości,
- parametry hydrogeologiczne utworów słabo przepuszczalnych ( $k', m'$ ),
- kierunki i natężenia przepływów (hydroizohipsy),
- natężenie zasilania efektywnego systemu wodonośnego.

Wszystkie te dane muszą zostać przedstawione w układzie przestrzennym i zobrazowane na odpowiednich mapach. Podstawą tworzenia map są dane punktowe pozyskiwane z informacji wiertniczych. Są one od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku gromadzone w banku HYDRO, który stanowi bazę danych hydrogeologicznych o następujących obiektach: studniach, źródłach wód zwykłych, mineralnych i termalnych oraz punktach obserwacyjnych. Zakres gromadzonych w banku informacji obejmuje:

- lokalizację obiektu hydrogeologicznego (odwiertu, źródła),
- dane hydrogeologiczne: pomiarowe (np. poziom zwierciadła wody) i obliczeniowe (np. współczynnik filtracji),
- podstawowe dane o konstrukcji otworu,
- dane litostratygraficzne (profil geologiczny),
- dane o stanie fizycznym i chemizmie wód podziemnych (wyniki analiz laboratoryjnych),
- dane o stanie technicznym ujęcia, stanie własności, zasobach eksploatacyjnych.

Bank HYDRO jest ciągle aktualizowany dzięki wprowadzaniu danych z kolejnych wykonywanych wierceń. Aktualizacja w niewielkim tylko stopniu

dotyczy jednak obiektów już umieszczonych w bazie, tj. nie prowadzi się korekt parametrów dynamicznych, np. stanu własności ujęć czy wielkości zasobów. Obecnie bank HYDRO zawiera niemal 140 tys. obiektów hydrogeologicznych. Dzięki dużej możliwości współpracy z systemami GIS stanowi on dziś nowoczesne i wygodne w użyciu narzędzie wspomagające prace hydrogeologa. Należy jednak mieć na uwadze, że niektóre otwory umieszczone w bazie, zwłaszcza pochodzące z początkowego okresu jej funkcjonowania, mogą mieć nieprecyzyjnie określone współrzędne lub rzędne wysokościowe. Nie można więc danych z banku HYDRO przyjmować bezkrytycznie – wymagana jest weryfikacja lokalizacji otworów w oparciu o inne źródła lub o wizje terenowe.

Wiarygodność danych zgromadzonych w banku HYDRO jest różna dla poszczególnych kategorii danych. Te z nich, które dotyczą poziomu wodonośnego ujętego daną studnią (jest to z reguły główny użytkowy poziom wodonośny) mogą być uważane za wiarygodne, ponieważ pochodzą z badań hydrogeologicznych przeprowadzonych po odwierceni i zafiltrowaniu otworu. Natomiast dane dotyczące parametrów utworów nadległych, zwłaszcza słabo przepuszczalnych, charakteryzują się mniejszą wiarygodnością, ponieważ pochodzą wyłącznie z makroskopowego opisu litologiczno-stratygraficznego tych utworów. Innym zagadnieniem jest reprezentatywność danych zgromadzonych w banku HYDRO, ale to nie zależy już od samej bazy, tylko od cech systemu wodonośnego, w którym dany punkt jest zlokalizowany.

Oprócz danych punktowych z otworów wiertniczych do konstrukcji modelu hydrogeologicznego i matematycznego wykorzystuje się także dane liniowe z ciągów geofizycznych oraz dane obszarowe z już wykonanych map geologicznych lub hydrogeologicznych (np. MhP, SmgP). Wszystkie te materiały zgromadzone są w postaci cyfrowej w Narodowym Archiwum Geologicznym (NAG) prowadzonym przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy. Na stronie [www.pgi.gov.pl](http://www.pgi.gov.pl) znajdują się linki do przeglądarki NAG umożliwiające łatwe wyszukanie potrzebnych materiałów.

Przygotowanie map wejściowych do modelu matematycznego (pkt. 1-5 powyżej) wykonywane jest z reguły w sposób częściowo zautomatyzowany. Wykorzystuje się do tego procedury i programy interpolacyjne. Należy zwrócić uwagę na pewne niebezpieczeństwa z tym związane. Wynikają one z faktu, że programy realizujące te procedury jako dane wejściowe traktować mogą tylko punkty zadane przez użytkownika. Nie „widzą” one istotnych elementów geologicznych i hydrogeologicznych, które, nie mając swojej reprezentacji w programie, wpływają jednak na rozkład parametrów, np. linie drenaży (rzeki), które kształtują hydroizohipsy, czy nieciągłości tektoniczne

zmieniające rozkład przewodność wodnej. Nie można więc automatycznej interpolacji między punktami (otworami wiertniczymi) uważać za właściwy sposób przygotowania map wejściowych do modelowania. Jeśli używane są do tego procedury interpolacyjne, to wynik ich działania zawsze wymaga korekty dokonywanej przez doświadczonego hydrogeologa, w której uwzględnia się wiedzę o warunkach krążenia wód podziemnych w analizowanym rejonie. Korekty te mogą być niekiedy na tyle znaczące, że pod znakiem zapytania postawić mogą celowość automatyzacji przygotowywania niektórych map, np. mapy hydroizohips.

Innym bardzo istotnym elementem jest nierównomierny rozkład danych na całym obszarze; są fragmenty obszaru o bardzo dobrym rozpoznaniu i fragmenty, gdzie to rozpoznanie jest słabe lub wręcz go brakuje. Procedury automatyczne mogą wygenerować wówczas obraz dosyć skomplikowany w obszarach o dużej liczbie punktów i bardzo prosty w obszarach o małej liczbie punktów lub też stworzyć „matematyczną”, bo opartą tylko o aproksymację, zmienność parametru. Stosując procedury automatycznego tworzenia izolinii, należy zwrócić uwagę na dobór funkcji aproksymacyjnej i jej parametry – są to wartości, które można i należy każdorazowo ustawić w programie.

### **6.3.3. Dane hydrologiczne**

#### Stany i przepływy wód

Dane o stanach i przepływach dostępne są w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), który od lat 40-tych ubiegłego wieku prowadzi obserwacje we własnej sieci kontrolno-pomiarowej. Sieć ta wielokrotnie podlegała modernizacji, powstawały nowe posterunki i likwidowano stare. Stwarza to nierzadko znaczne trudności w doborze odpowiedniego wielolecia bilansowego, które umożliwiłoby wykorzystanie wszystkich punktów pomiarowych w danym obszarze bilansowym. Wielolecie rekomendowanym do ustalenia zasobów odnawialnych jest okres 1981-2010, który może zostać zmieniony w przypadku napotkania tego typu trudności. Do roku 1983 stany i przepływy wód publikowane były systematycznie w opracowaniach zatytułowanych *Roczniki hydrologiczne wód powierzchniowych*. Późniejsze dane są przez IMGW udostępniane na zasadzie komercyjnej.

Należy pamiętać, że dokładność obliczania przepływów ma swoje ograniczenia, ponieważ z reguły wartością bezpośrednio mierzoną nie jest natężenie przepływu, lecz stany wód. Na podstawie stanów uzyskuje się wielkość przepływu, wykorzystując krzywą konsumcyjną, obrazującą zależność przepływu w danym przekroju wodowskazowym od stanów wody w rzece.



Problem ten jest szczególnie istotny w przypadku mniejszych cieków o nie-  
zbyt dużym przepływie. Z punktu widzenia wprowadzanych ograniczeń  
(np. zachowania przepływu nienaruszalnego) dokładność i wiarygodność  
danych o przepływie ma bardzo duże znaczenie. Równie istotne, a wręcz  
kluczowe znaczenie ma ocena dopływu podziemnego do koryta cieków.  
Tutaj sytuacja jest o wiele bardziej skomplikowana, niż w przypadku prze-  
pływu w cieków. Ponieważ nie ma bezpośrednich metod pomiaru dopływu  
podziemnego do cieków, jest on szacowany różnymi metodami, z których  
większość opiera się na analizie hydrogramów, czyli de facto przepływów  
w konkretnym przekroju. Jak widać, oszacowanie podziemnego dopływu do  
cieków może być obciążone większym błędem, niż przepływ obliczony w tym  
samym przekroju.

Ważnym elementem jest także użytkowanie wód powierzchniowych, tj. in-  
formacje o lokalizacji ujęć oraz wielkości poborów. Nie są to z reguły infor-  
macje wprost użyteczne w konstrukcji i tarowaniu modelu matematycznego.  
Mają jednak swoje zastosowanie w metodyce wykorzystania ciągu przepływów  
rzecznych do obliczenia zasobów odnawialnych (patrz rozdz. 5.3) i dlatego  
powinny być pozyskiwane. Obecnie nie ma jednolitej bazy danych, w których  
informacje o ujęciach wód powierzchniowych byłyby gromadzone (wzorem  
np. banku HYDRO czy bazy POBORY). Można ich poszukiwać w Regional-  
nych Zarządach Gospodarki Wodnej, choć część z nich, dysponując wiedzą  
o wielkości poboru i użytkowniku ujęcia, nie ma danych o jego precyzyjnej  
lokalizacji. Duże ujęcia, zwłaszcza wykorzystywane do celów przemysłowych  
(np. cukrownie, elektrownie), łatwo zidentyfikować w terenie, natomiast część  
małych ujęć, np. wykorzystywanych sezonowo do nawodnień rolniczych, po-  
zostanie niezidentyfikowana.

### Przepływy nienaruszalne

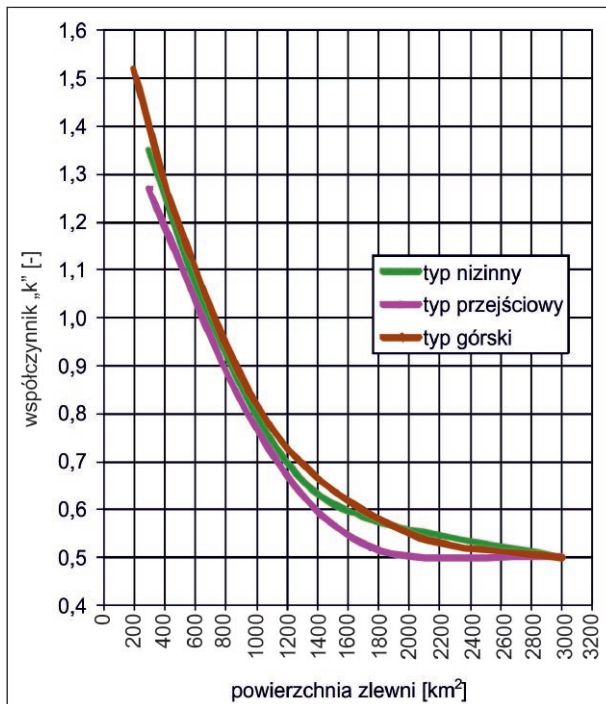
Zaleca się, aby do czasu formalnego unormowania problemu określania  
wielkości przepływu nienaruszalnego  $Q_{nh}$  [Witczak, Żurek 2008; Tyszewski  
i in., 2008], w celu ujednoczenia obliczeń prowadzonych dla rzek w obsza-  
rach działalności różnych RZWG, był on wyznaczany zgodnie z metodyką  
Kostrzewy [1977] w oparciu o przepływ  $SNQ_R$ , typ rzeki i powierzchnię zlewni  
zamkniętej przekrojem bilansowym (tab. 6.3-1):

$$Q_{nh} = k \cdot SNQ_R \quad (6.3-1)$$

gdzie:  $k$  – parametr zależny od powierzchni zlewni oraz typu hydrologiczne-  
go rzeki. Parametr ten podany jest jako wartość średnia dla przedzia-  
łu powierzchni zlewni, jednakże zalecane jest stosowanie wartości  
interpolowanych (rys. 6.3-1).

Tab. 6.3-1. Uśrednione wartości współczynnika  $k$  do wzoru (7.2-1) wg Kostrzewy [1977]

Typ hydrologiczny rzeki	Prędkość miarodajna $V_m$ [m/s]	Spływ jednostkowy $q = SSQ/A$ [ $l/(s \cdot km^2)$ ]	Powierzchnia zlewni $A$ [ $km^2$ ]	Współczynnik $k$ [-]
nizinny	0,20	$q < 4,15$	< 1 000	1,00
			1 000–2 500	0,58
			> 2 500	0,50
przejściowy i podgórski	0,25	$4,15 \leq q \leq 13,15$	< 500	1,27
			500–1 499	0,77
			1 500–2 500	0,52
			> 2 500	0,50
górski	0,30	$q > 13,15$	< 300	1,52
			300–749	1,17
			750–1 499	0,76
			1 500–2 500	0,55
			> 2 500	0,50

Rys. 6.3-1. Zależność współczynnika  $k$  od powierzchni zlewni typu nizinnego, przejściowego (wyżynnego i podgórskiego) oraz górskiego

Zwraca się uwagę na fakt, że w jednostkach bilansowych obejmujących zlewnie rzek o relatywnie wyrównanym w okresie wielolecia odpływie niskim miesięcznym  $NQ_M$  i wyrównanym odpływie niskim rocznym  $NQ_R$  oraz o małej powierzchni ( $A < 500 \text{ km}^2$  dla rzek o typie przejściowym, zaś  $A < 300 \text{ km}^2$  dla rzek górskich) przepływ nienaruszalny  $Q_{nh}$ , wyznaczony metodą Kostrzewy [1977] w oparciu o statystykę przepływów niskich w wieloleciu  $SNQ_R$ , może być niemal równy  $SNQ_M$  utożsamianym z odpływem podziemnym  $QG$  do rzek. W konsekwencji powoduje to, że zasoby dyspozycyjne wód podziemnych – wyznaczone z warunkiem zapewnienia przepływu nienaruszalnego wyłącznie z zasilania podziemnego rzek – są bardzo niskie, przy jednocześnie wysokiej odnawialności wód podziemnych [Witczak, Żurek, 2008]. Stwarza to paradoksalną sytuację formalnego wymogu zastosowania drastycznych ograniczeń dla stopnia zagospodarowania wód podziemnych w zasobnej jednostce bilansowej.

Z tego względu, do czasu opracowania i wdrożenia do powszechnego stosowania metodyki ustalania wartości  $Q_{nh}$  proponuje się, aby zamiast stosowania średniej wieloletniej wartości przepływu niskiego rocznego  $SNQ_R$ , we wzorze (6.3-1) była uwzględniana wartość  $SNQ_{R5}$ , będąca średnią z 5-lecia o najniższej średniej wartości z przepływów niskich rocznych  $NQ_R$ , stwierdzonej w wieloleciu hydrologicznie reprezentatywnym (1981-2010).

Zasoby wodne w statycznym bilansie wodnogospodarczym wód powierzchniowych charakteryzowane są wartościami przepływu o gwarancji  $gw = p\%$  występowania wraz z wyższymi dla  $p = 90\%$  i  $p = 95\%$  ( $Q_{gw90\%}$ ,  $Q_{gw95\%}$ ) oraz przepływami charakterystycznymi  $SSQ$ ,  $SWQ$  i  $SNQ$  w przekroju bilansowym rzeki. W przypadkach, gdy dostępne są dane hydrologiczne w postaci ciągów przepływów dobowych lub dekadowych, należy wykorzystać je do obliczenia charakterystyk  $SSQ$ ,  $SNQ$ ,  $SWQ$  i  $Q_{gw\%}$ . Przepływ  $SSQ$  wyznaczony dla wielolecia 1981-2010 odwzorowuje wszystkie użytkowania jakie występowały w tym okresie. Przyjęto, że struktura tych użytkowań nie ulega istotnym zmianom. W takiej sytuacji użytkowania te nie są uwzględniane w modelu bilansowym. W zlewniach, w których nastąpiły istotne zmiany użytkowania wód w okresie 1981-2010, należy metodami eksperckimi dokonać korekty przepływów charakterystycznych rzeki. Takie podejście zakłada opracowanie hydrologii „pseudo-naturalnej” dla wielolecia 1981-2010 i uwzględnienie – w modelu bilansu wodnogospodarczego wód powierzchniowych – wszystkich użytkowników wód, bez względu na czas ich pojawienia się w zlewni [Tyszewski i in., 2008].

Zgodnie z ustaleniami dokonanymi w opracowaniu [Michalczewski (red.), 1980] oraz przy założeniu, że istnieją statystyczne zależności regionalne pomiędzy przepływem średnim niskim  $SNQ$  i przepływem średnim  $SSQ$ :

$$SNQ = W_{SNQ} \cdot SSQ \quad (6.3-2)$$

przyjmuje się następujące zależności regionalne pomiędzy przepływami o określonej gwarancji występowania ( $Q_{gw,p\%}$ ) i przepływem  $SNQ$  a przepływem średnim  $SSQ$ :

$$Q_{gw,p\%} = W_{p\%} \cdot SSQ \quad (6.3-3)$$

Wartości współczynników  $W_{SNQ}$ ,  $W_{90\%}$  oraz  $W_{95\%}$  dla poszczególnych regionów wodnych zestawiono w tabeli 6.3-2. Umożliwiają one oszacowania wielkości przepływu o gwarancji występowania  $g = 90\%$  i  $g = 95\%$  oraz średniego niskiego  $SNQ$  w sytuacji braku odpowiednich hydrologicznych danych pomiarowych [Tyszewski i in., 2008].

**Tab. 6.3-2. Wartości współczynników  $W_{SNQ}$ ,  $W_{90\%}$ ,  $W_{95\%}$  dla obszarów działalności regionalnych zarządów gospodarki wodnej [za: Tyszewski i in., 2008]**

Regiony wodne administrowane przez RZGW	Charakter rzek (F – powierzchnia zlewni, km <sup>2</sup> )	$W_{95\%}$	$W_{90\%}$	$W_{SNQ}$
Gdańsk	nizinne	0,455	0,508	0,431
	przejęciowe	0,536	0,608	0,494
Katowice	nizinne	0,336	0,387	0,315
	przejęciowe F < 1000	0,434	0,491	0,433
	przejęciowe F > 1000	0,343	0,386	0,340
	górskie	0,141	0,178	0,115
Kraków	nizinne	0,258	0,302	0,232
	przejęciowe F < 1000	0,205	0,243	0,200
	przejęciowe 1000 < F < 5000	0,251	0,290	0,258
	przejęciowe F > 5000	0,259	0,300	0,244
	górskie F < 1000	0,135	0,175	0,126
	górskie 1000 < F < 5000	0,175	0,219	0,166
	górskie F > 5000	0,284	0,331	0,261
Poznań	nizinne F < 2000	0,133	0,199	0,171
	nizinne 2000 < F < 5000	0,226	0,285	0,262
	nizinne F > 5000	0,382	0,431	0,390
	przejęciowe F < 2000	0,294	0,351	0,298
	przejęciowe F > 2000	0,459	0,532	0,445

Szczecin	nizinne	0,286	0,367	0,340
	przejściowe $F < 1000$	0,504	0,555	0,501
	przejściowe $F > 1000$	0,555	0,608	0,524
Warszawa	nizinne $F < 2000$	0,203	0,259	0,207
	nizinne $F > 2000$	0,282	0,324	0,292
	przejściowe $F < 2000$	0,279	0,338	0,270
	przejściowe $2000 < F < 10000$	0,350	0,395	0,355
	przejściowe $F > 10000$	0,327	0,371	0,320
Wrocław	nizinne $F < 2000$	0,229	0,287	0,239
	nizinne $F > 2000$	0,317	0,415	0,355
	przejściowe $F < 2000$	0,233	0,294	0,226
	przejściowe $F > 2000$	0,269	0,328	0,256
	górskie	0,228	0,303	0,220

### 6.3.4. Dane środowiskowe

#### Dane o zagospodarowaniu przestrzennym

Dane dotyczące sposobu zagospodarowania terenu stanowią materiał służący przede wszystkim do uszczegółowienia map zasilania infiltracyjnego, zarówno w trakcie ich przygotowywania, jak i w procesie kalibracji modelu. Po wytarowaniu modelu matematycznego możliwa jest ocena, czy zaproponowane w planach obszary potencjalnej lokalizacji ujęć są rzeczywiście optymalne z przyrodniczego punktu widzenia (warunki zasilania, ograniczenia środowiskowe) oraz czy uwzględniają ograniczenia wynikające z zagospodarowania terenu.

Obszar dokumentacji zasobów dyspozycyjnych obejmuje z reguły znaczną powierzchnię, nie ma więc możliwości ani potrzeby szczegółowego analizowania planów miejscowych zagospodarowania przestrzennego, ani studiowania uwarunkowań na poziomie gmin. Wystarczająco dokładne są dane zgromadzone w aktualnych wojewódzkich planach zagospodarowania przestrzennego, które znajdują się najczęściej na stronach internetowych urzędów marszałkowskich.

Z punktu widzenia oceny zasobów wód podziemnych istotne są następujące aspekty zagospodarowania przestrzennego:

- występowanie obszarów zwartej zabudowy, gdzie ścieki deszczowe z powierzchni zabudowanej odprowadzane są do rowów meliora-

cyjnych i do cieków, a w konsekwencji zmniejszona jest infiltracja efektywna, natomiast zwiększeniu ulegają przepływy w rowach i ciekach;

- istniejąca i planowana infrastruktura drogowa o charakterze ponad regionalnym (autostrady, parkingi itp.) jako istniejące lub planowane miejsca zrzutu wód opadowych z jezdni, ale również parkingi, jako miejsca koncentracji potencjalnych ognisk zanieczyszczeń (stacje paliw, parkingi, restauracje, motele itp.);
- duże zwarte tereny wykorzystywane na cele rekreacyjne (najczęściej studnie o niewielkiej wydajności i sezonowym poborze, gdzie większość pobranej wody jest wykorzystywana do podlewania i nawadniania małych obszarowo upraw, a „zagospodarowanie” ścieków odbywa się na miejscu);
- planowane zmiany granic obszarów chronionych;
- obszary kompleksów leśnych;
- obszary wskazane w planach zagospodarowania jako potencjalne tereny lokalizacji dużych ujęć.

#### Dane o obiektach chronionych

Dane o obiektach chronionych są niezbędne do właściwego przeprowadzenia procedury oceny zasobów dyspozycyjnych. Wymogi ochronne obiektów, zwłaszcza tych z nich, które uzależnione są od stanów wód podziemnych, są brane pod uwagę jako jedno z kryteriów dostępności zasobów (patrz rozdz. 6.5.5).

Ochrona przyrody w Polsce regulowana jest przepisami ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 roku *o ochronie przyrody* (Dz. U. z 2004 r., Nr 92, poz. 880). W rozumieniu ustawy ochrona przyrody polega na zachowaniu, zrównoważonym użytkowaniu oraz odnawianiu zasobów, tworów i składników przyrody.

Wyżej wymieniona ustawa wprowadza następujące formy ochrony przyrody:

- **Parki narodowe** – obejmują one obszar wyróżniający się szczególnie wysokimi wartościami przyrodniczymi, naukowymi, społecznymi, kulturowymi i edukacyjnymi, o powierzchni nie mniejszej niż 1 000 ha, na którym cała przyroda oraz walory krajobrazowe podlegają ochronie. Park narodowy tworzy się w celu zachowania różnorodności biologicznej, zasobów, tworów i składników przyrody

nieożywionej oraz walorów krajobrazowych, przywrócenia właściwego stanu zasobów i składników przyrody, a także odtworzenia zniekształconych siedlisk przyrodniczych, siedlisk roślin, siedlisk zwierząt lub siedlisk grzybów.

- **Rezerваты przyrody** – obejmują obszary zachowane w stanie naturalnym lub mało zmienionym, ekosystemy, ostoje i siedliska przyrodnicze, a także siedliska roślin, siedliska zwierząt i siedliska grzybów oraz twory i składniki przyrody nieożywionej, wyróżniające się szczególnymi wartościami przyrodniczymi, naukowymi, kulturowymi lub walorami krajobrazowymi.
- **Parki krajobrazowe** – obejmują obszar chroniony ze względu na wartości przyrodnicze, historyczne i kulturowe oraz walory krajobrazowe. Parki te tworzy się w celu zachowania oraz popularyzacji tych wartości w warunkach zrównoważonego rozwoju.
- **Obszary chronionego krajobrazu** – obejmują tereny chronione ze względu na wyróżniający się krajobraz, o zróżnicowanych ekosystemach, wartościowe ze względu na możliwość zaspokajania potrzeb związanych z turystyką i wypoczynkiem lub pełnią funkcję korytarzy ekologicznych.
- **Obszary Natura 2000** – Program Natura 2000 jest to ponadnarodowe, unikalne w skali świata przedsięwzięcie na rzecz ochrony różnorodności biologicznej Europy. Celem programu jest objęcie ochroną około 200 najcenniejszych i zagrożonych wyginięciem siedlisk przyrodniczych i ponad 1000 rzadkich i zagrożonych gatunków w odpowiednio zaplanowanej Europejskiej Sieci Ekologicznej obszarów Natura 2000, znanej pod nazwą „sieci Natura 2000”, aby zapewnić im w trwały sposób właściwy stan ochrony. Unikalność tego programu polega na tym, że kraje członkowskie tworzą sieć Natura 2000 na podstawie jednakowych założeń określonych w prawie i wytycznych Unii Europejskiej, zarządzają nią przy zastosowaniu podobnych instrumentów, wspólnie troszczą się o odpowiednie środki finansowe i jej promocję.
- **Pomniki przyrody** – to pojedyncze twory przyrody żywej i nieożywionej lub ich skupiska o szczególnej wartości przyrodniczej, naukowej, kulturowej, historycznej lub krajobrazowej oraz odznaczające się indywidualnymi cechami, wyróżniającymi je wśród innych tworów: okazałych rozmiarów drzewa, krzewy gatunków rodzimych lub obcych, źródła, wodospady, wywierzyska, skałki,



jary, głązy narzutowe oraz jaskinie. Na terenach niezabudowanych, jeżeli nie stanowi to zagrożenia dla ludzi lub mienia, drzewa stanowiące pomniki przyrody podlegają ochronie aż do ich samostannego, całkowitego rozpadu.

- **Stanowiska dokumentacyjne** – są to niewyodrębniające się na powierzchni lub możliwe do wyodrębnienia, ważne pod względem naukowym i dydaktycznym, miejsca występowania formacji geologicznych, nagromadzeń skamieniałości lub tworów mineralnych, jaskinie lub schroniska podskalne wraz z namuliskami oraz fragmenty eksploatowanych lub nieczynnych wyrobisk powierzchniowych i podziemnych. Stanowiskami dokumentacyjnymi mogą być także miejsca występowania kopalnych szczątków roślin lub zwierząt.
- **Użytki ekologiczne** – są to zasługujące na ochronę pozostałości ekosystemów mających znaczenie dla zachowania różnorodności biologicznej: naturalne zbiorniki wodne, śródpolne i śródleśne oczka wodne, kępy drzew i krzewów, bagna, torfowiska, wydmy, płaty nieużytkowanej roślinności, starorzecza, wychodnie skalne, skarpy, kamieńce, siedliska przyrodnicze oraz stanowiska rzadkich lub chronionych gatunków roślin, zwierząt i grzybów, ich ostoje oraz miejsca rozmnażania lub miejsca sezonowego przebywania.
- **Zespoły przyrodniczo-krajobrazowe** – są to fragmenty krajobrazu naturalnego i kulturowego zasługujące na ochronę ze względu na ich walory widokowe lub estetyczne.

Informacja o wyżej wymienionych formach ochrony przyrody jest dostępna w Internecie w Centralnym Rejestrze Form Ochrony Przyrody (<http://crfop.gdos.gov.pl>). Wyszukiwanie form ochrony dokonywane jest w układzie administracyjnym, możliwy jest również wybór tylko tych form, w których chronione są walory przyrodnicze związane z wodami. W serwisie tym można również dla każdego obiektu zapoznać się z danymi podstawowymi i szczegółowymi, ze statusem, jak również z obowiązującymi w poszczególnych formach zakazami. Wskazany Rejestr jest bazą opisową i nie zawiera szczegółowych map lokalizacyjnych obiektów chronionych.

Dla części obiektów chronionych (Natura 2000, parki narodowe, rezerwy przyrody) Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska (GDOŚ) i jej oddziały terenowe prowadzą bazę danych w systemie GIS.



### 6.3.5. Dane o poborach wód podziemnych

Pobory wód podziemnych stanowią oczywisty element krążenia wód podziemnych niezbędny do odwzorowania na modelu matematycznym i do uwzględnienia w bilansie. Bilans krążenia wód sporządzany jest dla okresu wybranego wielolecia, ale pobory uwzględnia się w wysokości średniej z pełnego roku poprzedzającego kartowanie hydrogeologiczne lub też z okresu kilku lat poprzedzających.

Mamy do czynienia z dwoma typami poboru wód podziemnych:

- **Pobór rejestrowany** – pobór na ujęciach dysponujących urządzeniami do pomiaru ilości pobranej wody i jednocześnie taki, z którego użytkownik przekazuje informacje do Urzędu Marszałkowskiego. Ten typ poboru obejmuje wykorzystanie komunalne do zbiorowego zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia, wykorzystanie do celów przemysłowych (np. na potrzeby produkcji artykułów żywnościowych oraz farmaceutycznych). Jest to szczególne korzystanie z wód według Prawa wodnego.
- **Pobór nierejestrowany** – pobór na ujęciach, na których nie ma urządzeń pomiarowych lub też taki, z którego użytkownik nie przekazuje danych do Urzędu Marszałkowskiego. Jest to zwykle korzystanie z wód lub korzystanie szczególne, gdy pobór nie przekracza 5 m<sup>3</sup>/d.

W przypadku poboru rejestrowanego dane przekazywane są przez użytkowników ujęć do Urzędów Marszałkowskich, w ramach obowiązku uiszczania opłaty za korzystanie z środowiska, a następnie gromadzone w bazie POBORY, prowadzonej w Państwowym Instytucie Geologicznym. Baza powiązana jest z bankiem HYDRO poprzez wspólny numer ujęcia, co znacznie ułatwia jej wykorzystanie. W bazie POBORY znajdują się średnie roczne wielkości poboru od roku 2001, które charakteryzują się dobrą dokładnością i wiarygodnością. Lokalizacja ujęć określona jest współrzędnymi geograficznymi, które dla ujęć wielootworowych wyznacza reprezentatywna studnia ujęcia. W przypadku ujęć wielootworowych, których studnie położone są w znacznej odległości jedna od drugiej, na modelu matematycznym wskazane jest rozdzielanie sumarycznego poboru ujęcia na poszczególne studnie położone w oddzielnych blokach obliczeniowych.

Na pobór nierejestrowany składa się głównie praca małych ujęć na potrzeby własne (zgodnie z prawem wodnym do 5 m<sup>3</sup>/d), a także większych ujęć, których poboru użytkownicy nie zgłaszają do Urzędu Marszałkowskiego. Najczęściej są to ujęcia pracujące na potrzeby rolnictwa: do nawodnień

sadów, upraw warzywnych, upraw pieczarek, chowu bydła i trzody chlewnej, ferm drobiu itp. Bardzo często jest to pobór sezonowy dokonywany w okresie wegetacji roślin, w okresach bezdeszczowych, czyli najbardziej niekorzystnych z punktu widzenia uwarunkowań środowiskowych. Przyjęło się w dotychczasowych opracowaniach, że ten niewielki pobór dokonywany przez drobnych rozproszonych użytkowników może być w skali badań regionalnych uznany za zaniedbywalnie mały. Jest to pobór korzystający najczęściej z przypowierzchniowego poziomu wodonośnego. Obecnie należy przyjąć, że pobór ten powinien być szacowany na podstawie informacji pozyskanych w trakcie kartowania terenowego. Powinno ono ujawnić zwłaszcza pobory dokonywane do celów rolniczych, które mogą charakteryzować się znaczną intensywnością.

Specyficznym rodzajem poboru charakteryzuje się górnictwo. Zarówno kopalnie głębinowe, jak i odkrywkowe rejestrują ilość wody pochodzącej z odwadniania i dane te przekazywane są do Urzędów Marszałkowskich i stąd do bazy POBORY. Rozpatrując wagę danych dotyczących odwodnień kopalnianych, należy rozróżnić dwa zasadnicze przypadki:

1. Odwadnianiu podlega kopalnia głębinowa, a poziom odwadniany jest dobrze izolowany od użytkowych poziomów wodonośnych wykorzystywanych na danym terenie do zaopatrzenia w wodę. Wówczas, zakładając ograniczoną więź hydrauliczną pomiędzy poziomem odwadnianym i użytkowym, można uznać wpływ odwadniania na zasoby dyspozycyjne zwykłych wód podziemnych za znikomy, czyli pomijalnie mały.
2. Odwadnianiu podlega kopalnia odkrywkowa i odwadnianie to następuje albo z poziomu użytkowego, albo z innego poziomu wodonośnego, który jednak pozostaje w więzi hydraulicznej z poziomem użytkowym. W takim przypadku odwodnienie kopalniane powinno być symulowane na modelu matematycznym i uwzględnione w bilansie krążenia wód podziemnych, ponieważ wpływa na wielkość zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych.

Z powyższego wynika, że zakres danych dotyczących odwodnień kopalnianych musi być ustalany każdorazowo w odniesieniu do specyfiki obszaru badań. W drugim z opisywanych przypadków niezwykle istotną rolę odgrywa nie tylko rozpoznanie wielkości drenażu kopalnianego, ale także zasięg jego oddziaływania. W wielu przypadkach zasięg ten wykracza poza granice obszaru bilansowego określonego do ustalenia zasobów dyspozycyjnych. Dodatkowym utrudnieniem jest fakt zmienności czasowej lokalizacji odwodnień kopalń odkrywkowych, w których

w miarę przesuwania się eksploatacji na kolejne pola zmienia się również lokalizacja studni odwodnieniowych i ich wydajności, a co za tym idzie – zasięg oddziaływania. Tego rodzaju specyficzny przypadek wymaga niestandardowego potraktowania i to zarówno przez zlecającego prace, który powinien być gotów do elastycznego traktowania granic obszarów bilansowych, jak i przez wykonawcę, który powinien odpowiednio modyfikować metodykę prac.

### **6.3.6. Dane o zrzutach ścieków**

Z poborem wód podziemnych nieodłącznie związany jest zrzut ścieków oczyszczonych lub nieczyszczonych. Zrzut ścieków nie jest elementem bezpośrednio odtwarzanym na modelu matematycznym, natomiast jego uwzględnienie jest niezbędne do analizy na etapie sporządzania bilansu wód podziemnych z wykorzystaniem przepływów charakterystycznych rzek (rozd. 5.3).

Obecnie brak jest ujednoczonej w skali kraju bazy danych o zrzutach ścieków. Podobnie jak w przypadku poboru wód podziemnych poszczególni użytkownicy mają obowiązek przekazywania danych o wielkości zrzutu ścieków do Urzędów Marszałkowskich celem naliczania opłat za korzystanie ze środowiska. O ile w przypadku poboru wody urządzeniem pomiarowym jest przepływomierz, to w przypadku zrzutu ścieków najczęściej nie ma bezpośrednich urządzeń pomiarowych, a wielkość zrzutu jest szacowana, np. na podstawie danych o ilości ścieków dostarczonych do oczyszczalni.

Zakłada się, że zrzuty powiązane są w sensie funkcjonalnym z oczyszczalniami. Jest to jednak znaczne przybliżenie ze względu na to, że miejsce zrzutu ścieków nie jest tożsame z miejscem ich oczyszczania. Dostępne dane (np. w RZGW) nie wskazują miejsca lokalizacji zrzutu ścieków, a tylko właściciela i współrzędne oczyszczalni. Dlatego, jeśli będzie to możliwe, w trakcie prac terenowych należy zlokalizować na mapach miejsca zrzutu ścieków. Najwłaściwszym źródłem informacji będą tu Urzędy Gminy, które dysponują takimi informacjami w odniesieniu do wszystkich ujęć gminnych wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności w wodę. Drugim istotnym zadaniem podczas prowadzenia prac terenowych jest powiązanie poboru wód ze zrzutem ścieków, poprzez wskazanie, co dzieje się z wodą po jej wykorzystaniu (np. dla ujęcia wiejskiego należy wskazać oczyszczalnię ścieków, do której dostarczane są ścieki z obszaru obsługiwanego przez ten wodociąg, oraz miejsce ich zrzutu). Stworzenie takich powiązań pozwoli na zbilansowanie wielkości poboru i zrzutu ścieków dla całego badanego obszaru lub jego fragmentu. Bilans ten umożliwi procentową ocenę wielkości zrzutu ścieków względem wielkości poboru.

Trzeba jednak pamiętać, że przy poborach wód podziemnych wykorzystywanych do nawodnień rolniczych sytuacja przedstawia się nieco inaczej. Dla tego typu użytkowania wód podziemnych praktycznie nie ma zrzutu ścieków – cała pobrana woda zostaje bezpowrotnie (z punktu widzenia bilansu wody) stracona na skutek ewapotranspiracji. Dotyczy to zarówno nawadniania kropelkowego, gdy część wody jest pobierana przez rośliny, natomiast pozostała część zwiększa wilgotność warstwy przypowierzchniowej (ale dokonuje się to w okresach bezdeszczowych), jak i nawadniania poprzez deszczownie, gdzie znaczna część wody wyparowuje, zanim dotrze do powierzchni ziemi, a ta, która dotrze, jest wchłaniana przez rośliny.

### **6.3.7. Identyfikacja ekosystemów zależnych od wód podziemnych**

Wymogi ochronne ekosystemów zależnych od wód podziemnych są jednym z najważniejszych elementów polityki ekologicznej Unii Europejskiej. Ramowa Dyrektywa Wodna zobowiązuje państwa członkowskie do utworzenia i uaktualniania rejestru obszarów wymagających szczególnej ochrony, aby zachować dobry stan znajdujących się tam wód powierzchniowych i podziemnych oraz aby utrzymać siedliska i gatunki bezpośrednio uzależnione od wody. W Polsce, zgodnie z ustawą z dnia 18 lipca 2001 – Prawo wodne (Dz. U. z 2012 r., poz. 145, z późn. zm.), rejestr obszarów chronionych został utworzony w 2003 r., a jego uaktualnienie miało miejsce w roku 2007. Obecnie prowadzone są prace nad kolejną aktualizacją rejestru. Ponadto Ministerstwo Środowiska opracowało *Strategię ochrony obszarów wodno-błotnych w Polsce wraz z planem działań na lata 2006-2013*.

W roku 2009 Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej (KZGW) zrealizował pracę pt. *Ekosystemy lądowe pozostające w dynamicznych relacjach z wodami podziemnymi i powierzchniowymi dla obszarów dorzeczy w Polsce (z wyłączeniem regionu wodnego Warty)*<sup>8</sup>. W jej wyniku powstała baza danych GIS, która zawiera lokalizację i charakterystykę ekosystemów zależnych od wód na obszarze całego kraju, za wyjątkiem regionu wodnego Warty. Region ten posiada odrębne opracowanie o tej tematyce<sup>9</sup> wykonane w roku 2006, którego najważniejsze elementy prezentowane są na stronie RZGW Poznań<sup>10</sup>.

Wyżej wymienione bazy danych umożliwiają zidentyfikowanie ekosystemów lądowych zależnych od wód, lecz nie są w pełni przydatne w pro-

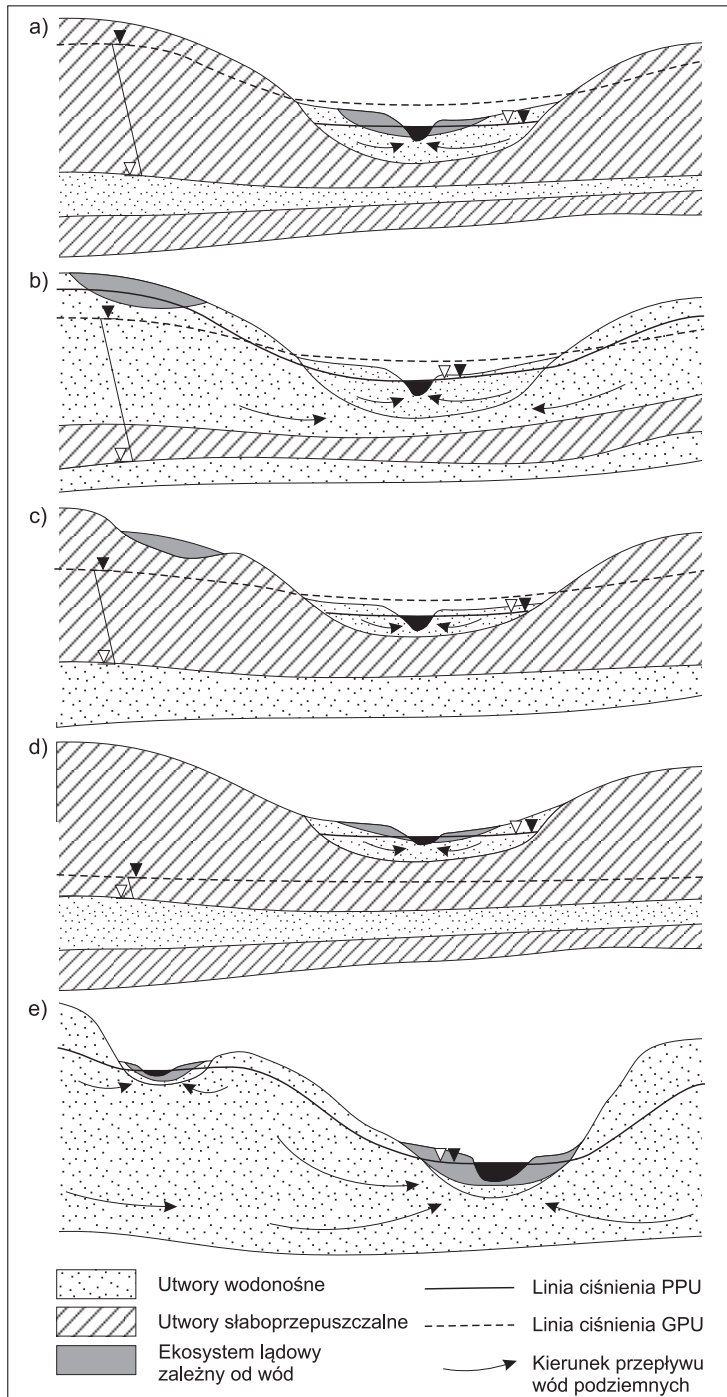
<sup>8</sup> Praca zrealizowana została przez konsorcjum firm: Techmex-IMUZ.

<sup>9</sup> Praca zrealizowana została przez konsorcjum GEPOL Sp. z o.o.

<sup>10</sup> <http://poznan.rzgw.gov.pl/en/region-wodny/charakterystyka-przyrodnicza>.

cedurze ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych. Wynika to z przyjętych zasad tworzenia tych baz, dla których materiałem źródłowym było opracowanie pt. *Charakterystyka oraz waloryzacja mokradeł i łąk w aspekcie ochrony środowiska naturalnego* wykonane w połowie lat 90. XX w., w skali 1 : 100 000. Weryfikacji danych z tego opracowania dokonywano bez badań terenowych, bazując na mapach topograficznych w skali 1 : 50 000. W efekcie omawiane bazy danych zawierają ogromną liczbę obiektów, z których wiele ma nieznaczące rozmiary (np. 200 x 200 m), co oznacza rozdrobienie zdecydowanie przewyższające wymogi schematyzacyjne modelu matematycznego. Obiekty są scyfrowane z map topograficznych, jednak bez weryfikacji rzeczywistego ich stanu. Tak więc istniejące bazy danych mogą stanowić co najwyżej materiał pomocniczy do identyfikacji ekosystemów zależnych od wód podziemnych, nie zaś jedyne źródło informacji na ten temat.

Zakłada się, że podstawą identyfikacji ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych jest ich stan prawny; tj. pod uwagę bierze się tylko te z nich, które stanowią obszar ochronny w rozumieniu ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz. U. z 2004 r., Nr 92, poz. 880). Jest to warunek konieczny, natomiast rzeczywista ranga ekosystemu i stopień jego zależności od wód podziemnych powinny być przedmiotem rozpoznania w ramach tworzenia modelu hydrogeologicznego (konceptualnego). Część ekosystemów może bowiem nie wykazywać bezpośredniej zależności od stanów wód podziemnych, nawet w przypadku pierwszego poziomu wodonośnego. Taki przypadek pokazuje rysunek 6.3-2c, na którym ekosystem jest rozwinięty z dala od cieków powierzchniowych, na wysoczyźnie, w obrębie utworów słabo przepuszczalnych (gliny zwałowe). Obszar pozostaje w stanie odpowiedniego nasycenia wodą (bagny, mokradła, torfowiska) dzięki spływowi powierzchniowemu oraz właściwościom retencjonującym gruntu. Zależność od stanów wód podziemnych jest minimalna, można co najwyżej dopatrywać się zależności odwrotnej, tj. wpływu obiektu na ograniczenie zasilania wód podziemnych występującego poniżej poziomu wodonośnego. Innym przykładem ekosystemu o małej zależności od pierwszego poziomu wodonośnego jest obiekt położony w dolinie małej rzeki, w jej obszarze źródłiskowym (rys. 6.3-2b). Zasilanie rzeki w początkowym jej biegu następuje ze spływu powierzchniowego oraz podpowierzchniowego, tj. z wód wysączających się z płytkich warstw gruntu. Oznacza to, że taki obiekt jest „zawieszony” w stosunku do pierwszego poziomu wodonośnego. Pozostałe typy obiektów pokazane na rysunkach 6.3-2a, 6.3-2d, 6.3-2e wykazują zależność od stanu wód podziemnych.



**Rys. 6.3-2. Różne typy ekosystemów lądowych zależnych od wód**

a), d), e) uwzględniane przy ustalaniu zasobów dyspozycyjnych,  
 b), c), nieuwzględniane przy ustalaniu zasobów dyspozycyjnych.



Biorąc pod uwagę różnorodność obiektów – ekosystemów zależnych od wód, należy dokonać odpowiedniej ich klasyfikacji z uwzględnieniem możliwych typów, zgodnie ze schematami pokazanymi na rysunku 6.3-2, i wydzielenia tych z nich, które:

- a) są prawnie chronione,
- b) pozostają w kontakcie hydraulicznym z pierwszym poziomem wód podziemnych.

Jest to zadanie, które należy wykonać w ramach sporządzania programu prac geologicznych. Jednym z elementów programu jest analiza układu krążenia i roli, jaką w tym układzie spełnia pierwszy od powierzchni poziom wodonośny wraz z elementami drenażu, do których zaliczamy omawiane ekosystemy zależne.

Narzędziem przydatnym do identyfikacji systemów zależnych będzie z pewnością *Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1 : 50 000* (SMGP). Podstawowych danych o funkcjonowaniu obiektu, w tym o budowie geologicznej i warunkach hydrogeologicznych w jego otoczeniu, szukać jednak należy w opracowaniach fizjograficznych poświęconych konkretnemu obiektowi. W przypadku części obiektów funkcjonują opracowania poświęcone zasadom ich ochrony. Dla parków narodowych, rezerwatów przyrody i parków krajobrazowych są to plany ochrony, natomiast dla obszarów Natura 2000 – plany zadań ochronnych [zgodne z ustawą z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz. U. z 2004 r., Nr 92, poz. 880)]. Należy jednak liczyć się z tym, że szereg, zwłaszcza mniejszych obiektów, może wymaganych informacji nie posiadać.

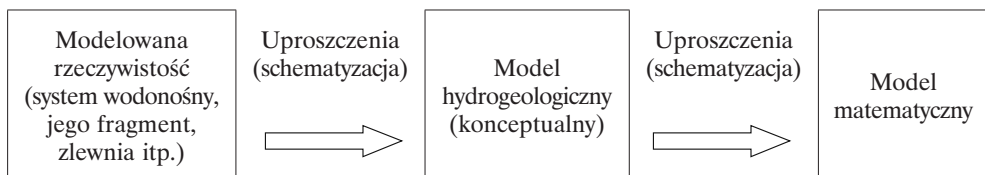
Odrębnym zadaniem związanym z identyfikacją ekosystemów zależnych od wód podziemnych jest ustalenie ich wymogów ochronnych, rozumianych jako maksymalne dopuszczalne obniżenie zwierciadła wód pierwszego poziomu wodonośnego. Z dotychczasowej praktyki wynika, że ani plany ochrony, ani plany zadań ochronnych takich danych nie zawierają. W takim przypadku proponuje się jako dopuszczalny poziom obniżenia zwierciadła wody przyjęcie połowy średniorocznej amplitudy wahań zwierciadła wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego, jednak nie więcej niż 1,0 m dla zasilania średniego z wielolecia bilansowego oraz nie więcej niż 0,5 m dla okresu lat posusznych. Amplituda wahań ustalona powinna być w oparciu o wyniki monitoringu na terenie obszaru ochronnego, a w przypadku braku obserwacji monitoringowych – na podstawie analogii hydrogeologicznej do innych obszarów ochronnych o podobnych warunkach hydrogeologicznych.

## 6.4. Model konceptualny systemu wodonośnego

Pojęcie *model konceptualny (pojęciowy)* pojawiło się w polskiej terminologii hydrogeologicznej wraz z implementacją Ramowej Dyrektywy Wodnej. Zastąpiło ono wcześniej stosowane pojęcie *model hydrogeologiczny*. Obecnie spotyka się pogląd, że *model pojęciowy* zastępowany jest terminem *schemat warunków hydrogeologicznych* [Michalak, Nawalany, Sadurski, 2011]. Według innych autorów *model pojęciowy* i *schemat warunków hydrogeologicznych* traktowane są jako synonimy, tj. efektem schematyzacji hydrogeologicznej jest *model pojęciowy* [Kulma, Zdechlik, 2009]. Ponadto w polskiej literaturze hydrogeologicznej różnie tłumaczony jest anglojęzyczny termin *conceptual model* – albo jako *model koncepcyjny*, albo jako *model konceptualny*. Wobec tego rodzaju rozbieżności terminologicznych proponuje się przyjąć spójną koncepcję zaprezentowaną przez Dąbrowskiego i in. [2011]. Według niej model konceptualny oznacza to samo, co model hydrogeologiczny, a proces schematyzacji warunków hydrogeologicznych składa się z dwóch etapów:

1. Uproszczenie (schematyzacja) rzeczywistych warunków hydrogeologicznych panujących w analizowanym systemie wodonośnym – w efekcie powstaje model hydrogeologiczny (konceptualny).
2. Uproszczenie (schematyzacja) modelu hydrogeologicznego – w efekcie powstaje model matematyczny.

Dwa etapy schematyzacji prowadzą do przejścia od rzeczywistości (system wodonośny) do narzędzia obliczeniowego (model matematyczny), zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 6.4-1. Zakres i sposób dokonywanych uproszczeń w istotny sposób zależą od celu, jakiemu ma służyć model hydrogeologiczny i dalej – model matematyczny, a także od wielkości obszaru badań, stopnia jego rozpoznania i komplikacji warunków geologicznych i hydrogeologicznych, a także od dostępności, wiarygodności i reprezentatywności danych wejściowych do tworzenia modelu.



**Rys. 6.4-1. Schemat dokonywania uproszczeń przy konstrukcji modelu matematycznego**



W tym schemacie model hydrogeologiczny jest opisem struktury i przebiegu procesów w obrębie rzeczywistego systemu wodonośnego i jego kontaktów z otoczeniem. Elementem struktury systemu wodonośnego jest jego warstwowość, ze szczególnym uwzględnieniem pierwszego od powierzchni poziomu wodonośnego i występujących w nim ekosystemów zależnych od wód podziemnych. Istotne są te z nich, które są prawnie chronione i wykazują więź hydrauliczną z pierwszym poziomem wodonośnym.

Model hydrogeologiczny składa się z części graficznej (przekroje, mapy) oraz z syntetycznego opisu struktury, parametrów, granic obiektu badań (np. zlewni) i procesów zachodzących w systemie wodonośnym. Do tych procesów zaliczamy m.in.: natężenie i rozkład przestrzenny zasilania infiltracyjnego, kierunki przepływów, rejony drenażu (naturalnego – doliny rzeczne i antropogenicznego – ujęcia, odwodnienia). Do określenia parametrów bilansowych (zasilanie, drenaż) niezbędne jest przeprowadzenie wstępnych analitycznych obliczeń następujących parametrów:

- Odływ podziemny do dolin rzecznych. Odływ ten jest obliczany w ramach sporządzania bilansu krążenia wód, jako jeden ze składników równania bilansowego (rozdz. 5.1).
- Dopływy i odpływy brzegowe, które mogą być szacowane na podstawie wykreślonej mapy hydroizohips oraz rozkładu przewodności wodnej. Do stworzenia modelu matematycznego niejednokrotnie wystarczająca jest wiedza jakościowa o przepływach brzegowych (tj. sam fakt występowania lub nie takich przepływów) – natężenie przepływów przez brzeg obliczane będzie automatycznie na modelu;
- Eksploatacja wód podziemnych (pobór rejestrowany i w miarę dostępności danych i skali problemu – pobór nierejestrowany), zgromadzone w bazie danych GIS.

Bardzo ważnym elementem właściwej konstrukcji modelu hydrogeologicznego jest przygotowanie mapy hydroizohips wykreślonej na podstawie datowanych pomiarów poziomu zwierciadła wód podziemnych. Mapa ta stanowi podstawę schematyzacji modelowej, zwłaszcza w zakresie wyznaczenia granic modelu. Nie ma z reguły potrzeby kreślenia jej od podstaw, ponieważ można wykorzystać chociażby hydroizohipsy przedstawione na *Mapie hydrogeologicznej Polski w skali 1 : 50 000*, które jednak powinny być uaktualnione na podstawie własnych pomiarów, wykonanych w ramach prac terenowych i odniesione do jednego poziomu wodonośnego, głównego dla obszaru badań. Nie można akceptować przedstawiania w dokumentacji hydrogeologicznej jedynie hydroizohips pochodzących z modelu matema-

tycznego. W takim przypadku rozwiązanie modelowe nie może być uznane za wiarygodne, ponieważ brak jest podstaw do odwzorowania na modelu charakterystyki hydrodynamicznej analizowanego obszaru, a zwłaszcza charakteru jego granic. Mapa hydroizohips sporządzona przed wykonaniem modelu matematycznego powinna stanowić nieodzowny element każdej dokumentacji potwierdzający poprawności jego konstrukcji. Może mieć ona charakter roboczy, ale jej przedstawienie w dokumentacji jest niezbędne.

Propozycje zestawu danych składających się na model hydrogeologiczny przedstawione są w publikacjach poświęconych zagadnieniom schematyzacji warunków hydrogeologicznych [Michalak, Nawalany, Sadurski, 2011] i metodyce modelowania matematycznego [Dąbrowski i in., 2011]. Zawartych w tych publikacjach wytycznych nie należy jednak traktować rygorystycznie, ponieważ model hydrogeologiczny jest interpretacją autorską i wyrażać powinien koncepcję rozwiązania zadania dostosowaną do specyfiki przedsięwzięcia, w tym rozległości obszaru badań i żądanej dokładności. Od poziomu wiedzy i doświadczenia hydrogeologa prowadzącego badania zależy, czy zakres uproszczeń dokonywany w ramach schematyzacji będzie adekwatny do zadań postawionych przed modelem hydrogeologicznym, a w konsekwencji – matematycznym. Na podkreślenie zasługuje to, że stworzenie wiarygodnego modelu hydrogeologicznego ma kluczowe znaczenie w przygotowaniu modelu matematycznego. Jest to najważniejszy etap w procedurze ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych.

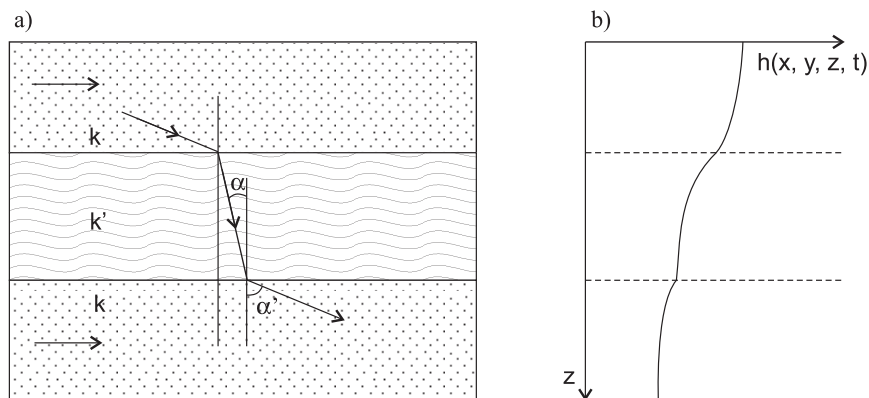
## **6.5. Model matematyczny systemu wodonośnego**

Zarówno zasady schematyzacji modelowej, jak też konstrukcji regionalnych modeli matematycznych omówione zostały w dwóch ostatnio wydanych publikacjach: [Dąbrowski i in., 2011; Michalak, Nawalany, Sadurski, 2011]. W niniejszym rozdziale przedstawione zostaną zatem zagadnienia stanowiące specyfikę modeli tworzonych na potrzeby oceny zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych, bez omawiania szczegółów konstrukcyjnych modeli, które znaleźć można w ww. publikacjach.

### **6.5.1. Podstawowy wymóg schematyzacji – warstwowość modelu**

Odwzorowanie na modelu warstwowości systemu wodonośnego jest jednym z głównych zadań schematyzacji. Generalna zasada mówi, że właściwie skonstruowany model nie może zastępować systemu warstwowego

odpowiednikiem jednowarstwowym [Dąbrowski i in., 2011]. Sposób tworzenia modeli wielowarstwowych musi uwzględniać rzeczywistą rolę, jaką warstwy słabo przepuszczalne (izolujące) odgrywają w układzie krążenia. Na rysunku 6.5-1 pokazano schemat działania takiej warstwy. Na granicy ośrodków o różnym współczynniku filtracji kąt załamania linii prądu jest zbliżony do  $45^\circ$  i można przyjmować, że w warstwie słabo przepuszczalnej przepływ poziomy praktycznie nie ma miejsca [Szymanko, 1980]. Wynika to także z analizy spadków hydraulicznych mierzonych w poziomie i pionie [Kulma, Zdechlik, 2009]. W poziomie spadek jest znikomy i może on być niewystarczający do przekroczenia spadku krytycznego umożliwiającego filtrację [Macioszczyk, Szestakow, 1983]. W pionie spadek wynika z różnicy ciśnień panujących w obu warstwach wodonośnych i z tego względu osiąga on większe wartości, które umożliwiają filtrację o dominującej składowej pionowej.



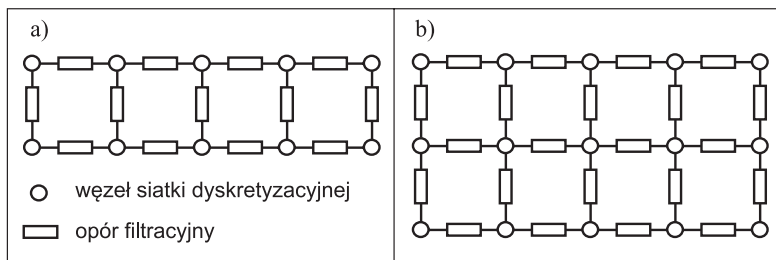
**Rys. 6.5-1. Działanie warstwy słabo przepuszczalnej [za: Szymanko, 1980]**

- a) model hydrodynamiczny  
b) rozkład potencjału filtracji

Kierunek załamania linii prądu na granicy ośrodków o różnych wartościach współczynników filtracji zależy od stosunku tych wartości i opisany jest zależnością [Rogoż, 2007]:

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha'} = \frac{k}{k'}$$

Sposoby odwzorowywania na modelu działania warstwy słabo przepuszczalnej mogą być różne. W historii modelowania w Polsce spotyka się dwa podstawowe sposoby (rys. 6.5-2).



**Rys. 6.5-2. Schematy odwzorowania na modelu warstwy słabo przepuszczalnej**

- a) w postaci oporów filtracyjnych  
b) w postaci warstwy o zadanych parametrach

Rysunek 6.5-2a obrazuje sytuację, w której przewodność wodną przypisano do warstw wodonośnych, natomiast opór na drodze przepływu między nimi modeluje się poprzez wprowadzenie parametru oporności. W tym schemacie zakłada się, że w warstwach wodonośnych ma miejsce tylko przepływ poziomy (brak składowej pionowej ruchu wody), natomiast w warstwach izolujących – tylko przepływ pionowy (brak składowej poziomej). Algorytm obliczeniowy uwzględnia opór hydrauliczny niezwiązany z rzeczywistymi parametrami hydrogeologicznymi. W wyniku obliczeń wysokość hydrauliczna otrzymywana jest tylko dla utworów przepuszczalnych. Taki rodzaj odwzorowywania warstwowości na modelu opisany jest w licznych publikacjach dotyczących głównie biblioteki HYDRYLIB [Szymanko, 1980; Szymanko i in., 1980, 1982].

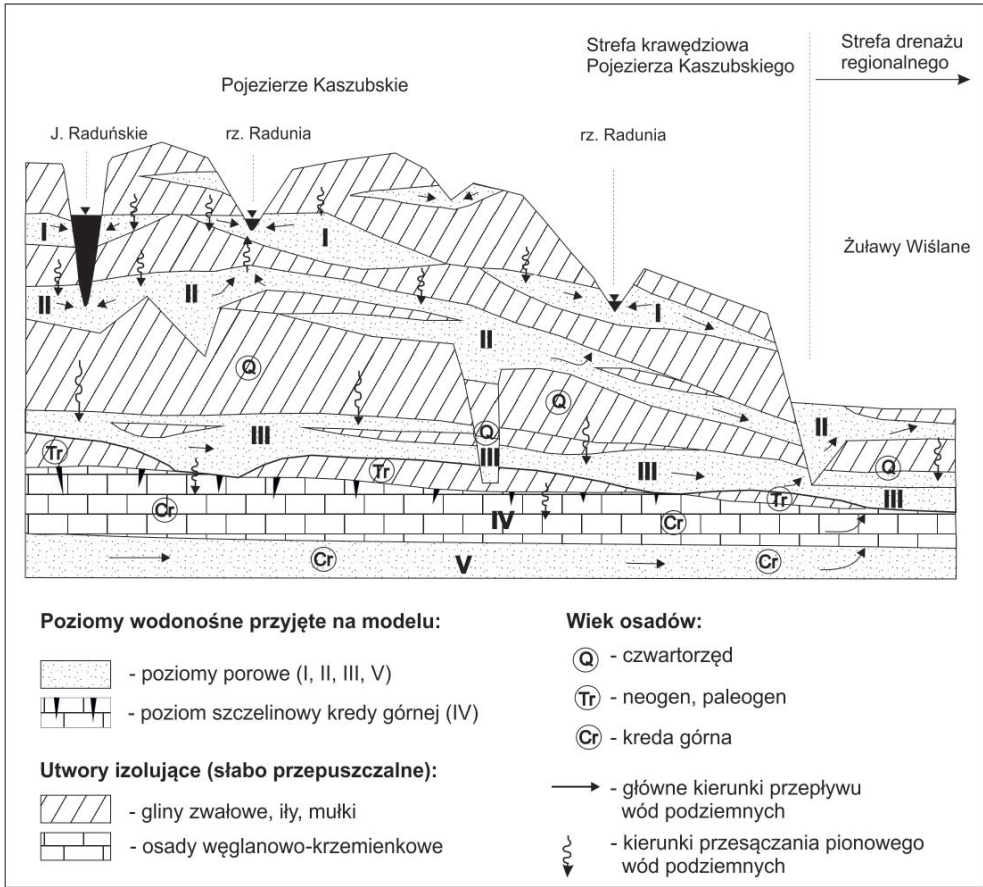
W drugim przykładzie (rys. 6.5-2b) zakłada się, że przepływy poziome mają miejsce zarówno w warstwach wodonośnych, jak i izolujących. Dla obu tych typów warstw podaje się parametry hydrogeologiczne, tj. rzędne stropu i spągu warstw oraz rozkład współczynnika filtracji. Zakłada się tym samym, że przepływ w utworach słabo przepuszczalnych opisany jest tym samym równaniem filtracji Darcy, co w utworach przepuszczalnych. Algorytm obliczeniowy nie różnicuje tych warstw, a wysokość hydrauliczna otrzymywana jest zarówno dla utworów przepuszczalnych, jak i izolujących (słabo przepuszczalnych). Tego typu rozwiązanie stosowane jest często przez hydrogeologów posługujących się pakietem programowym ModFlow, chociaż program ten umożliwia także odwzorowywanie warstw izolujących w sposób opisany powyżej [Kulma, Zdechlik, 2009].

Podkreślić trzeba, że oba opisane wyżej schematy odwzorowują rzeczywistość w sposób przybliżony. Oba stosowane są równie często, jednak drugi z nich wynika nierzadko z używania najprostszego rozwiązania oferowanego przez program ModFlow. I chociaż nie jest on najbardziej odpowiednim oprogramowaniem do zadań związanych z wyznaczaniem zasobów wód podziemnych [Michalak, No-

wicki (red.), 2009], to jednak jest obecnie najbardziej rozpowszechniony i można założyć, że w najbliższych latach będzie to nadal podstawowe narzędzie obliczeniowe stosowane we wszelkiego rodzaju prognozach hydrodynamicznych.

Rozpatrując warstwowość modelu, należy zwrócić uwagę na konieczność uwzględniania pierwszego od powierzchni poziomu wodonośnego, który decyduje o funkcjonowaniu ekosystemów uzależnionych od położenia zwierciadła wód podziemnych. W dotychczasowych badaniach poziom ten często był pomijany lub agregowany z poziomami leżącymi głębiej. Spowodowane było to brakiem wystarczającego rozpoznania hydrogeologicznego, zwłaszcza jeśli chodzi o parametry filtracji. Z reguły poziom przypowierzchniowy, jeśli nie posiada rangi głównego poziomu użytkowego, ujmowany jest przez studnie kopane, które nie dostarczają informacji o jego parametrach. Obecnie, gdy tak dużą wagę przywiązuje się do funkcjonowania ekosystemów zależnych od wód podziemnych, trzeba na to zagadnienie spojrzeć nieco inaczej. Prawdopodobnie mniejszy błąd przy konstrukcji modelu popełnimy, modelując poziom przypowierzchniowy jako warstwę jednorodną, niż gdy pominiemy go całkowicie lub zagregujemy z poziomami niższymi. Wobec braku wystarczającego rozpoznania parametrycznego poziom pierwszy może być z reguły modelowany jako warstwa o stałej wartości przewodnictwa wodnego, które nie zmienia się wraz ze zmianami położenia zwierciadła wody. Zamodelowanie pierwszego poziomu wodonośnego wymaga przeprowadzenia w dokumentacji dyskusji wyników, ale co do zasady nie powinno budzić wątpliwości, jeśli chcemy ustalić zasoby dyspozycyjne z uwzględnieniem wszystkich ich cech wskazanych w definicji i wymogach prawa.

Istotnym problemem związanym z modelowaniem przypowierzchniowego poziomu wodonośnego może być odwzorowanie znacznych deniwelacji jego powierzchni piezometrycznej. Na modelu płaskim, gdzie odpowiednikiem poziomu przypowierzchniowego jest pojedyncza warstwa modelu, może to być zadanie praktycznie niewykonalne, z uwagi na to, że algorytm obliczeniowy nie uwzględnia składowej pionowej ruchu wody, która decyduje o powstaniu znacznych spadków hydraulicznych [Kapuściński, Śmietański, 2010]. W takich sytuacjach łatwo doprowadzić do zawyżenia wielkości zasilania infiltracyjnego, na który model wykazuje największą czułość, jeśli chodzi o stany wód podziemnych. Rozwiązaniem tego problemu może być odwzorowanie poziomu przypowierzchniowego w postaci kilku warstw na modelu. I choć model nadal pozostanie płaski, to jednak łatwiej można będzie uzyskać składową pionową, ponieważ generowany będzie przepływ wody (przesiąkanie) pomiędzy tymi warstwami. Sposób przejścia, w ramach schematyzacji, pomiędzy modelem hydrogeologicznym a modelem matematycznym wygodnie jest udokumentować w postaci szkicu graficznego lub w sposób tabelaryczny, jak to przedstawiono poniżej (rys. 6.5-3, tab. 6.5-1).



**Rys. 6.5-3. Schemat struktury modelu matematycznego wykonanego w rejonie Raduni i Motławy [Rodzoch i in., 2007]**

**Tab. 6.5-1. Schemat struktury modelu matematycznego wykonanego w rejonie Wyszkowa [Kubiczek i in., 2013]**

Wydzielenie geologiczne (poziom wodonośny/ warstwa izolująca)		Warstwa na modelu	
Nazwa, stratygrafia	Charakterystyka	Oznaczenie	Nazwa
czwartorzędowy przypowierzchniowy poziom wodonośny	Występuje w strefach dolin rzecznych (gł. doliny Bugu) oraz na wysoczyznach. Posiada swobodne zwierciadło wody i słabo rozpoznane parametry hydrogeologiczne. Poziom ten nie występuje wzdłuż północno-zachodniej i południowo-zachodniej granicy obszaru badań	I	pierwsza warstwa wodonośna



osady rozdzielające	Gliny zwałowe o małej miąższości i nierozpoznanych parametrach hydrogeologicznych, miejscami nieciągłe	II	pierwsza warstwa izolująca (słabo przepuszczalna)
czwartorzędowy górny międzyglinowy, poziom wodonośny	Ciągły na prawie całym obszarze GZWP, na znacznym obszarze tworzy główny poziom użytkowy. W wielu rejonach połączony z poziomem niżej leżącym poprzez okna hydrogeologiczne, zwłaszcza w dolinie Bugu	III	druga warstwa wodonośna
osady rozdzielające	Gliny zwałowe o dość znacznej miąższości i dobrych właściwościach izolujących. Nierozpoznane parametry filtracyjne, w wielu miejscach wyerodowane (okna hydrogeologiczne)	IV	druga warstwa izolująca (słabo przepuszczalna)
czwartorzędowy dolny międzyglinowy, poziom wodonośny	Poziom miejscami dwudzielny, rozdzielony warstwą osadów mułowcowych o niewielkiej miąższości. W rejonach łączności hydraulicznej z poziomem międzyglinowym górnym tworzy rozległy kompleks wodonośny o znacznej miąższości	V	trzecia warstwa wodonośna
czwartorzędowy poziom spągowy	Słabo rozpoznany, występuje tylko lokalnie w postaci soczewek. Tylko w rejonie Wyszkowa posiada łączność hydrauliczną z poziomem międzymorenowym dolnym i tu został włączony do warstwy III modelu		

### 6.5.2. Parametry hydrogeologiczne a parametry modelu

Tworzenie modelu pojęciowego (hydrogeologicznego) zawiera w sobie uproszczenie rzeczywistości, agregację warstw i schematyzację warunków. Parametry hydrogeologiczne, np. z etapu budowy ujęcia, dotyczą konkretnego miejsca (wybranego optymalnie z punktu widzenia możliwości poboru wody), sposobu zafiltrowania otworu itp., natomiast nie muszą charakteryzować w wystarczającym stopniu zagregowanej warstwy modelu hydrogeologicznego. Parametry filtracyjne (współczynnik filtracji, miąższość) w modelu hydrogeologicznym są oparte na punktowym rozpoznaniu i są wynikiem interpretacji tych danych przez hydrogeologa. Z tego powodu nie należy traktować wartości punktowych jako nienaruszalnych: wartości w modelu hydrogeologicznym mają reprezentować podejście regionalne – spojrzenie na jednostkę bilansową jako całość i na jej układ krążenia. Jest to zasadnicza różnica między podejściem szczegółowym (model np. na potrzeby

określenia zasobów eksploatacyjnych ujęcia), a podejściem regionalnym (model np. na potrzeby ustalenia zasobów dyspozycyjnych). Lokalna zmiana wartości parametrów filtracyjnych ma jedynie lokalne odzwierciedlenie, natomiast bardzo istotne znaczenie ma średnia wartość parametrów filtracyjnych całego obszaru badań modelowych.

Innym ważnym problemem jest relacja pomiędzy parametrami hydrogeologicznymi (warstw wodonośnych, warstw słabo przepuszczalnych), a parametrami wprowadzanymi do modelu i otrzymanymi w wyniku jego kalibracji. Parametry modelu tylko w szczególnym przypadku są tożsame ze stwierdzonymi parametrami hydrogeologicznymi (np. pozyskanymi w wyniku próbnych pompowań otworów wiertniczych). Chociaż używamy tych samych nazw parametrów zarówno w modelu hydrogeologicznym, jak i matematycznym, to jednak reprezentują one nieco inne wartości. Na wartość parametrów hydrogeologicznych wprowadzanych jako dane wejściowe do modelu i otrzymanych w wyniku kalibracji, oprócz danych terenowych czy laboratoryjnych, mają również istotny wpływ takie elementy, jak: sposób agregacji warstw wodonośnych, wielkość bloku obliczeniowego, sposób uśredniania wartości parametru w obrębie bloku obliczeniowego czy wreszcie sam algorytm obliczeniowy. Nie jest wobec tego zasadna budowa modelu regionalnego, który odwzorowuje z dużą dokładnością zmierzone punktowo parametry hydrogeologiczne i nie należy oczekiwać, że w wyniku tarowania takiego modelu otrzyma się parametry hydrogeologiczne, które można bezpośrednio przenieść do badań szczegółowych.

Analogicznie sytuacja wygląda z zasilaniem infiltracyjnym. Lokalnie (punktowo w danym profilu) warunki infiltracji mogą być bardzo dobre lub wręcz przeciwnie – słabe, ale analiza innych materiałów w obrębie tego samego bloku obliczeniowego lub sąsiednich bloków może wskazywać regionalnie na warunki diametralnie przeciwne. Początkowy przestrzenny rozkład wielkości zasilania infiltracyjnego, oparty na głębokości występowania poziomego wodonośnego i litologii utworów nadległych, ma charakter przybliżony i opiera się na dokładności oraz wiarygodności danych, na podstawie których został przygotowany. Podobnie jak w przypadku parametrów filtracyjnych, najbardziej istotne znaczenie ma sumaryczna (ewentualnie modułowa) wartość zasilania infiltracyjnego, bo to ona stanowi kluczowy element bilansu wodnego badanej jednostki.

### **6.5.3. Granice modelu, warunki brzegowe**

Podstawową zasadą, którą należy się kierować przy ustalaniu granic modelu matematycznego sporządzanego w celu ustalenia zasobów dyspozycyjnych, jest **istotne rozszerzenie obszaru badań modelowych** w stosunku do granic badanego obszaru bilansowego (zlewni). Powiększenie obszaru



badania umożliwia uwzględnienie wzajemnego oddziaływania z systemem wodonośnym zlewni sąsiedniej oraz daje możliwość ustalenia na modelu przebiegu działów wodnych poszczególnych warstw modelu. Daje również możliwość zadawania warunków brzegowych na naturalnych granicach (np. ciekach). Przy braku takich naturalnych granic zadaje się wzdłuż brzegu modelu warunki brzegowe I rodzaju, dla których ciśnienia (położenie zwierciadła wody) ustalane są w oparciu o sporządzoną mapę hydroizohips. Im dalej warunki brzegowe oddalone są od granic jednostki bilansowej, tym mniejszy jest wpływ potencjalnych błędów określenia ciśnień na warunkach I rodzaju na położenie wynikowego zwierciadła wody w obrębie modelowanej jednostki. Narzędziem, które w programie ModFlow może być przydatne w odwzorowaniu granic jednostki, jest pakiet *General Head*. Jego stosowanie umożliwia uzyskanie odsunięcia warunku I rodzaju od granic modelu na zadaną odległość.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że w modelu matematycznym rozwiązywane jest równanie bilansowe, tzn. suma wszystkich dopływów przez granice modelu (infiltracja, dopływy boczne, infiltracja cieków itp.) musi być równa sumie odpływów (pobór, odpływ przez brzegi, drenaż cieków itp.). Bez analizy tego bilansu bardzo trudno będzie model wytarować lub wręcz wiarygodne wytarowanie będzie niemożliwe. Dotyczy to zwłaszcza oszacowania wielkości możliwych bocznych dopływów lub odpływów przez brzegi modelu.

Warunki I rodzaju są właściwe dla etapu identyfikacji modelu. Dla etapu symulacji prognostycznych, gdy wprowadzane są dodatkowe wymuszenia, należy szczegółowo analizować wzrost wielkości dopływów brzegowych. Jest to jedno z kryteriów określenia zasobów (patrz rozdz. 6.5.5), które często jest najistotniejsze przy ustalaniu ich ostatecznej ilości. Niejednokrotnie stosuje się na tym etapie zamianę warunków I rodzaju na warunki II lub III rodzaju, aby zapewnić ograniczenia w ilości wody zasilającej obszar bilansowy. W każdym przypadku konieczna jest analiza zmian położenia wododziału, która może świadczyć o zbyt dużych wymuszeniach wprowadzanych na model. Za błędne uważać należy przyjęcie zamkniętego charakteru powierzchni brzegowej, tj. zadanie warunków brzegowych II rodzaju zakładających brak wymiany pomiędzy analizowaną jednostką bilansową (zlewnią), a otoczeniem [Michalak, Nowicki (red.), 2009].

Odwzorowanie cieków wykonywane jest z reguły warunkiem III rodzaju (moduł *River* w programie ModFlow). Moduł ten w sposób właściwy odwzorowuje drenującą rolę cieku, natomiast może okazać się nieprzydatny przy symulacjach prognostycznych, gdy wprowadza się dodatkowe wymuszenia (punkty poboru). Wówczas, na skutek obniżenia zwierciadła wody, drenująca rola cieku ustaje i rozpoczyna się infiltracja z rzeki do warstwy, której natężenie uzależnione jest od oporów filtracyjnych koryta oraz różnicy ciśnień zwierciadła wody podziemnej i powierzchniowej w rzece. Zwierciadło

wody w rzece zadane jest w postaci stałej wartości, która nie zmienia się wraz ze zmianą stanów wód podziemnych. W rzeczywistości obniżaniu poziomu wód podziemnych towarzyszy spadek poziomu wody w rzece, aż do momentu końcowego, gdy rzeka przestaje płynąć. Moduł *River* nie dopuszcza do osuszenia rzeki, a więc nie może okazać się niewłaściwy do wykorzystania przy symulacjach prognostycznych. Opisaną sytuację można w sposób właściwy odwzorować, wykorzystując moduł *Stream*, który w procesie iteracyjnym traktowany jest tak samo, jak warunek III rodzaju, ale o zmiennej charakterystyce działania. W sytuacji, gdy dochodzi na modelu do obniżenia zwierciadła wody poniżej zadanego dna cieku, moduł ten przestaje działać jak warunek III rodzaju, co oznacza, że rzeka została „osuszona” i przestaje odgrywać rolę w bilansie krążenia wód. Moduł *Stream* nie jest powszechnie stosowany na modelach regionalnych, co wynika z konieczności wprowadzania dodatkowych danych, jak np. powierzchnia przekroju rzeki, współczynnik szorstkości koryta i inne [Szczepiński, 2012]<sup>11</sup>. Tym niemniej dla modeli konstruowanych z myślą o prowadzeniu symulacji intensyfikujących pobór, w których z założenia doprowadza się do powstawania znacznych depresji, może być wykorzystywany jako główny moduł odwzorowujący zmienne działanie rzek w systemie krążenia wód.

Szczególną rolę przypisać należy warunkom brzegowym warstwy pierwszej modelu, gdy odwzorowuje ona przypowierzchniowy poziom wodonośny. Poziom ten z reguły odznacza się słabym rozpoznaniem hydrogeologicznym, co dotyczy głównie jego parametrów filtracyjnych, ale także rozkładu ciśnień wewnątrz obszaru i na granicach modelowanej jednostki bilansowej. Jeśli rozpoznanie poziomów leżących głębiej jest wystarczające do wykreślenia mapy hydroizohips, poziom przypowierzchniowy może być modelowany przy zadaniu warunków III rodzaju (rzeki) i warunków II rodzaju (zasilanie infiltracyjne, pobory). Z modelu otrzymujemy wówczas hydroizohipsy, które odzwierciedlają strefy zasilania (wododziały) i drenażu (rzeki). Analiza poprawności przebiegu hydroizohips polega na sprawdzeniu ich zgodności z modelem powierzchni terenu i ewentualnie z pomiarami zwierciadła wody dokonanymi w studniach ujmujących ten poziom.

---

<sup>11</sup> Moduł *Stream* daje szereg innych możliwości wykorzystania do celów bilansowych, jak np. obliczenie w każdym z bloków odwzorowujących rzekę wielkości przepływu powierzchniowego zależnego od natężenie przepływu we wszystkich blokach powyżej i od dopływu wód podziemnych, a także modyfikowanie rzędnej zwierciadła wody w cieku w zależności od zasilania z wód podziemnych. Szczegółowa charakterystyka modułu *Stream* przedstawiona jest m.in. jest w opracowaniu Prudica [1989] – za Szczepiński [2012].

#### **6.5.4. Sposoby prowadzenia symulacji prognostycznych i obliczeń zasobów dyspozycyjnych**

Zgodnie z definicją zasoby dyspozycyjne określane są bez wskazywania szczegółowej lokalizacji punktów poboru. Wskazuje się zatem tylko bloki obliczeniowe modelu, w których symuluje się dodatkowy pobór wód podziemnych oraz warstwy, do których ten pobór jest przypisany. Z matematycznego punktu widzenia maksymalizacja poborów może być wykonana poprzez przypisanie poboru do każdego z bloków i zastosowanie metody przestrzeni dopuszczalnej eksploatacji (PDE) [Michalak, 2002]. Metoda ta, ze względu na niejednoznaczność otrzymywanych rozwiązań, zawiera jednak w sobie znaczne ograniczenia, co wymaga dalszych prac badawczych [Michalak, Nowicki (red.), 2009].

W praktyce, biorąc pod uwagę obecny sposób zagospodarowania zasobów wód podziemnych, tj. funkcjonujące ujęcia z ich aktualnym i perspektywicznym zapotrzebowaniem, pobór może być symulowany na 2 sposoby:

1. W obecnie czynnych ujęciach wód podziemnych, poprzez zwiększenie obecnej eksploatacji do poziomu określonego w pozwoleniach wodnoprawnych jako wartość średnia dobową –  $Q_{\text{śrd}}$ . W ujęciach, które nie posiadają pozwolenia, pobór zadaje się w wysokości rzeczywistej średniej rocznej eksploatacji.
2. W blokach obliczeniowych modelu, w których fizycznie nie istnieją ujęcia wód podziemnych. Są to dodatkowe pobory, symulowane w rejonach o korzystnych warunkach hydrogeologicznych, przy czym przy ich wyborze uwzględnia się zróżnicowaną dostępność zasobów (np. ograniczona dostępność na obszarach leśnych w obrębie obszarów chronionych albo w sąsiedztwie aglomeracji miejskich), a także perspektywy wzrostu zapotrzebowania na wodę w przyszłości (sąsiedztwo obszarów zabudowanych, które obecnie nie posiadają własnych ujęć wód podziemnych). Zarówno lokalizacja, jak i wydatki przypisywane do poszczególnych bloków modelu muszą spełniać kryteria dopuszczalności poboru, sformułowane w poniższym rozdziale (rozdz. 6.5.5).

Przy zachowaniu warunków określonych jako kryteria szcerpania zasobów, zasoby dyspozycyjne wyznacza suma wydatków symulowanych jako pobór dodatkowy (perspektywiczny) i wydatków symulowanych jako prawnie dopuszczalny pobór obecnie czynnych ujęć, tj. pobór zgodny z wartościami  $Q_{\text{śrd}}$  określonymi dla poszczególnych ujęć w pozwoleniach wodnoprawnych.

### 6.5.5. Kryteria szcerpania zasobów

Definicja zasobów dyspozycyjnych [rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714)] zawiera wymóg odniesienia się do ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych, a także do przestrzennego rozkładu środowiskowych i hydrogeologicznych ograniczeń dla stopnia zagospodarowania zasobów oraz przestrzennego rozkładu istniejącego użytkowania wód podziemnych. Oznacza to, że do określenia zasobów dyspozycyjnych wymagane jest wyznaczenie ścisłych kryteriów dopuszczających maksymalne możliwe do zaakceptowania przekształcenia środowiska. Dominującym skutkiem dla środowiska związanym z czerpaniem zasobów dyspozycyjnych jest obniżenie zwierciadła wody, należy więc określić dopuszczalny poziom depresji w poszczególnych rejonach obszaru badań i poszczególnych warstwach modelu. Pochodną zmian ciśnień piezometrycznych jest modyfikacja struktury bilansu wód podziemnych, a więc również i zmiany bilansu muszą mieć swoje ograniczenia.

Biorąc powyższe pod uwagę, można sformułować następujące warunki środowiskowe szcerpania zasobów:

1. Ograniczenie depresji w użytkowym poziomie wodonośnym do wartości dopuszczalnych ze względu na potrzeby wszystkich użytkowników wód podziemnych. Kryterium to ma na celu ograniczenie współdziałania ujęć (rzeczywistych i symulowanych jako dodatkowy pobór) do dopuszczalnego poziomu (szczególnie dotyczy to dużych ujęć komunalnych). Należy pamiętać, że analizie modelowej podlega depresja rejonowa w bloku obliczeniowym [Dąbrowski i in., 2011]. Depresja rzeczywista w otworze powiększona jest o tę jej część, która formuje się w odległości od otworu mniejszej niż połowa wymiaru siatki dyskretyzacyjnej [Macioszczyk, Szestakow, 1983; Pleczyński, 1981; Kulma, Zdechlik, 2009]. Aby zanalizować spełnianie tego kryterium, niezbędne jest zestawienie porównawcze depresji dopuszczalnych w poszczególnych ujęciach z depresjami otrzymanymi z symulacji modelowej. To kryterium obejmuje także konieczności utrzymania gradientów ciśnień (poziomych i pionowych) zapobiegających ingresjom i ascenzjom wód słonych oraz innych zagrażających dobremu stanowi chemicznemu wód w poziomach użytkowych.
2. Ograniczenia przyrodniczo-ekologiczne (środowiskowe) rozumiane jako dopuszczalna depresja na obszarach ekosystemów uzależnio-

nych od położenia zwierciadła wód podziemnych (np. parki narodowe, rezerваты torfowiskowe, chronione siedliska i ostoje w obszarach Natura 2000). Spełnienie tego kryterium doprowadzić może do znacznego ograniczenia zasobów, ponieważ każde wymuszenie na modelu skutkuje powstaniem depresji. Niezbędna jest więc znajomość wymogów ochronnych analizowanych ekosystemów, tj. dopuszczalne dla nich obniżenie zwierciadła wody. Ograniczenie to dotyczy także obniżenia swobodnego zwierciadła płytkich wód podziemnych wynikającego z zagospodarowania rolniczego i leśnego terenu tam, gdzie jest to ustalone jako priorytet w planach zagospodarowania przestrzennego.

Określenie maksymalnego dopuszczalnego zdepresjonowania dla ekosystemów zależnych od wód podziemnych jest zagadnieniem skomplikowanym i jak dotychczas ekosystemy takie nie mają określonej tej kluczowej – z punktu widzenia oceny zasobów – wartości. Rozwiązaniem tego problemu może być postulat zwrotu wody pobranej w postaci oczyszczonych ścieków na teren obszaru chronionego. Wówczas obszary te nie będą „tracić” wody w wyniku zwiększonej eksploatacji. W symulacjach modelowych oznaczałoby to zwiększenie infiltracji efektywnej do poziomu, przy którym zwierciadło wody w poziomie przypowierzchniowym będzie odpowiadać stanowi wyjściowemu (przed symulacją dodatkowego poboru). Różnica infiltracji efektywnej początkowej i określonej dla takiego liczenia stanowi ilość wody, jaka powinna wrócić do ekosystemu (np. poprzez zrzut nieoczyszczonych ścieków, rozdeszczowanie tych ścieków lub inne techniczne rozwiązanie).

Rozwiązanie to pozwoli na wyjście z sytuacji znacznych ograniczeń wielkości zasobów dyspozycyjnych z powodu wyłączenia z możliwości obniżenia zwierciadła wody na obszarach chronionych. Jednak obecnie ma ono rangę propozycji strategicznej, która wymaga odpowiedniej podbudowy prawnej.

3. Wymóg zachowania przepływów nienaruszalnych w rzekach<sup>12</sup>. Na modelu odtwarzamy nie bezpośrednio drenaż rzeczny, tylko dopływ do doliny rzecznej, który rozchodowywany jest na zasilanie rzek i drenaż ewapotranspiracyjny. Dlatego też od całkowitego dopływu do warunków brzegowych III rodzaju odejmuje się tę część, która

<sup>12</sup> Albo też określonej części tego przepływu, jeżeli przyjmie się, że przepływ nienaruszalny, jako wymagany przepływ minimalny rzeki, powinien być utrzymany również z okresowej retencji zasobów wód powierzchniowych, tak jak to się dzieje np. na Mlecznej, Czarnej Staszowskiej, Warcie poniżej Jeziorska, Noteci poniżej Gopła.

oznacza ewapotranspirację. Otrzymaną wartość należy porównać z przepływem nienaruszalnym. Trzeba przy tym zachować pewien margines bezpieczeństwa, niezbędny ze względu na ograniczoną dokładność ustalania zarówno wielkości przepływów nienaruszalnych, jak i ewapotranspiracji.

4. Ograniczenia dotyczące modyfikacji struktury bilansu krążenia wód spowodowanej obniżeniem zwierciadła wody. Brak jest, jak dotychczas, określonych zasad metodycznych dotyczących liczbowej charakterystyki zmian struktury bilansu. Jedynie w pracy Macioszczyka i Kazimierskiego [Macioszczyk, Kazimierski, 1990a] znaleźć można wskazówki na ten temat, lecz praktyka ustalania zasobów dyspozycyjnych nie potwierdziła słuszności tez zawartych w tej pracy, w myśl których głównym elementem analizy stopnia szczypania zasobów jest wpływ eksploatacji w poziomie użytkowym na poziomy sąsiadujące (podległe i nadległe). Obecnie wymogi stawiane prognozom modelowym są szersze i zakładają pewną dozę subiektywnej oceny możliwości szczypania zasobów. Niezbędna jest tu ocena wynikająca ze znajomości terenu oraz wiedza o „reakcji” modelu na zadawane wymuszenia (czułość danych), w szczególności zaś dotycząca możliwości wzrostu dopływów brzegowych pochodzących spoza granicy bilansowanego obszaru. W praktyce stosuje się górne ograniczenie wzrostu dopływów brzegowych na poziomie ok. 25%, odnoszone do modelu stanów aktualnych. Zmiany pozostałych składników bilansu oceniane są przez prowadzącego badania, ale zawsze z uwzględnieniem pozostałych kryteriów szczypania zasobów. Należy pamiętać, że przy analizie modyfikacji struktury bilansu funkcjonuje pewnego rodzaju współczynnik bezpieczeństwa prognozy w postaci zasobów wzbudzonych, np. zwiększenie zasilania pionowego użytkowego poziomu wodonośnego na skutek obniżenia ciśnienia piezometrycznego w tym poziomie. Zwiększenie to nie jest z reguły odwzorowywane na modelu, ale faktycznie ma miejsce i dlatego może być traktowane jako współczynnik bezpieczeństwa. Omawiane kryterium z reguły działa ograniczająco na symulowaną wielkość zasobów dyspozycyjnych poprzez wymuszanie lokalizacji punktów poboru z dala od granic modelu.

#### **6.5.6. Sposoby prezentacji wyników badań modelowych**

Właściwa prezentacja wyników badań modelowych jest niezbędna do tego, aby model mógł być w pełni użyteczny i aby jego wiarygodność nie była kwestionowana. Wymogi formalne wynikające z rozporządze-



nia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714) zostały przedstawione w rozdziale 5.1.2. Paragraf 5.1 tego rozporządzenia precyzuje wymogi odnośnie do części opisowej dokumentacji (w tym badań modelowych), natomiast § 5.2, ust. 4 wymaga przedstawienia „map wejściowych i wynikowych modelu matematycznego, w tym map hydroizohips stanu aktualnego i stanu prognozowanego dla maksymalnego wykorzystania zasobów dyspozycyjnych”. Mapy te powinny prezentować następujące elementy konstrukcyjne modelu:

- granice (zasięg modelu) i warunki brzegowe każdej z warstw modelu;
- parametry warstw (współczynnik filtracji lub przewodność);
- hydroizohipsy wynikowe modelu dla poszczególnych warstw (dla stanu, na który tarowano model oraz stanów prognozowanych);
- depresje wynikowe poszczególnych warstw modelu (dla stanów prognozowanych).

Poniżej przedstawia się przykładowy zestaw załączników składających się na dokumentację graficzną przeprowadzonych badań modelowych. Przykład dotyczy modelowania systemu o 3 wydzielonych poziomach wodonośnych, które na modelu odwzorowane są za pomocą 3 warstw przepuszczalnych (określonych jako warstwa I, II i III) i 2 warstw słabo przepuszczalnych:

- a) Mapa zasięgu i warunków brzegowych warstwy I
- b) Mapa zasięgu i warunków brzegowych warstwy II
- c) Mapa zasięgu i warunków brzegowych warstwy III
- d) Mapa hydroizohips warstwy I w warunkach istniejącej eksploatacji (stan aktualny)
- e) Mapa hydroizohips warstwy II w warunkach istniejącej eksploatacji (stan aktualny)
- f) Mapa hydroizohips warstwy III w warunkach istniejącej eksploatacji (stan aktualny)
- g) Mapa przewodnictwa wodnego warstwy I
- h) Mapa przewodnictwa wodnego warstwy II

- i) Mapa przewodnictwa wodnego warstwy III
- j) Mapa hydroizohips warstwy I w warunkach eksploatacji zgodnej z pozwoleniami wodnoprawnymi
- k) Mapa hydroizohips warstwy II w warunkach eksploatacji zgodnej z pozwoleniami wodnoprawnymi
- l) Mapa hydroizohips warstwy III w warunkach eksploatacji zgodnej z pozwoleniami wodnoprawnymi
- m) Depresja warstwy I w warunkach eksploatacji zgodnej z pozwoleniami wodnoprawnymi
- n) Depresja warstwy II w warunkach eksploatacji zgodnej z pozwoleniami wodnoprawnymi
- o) Depresja warstwy III w warunkach eksploatacji zgodnej z pozwoleniami wodnoprawnymi
- p) Mapa hydroizohips warstwy I w warunkach eksploatacji równej zasobom dyspozycyjnym
- q) Mapa hydroizohips warstwy II w warunkach eksploatacji równej zasobom dyspozycyjnym
- r) Mapa hydroizohips warstwy III w warunkach eksploatacji równej zasobom dyspozycyjnym
- s) Depresja warstwy I w warunkach eksploatacji równej zasobom dyspozycyjnym
- t) Depresja warstwy II w warunkach eksploatacji równej zasobom dyspozycyjnym
- u) Depresja warstwy III w warunkach eksploatacji równej zasobom dyspozycyjnym.

Większa część z ww. map może być przedstawiona w skali przeglądowej (nawet dostosowanej do formatu A4 lub A3, na orientacyjnym podkładzie topograficznym), a jedynie hydroizohipsy i depresje obrazujące stan hydrodynamiczny przy poborze równym zasobom dyspozycyjnym powinny być przedstawione również w skali szczegółowej, analogicznie jak pozostałe załączniki graficzne dokumentacji. Mapy te, sporządzone dla poziomu użytkowego, powinny być częścią mapy zasobowej, podsumowującej prace nad ustaleniem zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych.



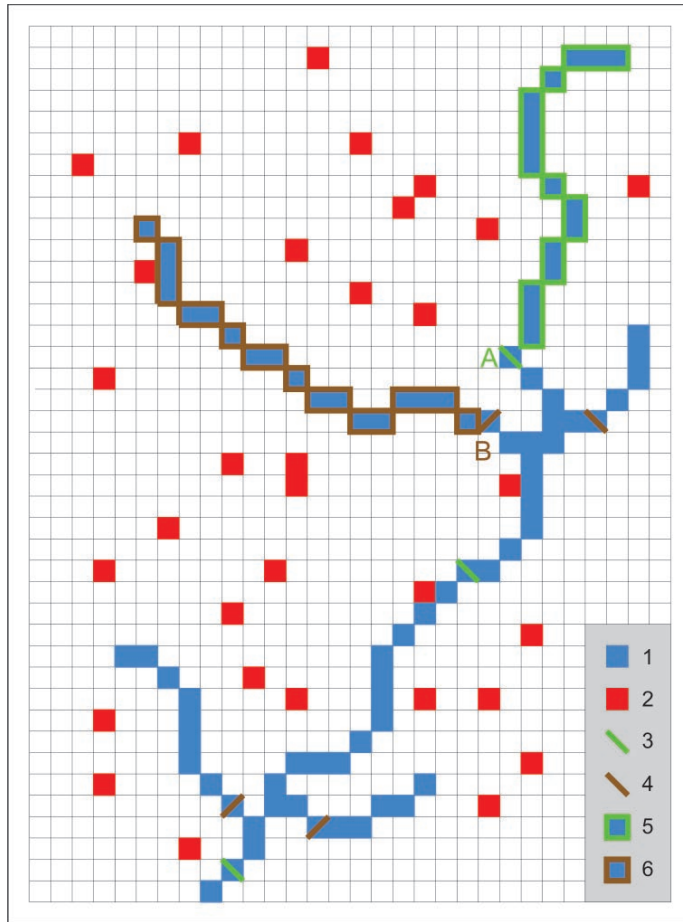
### **6.5.7. Zmienność odpływu podziemnego do rzek w warunkach zasilania średniego i niskiego**

Ustalenie na modelu zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych kończy cykl pracy wynikający z przepisów prawa dotyczących dokumentacji hydrogeologicznej [rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714)].

Natomiast w oparciu o wyniki prac modelowych możliwa jest orientacyjna charakterystyka reakcji systemu wodonośnego na zmniejszenie zasilania infiltracyjnego, odpowiadającego cyklowi lat posusznych. Charakterystyka taka polega na sporządzeniu bilansu skumulowanego dopływu do bloków modelujących doliny rzeczne w dwóch wariantach:

1. Na modelu z zasilaniem średnim z okresu wielolecia. Ten wariant nie wymaga przeprowadzania dodatkowych symulacji, wykorzystuje się te, które wykonano w ramach identyfikacji modelu i ustalania zasobów dyspozycyjnych.
2. Na modelu z zasilaniem charakterystycznym dla okresu posuszego. Sposób identyfikacji takiego okresu, wraz z zasadami ustalenia dla niego średniego zasilania, przedstawiony został w rozdziale 5.3.2. Wymagane jest przeprowadzenie dodatkowej symulacji z zasilaniem modelu zmniejszonym proporcjonalnie do stopnia redukcji zasilania określonego dla cyklu lat posusznych. Przeprowadzona w ten sposób korekta zasilania modelu uwzględnia przestrzenne zróżnicowanie zasilania wynikające z warunków infiltracji (tj. zasilanie modelu redukuje się w każdej z przyjętych klas). W skrajnym przypadku, gdy bloki modelujące ciek w górnym odcinku, przy zmniejszonym poziomie infiltracji efektywnej, zmieniają charakter z drenującego na infiltrujący, należy je wyłączyć z modelowania ciek.

*Skumulowana wartość dopływu do doliny rzecznej* obliczana jest dla poszczególnych przekrojów bilansowych jako suma dopływów i odpływów do wszystkich bloków modelujących ciek powierzchniowy, od jego modelowanego początku do przekroju bilansowego, z wliczeniem wszystkich modelowych dopływów (rys. 6.5-4). Wyniki obliczeń należy zestawić według wzorca przedstawionego w tabeli 6.5-2. Tabela sporządzana jest dla wszystkich przekrojów bilansowych, w których został wyznaczony przepływ nienaruszalny ze względu na ochronę określonego stanu rzeki.



**Rys. 6.5-4. Schemat obliczania skumulowanych wartości dopływu do doliny rzecznej**

Objaśnienia: blok zawierający: 1 – dolinę rzeki, 2 – ujęcie wód podziemnych, 3 – przekrój bilansowy wodowskazowy, 4 – przekrój bilansowy obliczeniowy (bez wodowskazu). Bloki objęte sumowaniem wymiany wód podziemnych po przekrój bilansowy: 5 – wodowskazowy oznaczony symbolem „A”, 6 – obliczeniowy oznaczony symbolem „B”.

**Tab. 6.5-2. Rodzaje symulacji modelowych dla charakterystyki odpływu podziemnego do rzek**

(oznaczenia w tabeli zgodne z objaśnieniami w rozdziale 5.1)

Lp	Średnioroczny pobór wód podziemnych [m <sup>3</sup> /d]	Infiltracja efektywna <i>IE</i>	Oznaczenie symulacji	Wielkość [m <sup>3</sup> /d]					Uwagi
				<i>ZPD</i>	<i>ETD</i>	<i>QG</i>	<i>Q<sub>nh</sub></i>	<i>QG-Q<sub>nh</sub></i>	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<i>UA</i> – aktualny, rzeczywisty	<i>IES</i> – średnia wieloletnia	<i>IES-UA</i>						
2	<i>UB</i> – brak poboru		<i>IES-UB</i>						
3	<i>UW</i> – dopuszczalny w pozwoleniach wodnoprawnych		<i>IES-UW</i>						
4	<i>UP</i> – perspektywiczny*		<i>IES-UP</i>						
5	<i>UD</i> – w ilości zasobów dyspozycyjnych		<i>IES-UD</i>						
6	<i>UA</i> – aktualny, rzeczywisty	<i>IEN<sub>(CI)</sub></i> – niska w reprezentatywnym cyklu <i>CI</i> lat posusznych	<i>IEN-UA</i>						
7	<i>UB</i> – brak poboru		<i>IEN-UB</i>						
8	<i>UW</i> – dopuszczalny w pozwoleniach wodnoprawnych		<i>IEN-UW</i>						
9	<i>UP</i> – perspektywiczny*		<i>IEN-UP</i>						

\* Pobór perspektywiczny uwzględnia się w symulacjach tylko wtedy, gdy dostępne są dane o jego wielkości.

Wartością wstawianą do tabeli jako wynik symulacji modelowej jest *ZPD* – zasilanie podziemne dolinnej strefy drenażowej. Ewapotranspiracja *ETD* została oszacowana na etapie ustalania zasobów odnawialnych i identyfikacji modelu, jest więc wstawiana do tabeli jako wartość niezależna od wyników prac modelowych, a odpływ podziemny do rzek *QG* jest obliczany z różnicy:  $QG = ZPD - ETD$ .

Kolumna 8 tabeli stanowi podsumowanie analizy bilansowej i pokazuje, czy zachowany jest przepływ nienaruszalny. W przypadku, gdy w danych warunkach infiltracji efektywnej i poboru wód podziemnych wartość *QG-Q<sub>nh</sub>* okaże się ujemna, będzie to podstawą do sformułowania odpowiednich wniosków hydrogeologicznych pozwalających opracować warunki korzystania z wód regionu wodnego i zlewni.

## 6.6. Określanie zasobów dyspozycyjnych metodą hydrologiczną

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714) wymaga, aby zasoby dyspozycyjne ustalone metodą modelową jako podstawową zostały poddane ocenie w świetle obliczeń metodą kontrolną. Jako metodę kontrolną rekomenduje się szacunkowe ustalenie zasobów dyspozycyjnych zlewniowego systemu wodonośnego w oparciu o identyfikację zasilania podziemnego *QG* rzek, jako wynik analizy stacjonarnych obserwacji przepływu wód powierzchniowych i przepływu nienaruszalnego *Q<sub>nh</sub>* rzeki w przekroju wodowskazowym. Tę metodykę zastosowano przy określaniu zasobów perspektywicznych wód podziemnych [Herbich, Dąbrowski, Nowakowski, 2003].

Zlewniowy system wodonośny obejmuje układ strumieni wód podziemnych strefy aktywnej wymiany zasilanych zmienną czasowo infiltracją opadów atmosferycznych oraz drenowanych w strefach dolinnych przez odpływ podziemny do koryt wód powierzchniowych i przez ewapotranspirację w obrębie tarasu niskiego. Granicę zlewniowego systemu wodonośnego stanowi wododział podziemny obszaru spływu wód dolinnej strefy drenażowej.

Na potrzeby szacunkowych obliczeń zasobów dyspozycyjnych jako granicę systemu zlewniowego przyjmuje się wododział zlewni hydrograficznej, zamkniętej przekrojem wodowskazowym o kontrolowanym przepływie rzeczny w okresie wielolecia. Wyróżnia się zlewnie zamknięte jednym wodowskazem oraz zlewnie różnicowe, ograniczone wododziałem wyprowadzonym z dwu lub kilku wodowskazów. Wyróżnia się także zlewnie nie kontrolowane wodowskazowo – w tym zlewnie rzeczne drenowane przez sieć hydrograficzną niższego rzędu oraz bezpośrednio zlewnie rzek głównych. W obrębie zlewniowego systemu wodonośnego część wód podziemnych jest pobierana z poziomów użytkowych ujęciami studziennymi i innymi, jednakże w sposób nie powodujący istotnego przemieszczenia wododziału podziemnego zlewni i nie wytwarzający regionalnej strefy drenażowej.

Zachowując szacunkową dokładność prowadzonych obliczeń zasobowych, przy wszystkich upraszczających założeniach przedstawionych w rozdz. 5 (gdzie również zostało podane równanie bilansu wód podziemnych zlewniowego systemu wodonośnego), można przyjąć, że w skali okresu wieloletniego zasoby odnawialne *ZO* są rozchodowane na pobór wód podziemnych

$U$  (głównie przez studnie wiercone), odpływ podziemny do koryt cieków powierzchniowych  $QG$  oraz drenaż ewapotranspiracyjny wód podziemnych  $ETD$  na tarasie łąkowym i w podmokłościach dolinnej strefy drenażowej. Szacuje się, że w typowych warunkach komunalnego i przemysłowego użytkowania wód podziemnych z poziomów użytkowych zlewniowego systemu wodonośnego co najmniej dwie trzecie pobranych wód podziemnych powraca do zlewni w postaci zrzutu ścieków, współtworząc przepływ w przekroju wodowskazowym, a tym samym będąc podstawą do wyznaczania odpływu podziemnego. Uwzględniając to wszystko, z dokładnością wystarczającą do oszacowania zasobów dyspozycyjnych typowych zlewniowych systemów wodonośnych, można przyjąć, że:

$$ZO = QG + ETD$$

Część odpływu podziemnego do rzek  $QG$ , rejestrowanego w przekroju wodowskazowym zamykającym zlewnię, tworzona jest przez okresowy lub stały drenaż lokalnych przypowierzchniowych struktur wodonośnych nie spełniających kryteriów poziomów użytkowych – wód poziomów zawieszonych, płytkich poziomów wód gruntowych, a także utworów słaboprzepuszczalnych objętych melioracjami.

Metodyka identyfikacji odpływu podziemnego w rzekach, oparta na ścięciu fali wezbraniowej lub wykorzystująca analizę statystyczną przepływów niskich miesięcznych ( $NQ_M$ ), częściowo pomija udział tych wód w odpływie podziemnym, gdyż współtworzą one falę wezbraniową po opadach lub roztopach. Jednakże w przypadku znacznego zasięgu występowania poziomów wód zawieszonych i przypowierzchniowych w obrębie zlewni ich udział  $QG_P$  w odpływie podziemnym  $QG$  do rzek jest istotny i w schemacie obliczeniowym nie powinien być pominięty:

$$QG = QG_P + QG_G$$

gdzie:

- $QG_G$  – odpływ podziemny pochodzący z drenażu poziomów użytkowych w obrębie zlewni;
- $QG_P$  – odpływ podziemny pochodzący z drenażu poziomów zawieszonych i przypowierzchniowych poziomów wód gruntowych w obrębie obszarów zasilania wód podziemnych zlewni (również w obszarach pozbawionych poziomów spełniających kryteria użytkowe).

Stosunek odpływu podziemnego pochodzącego z drenażu poziomów użytkowych w obrębie zlewni  $QG_G$  do całkowitego odpływu podziemnego  $QG$  jest określony przez współczynnik  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{QG_G}{QG}$$

Współczynnik  $\alpha$  został uwzględniony przy redukcji wodowskazowo kontrolowanego odpływu podziemnego do rzek  $QG$ , stanowiącego podstawę ustalenia zasobów perspektywicznych w zlewniach obliczeniowych [Herbich, Dąbrowski, Nowakowski, 2003]. Wartość współczynnika  $\alpha$  została szacunkowo określona dzięki analizie warunków hydrogeologicznych zlewniowego systemu wodonośnego uwzględniającej udział poziomów zawieszonych i płytkich poziomów wód gruntowych (nie odpowiadających kryteriom poziomów użytkowych) w obszarach zasilania wód podziemnych zlewni obliczeniowej oraz uwzględniającej udział obszarów pozbawionych poziomów użytkowych w powierzchni zlewni, a także z uwzględnieniem ciągłości i wykształcenia poziomów użytkowych, decydujących o warunkach dopływu wód podziemnych do dolinnych stref drenażowych oraz o możliwości zagospodarowania zasobów wód podziemnych.

W przypadku zlewni o złożonych warunkach hydrogeologicznych, zlewni obejmujących obszary o odmiennych systemach krążenia, zlewni reprezentujących typy mieszane, stosowano wartości współczynnika  $\alpha$  odpowiednio uśrednione.

W przypadku zlewni o swobodnych poziomach wodonośnych, obejmujących parki narodowe i leśne parki krajobrazowe, w obliczeniach zasobów perspektywicznych wykorzystano redukcyjne znaczenie współczynnika  $\alpha$ , aby wyłączyć odpowiednią część zlewni z oceny zasobowej.

Na podstawie przeprowadzonej analizy ustalono wartości współczynnika  $\alpha$  dla zlewni rzek o wystarczająco rozpoznanych warunkach hydrogeologicznych i dynamicie odpływu (obserwacje wodowskazowe), reprezentatywnych dla regionów o zbliżonych warunkach geomorfologicznych i hydrogeologicznych (tab. 6.6-1).

Zasoby perspektywiczne wód podziemnych – analogicznie do zasobów dyspozycyjnych – są ustalane bez wskazywania lokalizacji i warunków techniczno-ekonomicznych ujęć. Zasoby poziomów zawieszonych i przypowierzchniowych poziomów wód gruntowych mogą być zatem również brane pod uwagę jako zasoby dostępne do zagospodarowania przez rozproszonych lecz licznych użytkowników o niewielkich potrzebach wodnych, np. poprzez ujmowanie płytkimi studniami szybowymi. Jednakże ze względu na znaczny stopień zanieczyszczenia lub narażenia na zanieczyszcze-

nie pochodzące z powierzchniowych ognisk zanieczyszczeń (tereny upraw rolnych i osadnictwa wiejskiego, szlaki komunikacyjne, wysypiska, grunty organiczne, zanieczyszczone wody powierzchniowe itp.) wody te są najczęściej pomijane w analizie zasobowej prowadzącej do ustalenia zasobów wód podziemnych możliwych do zagospodarowania. Wziąwszy to wszystko pod uwagę, ustalono zasoby perspektywiczne wód podziemnych zlewniowych systemów wodonośnych z pominięciem poziomów wód zawieszonych i gruntowych, stosując metodykę uwzględniającą udział poziomów użytkowych w układzie krążenia wód podziemnych systemu zlewniowego wyrażonego współczynnikiem  $\alpha$ .

**Tab. 6.6-1. Wartości współczynnika  $\alpha$  udziału odpływu podziemnego pochodzącego z drenażu poziomów użytkowych  $QG_G$  w całkowitym odpływie podziemnym  $QG$  ze zlewni**

Lp	$\alpha$	Warunki odpływu podziemnego (zlewnie reprezentatywne)
1	1	swobodne ciągle silnie wodonośne poziomy szczelinowe wyżyn środkowopolskich (górnny Wieprz, Iłzanka, górna Radomka); zlewnie obejmujące obszary głębokiego drenażu górniczego (Przemsza)
2	0,9	ciągle silnie wodonośne poziomy szczelinowe obszarów wyżynnych z zawodnionymi pokrywami kenozoicznymi (Pilica, Nida); ciągle swobodne poziomy sandrowe lub aluwialne (Rozoga, Łęg, Sanna)
3	0,8	wielopoziomowe quasi-ciągłe systemy wodonośne piętra kenozoicznego (Wilga, Liwiec, Guber)
4	0,7	wielopoziomowe częściowo nieciągłe systemy wodonośne piętra kenozoicznego (Wkra, Narewka,)
5	0,5	wielopoziomowe silnie zaburzone systemy wodonośne piętra kenozoicznego (Hańcza, Szeszupa)
6	0,4	nieciągłe systemy wodonośne obszarów górskich i pogórza, w tym w utworach fliszowych (górnny San, górna Wisłoka, Skawa)

Uwzględniając opisane uwarunkowania hydrogeologiczne oraz wprowadzone uproszczenia bilansowe, w szczególności zakładając, że:

- część zasobów odnawialnych wód podziemnych zlewniowego systemu wodonośnego niezbędna do utrzymania właściwego stanu ekosystemów łąkowych i podmokłych dolinnych stref drenażowych jest równa drenażowi ewapotranspiracyjnemu  $ETD$ ,
- część zasobów wód podziemnych niezbędna do utrzymania właściwego stanu ekologicznego wód powierzchniowych jest określona przepływem nienaruszalnym  $Q_{nh}$ ,

zasoby dyspozycyjne zlewniowego systemu wodonośnego **ZD** można określić szacunkowo z zależności:

$$ZD = \alpha (SQG_w - Qnh)$$

gdzie:

- $SQG_w$  – średni w wieloleciu reprezentatywnym odpływ podziemny do rzek w obrębie zlewniowego systemu wodonośnego;
- $\alpha$  – stosunek odpływu podziemnego w rzekach zlewni, pochodzącego z drenażu  $QG_G$  poziomów użytkowych w obrębie zlewniowego systemu wodonośnego, do całkowitego odpływu podziemnego  $QG$  ze zlewni (wartość  $\alpha$  została podana w tabeli B);
- $Qnh$  – przepływ nienaruszalny w przekroju wodowskazowym, zamykającym zlewnię hydrograficzną w obrębie zlewniowego systemu wodonośnego; przepływ nienaruszalny na potrzeby ustalania zasobów perspektywicznych został określony metodą analizy statystycznej przepływów niskich.





## **7. Metodyka przeprowadzania jednolitego bilansu wodnogospodarczego**

---

---



## **7.1. Ogólne założenia jednolitego bilansu wodnogospodarczego regionu wodnego i zlewni**

Jednolity bilans wodnogospodarczy nie jest opracowywany w ramach dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych obszaru bilansowego. Stanowi to następny etap prac zmierzających do tworzenia warunków korzystania z wód regionu wodnego i zlewni. Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (Dz. U. z 2012 r., poz. 145, z późn. zm.), w art. 115, ust. 2, pkt. 2 stanowi, że w procesie tym uwzględniane są ustalenia zawarte w dokumentacjach hydrogeologicznych dotyczących w szczególności ustalenia zasobów wód podziemnych. Analizy bilansu wód powierzchniowych i podziemnych umożliwiają rozpoznanie stanu i możliwości wykorzystania zasobów tych wód, pozwalają na identyfikację potencjalnych konfliktów wynikających z niemożliwości jednoczesnego spełnienia wszystkich zadań systemu wodnogospodarczego, a także dają podstawy do opracowania zasad gospodarowania wodą w zlewni oraz kierunków rozwoju w użytkowaniu i kształtowania zasobów wodnych. Cele te są uwzględniane poprzez sformułowanie ograniczeń, nakazów i zakazów, dla istniejącego i planowanego korzystania z wód, a także w programach działań zmierzających do osiągnięcia określonego stanu wód oraz zaspokojenia potrzeb ich użytkowników i środowiska naturalnego.

Aby realizacja tych zadań była możliwa, bilans wodnogospodarczy musi być przeprowadzony w sposób jednolity, przez co rozumie się uwzględnie-

nie wpływu zagospodarowania wód podziemnych (pobory oraz zwroty w postaci ścieków i wód z drenaży górniczych) na przepływy rzeczne w przekroju bilansowym, stanowiące zasoby wód powierzchniowych. Z tego względu ustalenie zasobów dyspozycyjnych i wykonanie bilansu wodnogospodarczego wód podziemnych poprzedza prace nad jednolitym bilansem. Oznacza to, że jednolity bilans wodnogospodarczy nie jest wykonywany w ramach ustalania zasobów dyspozycyjnych, a badania modelowe umożliwiają jedynie uzyskanie danych wejściowych do tego bilansu. Tym niemniej w rozdziale niniejszym zaprezentowano metodykę wykonywania jednolitego bilansu wodnogospodarczego, aby sposób wykorzystania dokumentacji zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych stał się bardziej zrozumiały.

Jednolity bilans wodnogospodarczy jest specjalistycznym opracowaniem analityczno-rachunkowym obejmującym ilościowe i jakościowe porównanie zasobów wód powierzchniowych i podziemnych (z uwzględnieniem ich wzajemnych oddziaływań) z potrzebami wodnymi użytkowników korzystających lub ubiegających się o korzystanie z tych zasobów, uwzględniający oddziaływanie obiektów hydrotechnicznych oraz wymagania ochrony środowiska przyrodniczego [Hydroprojekt, 1992]. Jednolity bilans wodnogospodarczy obejmuje:

- ocenę możliwości zaspokojenia potrzeb wodnych użytkowników korzystających z wód powierzchniowych i podziemnych;
- ocenę wpływu poborów wody i zrzutów ścieków oraz pracy obiektów hydrotechnicznych na reżim hydrologiczny wód powierzchniowych oraz stan ilościowy wód podziemnych;
- ocenę wielkości rezerw zasobów wód powierzchniowych i podziemnych;
- ocenę wymaganego stopnia ograniczania użytkowania zasobów wód powierzchniowych i podziemnych w celu osiągnięcia dobrego stanu wód.

W zależności od uwzględnianego stanu zagospodarowania zasobów wyróżnia się bilans wodnogospodarczy:

- stanu aktualnego, gdy dane wejściowe charakteryzujące zakres i sposób użytkowania zasobów odzwierciedlają rzeczywiste aktualne warunki (w chwili wykonywania bilansu);
- stanu formalno-prawnego, gdy dane wejściowe charakteryzujące zakres i sposób użytkowania zasobów są określone przez wartości dopuszczalne w pozwoleniu wodnoprawnym;

- perspektywiczny, gdy dane wejściowe charakteryzujące zakres i sposób użytkowania zasobów odzwierciedlają warunki kolejnych cykli planistycznych gospodarki wodnej w określonym roku.

Procedura dotycząca sporządzania bilansu wód powierzchniowych i założenia metodyczne jednolitego bilansu wodnogospodarczego zlewni zostały opracowane w 1992 roku [*Hydroprojekt*, 1992; Szczepański, 1993], a następnie zweryfikowane w ramach ich zastosowania w bilansach zlewni pilotażowych rzek: Wkry [Herbich, Tyszewski, 1994; Herbich, 1994, 1997]; Kamiennej [Bardzik i in., 1994], Radomki [Nowakowski, Nowicki, Pich, 1994] i Chechło [Kowalczyk, Rózkowski, 1994]. Po panującym w okresie przełomu wieków wyraźnym zastoju w pracach nad warunkami korzystania z wód, przystąpienie Polski do Unii Europejskiej i rozpoczęcie procesu wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej przyczyniło się do zmodyfikowania i rozwinięcia metodyki bilansowania wodnogospodarczego [zob. m.in.: Witczak, Prażak, Żurek, 2002; Drużyńska, Nachlik (red.), 2006; Duda i in., 2006; Szczepański, 2008; Szklarczyk, Szczepański, 2008b; Tyszewski i in., 2008; Szklarczyk, Stach-Kalarus, Kmieciak, 2011; Indyk i in., 2011].

W rozdziałach 7.2 i 7.3 niniejszego *Poradnika* omówione są zagadnienia bilansu wodnogospodarczego prowadzonego w celu ilościowego porównania zasobów i potrzeb wodnych. Zakres prezentowanej problematyki obejmuje podstawowe informacje o metodyce przeprowadzania takiego bilansu. Informacje te wyjaśniają, które prace prowadzone w ramach sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych są niezbędne ze względu na późniejsze ich wykorzystanie do przeprowadzenia bilansu wód powierzchniowych.

W rozdziale 7.4 przedstawiono procedury obliczania wpływu zagospodarowania wód podziemnych na przepływ rzeki w przekroju, dla którego jest wykonywany bilans ilościowy wód powierzchniowych. Obliczenia te są wykonywane w ramach odrębnego opracowania, jakim jest jednolity bilans wodnogospodarczy regionu wodnego lub zlewni niezbędny do ustanowienia warunków korzystania z wód.

Przygotowanie danych wejściowych do jednolitego bilansu wodnogospodarczego wymaga przeprowadzenia korekty wartości przepływów rzecznych w przekrojach bilansowych o wpływ poboru wód podziemnych i zrzutu powstałych ścieków. Ta czynność implikuje określoną metodykę hydrogeologicznych badań terenowych i studialnych oraz obliczeń analitycznych i modelowych prowadzonych na etapie realizacji dokumentacji hydrogeologicznej. Opracowany w ramach dokumentacji model matematyczny powinien spełniać warunki umożliwiające jego wykorzystanie w procedurze ustalenia zmian wielkości rzecznych przepływów charakterystycznych, powstałych w wyniku

oddziaływania poboru wód podziemnych w wielkościach uwzględnianych w bilansie wodnogospodarczym.

Uwzględniając realne możliwości opracowania bilansów wodnogospodarczych dla regionów wodnych i zlewni rzecznych, przyjęto [Tyszewski i in., 2008], że podstawę warunków korzystania z wód będą stanowiły wyniki następujących bilansów:

- dla każdego regionu wodnego:
  - statyczny bilans ilościowy wód powierzchniowych i wód podziemnych z uwzględnieniem wzajemnych powiązań,
  - statyczny bilans jakościowy wód powierzchniowych;
- dla zlewni rzecznej, wykazującej deficyt zasobów lub wyznaczonej jako zagrożonej nieosiągnięciem dobrego stanu ilościowego wód:
  - dynamiczny bilans ilościowy wód powierzchniowych i statyczny bilans ilościowy wód podziemnych z uwzględnieniem wzajemnych powiązań,
  - statyczny bilans jakościowy wód powierzchniowych.

Sposób uwzględniania wpływu zagospodarowania wód podziemnych na przepływ rzeczny w przekrojach bilansowych jest dostosowany do charakteru bilansu ilościowego wód powierzchniowych: statycznego lub dynamicznego (rozdz. 7.4).

## **7.2. Stacyjny bilans wodnogospodarczy regionu wodnego**

Jednolity bilans wodnogospodarczy regionu wodnego ma charakter statyczny, gdyż dane wejściowe do bilansu nie uwzględniają ich zmienności w czasie: przepływy, pobory, zrzuty są wyrażone w wartościach stałych. Bilans ten uzyskuje jednolity charakter, gdy jest przeprowadzany dla wód powierzchniowych w oparciu o przepływy skorygowane o wpływ użytkowania wód podziemnych. Bilans wód podziemnych poprzedza zatem wykonanie bilansu wód powierzchniowych. Metodyka wykonywania bilansu wodnogospodarczego wód podziemnych jest omówiona w rozdziale 3.

W opracowaniu bilansu dla regionu wodnego wykorzystywane są wyniki bilansów wód podziemnych w obszarach bilansowych wchodzących w jego skład. Wariantowe zbilansowanie określonych rodzajów zasobów i poborów wód podziemnych wyznacza wielkości rezerw i deficytów zasobów dyspozy-

cyjnych lub zasobów perspektywicznych wód podziemnych (zależnie od stanu udokumentowania zasobów dyspozycyjnych) w odniesieniu do poborów średnich rocznych wód podziemnych: rzeczywistych, dopuszczalnych wydanymi pozwoleniami wodnoprawnymi i perspektywicznych, czyli prognozowanych w określonej perspektywie czasowej (patrz rozdz. 3). Wymienione kategorie poboru są następnie uwzględniane w obliczeniach wpływu użytkowania wód podziemnych na zasoby wód powierzchniowych, jako pobór wód podziemnych bezzwrotny albo częściowo zwrotny do systemu wodnego zlewni poprzez odprowadzenie do rzek powstałych ścieków i wód kopalnianych (z oceną stopnia ich oczyszczenia).

W ramach sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych wpływ użytkowania tych wód na przepływy wód powierzchniowych jest określany dla przepływu rzek w przekrojach wodowskazowych. W ramach przeprowadzania jednolitego bilansu wodnogospodarczego (jako odrębnego opracowania ustanawiającego warunki korzystania z wód regionu wodnego) wpływ użytkowania wód podziemnych na przepływ rzeki może być określany w przekrojach zamykających zlewnie bilansowe lub scalone części wód powierzchniowych.

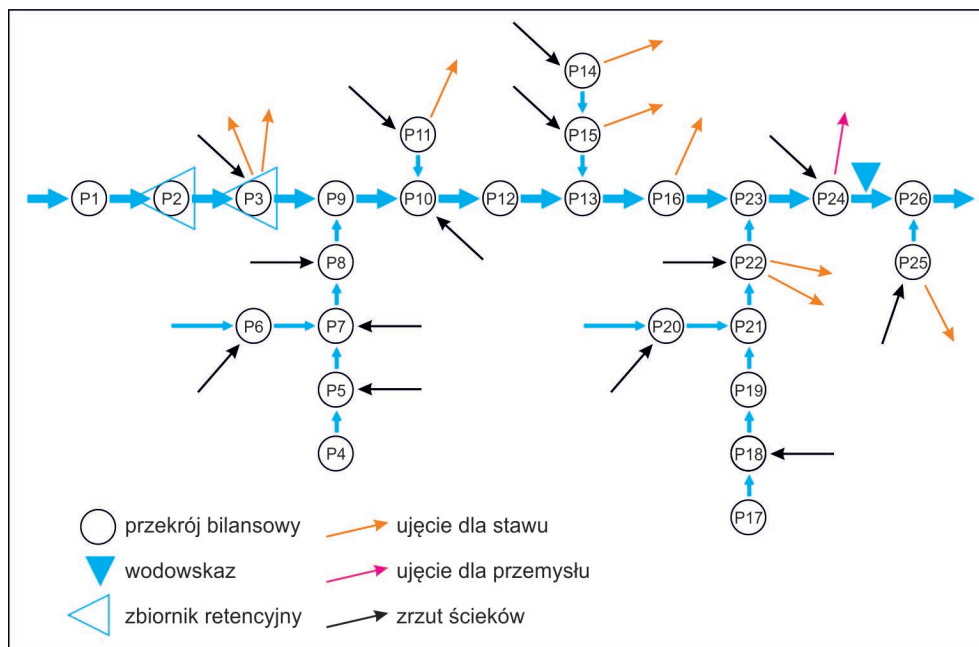
W statycznym bilansie wód powierzchniowych regionu wodnego uwzględniane są przepływy rzek o określonej gwarancji występowania ( $Q_{gw,p\%}$ ) lub przepływy charakterystyczne, określone dla wyznaczonych przekrojów bilansowych [Tyszewski i in., 2008]. Przekrój taki jest lokalizowany na rzece w miejscu istotnym hydrograficznie lub gospodarczo (położenie wodowskazu, ujście dopływu, ujście do recypienta, granica scalonej części wód powierzchniowych, miejsce istotnego poboru wody i zrzutu ścieków). Przepływy gwarantowane i charakterystyczne w przekrojach bilansowych nie kontrolowanych wodowskazowo są uzyskiwane dzięki zastosowaniu metody analogii hydrologicznych [Byczkowski i in., 2001]. Bilans wodnogospodarczy wód powierzchniowych powinien być przeprowadzany na podstawie przepływów rzecznych ustalonych dla wielolecia hydrologicznie reprezentatywnego; za takie uznaje się 30-lecie 1981-2010.

Analizy bilansowe wód powierzchniowych, przeprowadzane w poszczególnych przekrojach bilansowych, polegają na porównaniu zasobów wodnych o założonej gwarancji z potrzebami wodnymi użytkowników (poboru i zwrotu jego części po wykorzystaniu) oraz z wymaganiami środowiska przyrodniczego. Potrzeby wodne użytkowników wyrażone są jako średnie roczne pobory i zrzuty, zaś potrzeby ekologiczne środowiska – jako przepływ nienaruszalny w rzece ( $Q_{nh}$ ). Szerzej zasady ustalania przepływów nienaruszalnych omówione zostały w rozdziale 6.3.3.

Bilans wodnogospodarczy wód powierzchniowych (stanowiący opracowanie odrębne w stosunku do dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej



zasoby dyspozycyjne wód podziemnych) przeprowadzany jest na modelu matematycznym, którego struktura w postaci węzłów i złączy uwzględnia schemat położenia przekrojów bilansowych oraz miejsca poboru wód i zrzutu ścieków w zlewni (rys. 7.2-1).



**Rys. 7.2-1. Schemat lokalizacyjny elementów systemu wodnogospodarczego zlewni uwzględnianych w bilansie wód powierzchniowych (wyznaczających położenie przekroju bilansowego)**

Analizy bilansowe wód powierzchniowych są prowadzone na modelu bilansowym stanu aktualnego (dla użytkowania rzeczywistego i dopuszczalnego), uwzględniającego wszystkich użytkowników funkcjonujących w jednostce bilansowej oraz na modelu bilansowym stanu perspektywicznego, w którym wprowadza się dodatkowo użytkowników, którzy pojawią się w określonej perspektywie czasowej [Tyszewski i in., 2008]. Wynikiem analiz bilansowych są wielkości gwarantowanych zasobów dyspozycyjnych wód powierzchniowych  $ZDPZ_{gwp\%}$  zwrotnych (w warunkach użytkowania obejmującego zwrot pobranej wody – po jej wykorzystaniu – do rzeki bezpośrednio poniżej miejsca poboru) i bezzwrotnych  $ZDPB_{gwp\%}$  (bez obowiązku zwrotu pobranych wód). Ilość zasobów dyspozycyjnych wód powierzchniowych jest ustalana z uwzględnieniem potrzeb zachowania przepływu nienaruszalnego w przekroju bilansowym rzeki.

Określone w ten sposób zasoby dyspozycyjne wód powierzchniowych dla przekrojów zamykających bilansowane zlewnie, wyrażone w postaci odpły-

wów jednostkowych ze zlewni ( $l/s \cdot km^2$ ), pozwolą na oszacowanie możliwości uzyskania pozwolenia wodnoprawnego przez nowego użytkownika wód powierzchniowych w dowolnym przekroju cieku na obszarze zlewni.

Ponieważ przepływy niskie o wysokich gwarancjach czasowych ich wystąpienia pochodzą w większości z zasilania podziemnego rzek, podejmowanie decyzji administracyjnych dotyczących udzielania pozwolenia wodnoprawnego na pobór i użytkowanie wód musi być prowadzone w trybie analizy systematycznie zaktualizowanego stanu zagospodarowania zasobów wód podziemnych i powierzchniowych. Aktualizacja ta musi obejmować systematyczną ocenę wpływu poboru i zwrotu wód podziemnych na przepływy rzeczne w przekrojach bilansowych dokonywaną z wykorzystaniem modelu matematycznego obszaru bilansowego wód podziemnych i procedur obliczeniowych podanych w rozdz. 7.4.1, prowadzoną z uwzględnieniem priorytetów w użytkowaniu wód, ustanowionych warunkami korzystania z wód regionu wodnego i zlewni.

### **7.3. Dynamiczny bilans wodnogospodarczy zlewni**

Jednolity bilans wodnogospodarczy ma charakter dynamiczny, gdy uwzględnia zmienność w czasie danych wejściowych opisujących elementy bilansu, w szczególności zasoby (przepływy rzeki w przekroju bilansowym), pobory i zrzuty wód w zlewni powyżej przekroju oraz zasady pracy obiektów hydrotechnicznych. W bilansie dynamicznym zasoby wodne oraz ich użytkowanie charakteryzowane są wieloletnimi ciągami – odpowiednio – przepływów rzecznych oraz poborów wód i zrzutów wód lub ścieków, wyrażonych w wartościach średnich 10-dniowych (dekadowych) lub miesięcznych, zależnie od możliwych do uzyskania danych (dalej używane będzie pojęcie przepływów dekadowych). Zalecany standardowy okres dla ciągu wartości dekadowych to wielolecie 1981-2010.

Przeprowadzenie jednolitego bilansu wodnogospodarczego oraz sformułowanie warunków korzystania z wód zlewni jest dokonywane w zlewniach bilansowych o granicach określonych przez RZGW w ramach opracowania warunków korzystania z wód regionu wodnego. Zlewniami bilansowymi są pojedyncze lub połączone zlewnie scalonych części wód powierzchniowych, wyznaczone z uwzględnieniem rejonów wodnogospodarczych wód podziemnych. Mogą to być zarówno zlewnie źródłiskowe zamknięte przekrojem bilansowym, jak i zlewnie różnicowe, wyznaczone dwoma i więcej przekrojami bilansowymi. Podział na jednostki bilansowe jest dokonywany z uwzględnieniem możliwości wiarygodnego określenia zasobów wodnych w przekroju bilansowym, zgodnie z zasadami przenoszenia informacji hydrologicznej metodą analogii.

Na bilansowym modelu matematycznym wód powierzchniowych zlewni (patrz rys. 7.2-1) dokonywana jest symulacja rozrządu zasobów wodnych pomiędzy użytkowników w przekrojach bilansowych zlewni rzecznej dla wszystkich przedziałów czasowych analizowanego wielolecia, z uwzględnieniem magazynowania w zbiornikach retencyjnych. Zasoby wodne są wyrażone przez ciąg dekadowych (rzadziej miesięcznych) przepływów rzecznych w przekrojach bilansowych, sporządzonych dla wielolecia; rekomendowane jest 30-lecie 1981-2010. Wieloletni ciąg przepływów rzecznych w przekroju bilansowym wprowadzany jest do bilansu wód powierzchniowych po skorygowaniu poszczególnych wartości dekadowych o wpływ zagospodarowania wód podziemnych. Wpływ ten jest określany z uwzględnieniem średniorocznych wartości poboru wód podziemnych występującego w obrębie granic zlewni rzecznej zamkniętej danym przekrojem bilansowym (patrz rozdz. 7.4.2).

W modelu bilansowym uwzględnia się wielkość i miejsce zrzutu ścieków pochodzących z użytkowania wód podziemnych oraz zwrot niewykorzystanych wód kopalnianych, co jest dokonywane w trybie analogicznym do zrzutu pochodzącego z użytkowania wód powierzchniowych. W metodyce bilansu wód powierzchniowych [Tyszewski i in., 2008] przyjęto, że ciąg przepływów dekadowych obliczony dla wielolecia hydrologicznie normalnego odwzorowuje wszystkie użytkowania, jakie występowały w tym okresie; w zlewniach, w których nastąpiły istotne zmiany użytkowania wód, należy metodami eksperckimi dokonać korekty przepływu. Stosowanie hydrologii „pseudo-naturalnej” dla wielolecia 1981-2010 wymaga wówczas uwzględnienia w modelu wszystkich użytkowników wód, bez względu na czas pojawienia się w zlewni.

Rozrząd zasobów wodnych odbywa się zgodnie z ustaloną hierarchią użytkowania wód, przy użyciu modelu symulacyjno-optimalizacyjnego odzwierciedlającego obszarową strukturę systemu wodnogospodarczego: układ sieci rzecznej, trasy przerzutów wody, lokalizację obiektów hydrotechnicznych oraz lokalizację punktów poborów wód i zrzutów ścieków. Analizy bilansowe w zakresie wód powierzchniowych są prowadzone na modelu bilansowym stanu aktualnego (dla użytkowania rzeczywistego i dopuszczalnego), uwzględniającego wszystkich użytkowników funkcjonujących w jednostce bilansowej oraz na modelu stanu perspektywicznego, w którym wprowadza się dodatkowo użytkowników, którzy pojawią się w określonej perspektywie czasowej [Tyszewski i in., 2008].

Zasada hierarchicznego rozrządu wody jest jednym z podstawowych założeń przyjmowanych w gospodarowaniu zasobami wodnymi, a w szczególności – w wykonywanych na jej potrzeby analizach bilansowych. O przyjętej hierarchii użytkowania zasobów wodnych decydują takie czynniki, jak:

- konsekwencje społeczno-ekonomiczne niedostarczenia wody (lub niedotrzymania wymaganego przepływu);
- względy ekologiczne, w tym zachowanie przepływu nienaruszalnego;
- wymagania użytkowników odnośnie gwarancji dostarczenia wody;
- ocena możliwości wykorzystania wody przez kolejnych użytkowników rozmieszczonych wzdłuż biegu rzeki.

W analizach bilansowych realizowanych na potrzeby opracowania warunków korzystania z wód proponowana jest następująca hierarchia użytkowania zasobów wodnych:

- zaopatrzenie ludności w wodę do spożycia;
- zachowanie przepływów nienaruszalnych według kryterium hydrobiologicznego;
- zapewnienie wymagań chronionych ekosystemów wodnych i od wód zależnych;
- zaopatrzenie przemysłu w wodę;
- zaopatrzenie stawów rybnych w wodę;
- zaopatrzenie w wodę użytkowników rolnych.

Wynikiem tak przeprowadzonego jednolitego bilansu wodnogospodarczego jest wielkość rezerw zasobów wód powierzchniowych o określonej gwarancji występowania wraz z niższymi gwarancjami w poszczególnych przekrojach bilansowych. Wyniki analiz bilansowych obejmują [Tyszewski i in., 2008]:

- ocenę stopnia zaspokojenia potrzeb wodnych użytkowników wód powierzchniowych w okresie wielolecia testowego;
- ocenę zasad pracy obiektów hydrotechnicznych;
- określenie dla wszystkich przekrojów bilansowych następujących wielkości:
  - przepływów charakterystycznych ( $NNQ$ ,  $SNQ$ ,  $SSQ$ ),
  - przepływów gwarantowanych ( $Q_{gwp\%}$ ) – krzywe przepływów gwarantowanych,

- gwarantowanych zasobów dyspozycyjnych zwrotnych ( $ZDZ_{gw,p\%}$ ) i bezzwrotnych ( $ZDB_{gw,p\%}$ ) oraz odpowiadających tym zasobom odpływów jednostkowych.

## **7.4. Wpływ poboru wód podziemnych na przepływ rzeki w przekroju bilansowym**

### **7.4.1. Wykorzystanie modelu matematycznego przepływu wód podziemnych na potrzeby jednolitego bilansu wodnogospodarczego**

Ustalenia dokumentacji hydrogeologicznej dotyczące środowiskowych ograniczeń dla zagospodarowania wód podziemnych, rozkładu zasobów dyspozycyjnych w obszarach bilansowych, wskazań do racjonalnego ich wykorzystania, wytycznych do ich ochrony jakościowej, oceny stanu ich zagospodarowania w warunkach rozpatrywanych kategorii poboru wód podziemnych (aktualnego, formalnie dopuszczalnego i perspektywicznego) oraz wpływu tego poboru na zasoby wód powierzchniowych – są uwzględniane w określaniu warunków korzystania z wód regionu wodnego, zawartych w rozporządzeniu dyrektora regionalnego zarządu gospodarki wodnej [Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (Dz. U. z 2012 r., poz. 145, z późn. zm.)].

Tak wyznaczona pozycja dokumentacji hydrogeologicznej wymaga, aby obejmowała ona analizę związku wód podziemnych i powierzchniowych w stopniu umożliwiającym wykonanie jednolitego bilansu wodnogospodarczego i opracowanie rozporządzenia w sprawie warunków korzystania z wód regionu wodnego. Problem wzajemnych związków wód podziemnych i powierzchniowych w związku z bilansowaniem wodnogospodarczym w układzie zlewniowym stanowił przedmiot prac badawczych i wdrożeniowych, głównie w aspekcie określania wpływu poboru wód podziemnych na przepływ rzeczny, stanowiący daną wejściową do statycznego bilansu wód powierzchniowych [Herbich 1997; Witczak, Prażak, Żurek, 2002; Szczepański, 2008; Szklarczyk, Szczepański, 2008b; Szklarczyk, Stach-Kalarus, Kmiecik, 2011; Herbich, Przytuła, 2012].

Z wymienionych wyżej względów model matematyczny, sporządzony w ramach dokumentacji ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych, będzie wykorzystywany – na etapie sporządzania jednolitego bilansu wodnogospodarczego realizowanego w trybie odrębnego opracowania – do określenia wielkości dopływu wód podziemnych do bloków obliczeniowych odwzorowujących rzekę i sumowania tego dopływu w blokach

położonych na modelu powyżej dowolnego przekroju rzeki, zlokalizowanego w miejscu wyznaczonym do wykonania bilansu wód powierzchniowych (patrz rys. 6.5-4 w rozdziale 6.5.7).

W dokumentacji ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych oblicza się dopływ do koryta rzeki dla przekrojów wodowskazowych, posiadających wieloletnie dane o przepływie rzeki wraz z określeniem jej zasilania podziemnego. W przekrojach tych sprawdzany jest stopień spełnienia kryterium ograniczającego zagospodarowanie zasobów wód podziemnych, wyrażonego przez hydrobiologiczny przepływ nienaruszalny rzeki.

Natomiast, aby przeprowadzić jednolity bilans wodnogospodarczy, wyznaczane są dodatkowe przekroje na potrzeby bilansu wód powierzchniowych, w miejscach uwarunkowanych hydrologicznie (w rejonie ujścia rzeki lub jej dopływu), w miejscach poboru wód i zrzutu ścieków oraz oddziaływania budowli hydrotechnicznych. Z tego względu model matematyczny sporządzony w ramach opracowywania dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych będzie wykorzystywany, na etapie przygotowywania danych do jednolitego bilansu, do obliczenia korekty przepływów rzecznych również w tych przekrojach bilansowych.

Model matematyczny konstruowany na potrzeby ustalenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych powinien zatem umożliwiać dokonanie, w dowolnym przekroju rzeki, identyfikacji zmian odpływu podziemnego wynikających ze zmian wartości i rozkładu przestrzennego poboru wód podziemnych. Dokładność określenia tych zmian zależna jest od stopnia uproszczeń wynikających z regionalnej skali modelowego odwzorowania warunków hydrogeologicznych i sieci rzecznej.

#### ***7.4.2. Wpływ poboru wód podziemnych na przepływ rzeki określany do przeprowadzenia statycznego jednolitego bilansu wodnogospodarczego zlewni***

W ramach opracowania jednolitego bilansu wodnogospodarczego w zlewniach regionu wodnego – w przekrojach rzecznych, wyznaczonych do przeprowadzenia statycznego bilansu wód powierzchniowych (por. rozdz. 7.2), dokonywana jest korekta przepływów gwarantowanych i charakterystycznych o wpływ poboru wód podziemnych w zróżnicowanych warunkach ich zasilania (rozdz. 6.5.7, tab. 6.5-2, 7.4-1).

Dla poszczególnych przekrojów bilansowych na rzekach, przy różnych poziomach zasilania infiltracyjnego i różnej wielkości poboru wód podziemnych, obliczane są różnice dopływów do doliny rzecznej interpretowane jako różnice odpływu podziemnego. Różnice odpływu podziemnego w przekrojach bilansowych posłużą do korekty przepływów charaktery-



stycznych i gwarantowanych w tych przekrojach. Tak zmodyfikowane przepływy będą podstawą analizy użytkowania wód powierzchniowych opartego na średnich wartościach, a tym samym – podstawą statycznego jednolitego bilansu wodnogospodarczego.

Szczegółowo prace korekcyjne obejmują następujące etapy:

- 1) Wybór przekrojów bilansowych na rzekach w obrębie obszaru ustalania zasobów dyspozycyjnych wytypowanych do przeprowadzenia bilansu wodnogospodarczego wód powierzchniowych, dla których zasoby są wyrażone przepływami charakterystycznymi rzek i przepływami o określonej gwarancji czasowej trwania w okresie wielolecia normalnego (1981-2010).
- 2) Identyfikacja wielkości poboru wód podziemnych uwzględnianego w bilansie wodnogospodarczym wód podziemnych wykonywanym równocześnie z bilansem wód powierzchniowych:
  - aktualnego poboru rzeczywistego *UA*,
  - dopuszczalnego pozwoleńmi wodnoprawnymi *UW*,
  - perspektywicznego *UP*.
- 3) Przeprowadzenie obliczeń przepływu wód podziemnych na modelu matematycznym, opracowanym w ramach wykonywania dokumentacji hydrogeologicznej do ustalenia zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego.

Obliczenia prowadzone są dla kilku wariantów poboru wód podziemnych: *UB*, *UA*, *UW* i *UP*. Obliczenia dla każdego wariantu poboru wykonywane są dla infiltracji efektywnej *IE* wprowadzanej do modelu w wartości:

- *IES* średnich wieloletnich (rekomendowane wielolecie 1981-2010);
- *IEN* średniej z reprezentatywnego cyklu lat posusznych (wartość *IEN* jest określana jako najniższa średnia ruchoma z cykli *CI*-letnich w wieloleciu 1981-2010, gdzie *CI* – czas opóźnienia reakcji systemu wodonośnego zalecany do obliczeń bilansowych (patrz tab. 5.1-1 w rozdziale 5.1);
- *IEW* średniej z reprezentatywnego cyklu lat mokrych (wartość *IEN* jest określana jako najwyższa średnia ruchoma z cykli *CI*-letnich w wieloleciu 1981-2010).

Symulacja dla poboru **UZD** na poziomie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych wykonywana jest tylko dla infiltracji efektywnej **IES** – średniej wieloletniej i **IEW** – średniej z reprezentatywnego cyklu lat mokrych.

Wykaz wykonywanych symulacji przedstawiono w tabeli 7.4.1.

**Tab. 7.4-1. Wykaz symulacji modelowych wykonywanych na potrzeby jednolitego bilansu wodnogospodarczego**

Symbol symulacji	Charakterystyka infiltracji efektywnej <i>IE</i> (odnawialności wód podziemnych) wprowadzonej do modelu	Średnioroczny pobór wód podziemnych <i>U</i> wprowadzony do modelu	Dopływ do bloków z rzeką (drenaż doliny <i>DD</i> ) na modelu	
			Oznaczenie drenażu	Metoda identyfikacji
1	2	3	4	5
<i>IES-UB</i>	średnia wieloletnia – <i>IES</i>	brak poboru (stan quasi-naturalny) – <i>UB</i>	<i>DD-IES-UB</i>	sumowanie drenażu dolinnego <i>DD</i> w blokach odwzorowujących rzekę na odcinku ograniczonym przekrojem zamykającym bilansowaną zlewnię (lub w blokach obejmujących rzekę w obrębie częściowej zlewni bilansowej ograniczonej przekrojami bilansowymi) – patrz rys. 7.4-1
<i>IEN-UB</i>	średnia z reprezentatywnego cyklu lat posusznych <i>IEN</i>		<i>DD-IEN-UB</i>	
<i>IEW-UB</i>	średnia z reprezentatywnego cyklu lat mokrych <i>IEW</i>		<i>DD-IEW-UB</i>	
<i>IES-UA</i>	<i>IES</i>	pobór aktualny – <i>UA</i>	<i>DD-IES-UA</i>	
<i>IEN-UA</i>	<i>IEN</i>		<i>DD-IEN-UA</i>	
<i>IEW-UA</i>	<i>IEW</i>		<i>DD-IEW-UA</i>	
<i>IES-UD</i>	<i>IES</i>	maksymalny pobór roczny dopuszczalny pozwoleniem wodnoprawnym – <i>UD</i>	<i>DD-IES-UD</i>	
<i>IEN-UD</i>	<i>IEN</i>		<i>DD-IEN-UD</i>	
<i>IEW-UD</i>	<i>IEW</i>		<i>DD-IEW-UD</i>	
<i>IES-UP</i>	<i>IES</i>	pobór perspektywiczny – <i>UP</i> *	<i>DD-IES-UP</i>	
<i>IEN-UP</i>	<i>IEN</i>		<i>DD-IEN-UP</i>	
<i>IEW-UP</i>	<i>IEW</i>		<i>DD-IEW-UP</i>	
<i>IES-UDZ</i>	<i>IES</i>	pobór maksymalny dopuszczalny zasobami dyspozycyjnymi – <i>UDZ</i>	<i>DD-IES-UDZ</i>	

\* Pobór perspektywiczny uwzględnia się w symulacjach tylko wtedy, gdy dostępne są dane o jego wielkości.



- 4) Ustalenie wielkości zasilania podziemnego **ZPD** dolinnej strefy drenażowej w bloku zamykającym bilansowaną zlewnię, jako skumulowanego dopływu do bloków modelu z rzeką obejmujących koryto rzeki i jej dopływy powyżej przekroju bilansowego, w symulacjach poboru i warunków zasilania wód podziemnych zgodnych z wykazem podanym w tabeli 7.4.1.
- 5) Obliczenie dla analizowanego przekroju bilansowego różnicy  $\Delta ZPD$  dopływu wód podziemnych do bloków modelu z rzeką (drenażu dolinnego) występującej pomiędzy dopływem **ZPD** uzyskanym w symulacji braku poboru **UB** wód podziemnych, a dopływem **ZPD** uzyskanym w wyniku symulacji różnego poziomu poboru (**UA**, **UW**, **UP**) w warunkach infiltracji efektywnej **IES**, **IEN** i **IEW**:

$$a) \quad \Delta ZPD_{(IES-UAB)} = ZPD_{(IES-UA)} - ZPD_{(IES-UB)} \quad (7.4.1.a)$$

$$b) \quad \Delta ZPD_{(IEN-UAB)} = ZPD_{(IEN-UA)} - ZPD_{(IEN-UB)} \quad (7.4.1.b)$$

$$c) \quad \Delta ZPD_{(IEW-UAB)} = ZPD_{(IEW-UA)} - ZPD_{(IEW-UB)} \quad (7.4.1.c)$$

$$d) \quad \Delta ZPD_{(IES-UWB)} = ZPD_{(IES-UW)} - ZPD_{(IES-UB)} \quad (7.4.2.a)$$

$$e) \quad \Delta ZPD_{(IEN-UWB)} = ZPD_{(IEN-UW)} - ZPD_{(IEN-UB)} \quad (7.4.2.b)$$

$$f) \quad \Delta ZPD_{(IEW-UWB)} = ZPD_{(IEW-UW)} - ZPD_{(IEW-UB)} \quad (7.4.2.c)$$

$$g) \quad \Delta ZPD_{(IES-UPB)} = ZPD_{(IES-UP)} - ZPD_{(IES-UB)} \quad (7.4.3.a)$$

$$h) \quad \Delta ZPD_{(IEN-UPB)} = ZPD_{(IEN-UP)} - ZPD_{(IEN-UB)} \quad (7.4.3.b)$$

$$i) \quad \Delta ZPD_{(IEW-UPB)} = ZPD_{(IEW-UP)} - ZPD_{(IEW-UB)} \quad (7.4.3.c)$$

$$j) \quad \Delta ZPD_{(IES-UZDB)} = ZPD_{(IES-UZD)} - ZPD_{(IES-UB)} \quad (7.4.4.a)$$

$$k) \quad \Delta ZPD_{(IEW-UZDB)} = ZPD_{(IEW-UZD)} - ZPD_{(IEW-UB)} \quad (7.4.4.b)$$

Dopływ **ZPD** jest określany jako suma dopływów do poszczególnych bloków modelu odzwierciedlających położenie rzeki (wraz z jej dopływami) powyżej danego przekroju bilansowego wód powierzchniowych (rys. 6.5-4 w rozdziale 6.5).

Przy założeniu, że drenaż ewapotranspiracyjny dla określonego poziomu infiltracji efektywnej nie zależy od poboru wód podziemnych, wartość  $\Delta ZPD$  jest interpretowana jako różnica odpływu podziemnego  $\Delta QG$ , np.:

$$\Delta QG_{(IES-UAB)} = \Delta ZPD_{(IES-UAB)} \quad (7.4.5)$$

- 6) Dokonanie kwalifikacji określonych dla wielolecia normalnego charakterystycznych lub gwarantowanych przepływów rzecznych  $Q$  w przekroju wodowskazowym, wprowadzanych do bilansu wodnogospodarczego wód powierzchniowych do jednej z następujących kategorii:
  - a) przepływów określonych na podstawie wartości wieloletnich pomierzonych w warunkach użytkowania wód podziemnych i powierzchniowych zbliżonego do użytkowania aktualnego;
  - b) przepływów określonych na podstawie wartości wieloletnich pomierzonych w warunkach użytkowania wód podziemnych i powierzchniowych, istotnie różniących się od użytkowania aktualnego;
  - c) przepływów poddanych naturalizacji z uwzględnieniem użytkowania wód zidentyfikowanego w okresie wielolecia.
- 7) Uzgodnienie kategorii przepływów rzeki w przekroju bilansowym stanowiących podstawę przeprowadzenia statycznego bilansu wodnogospodarczego wód powierzchniowych. Korekta przepływu rzeczno o wpływ poboru wód podziemnych – jako procedura utworzenia danych wejściowych do bilansu wód powierzchniowych – może być wykonywana dla przepływów zaliczonych do kategorii a) i c). Przepływy zaliczone do kategorii b) powinny być poddane naturalizacji i wówczas będą zaliczały się do kategorii c). Naturalizacja wartości przepływu rzeki jest procesem trudnym, wymaga znajomości zmian poborów i zrzutów wód w zlewni w całym okresie wielolecia rekomendowanego do wyznaczenia przepływów charakterystycznych i gwarantowanych, zaś uzyskane w jej wyniku przepływy znaturalizowane mogą być obarczone wysokim błędem.
- 8) W przypadku przepływów rzeki w danym przekroju bilansowym zaliczonych do kategorii c), ich korekta o wpływ poboru wód podziemnych dotyczy poboru aktualnego – rzeczywistego  $UA$ , poboru dopuszczalnego pozwoleniem wodnoprawnym  $UW$ , poboru perspektywicznego  $UP$  oraz poboru  $UZD$  w wysokości  $ZD$  zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych. Korektę przepływu o pobór wód podziemnych w ilości zasobów dyspozycyjnych  $ZD$  wyznacza się w odniesieniu do przepływu średniego  $SSQ$  z wielolecia i przepływu średniego wysokiego  $SWQ$  w wieloleciu. Korekta przepływu w przekroju bilansowym o wpływy

poboru wód podziemnych dotyczy następujących przepływów charakterystycznych:

- przepływ średni  $SSQ$  z wielolecia,
- przepływ średni wysoki  $SWQ$  w wieloleciu,
- przepływ średni niski  $SNQ$  w wieloleciu,
- przepływy o gwarancji czasowej występowania wraz z wyższymi dla  $p = 90\%$  i  $p = 95\%$  ( $Q_{gw90\%}$ ,  $Q_{gw95\%}$ ),
- przepływ średni z reprezentatywnego cyklu  $CI$ -lat posusznych  $SNCiQ$ ,
- przepływ średni z reprezentatywnego cyklu  $CI$ -lat mokrych  $SWCiQ$ .

Przepływ skorygowany o wpływy poboru wód podziemnych w danym przekroju bilansowym jest wyznaczany wzorami:

$$SSQ_X = SSQ - \Delta QG_{(IES-UX)} \quad (7.4.6.a)$$

$$SNQ_X = W_{SNQ} \cdot (SSQ - \Delta QG_{(IES-UX)}) \quad (7.4.6.b)$$

$$SWQ_X = SWQ - \Delta QG_{(IEW-UX)} \quad (7.4.6.c)$$

$$Q_{gw90\% X} = W_{90\%} \cdot (SSQ - \Delta QG_{(IES-UX)}) \quad (7.4.6.d)$$

$$Q_{gw95\% X} = W_{95\%} \cdot (SSQ - \Delta QG_{(IES-UX)}) \quad (7.4.6.e)$$

$$SNCiQ_X = SNCiQ - \Delta QG_{(IEN-UX)} \quad (7.4.6.f)$$

$$SWCiQ_X = SWCiQ - \Delta QG_{(IEW-UX)} \quad (7.4.6.g)$$

Symbol  $X$  przy  $U$  oznacza rodzaj poboru wód podziemnych:  $X = A$  – pobór aktualny,  $X = W$  – pobór dopuszczalny pozwoleniem wodnoprawnym,  $X = ZD$  – pobór w ilości zasobów dyspozycyjnych  $ZD$  (dotyczy tylko korekty w warunkach infiltracji średniej wieloletniej i wysokiej w cyklu  $CI$  lat mokrych w wieloleciu). Wartość współczynników  $W_{SNQ}$ ,  $W_{90\%}$  i  $W_{95\%}$  jest podana w tabeli 6.3-2 (rozdziale 6.3.3).

- 9) W przypadku przepływów rzeki w przekroju bilansowym zaliczonych do kategorii a), ich korekta o wpływ poboru wód podziemnych dotyczy przyrostu poboru dopuszczalnego pozwoleniem wodnoprawnym  $\Delta UW$ , poboru perspektywicznego  $\Delta UP$  oraz poboru w wysokości  $\Delta ZD$  zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych, liczonego w stosunku do poboru aktualnego – rzeczywistego  $UA$ . Przyrost poboru wód podziemnych jest określany wzorami:

$$\Delta UW = UW - UA \quad (7.4.7.a)$$

$$\Delta UP = UP - UA \quad (7.4.7.b)$$

$$\Delta ZD = UZD - UA \quad (7.4.7.c)$$

Korektę przepływu rzeki o przyrost poboru wód podziemnych  $\Delta ZD$  do ilości zasobów dyspozycyjnych wyznacza się w odniesieniu do przepływu średniego  $SSQ$  z wielolecia i przepływu średniego wysokiego  $SWQ$  w wieloleciu.

Przepływ rzeki w danym przekroju bilansowym skorygowany o przyrost poboru wód podziemnych jest wyznaczany wzorami:

$$SSQ_x = SSQ - \Delta QG_{(IES-UX)} \frac{\Delta UX}{UX} \quad (7.4.8.a)$$

$$SNQ_x = W_{SNQ} \cdot (SSQ - \Delta QG_{(IES-UX)}) \frac{\Delta UX}{UX} \quad (7.4.8.b)$$

$$SWQ_x = SWQ - \Delta QG_{(IEW-UX)} \frac{\Delta UX}{UX} \quad (7.4.8.c)$$

$$Q_{gw90\% X} = W_{90\%} \cdot (SSQ - \Delta QG_{(IES-UX)}) \frac{\Delta UX}{UX} \quad (7.4.8.d)$$

$$Q_{gw95\% X} = W_{95\%} \cdot (SSQ - \Delta QG_{(IES-UX)}) \frac{\Delta UX}{UX} \quad (7.4.8.e)$$

$$SNCIQ_x = SNCIQ - \Delta QG_{(IEN-UX)} \frac{\Delta UX}{UX} \quad (7.4.8.f)$$

$$SWCIQ_x = SWCIQ - \Delta QG_{(IEW-UX)} \frac{\Delta UX}{UX} \quad (7.4.8.g)$$

Oznaczenia symboli i zakres korekty – jak w punkcie 8.

- 10) Pełne uwzględnienie wpływu użytkowania wód podziemnych na przepływ rzeki w przekroju bilansowym obejmuje – poza poborem wód podziemnych – również zwrot do rzeki określonej części pobranych wód po ich wykorzystaniu, w postaci zrzutu ścieków dokonywanego powyżej przekroju bilansowego. Taki zwrot stanowi także zrzut wód kopalnianych pochodzących z systemu drenażowego wyrobisk górniczych. Określenie miejsca i wielkości średniorocznego zrzutu  $S_{UX}$  powstałego z poboru  $UX$  wód podziemnych jest zadaniem realizowanym na etapie sporządzania bilansu wód powierzchniowych i wykracza poza zakres prac wykonywanych w ramach obliczeń hydrogeologicznych. W bilansie wodnogospodarczym wód powierzchniowych zrzuty powstałe z użytkowania wód podziemnych są wprowadzane jako dana wejściowa wraz ze zrzutami pochodzącymi z poboru wód powierzchniowych.
- 11) W sytuacji, gdy wymagane będzie określenie przepływów charakterystycznych rzeki w przekroju bilansowym uwzględniających łącznie wpływ poboru wód podziemnych  $U_X$  (odrębnie dla poszczególnych kategorii  $X$  poboru) oraz zrzutu ścieków  $S_X$  powstałych z użytkowania wód podziemnych i wód z drenaży górniczych, może to być dokonywane z wykorzystaniem następujących wzorów:

$$SSQ_X = SSQ - \Delta QG_{(IES-UX)} + S_X \quad (7.4.9.a)$$

$$SNQ_X = W_{SNQ} \cdot (SSQ - \Delta QG_{(IES-UX)}) + S_X \quad (7.4.9.b)$$

$$SWQX = SWQ - \Delta QG_{(IEW-UX)} + S_X \quad (7.4.9.c)$$

$$Q_{gw90\% X} = W_{90\%} \cdot (SSQ - \Delta QG_{(IES-UX)}) + S_X \quad (7.4.9.d)$$

$$Q_{gw95\% X} = W_{95\%} \cdot (SSQ - \Delta QG_{(IES-UX)}) + S_X \quad (7.4.9.e)$$

$$SNCIQ_X = SNCIQ - \Delta QG_{(IEN-UX)} + S_X \quad (7.4.9.f)$$

$$SWCIQ_X = SWCIQ - \Delta QG_{(IEW-UX)} + S_X \quad (7.4.9.g)$$

### **7.4.3. Wpływ poboru wód podziemnych na przepływ rzeki określany do przeprowadzenia dynamicznego jednolitego bilansu wodnogospodarczego zlewni**

Problematyka ilościowego ustalania wzajemnych związków wód podziemnych i powierzchniowych dokonywanego na potrzeby bilansowania wodnogospodarczego w zlewni o wysokim poborze wód zagrażającym deficytem zasobów stanowiła przedmiot prac badawczych i wdrożeniowych w aspekcie określania wpływu poboru wód podziemnych na wieloletnie ciągi średnich dekadowych przepływów rzecznych w przekrojach bilansowych będące daną wejścia do dynamicznego bilansu wód powierzchniowych w zlewni [m.in. Herbich, 1997; Tyszewski i in., 2008; Indyk i in., 2011].

Korekta wieloletniego ciągu średnich dekadowych przepływów rzecznych o wpływ poboru wód podziemnych jest dokonywana poza dokumentacją hydrogeologiczną ustalającą zasoby dyspozycyjne wód podziemnych. Korekta ta stanowi element oddzielnej dokumentacji planistycznej *Opracowanie jednolitego bilansu wodnogospodarczego zlewni* realizowanej jako dynamiczny bilans wodnogospodarczy wód powierzchniowych, w którym przepływy rzeczne w przekroju bilansowym – jako dana wejściowa do bilansu – są skorygowane o wpływ poboru wód podziemnych. Z tego względu w niniejszym poradniku zostaną sformułowane jedynie ogólne wytyczne do przeprowadzenia takiej korekty.

Model matematyczny sporządzony w ramach dokumentacji ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych jest modelem stacjonarnym (nie uwzględniającym zmian czasowych). Z tego względu symulacje i obliczenia wymagane do określenia korekty ciągów dekadowych przepływów rzecznych będą analogiczne, jak w przypadku bilansu statycznego (rozdział 7.4.2 – tab. 7.4-1).

Pierwszym podstawowym krokiem jest sprawdzenie istotności korekty dopływu podziemnego związanego ze zmianą poboru wód podziemnych. Dla każdego poziomu infiltracji efektywnej wprowadzamy następujący procentowy wskaźnik:

#### *Infiltracja efektywna jako średnia z wielolecia IES*

zmiana wielkości poboru z poziomu poboru aktualnego ( $UA$ ) na pobór dopuszczalny w pozwoleniu wodno prawnym ( $UW$ )

$$\beta_{IES-WA} = \frac{\Delta ZPD_{IES-WA}}{ZPD_{IES-UA}} = \frac{ZPD_{IES-UW} - ZPD_{IES-UA}}{ZPD_{IES-UA}} \cdot 100\% \quad (7.4.10.a)$$

zmiana wielkości poboru z poziomu poboru aktualnego ( $UA$ ) na pobór perspektywiczny ( $UP$ )

$$\beta_{IES-PA} = \frac{\Delta ZPD_{IES-PA}}{ZPD_{IES-UA}} = \frac{ZPD_{IES-UP} - ZPD_{IES-UA}}{ZPD_{IES-UA}} \cdot 100\% \quad (7.4.10.b)$$

zmiana wielkości poboru z poziomu poboru aktualnego ( $UA$ ) na pobór na poziomie zasobów dyspozycyjnych ( $UD$ )

$$\beta_{IES-ZDA} = \frac{\Delta ZPD_{IES-ZDA}}{ZPD_{IES-UA}} = \frac{ZPD_{IES-UZD} - ZPD_{IES-UA}}{ZPD_{IES-UA}} \cdot 100\% \quad (7.4.10.c)$$

#### Infiltracja efektywna jako średnia z reprezentatywnego ciągu lat mokrych IEW

zmiana wielkości poboru z poziomu poboru aktualnego ( $UA$ ) na pobór dopuszczalny w pozwoleniu wodnoprawnym ( $UW$ )

$$\beta_{IEW-WA} = \frac{\Delta ZPD_{IEW-WA}}{ZPD_{IEW-UA}} = \frac{ZPD_{IEW-UW} - ZPD_{IEW-UA}}{ZPD_{IEW-UA}} \cdot 100\% \quad (7.4.11.a)$$

zmiana wielkości poboru z poziomu poboru aktualnego ( $UA$ ) na pobór perspektywiczny ( $UP$ )

$$\beta_{IEW-PA} = \frac{\Delta ZPD_{IEW-PA}}{ZPD_{IEW-UA}} = \frac{ZPD_{IEW-UP} - ZPD_{IEW-UA}}{ZPD_{IEW-UA}} \cdot 100\% \quad (7.4.11.b)$$

zmiana wielkości poboru z poziomu poboru aktualnego ( $UA$ ) na pobór na poziomie zasobów dyspozycyjnych ( $UD$ )

$$\beta_{IEW-ZDA} = \frac{\Delta ZPD_{IEW-ZDA}}{ZPD_{IEW-UA}} = \frac{ZPD_{IEW-UZD} - ZPD_{IEW-UA}}{ZPD_{IEW-UA}} \cdot 100\% \quad (7.4.11.c)$$

#### Infiltracja efektywna jako średnia z reprezentatywnego ciągu lat suchych IEN

zmiana wielkości poboru z poziomu poboru aktualnego ( $UA$ ) na pobór dopuszczalny w pozwoleniu wodno prawnym ( $UW$ )

$$\beta_{IEN-WA} = \frac{\Delta ZPD_{IEN-WA}}{ZPD_{IEN-UA}} = \frac{ZPD_{IEN-UW} - ZPD_{IEN-UA}}{ZPD_{IEN-UA}} \cdot 100\% \quad (7.4.12.a)$$

zmiana wielkości poboru z poziomu poboru aktualnego ( $UA$ ) na pobór perspektywiczny ( $UP$ )

$$\beta_{IEN-PA} = \frac{\Delta ZPD_{IEN-PA}}{ZPD_{IEN-UA}} = \frac{ZPD_{IEN-UP} - ZPD_{IEN-UA}}{ZPD_{IEN-UA}} \cdot 100\% \quad (7.4.12.b)$$

Wartości wskaźnika  $\beta$  dla poszczególnych poziomów infiltracji efektywnej i zmian poboru wód podziemnych charakteryzują znaczenie zmian poboru wód podziemnych na dopływy do koryt rzecznych w przekrojach bilansowych. Jeżeli wartość wskaźnika  $\beta$  jest niewielka (poniżej 10%), wówczas można powiedzieć, że wpływ zmian poboru wód podziemnych na przepływ w rzece jest pomijalny. Jeżeli natomiast wartość wskaźnika  $\beta$  wynosi powyżej 20%, wówczas wpływ ten należy uznać za istotny. W przypadku zmian w granicach 10-20% decyzja o uwzględnieniu wpływu zmian poboru na dopływy do koryt rzecznych lub uznaniu ich za nieistotne, zależy od warunków hydrogeologicznych, wielkości przepływu rzeki w przekroju bilansowym, charakterystyki użytkowania wód powierzchniowych i wreszcie dokładności oceny odpływu podziemnego.

W oparciu o analizę stopnia i charakteru zmian presji i oddziaływań antropogenicznych na przepływ rzeki w wieloleciu bilansowym dokonywana jest kwalifikacja ciągu przepływów dekadowych wprowadzanych do bilansu wodnogospodarczego wód powierzchniowych. Zasady tej kwalifikacji omówione są w punkcie 6 i 7 kwalifikacji; w obliczeniach korekty ciągu dekadowych przepływów rzeki w przekroju bilansowym jest uwzględniana wartość (por. punkt 8 i 9 procedury korekty przepływu do bilansu statycznego, rozdział 7.4.2):

- a) poboru wód podziemnych aktualnego rzeczywistego  $UA$ , dopuszczalnego pozwoleńmi wodnoprawnymi  $UW$ , perspektywicznego  $UP$  i poboru równego zasobom dyspozycyjnym  $ZD$ ;
- b) przyrostu poboru  $\Delta U$  wód podziemnych: dopuszczalnego pozwoleńmi wodnoprawnymi  $\Delta UW$ , perspektywicznego  $\Delta UP$  i poboru równego zasobom dyspozycyjnym  $\Delta ZD$  w stosunku do poboru aktualnego rzeczywistego  $UA$ .

Korekta ciągu przepływów dekadowych w przekroju bilansowym o wpływ statycznego (niezmiennego w czasie) poboru wód podziemnych jest realizowana poprzez korektę wygenerowanego dekadowego ciągu odpływu podziemnego w przekroju bilansowym o uzmiennioną wartość  $\Delta ZPD = \Delta QG$  obliczoną na modelu matematycznym dla odpowiedniego poziomu infiltracji efektywnej i zmiany poboru wód podziemnych. Uzmiennienie wartości



$\Delta QG$  do postaci ciągów dekadowych oparte jest na zachowaniu trendów zmian odpływu podziemnego z wykorzystaniem inercji systemu wodonośnego i współczynników korekcyjnych związanych z poziomem zmian odpływu  $\Delta QG$  w warunkach zmiennej infiltracji i różnych poziomów poboru wód podziemnych.

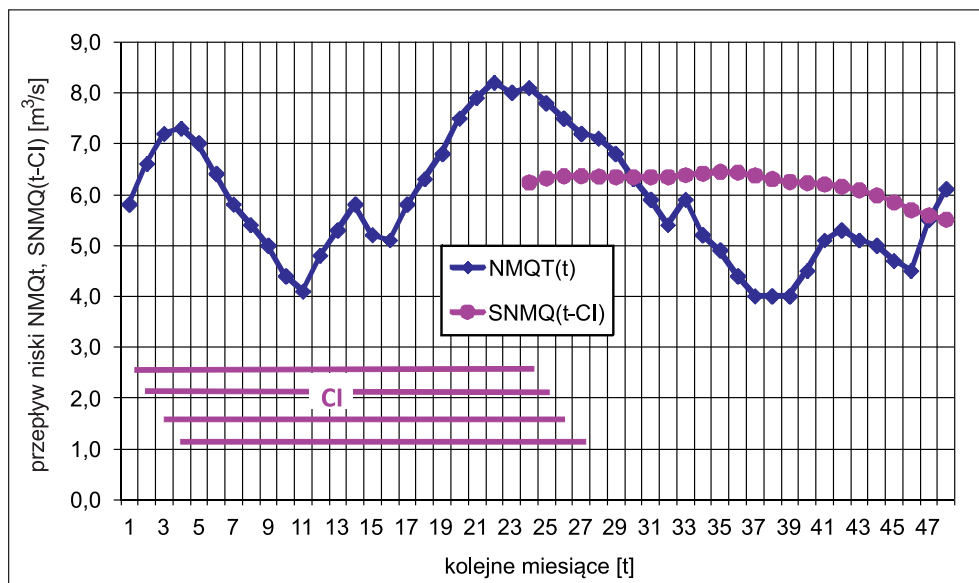
Szczegółowy przebieg procedury korygowania wieloletniego ciągu wartości dekadowych przepływów rzecznych o wpływ poboru wód podziemnych jest następujący:

- 1) W oparciu o przeprowadzone symulacje modelowe (tab. 7.4-1) i ustalenia dokonane zgodnie z 6. punktem procedury korekty przepływu do bilansu statycznego (rozdział 7.4.2) określany jest zakres zmian zasilania podziemnego rzek  $QG$  w dolinnych strefach drenażowych (odwzorowanych blokami z rzeką) w zlewni zamkniętej danym przekrojem bilansowym. Zakres tych zmian jest określany jako  $\lambda_{(XN-S)}$  i  $\lambda_{(XW-S)}$ , oddzielnie dla poszczególnych kategorii poboru  $UX$  wód podziemnych (aktualnego rzeczywistego  $UA$ , dopuszczalnego pozwoleniami wodnoprawnymi  $UW$ , perspektywicznego  $UP$  i poboru równego zasobom dyspozycyjnym  $ZD$ ) w warunkach przepływu wód podziemnych wymuszonego infiltracją efektywną  $IEY$  ( $IES$  – średnią z wielolecia rekomendowanego,  $IEN$  – średnią z reprezentatywnego okresu  $CI$ -lat posusznych,  $IEW$  – średnią z reprezentatywnego okresu  $CI$ -lat mokrych):

$$\lambda_{(X,W-S)} = \frac{QG_{(IEW-UX)}}{QG_{(IES-UX)}} \quad (7.4-13.a)$$

$$\lambda_{(X,N-S)} = \frac{QG_{(IEN-UX)}}{QG_{(IES-UX)}} \quad (7.4-13.b)$$

- 2) Utworzenie dla danego przekroju bilansowego ciągu przepływów rzeki z zasilania podziemnego, wyrażonego miesięcznymi wartościami  $QGt$ , gdzie  $QGt = NMQt$  (wartości  $QGt$  są określone na podstawie przepływów niskich miesięcznych  $NMQt$  ze zbioru przepływów dobowych w danym przekroju bilansowym stanowiącego podstawę ustalenia wieloletniego ciągu przepływów średnich dekadowych).
- 3) Utworzenie ciągu średnich przepływów podziemnych rzeki  $SQG(t-CI)$ , jako wartości średnich ruchomych  $SNMQ(t-CI)$  (patrz rys. 7.4-1), gdzie  $CI$  jest czasem inercji modelowanego systemu wodonośnego (patrz rozdz. 5.1, tab. 5.1-1).



**Rys. 7.4-1. Schemat obliczania średniej ruchomej wartości przepływu niskiego miesięcznego  $SNMQ(t-CI)$  z okresu poprzedzającego dany miesiąc  $t$  o czas inercji  $CI = 2$  lata**

Objaśnienia:  $NMQ(t)$  – przepływ niski miesięczny;  $SNMQ(t-CI)$  – przepływ średni ruchomy z niskich miesięcznych w okresie poprzedzającego dany miesiąc  $[t]$  o czas inercji  $CI = 2$  lata (24 miesiące).

- 4) Utworzenie ciągu wartości  $\omega_{(t)}$  stosunku przepływu podziemnego rzeki  $SQG_{(t-CI)}$  średniego z okresu  $CI$  poprzedzającego dany czas  $t$  – do przepływu podziemnego średniego wieloletniego  $SSQG$  (średniego z wielolecia rekomendowanego do ustalania zasobów i przeprowadzania bilansu wodnogospodarczego).

$$\omega_{(t)} = \frac{SQG_{(t-CI)}}{SSQG} \quad (7.4-14)$$

i ustalenie ekstremalnych wartości stosunku  $\omega_{(t)_{MAX}}$  i  $\omega_{(t)_{MIN}}$ :

$$\omega_{(t)_{MAX}} = \frac{SQG_{(t-CI)_{MAX}}}{SSQG} \quad (7.4-15a)$$

$$\omega_{(t)_{MIN}} = \frac{SQG_{(t-CI)_{MIN}}}{SSQG} \quad (7.4-15.b)$$

- 5) Aby dokonać korekty przepływu podziemnego  $QGt$  o wpływ poboru  $UX$  w warunkach infiltracji  $IEY$  (znaczenie symboli  $X$  i  $Y$  – patrz punkt 1), ustalana jest wartość wskaźnika  $\varphi_{(tXY)}$  z uwzględnieniem  $\omega_{(t)MAX}$ ,  $\omega_{(t)MIN}$  oraz  $\lambda_{(XW-N)}$ ,  $\lambda_{(XN-S)}$ ,  $\lambda_{(XW-S)}$ .

Jeżeli  $QGt > SSQG$ :

$$\varphi_{(tXY)MAX} = \omega_{(t)} \frac{\omega_{(t)MAX}}{\lambda_{(XW-S)}} \quad (7.4-16.a)$$

Jeżeli  $QGt < SSQG$ :

$$\varphi_{(tXY)MIN} = \omega_{(t)} \frac{\omega_{(t)MIN}}{\lambda_{(XN-S)}} \quad (7.4-16.b)$$

- 6) Dokonywana jest korekta przepływu podziemnego  $QGt$  w czasie  $t$  o wpływ poboru  $UX$  w warunkach infiltracji  $IEY$ . Otrzymywana jest wartość skorygowanego przepływu podziemnego rzeki w przekroju bilansowym  $QGt_{(XY)}$ :

Jeżeli  $QGt > SSQG$  (co oznaczone jest indeksem *wys.*):

$$QGt_{(XY)wys} = \varphi_{(tXY)MAX} \cdot QGt \quad (7.4-17.a)$$

Jeżeli  $QGt < SSQG$  (co oznaczone jest indeksem *nis.*):

$$QGt_{(XY)nis} = \varphi_{(tXY)MIN} \cdot QGt \quad (7.4-17.b)$$

- 7) Dokonywana jest korekta przepływów średnich dekadowych  $Qt$  o wpływ poboru  $UX$  w warunkach infiltracji  $IEY$ . Zgodnie z powyższymi ustaleniami określana jest wartość skorygowanego przepływu średniego dekadowego rzeki w przekroju bilansowym  $Qt_{(XY)}$ :

w sytuacji, gdy  $QGt > SSQG$ :

$$Qt_{(XY)} = Qt - (QGt - QGt_{(XY)wys}) \quad (7.4-18.a)$$

lub

$$Qt_{(XY)} = Qt - (QGt(1 - \varphi_{(tXY)MAX})) \quad (7.4-18.b)$$

w sytuacji, gdy  $QGt < SSQG$ :

$$Qt_{(XY)} = Qt - (QGt - QGt_{(XY)nis}) \quad (7.4-19.a)$$

lub

$$Qt_{(XY)} = Qt - (QGt(1 - \phi_{(XY)MIN})) \quad (7.4-19.b)$$

Przedstawioną procedurę obliczeniową dla sytuacji, gdy  $QGt > SSQG$ , można sprowadzić do postaci:

$$Qt_{(XY)} = Qt - QGt(1 - SQG_{(t-CI)} \frac{SQG_{(t-CI)MAX} \cdot QG_{(IES-UX)}}{SSQG^2 \cdot QG_{(IEW-UX)}}) \quad (7.4-20a)$$

zaś dla sytuacji, gdy  $QGt < SSQG$ , można sprowadzić do postaci:

$$Qt_{(XY)} = Qt - QGt(1 - SQG_{(t-CI)} \frac{SQG_{(t-CI)MIN} \cdot QG_{(IES-UX)}}{SSQG^2 \cdot QG_{(IEN-UX)}}) \quad (7.4-20b)$$



**8. Wytyczne do sporządzania  
programów prac i dokumentacji  
hydrogeologicznych  
ustalających zasoby  
dyspozycyjne wód  
podziemnych**

---

---



## **8.1. Sporządzanie programu prac geologicznych**

### **□ Cel wykonania programu prac geologicznych**

Zgodnie z koncepcją realizacji programu dokumentowania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych przyjętą przez PIG–PIB jako generalnego wykonawcę i zaakceptowaną przez Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej (KZGW) jako zlecającego zadanie, prace dokumentacyjne mają być realizowane nie na podstawie projektów prac geologicznych podlegających formalnemu zatwierdzeniu, ale na podstawie programów prac, które będą podlegały opiniowaniu przez komisję powołaną przy Zespole Koordynacyjnym Zadania. Program prac geologicznych, wraz z procedurą jego opiniowania, pozwoli ocenić prawidłowość przyjętej koncepcji rozwiązania zadania i zaprojektowanego zakresu prac.

Przyjęcie takiego sposobu postępowania jest możliwe, ponieważ, z uwagi na planowany szybki cykl realizacji dokumentacji hydrogeologicznych ustalających zasoby dyspozycyjne wód podziemnych, nie przewiduje się wykonywania robót geologicznych (w szczególności prac wiertniczych) wymagających projektu robót geologicznych podlegającego procedurze zatwierdzenia. Zakłada się, że prace takie mogłyby być wykonywane tylko w wyjątkowych przypadkach.



## □ Uwagi ogólne do zakresu programu prac geologicznych

Zakres i sposób opracowania programu prac powinien spełniać ogólne wymagania formalne dla projektów robót geologicznych przedstawione w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie *szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji* (Dz. U. z 2011 r., Nr 288, poz. 1696) i szerzej opisane w rozdz. 6.1.1.

Tak jak w przypadku projektów prac i robót geologicznych, podstawowym zadaniem programu jest dokonanie oceny aktualnego stanu rozpoznania hydrogeologicznego obszaru badań i zaproponowanie na tej podstawie zakresu prac niezbędnych do osiągnięcia zakładanych celów badawczych, które będą realizowane na etapie prac dokumentacyjnych.

Mimo że głównym zadaniem prac dokumentacyjnych będzie przedstawienie warunków hydrostrukturalnych i hydrodynamicznych z dokładnością wymaganą do sporządzenia regionalnego modelu matematycznego oraz ustalenie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych obszaru bilansowego, to zakres i metodyka prac badawczych projektowanych w programie muszą uwzględniać także nowe oczekiwania stawiane przed dokumentacją hydrogeologiczną, które wykraczają poza dotychczasową praktykę oraz formalny zakres wynikający z rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie *dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej* (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714). Dokumentacja hydrogeologiczna w swym nowym, rozszerzonym kształcie, oprócz ustalenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych, ma zawierać również szacunkowe określenie wielkości dostępnych zasobów wód w jednolitych częściach wód podziemnych (JCWPd) znajdujących się w granicach obszaru bilansowego oraz ocenę wpływu aktualnego i prognozowanego poboru wód podziemnych na ekosystemy zależne od wód podziemnych, w tym w szczególności na obszary Natura 2000.

Spełnienie tych oczekiwań wymaga m.in. bardziej szczegółowego niż do tej pory odwzorowania na modelu numerycznym występowania pierwszego poziomu wodonośnego, ilościowej identyfikacji wymiany wód podziemnych z wodami powierzchniowymi wzdłuż biegu dolin rzecznych, doboru okresu wieloletniego do ustalania odnawialności wód podziemnych i przeprowadzenia JBWG oraz określenia wpływu zagospodarowania wód podziemnych na przepływ rzek w przekrojach bilansowych. Sposób podejścia do analizy tych zagadnień został przedstawiony szczegółowo we wcześniejszych rozdziałach poradnika.

Omawiane w programie zagadnienia proponuje się ilustrować w tekście mapami poglądowymi, które w miarę możliwości powinny być skomponowane z warstw informacyjnych systemu GIS. Mapy takie wzbogacają treść programu, lecz nie są obligatoryjne. Główne warstwy informacyjne pozyskane ze źródłowych baz danych GIS i wprowadzone do *Mapy dokumentacyjnej* i *Mapy hydrogeologicznej*, są dołączane do programu w postaci cyfrowej.

W celu ujednoczenia sposobu przygotowania programów prac, poniżej przedstawiono propozycję rozdziałów tekstu wraz z ogólnymi zaleceniami dotyczącymi ich zawartości i sposobu prezentacji omawianych zagadnień. Mimo swojej szczegółowości nie mają one sztywnego charakteru obowiązującej instrukcji i w uzasadnionych przypadkach dopuszczalne są odstępstwa od podanych zaleceń.

## □ Struktura i zawartość programu prac geologicznych

### 1. WSTĘP

- Podstawa formalna pracy: umowa wykonawcza, akty prawne odnoszące się do spraw będących przedmiotem prac projektowych i dokumentacyjnych.
- Zamawiający, Finansujący i Wykonawca zadania oraz zespół autorski.
- Cel i zakres programu prac. Należy podkreślić, że celem projektowanych prac badawczych i dokumentacyjnych jest nie tylko ustalenie wielkości zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych (cel podstawowy), ale również dostarczenie informacji hydrogeologicznych na potrzeby opracowania jednolitego bilansu wodnogospodarczego oraz warunków korzystania z wód.
- Metodyka opracowania programu prac i krótkie omówienie wykorzystanych narzędzi informatycznych.
- Wskazanie źródeł zebranych danych i informacji oraz sposobu ich pozyskania, wraz z oceną ich kompletności i wiarygodności. Podkreślenie, że program powstał w oparciu o dostępne materiały archiwalne, bez prowadzenia wizji terenowych.

### 2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

#### 2.1. Położenie geograficzne i administracyjne

- Krótki, ogólny opis położenia obszaru badań na tle obszaru kraju. Podanie współrzędnych geograficznych punktów skrajnych granicy obszaru badań.
- Opis położenia obszaru badań na tle jednostek administracyjnych. Zestawienie tabelaryczne województw, powiatów i gmin z podaniem ich powierzchni w km<sup>2</sup> i w % w granicach obszaru badań.
- Przynależność obszaru badań do administracji specjalnych: RZGW, WIOŚ, RDLP, TSSE, właściwego oddziału IMGW i oddziałów PIG-PIB.
- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa poglądowa lokalizacji obszaru badań na tle jednostek administracyjnych.*

#### 2.2. Regionalizacja hydrogeologiczna i wodnogospodarcza

- Krótki opis i przedstawienie granic w obrębie i sąsiedztwie obszaru badań:

- hydrostrukturalnych [według regionalizacji w: Paczyński, Sadurski (red.), 2007],
  - głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP),
  - jednolitych części wód podziemnych (JCWPd),
  - regionów wodnych,
  - obszarów bilansowych i rejonów wodnogospodarczych z podaniem stanu udokumentowania ich zasobów dyspozycyjnych.
- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa poglądowa wydzielen hydrogeologicznych i wodnogospodarczych.*

### **2.3. Obszary chronione przyrody i ekosystemy zależne od wód podziemnych**

- Charakterystyka obszarów chronionych wymienionych w rozdz. 6.3.4 niniejszego poradnika. Do opisu powinno być dołączone zestawienie tabelaryczne obszarów z podaniem co najmniej ich nazw i kodów, powierzchni w km<sup>2</sup> i w % w granicach obszaru badań.
- Identyfikacja chronionych ekosystemów lądowych zależnych od wód podziemnych, zgodnie z zasadami opisanymi w rozdz. 6.3.7 poradnika wraz z informacją o obowiązujących ograniczeniach dla zakresu zmian stosunków wodnych (o ile zostały określone). W wyniku tych prac, na bazie referencyjnej warstwy informacyjnej GIS (patrz rozdz. 8.2 poradnika), tworzona jest warstwa zawierająca ww. ekosystemy, która jest niezbędna do właściwej konstrukcji modelu matematycznego i ustalenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych.
- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa poglądowa obszarów chronionych i ekosystemów zależnych od wód podziemnych.*

### **2.4. Regionalizacja fizycznogeograficzna i ukształtowanie powierzchni terenu**

- Przynależność obszaru badań do regionów fizycznogeograficznych wg podziału Kondrackiego [1998]. Ogólny opis regionów i głównych elementów geomorfologicznych.
- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa poglądowa lokalizacji obszaru badań na tle regionalizacji fizycznogeograficznej.*

### **2.5. Warunki klimatyczne**

- Ogólna charakterystyka podstawowych elementów klimatu: region klimatyczny, opady, temperatura powietrza, parowanie terenowe i inne.

- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa pogładowa średniego opadu rocznego* (wg *Atlasu klimatycznego Polski*, IMGW).

## **2.6. Wody powierzchniowe**

### **2.6.1. Sieć hydrograficzna i jakość wód**

- Charakterystyka poszczególnych elementów sieci hydrograficznej: rzek, jezior, sztucznych zbiorników wodnych.
- Podstawowe informacje o aktualnie prowadzonym monitoringu stanu chemicznego wód powierzchniowych na podstawie raportów WIOŚ.
- Charakterystyka stanu jakościowego wód na podstawie raportów WIOŚ.
- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa pogładowa sieci hydrograficznej i stanu jakości wód powierzchniowych*.

### **2.6.2. Warunki hydrologiczne**

- Zestawienie tabelaryczne punktów monitoringu stanów i przepływów wód powierzchniowych (przekrojów wodowskazowych) prowadzonego przez IMGW, z podaniem następujących informacji: lokalizacja punktu (rzeka, współrzędne geograficzne), powierzchnia zlewni kontrolowanej w km<sup>2</sup>, okres prowadzenia obserwacji.
- Ogólna charakterystyka stanów wód oraz przepływów w rzekach i zbiornikach wodnych na podstawie danych IMGW i/lub istniejących opracowań hydrologicznych.
- Zestawienie przepływów nienaruszalnych zamieszczonych w pracy [Kostrzewa, 1977] i/lub w aktualnych warunkach korzystania z wód regionów wodnych.
- Wskazanie obszarów zalewowych w dolinach rzecznych (wg danych RZGW).
- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa pogładowa lokalizacji punktów monitoringu wód powierzchniowych i obszarów zalewowych* zawierająca m.in. następujące elementy: obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi, lokalizację punktów wodowskazowych.

## **2.7. Użytkowanie i zagospodarowanie terenu**

Sposób użytkowania i zagospodarowania terenu należy krótko opisać, zwracając szczególną uwagę na te elementy zagospodarowania przestrzennego, które mogą mieć rzeczywisty wpływ na stan ilościowy i chemiczny wód podziemnych. Charakterystykę tę można przedstawić na

podstawie bazy Corine Land Cover, wskazując główne typy użytkowania terenu (rolnicze, leśne, obszary zurbanizowane, przemysłowe, górnicze i inne) oraz bazy MIDAS (obszary i tereny górnicze). Rozdział ten powinien zawierać następujące elementy:

- Ogólna charakterystyka gospodarcza terenu badań: przemysłu, rolnictwa i hodowli, leśnictwa, głównych tras komunikacyjnych.
- Ogólna charakterystyka działalności górniczej z rozróżnieniem na podziemną i odkrywkową. Tereny i obszary górnicze. Zestawienie tabelaryczne obszarów górniczych z podaniem podstawowych informacji.
- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa poglądowa użytkowania terenu. Mapa poglądowa obszarów górniczych.*

## **2.8. Charakterystyka wodnogospodarcza**

### **2.8.1. Użytkowanie wód powierzchniowych**

- Zestawienie w tabelach (na podstawie danych z katastru RZGW) następujących obiektów użytkowania wód powierzchniowych:
  - ujęcia wody powierzchniowej z podaniem celu wykorzystania wody, wielkości poboru, pozwolenia wodnoprawnego;
  - wybrane obiekty zabudowy hydrotechnicznej wpływające w sposób znaczący na stany wód, z podaniem typu obiektu, funkcji i wielkości.
- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa poglądowa użytkowania wód powierzchniowych* prezentująca lokalizację ww. obiektów.

### **2.8.2. Użytkowanie wód podziemnych**

- Na podstawie informacji z baz danych POBORY należy zestawić największe obiekty użytkowania wód podziemnych:
  - ujęcia wód podziemnych z podaniem ich rodzaju (wodociągowe i inne), wielkości rzeczywistego poboru wody i wielkości poboru wg pozwolenia wodnoprawnego;
  - odwodnienia górnicze: lokalizacja, nazwa i typ odwadnianego obiektu, wielkość poboru.

### **2.8.3. Gospodarka ściekowa**

- Na podstawie danych z katastru RZGW (o ile jest dostępna jego wersja elektroniczna) zestawić w tabelach:
  - zrzuty wód z oczyszczalni miejskich,
  - zrzuty wód z odwodnień górniczych: ilość i charakterystyka jakościowa (jeśli są dane).

### **3. DOTYCHCZASOWY STAN ROZPOZNANIA HYDROGEOLOGICZNEGO**

#### **3.1. Dane wiertnicze i badania geofizyczne**

- Zestawienie statystyczne otworów wykonanych w obszarze badań z podziałem na stratygrafię ujętych osadów wodonośnych (na podstawie Banku HYDRO).
- Wyszczególnienie (w formie zestawienia tabelarycznego) dokumentacji geofizycznych badań elektrooporowych zrealizowanych w obrębie obszaru badań (rejon prac, rok wykonania, tytuł opracowania, wykonawca, cel badań) znajdujących się w zasobach informacyjnych NAG.
- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa poglądowa lokalizacji archiwalnych badań geofizycznych i otworów wiertniczych.*

#### **3.2. Archiwalne opracowania hydrogeologiczne**

- Zestawienie opracowań hydrogeologicznych o charakterze regionalnym (w szczególności dokumentacji ustalających zasoby odnawialne i dyspozycyjne), arkuszy MhP dokumentacji Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) oraz dokumentacji odwodnieniowych górnictwa odkrywkowego.
- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa poglądowa lokalizacji archiwalnych opracowań hydrogeologicznych.*

#### **3.3. Monitoring wód podziemnych**

- Zestawienie tabelaryczne punktów monitoringu krajowego i regionalnego wód podziemnych z podaniem następujących informacji: numer punktu, miejscowość, współrzędne geograficzne, stratygrafia ujętego poziomu wodonośnego, okres obserwacji, instytucja prowadząca monitoring, zakres monitoringu (monitoring zwierciadła wody, monitoring jakości wód).
- Informacja o sieciach monitoringu lokalnego (w rejonie obiektów wpływających na stan wód podziemnych o zasięgu regionalnym).
- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa poglądowa lokalizacji punktów monitoringu wód podziemnych.*

### **4. BUDOWA GEOLOGICZNA**

- Syntetyczne przedstawienie genezy, budowy geologicznostrukturalnej i tektoniki obszaru badań i jego otoczenia: jednostek geologicznych i głównych struktur. Krótka charakterystyka pięter geologicznych: stratygrafii, litologii, miąższości warstw.

- Prezentacja graficzna w tekście: mapy poglądowe przygotowane na podstawie map publikowanych (w zależności od obszaru badań), np.: *Mapa geologiczna stropu mezozoiku*, *Mapa geologiczna podłoża czwartorzędu*, *Mapa geologiczna utworów powierzchniowych* (zgeneralizowana) lub inne, wynikające ze specyfiki badanego obszaru.

## **5. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE**

### **5.1. Warunki hydrostrukturalne i hydrodynamiczne**

- Charakterystyka struktur i jednostek hydrogeologicznych oraz systemu krążenia wód podziemnych, tj.: warstwowość systemu wodonośnego, obszary zasilania i drenażu, charakter kontaktu poziomów wodonośnych z otoczeniem (przepływy przez brzegi zewnętrzne, zasilanie ascensyjne z głębokich poziomów i inne).
- Prezentacja graficzna: *Mapa hydrogeologiczna* zawierająca m.in. hydroizohipsy z poszczególnych arkuszy MhP, w formie odrębnego załącznika (zał. 2), *Przekroje hydrogeologiczne* (zał. 3.). Na etapie programu prac można wykorzystać przekroje z opracowań archiwalnych, np. MhP i SmgP.

### **5.2. Wydzielone poziomy wodonośne**

- Charakterystyka rozprzestrzenienia, stratygrafii i stopnia izolacji poziomów użytkowych.
- Charakterystyka pierwszego poziomu wodonośnego (występowanie, użytkowość).

Charakterystykę tę należy oprzeć na ustaleniach MhP (GUPW i PPW). Dodatkowo można wykorzystać również informacje zawarte na *Mapie hydrograficznej Polski 1 : 50 000* oraz *Mapie wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie 1 : 500 000* [Witczak (red.), 2011].

### **5.3. Własności fizyko-chemiczne i jakość wód podziemnych**

- Wstępna charakterystyka stanu chemicznego wód podziemnych w oparciu o materiały archiwalne: arkusze MhP (GUPW i PPW), ewentualnie uzupełnione o dane z monitoringu krajowego i monitoringów regionalnych, dokumentacje GZWP i inne opracowania o charakterze regionalnym.
- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa poglądowa jakości wód podziemnych* sporządzona na podstawie warstw informacyjnych MhP.



## **5.4. Antropogeniczne i geogeniczne zagrożenia stanu wód podziemnych**

- Wstępna ocena wpływu antropopresji na stan ilościowy i chemiczny wód podziemnych głównego użytkowego poziomu wodonośnego, ze szczególnym uwzględnieniem pierwszego poziomu wodonośnego (PPW). Ocenę należy oprzeć na informacjach zgromadzonych w bazie danych MhP dotyczących obiektów mogących wpływać na stan wód podziemnych oraz w raportach RZGW dotyczących zmian położenia zwierciadła wód podziemnych.
- Ogólna ocena geogenicznego zagrożenia stanu chemicznego wód podziemnych poziomów użytkowych na skutek stwierdzonego lub potencjalnie możliwego ascensyjnego dopływu wód zasolonych z głębszych partii górotworu lub mieszania się wód słodkich z wodami silnie zmineralizowanymi.
- Prezentacja graficzna w tekście: *Mapa pogładowa zidentyfikowanych obszarów istotnego antropogenicznego i geogenicznego zagrożenia stanu wód podziemnych.*

## **6. PROGRAM PRAC GEOLOGICZNYCH**

### **6.1. Ocena istniejącego stanu rozpoznania warunków hydrogeologicznych oraz stanu zagospodarowania terenu**

Posumowanie i ocena informacji przedstawionych w poprzednich rozdziałach, a dotyczących stanu rozpoznania warunków hydrogeologicznych, hydrologicznych, środowiskowych, wodnogospodarczych niezbędnych do określenia zasobów odnawialnych wód podziemnych, stanu ich zagospodarowania, antropogenicznych zagrożeń, modelowego ustalenia zasobów dyspozycyjnych, przeprowadzenia bilansu wodnogospodarczego wód podziemnych oraz opracowania wskazań do warunków korzystania z wód i planów zagospodarowania wodami.

### **6.2. Główne cele i zadania badawcze**

Na podstawie oceny stanu rozpoznania warunków hydrogeologicznych oraz identyfikacji zagrożeń wód podziemnych przedstawionych w pierwszej części programu prac (inwentaryzacyjno-opisowej), w części projektowej formułuje się cele i zadania badawcze oraz ustala zakres prac i metody niezbędne do osiągnięcia tych celów. Ustalając cele oraz zakres prac badawczych i dokumentacyjnych, należy uwzględnić wszystkie wymagania dotyczące zakresu i sposobu opracowania dokumentacji zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych przedstawione w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia

23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714) oraz dodatkowo specyficzne dla badanego obszaru problemy badawcze i braki rozpoznania zidentyfikowane na podstawie analizy materiałów archiwalnych, opisane w pierwszej części programu prac. Wymagania formalne dotyczące zakresu i sposobu opracowania dokumentacji zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zostały szerzej opisane w rozdz. 6.1.2 poradnika.

Formułując szczegółowe cele i zadania badawcze, należy również uwzględnić specyfikę planowanych prac dokumentacyjnych, które swym zakresem wykraczają poza wymagania formalne sformułowane w tekście ww. rozporządzenia. Należy wyraźnie podkreślić, że celem prac dokumentacyjnych jest także ustalenie tzw. zasobów dostępnych wód podziemnych dla JCWPd oraz dostarczenie informacji o podziemnym zasilaniu wód powierzchniowych, o zakresie i dokładności wymaganej do sporządzenia jednolitego bilansu wodnogospodarczego.

### **6.3. Ustalenie granic obszaru badań**

Obszar prowadzonych badań powinien wykraczać poza granice obszaru bilansowego przewidzianego do ustalenia zasobów dyspozycyjnych. Jest to niezbędne głównie ze względu na wymogi konstrukcyjne modelu matematycznego (patrz rozdz. 6.5.3 poradnika). Im dalej granice modelu odsunięte są od granic zlewni (wododziałów), tym bardziej wiarygodne jest odtworzenie na modelu oddziaływania obszaru badanego z obszarem sąsiednim. Oczywiście rozszerzenie obszaru badań musi mieć swoje rozsądne granice, lecz nie można podać uniwersalnego sposobu ustalania ich położenia. Generalnie obszar badań (rozpoznania hydrogeologicznego) powinien wykraczać poza granice zlewni ograniczającej obszar bilansowy o co najmniej kilka kilometrów. Odległość ta może być większa w przypadku, gdy poza granicami zlewni, ale w jej najbliższym sąsiedztwie, zlokalizowany jest skoncentrowany pobór wód podziemnych powodujący zmiany warunków hydrodynamicznych (np. większe miasto, odwadniana kopalnia). Wówczas obszar wpływu tego poboru powinien być włączony do granic rozpoznania, w celu wykreślenia wiarygodnej mapy hydroizohips uwzględniającej lej depresji wywołany skoncentrowanym poborem. Ustalone granice obszaru badań (rozpoznania) wyznaczają obszar, dla którego prowadzi się całość prac zmierzających do ustalenia zasobów dyspozycyjnych obszaru bilansowego: od uzupełnienia materiałów archiwalnych, poprzez prace terenowe, aż do sporządzenia modelu hydrogeologicznego i matematycznego.

### **6.4. Uzupełnienie materiałów archiwalnych**

Wskazanie niezbędnych danych wymagających uzupełnienia z podaniem instytucji i archiwów, w których wymagane materiały mogą być pozyskane. Planując w programie uzupełnienie materiałów archiwalnych, należy zwró-

cić uwagę, że na etapie prac dokumentacyjnych nie zbiera się od podstaw potrzebnych informacji, lecz uzupełnia te, które zgromadzone zostały w ramach programu prac.

Wszystkie materiały zgromadzone w bazach centralnych, niezbędne do wykonania dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych, będą przekazane jej wykonawcy w trybie określonym harmonogramem realizacji prac Generalnego wykonawcy przedsięwzięcia. Charakterystykę danych wymagających zebrania oraz źródeł ich pozyskiwania przedstawiono szczegółowo w rozdz. 6.3 poradnika.

## **6.5. Zakres i metodyka prac terenowych i laboratoryjnych**

### **6.5.1. Prace wiertnicze**

Zgodnie z przyjętą koncepcją realizacji zadania, w ramach prac ustalających zasoby dyspozycyjnych wód podziemnych nie przewiduje się wykonywania prac wiertniczych. Jedynie w wyjątkowych przypadkach, gdy stopień rozpoznania hydrogeologicznego okaże się zdecydowanie niewystarczający i harmonogram prac na to pozwoli, możliwe będzie zaprojektowanie i wykonanie prac wiertniczych. W takim przypadku, zgodnie z wymaganiami ustawy Prawo geologiczne i górnicze, należy przygotować odrębny *Projekt robót geologicznych* zgodnie z wymogami określonymi w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonywanie wymaga uzyskania koncesji (Dz. U. z 2011 r., Nr 288, poz. 1696), który należy przedłożyć do zatwierdzenia właściwemu organowi administracji geologicznej (Minister Środowiska).

### **6.5.2. Badania geofizyczne elektrooporowe**

Nie zakłada się obowiązku wykonywania badań geofizycznych w ramach prac dokumentacyjnych. W niektórych przypadkach badania takie mogą być jednak potrzebne i uzasadnione. Projektując je w programie prac, należy podać: liczbę i lokalizację ciągów geofizycznych, ich długość w kilometrach, liczbę i rozstaw sondowań oraz głębokości prospekcji. Dla każdego projektowanego ciągu należy określić cel badań i uzasadnić proponowany sposób ich wykonania (lokalizacji ciągów). Elektrooporowe badania geofizyczne nie wymagają formalnego zatwierdzenia przez organ administracji geologicznej.

### **6.5.3. Pomiary hydrologiczne**

Zakłada się, że pomiary natężenia przepływów w rzekach będą wykonywane obowiązkowo w ramach każdej dokumentacji, co najmniej jednokrotnie w ciągu roku, w okresie niskich stanów wód. Głównym celem tych

pomiarów jest ustalenie przestrzennego zróżnicowania zasilania podziemnego poszczególnych zlewni cząstkowych, niezbędnego do właściwego przeprowadzenia identyfikacji modelu matematycznego. Projektując pomiary hydrologiczne, należy podać: lokalizację wytypowanych punktów pomiarowych (rzeka, miejscowość, miejsce pomiaru), zalecenia i wymagania dotyczące prowadzenia pomiarów.

#### **6.5.4. Kartowanie hydrogeologiczne**

Głównym celem kartowania hydrogeologicznego jest uzupełnienie i terenowa weryfikacja danych zebranych na etapie sporządzania programu prac geologicznych. Weryfikacja dotyczy przede wszystkim ustalenia aktualnego położenia zwierciadła wód podziemnych w celu sporządzenia datowanej mapy hydroizohips, a także danych dotyczących ujęć wód podziemnych i wielkości poboru wody. Kartowanie może obejmować także inne zadania, które wynikają ze specyfiki danego obszaru badań (np. inwentaryzacja źródeł, pomiar ich wydajności i inne). Zakres kartowania i stopień jego szczegółowości powinien być określony przez geologa prowadzącego prace, na podstawie oceny kompletności i wiarygodności danych zgromadzonych w bazach do tego przeznaczonych (HYDRO, POBORY i inne). Niejednokrotnie decyzje w tej sprawie podejmowane będą bezpośrednio w terenie.

Generalnie zakres kartowania hydrogeologicznego powinien obejmować:

- pomiary położenia zwierciadła wody (ustalonego lub quasi-ustalonego) w wytypowanych otworach studziennych (kopanych i wierconych);
- ustalenie wielkości i zmienności poboru wody na ujęciach wód podziemnych i powierzchniowych oraz ich zapotrzebowania perspektywicznego (źródło: gminy, użytkownicy ujęć);
- zebranie informacji o pozwoleniach wodnoprawnych na pobór wód, ustanowionych strefach ochrony pośredniej ujęć wód (źródło: starostwa powiatowe, użytkownicy ujęć);
- zebranie danych dotyczących prowadzonych odwodnień kopalnianych i ogólnie gospodarowania wodą przez zakłady górnicze (ilość pompowanej wody i miejsca jej zrzutu, sposób wykorzystania, zasięg odwodnienia, pozwolenia wodnoprawne i inne) (źródło: zakłady górnicze);
- zebranie danych na temat zrzutu ścieków do wód powierzchniowych oraz rolniczego wykorzystania ścieków i gnojowicy, nie tylko w kontekście stwarzanego przez nie zagrożenia dla jakości wód, ale także dla bilansu wód powierzchniowych i podziemnych; należy zebrać dane dotyczące: pochodzenia i rodzaju ścieków, ich ilości, miejsca zrzutu, pozwolenia wodnoprawnego (źródło: starostwa powiatowe);

- ustalenie aktualnego stanu zwodociągowania gmin i planowanych w tym zakresie inwestycji oraz zebranie informacji dotyczących problemów z zaopatrzeniem w wodę (źródło: urzędy gmin);
- zebranie danych na temat prowadzonych monitoringów lokalnych wód podziemnych: osłonowych ujęć, kontrolnych przy ogniskach zanieczyszczeń, kontrolnych wokół odwadnianych zakładów górniczych, obszarów ochrony przyrody (źródło: starostwa powiatowe, zakłady wodociągowe);
- zebranie wyników archiwalnych analiz fizyko-chemicznych wód podziemnych z ostatnich 3 lat dla czynnych ujęć, otworów monitoringowych (sieci regionalnych i lokalnych), zakładów górniczych prowadzących odwodnienia (źródło: użytkownicy ujęć i instytucje prowadzące monitoring).

W programie należy podać dodatkowo: powierzchnię obszaru kartowania, szacunkową liczbę punktów planowanych pomiarów.

#### **6.5.6. Kartowanie sozologiczne**

Podobnie jak kartowanie hydrogeologiczne, kartowanie sozologiczne powinno obejmować weryfikację danych o ogniskach zanieczyszczeń, które zostały zebrane i zestawione w części inwentaryzacyjnej programu prac (pozyskane z baz PIG–PIB, dokumentacji regionalnych i innych źródeł). Oprócz tego kartowanie powinno uwzględniać ustalenia wojewódzkich planów zagospodarowania przestrzennego w kontekście ich ewentualnego wpływu na stan chemiczny i ilościowy wód podziemnych. W szczególnych przypadkach w zakresie kartowania sozologicznego może dodatkowo wchodzić analiza gminnych dokumentów planistycznych.

Źródła pozyskiwania danych: urzędy gmin, urzędy wojewódzkie, starostwa powiatowe.

#### **6.5.6. Badania terenowe i laboratoryjne własności fizyko-chemicznych wód**

Zakłada się, że ocena aktualnego stanu chemicznego i jakości wód podziemnych obszaru badań zostanie dokonana w oparciu o charakterystykę przedstawioną na MhP, zweryfikowaną na podstawie zebranych analiz archiwalnych wody, wykonanych w ostatnich 3 latach (dla studni oraz otworów monitoringowych). W przypadku słabego rozpoznania lub konieczności rozwiązania specyficznych problemów badawczych może jednak zajść potrzeba wykonania dodatkowych analiz fizyko-chemicznych wód: terenowych lub laboratoryjnych.

Projektując w programie prac pobór próbek wody do badań laboratoryjnych, należy określić poziom wodonośny wytypowany do opróbowania oraz rejon lokalizacji otworu. Dodatkowo należy uzasadnić proponowaną lokalizację opróbowania i określić zakres analizy. Wybór konkretnych

otworów do opróbowania powinien być dokonany przez prowadzącego badania w terenie.

W przypadku badań laboratoryjnych zakres oznaczeń powinien nawiązywać do zakresu stosowanego w badaniach monitoringowych wód podziemnych (dla monitoringu krajowego i regionalnego), a w przypadku badań polowych – do zakresu przyjętego przy opracowywaniu arkuszy MhP–PPW–WJ. Z uwagi na przeglądowy charakter badań nie przewiduje się wykonywania analiz specjalnych, w tym zwłaszcza analiz zawartości specyficznych składników organicznych.

Przy poborze prób i ich transporcie do laboratorium należy przestrzegać zasad szczegółowo opisanych w publikacji *Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania* [Witczak, Kania, Kmiecik, 2013]. Badania powinny być wykonywane przez akredytowane laboratoria.

### **6.5.7. Badania izotopowe wód podziemnych**

Na potrzeby dokumentacji ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych nie przewiduje się wykonywania badań izotopowych, za wyjątkiem sytuacji, w których konieczne jest ustalenie genezy intruzji wód zasolonych (np. w celu wprowadzenia ograniczeń dla gradientów ciśnień pomiędzy poziomami użytkowymi a głębszymi wodami zasolonymi).

### **6.5.8. Ustalenie zasobów odnawialnych**

Wstępne wskazanie zasad ustalenia zasobów odnawialnych metodą inną niż badania modelowe, zgodnie z zasadami przedstawionymi w rozdziale 5 poradnika (ostateczny wybór metody zostanie dokonany na etapie sporządzania dokumentacji hydrogeologicznej). Wskazanie metody uzależnione będzie od dostępnych danych (przepływy rzeczne, stany wód podziemnych). Opis metody ustalenia zasobów odnawialnych musi zawierać określenie wieloletniego bilansowego ze względu na rzeczywistą dostępność danych o przepływach w poszczególnych przekrojach wodowskazowych danego obszaru bilansowego. Obliczone w ten sposób zasoby odnawialne będą stanowiły dane wejściowe do modelu matematycznego, na którym – po wytarowaniu – nastąpi ostateczne ustalenie ich wielkości.

### **6.5.9. Projekt badań modelowych**

Ramowe wskazania dotyczące prowadzenia prac modelowych, zgodnie z rozdz. 6.5 poradnika. W programie należy pozostawić dokumentatorowi możliwość wprowadzania korekt i zmian po przeprowadzeniu szczegółowej analizy wyników wykonanych badań oraz zgromadzonych danych

archiwalnych. Szczególnie pomiary stanów wód podziemnych, a także informacje o poborach mogą zweryfikować koncepcję badań modelowych, zwłaszcza w aspekcie granic, warunków brzegowych oraz struktury modelu.

Ogólne wskazania dotyczące prowadzenia badań modelowych powinny określać m.in.:

- wstępnie określony obszar i granice modelu, generalnie zgodne z granicą rozpoznania hydrogeologicznego (powierzchnię w km<sup>2</sup>);
- wstępną propozycję dyskretyzacji i zadania warunków brzegowych (w każdym przypadku zakłada się model dla ustalonych warunków przepływu);
- ogólną propozycję schematyzacji warunków hydrogeologicznych i konstrukcji modelu (przedstawienie schematu), z zaznaczeniem, że ostateczny sposób odwzorowania warstwowości systemu wodonośnego (patrz rozdz. 6.5.1) zostanie określony na etapie prac dokumentacyjnych.

## **6.6. Ramowy zakres i harmonogram projektowanych prac**

Należy zestawić poszczególne etapy prac badawczych, podając dla nich planowany okres realizacji. Harmonogram prac powinien być przygotowany w układzie miesięcznym i obejmować cały okres przewidziany przez Zamawiającego na realizację zadania. Należy dołączyć syntetyczne tabelaryczne zestawienie planowanych prac i okresu ich realizacji.

## **7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI**

Syntetyczne zestawienie spraw przedstawionych w programie prac: charakterystyka obszaru badań i jego specyfiki, podsumowanie stanu hydrogeologicznego rozpoznania terenu, określenie specyficznych problemów badawczych, przedstawienie zakresu projektowanych prac geologicznych.

## **8. SPIS WYKORZYSTANEJ LITERATURY I MATERIAŁÓW ARCHIWALNYCH**

### ***Wymagane załączniki graficzne do programu prac***

#### ***Załącznik 1. Mapa dokumentacyjna obszaru projektowanych prac geologicznych***

Mapa powinna być przygotowana na podkładzie mapy topograficznej w skali przeglądowej nie mniejszej niż 1 : 100 000. Z uwagi na to, że mapa składa się z warstw informacyjnych systemu GIS, nie ustala się obligatoryjnego zakresu prezentowanych na niej informacji. Musi ona zawierać jednak co najmniej następujące elementy:



- lokalizację otworów wiertniczych z podziałem na ujęty poziom wodonośny (stratygrafia) na podstawie danych banku HYDRO;
- linie przekrojów hydrogeologicznych zamieszczonych w zał. 3;
- lokalizację projektowanych prac i badań: granica obszaru badań (wstępna granica badań modelowych), punkty pomiarów przepływów, rejon wytypowane do opróbowania, ciągi badań geofizycznych (jeśli są projektowane).

Pozostałe elementy mapy (np. podział na arkusze MhP, granice i nazwy jednostek administracyjnych, obszarów bilansowych, rejonów wodnospodarczych, JCWPd, GZWP i ich obszarów ochronnych, obszary ochrony przyrody) mogą być dowolnie komponowane w taki sposób, aby zapewnić należyłą czytelność mapy. W niektórych przypadkach może być zasadne przygotowanie mapy składającej się z dwóch plansz, z naciskiem na charakterystykę głównego poziomu wodonośnego i pierwszego od powierzchni poziomu wodonośnego.

### **Zał. 2. Mapa hydrogeologiczna**

Również mapa hydrogeologiczna może być komponowana z warstw GIS w sposób dowolny, w skali nie mniejszej niż 1 : 200 000, jednak muszą się na niej znaleźć co najmniej następujące warstwy informacyjne:

- mapa hydroizohips przeniesionych z arkuszy MhP,
- lokalizacja ujęć wód podziemnych na podstawie bazy POBORY,
- stratygrafia GUPW.

Zamieszczenie innych elementów, zwłaszcza charakteryzujących poziom główny i pierwszy poziom wodonośny, może wymagać przygotowania mapy składającej się z dwóch plansz.

### **Zał. 3. Przekroje hydrogeologiczne**

Na etapie projektowania prac wystarczy zamieścić przekroje hydrogeologiczne uzyskane z materiałów archiwalnych (arkuszy MhP i SmgP, dokumentacji archiwalnych), podając źródło (tytuł opracowania i autora).



## 8.2. Bazy danych do opracowania programu prac i dokumentacji hydrogeologicznej

Aby przygotować program prac i dokumentacji hydrogeologicznej, niezbędne jest dysponowanie referencyjnymi bazami danych (w większości warstwy informacyjne systemu GIS), które umożliwią standaryzację zapisu wyników wykonanych prac. Posługiwanie się tymi samymi referencyjnymi warstwami GIS, które jednocześnie wykorzystywane są w innych opracowaniach wykonywanych w PIG–PIB, daje gwarancję prostego przenoszenia informacji pomiędzy tymi opracowaniami.

Do baz danych niezbędnych do wykonania programu prac i dokumentacji hydrogeologicznej należą:

### Podstawowe warstwy referencyjne GIS

- skalibrowane podkłady rastrowe w skali 1 : 50 000 lub podkłady topograficzne w wersji wektorowej (np. V-mapa L. 2);
- podział administracyjny Polski;
- podział hydrograficzny Polski w skali 1 : 50 000;
- podział na jednostki bilansowe wód podziemnych (obszary bilansowe, rejony wodnogospodarcze);
- granice regionów wodnych;
- zasięg terytorialny regionalnych zarządów gospodarki wodnej (RZGW);
- podział na JCWPd;
- granice głównych zbiorników wód podziemnych;
- Mapa obszarów chronionych i NATURA 2000.

### Geologiczne i hydrogeologiczne bazy referencyjne GIS

- Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000, wersja ciągła (GUPW i PPW);
- Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1 : 50 000;
- Mapa geologiczno-gospodarcza Polski i Mapa geośrodowiskowa Polski w skali 1 : 50 000;
- użytkowanie wód podziemnych;

- dane o otworach hydrogeologicznych wraz z profilami wierceń.

#### Numeryczny model terenu (NMT)

- dane wysokościowe będące w państwowym zasobie geodezyjnym i kartograficznym, dostępne w formacie GRD lub w postaci danych pomiarowych (format ASCII), które wymagają przetworzenia (interpolacji pomiędzy punktami).

#### Pozostałe dane

- dane z monitoringu wód podziemnych;
- dane hydrologiczne: wieloletnie ciągi przepływów i przepływy charakterystyczne z wielolecia dla przekrojów wodowskazowych położonych w granicach obszaru bilansowego.

### **8.3. Sporządzanie dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych**

Inaczej niż w przypadku projektowania prac geologicznych, ogólne wymagania dotyczące sporządzania dokumentacji hydrogeologicznych ustalających zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zostały szczegółowo uregulowane w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714). W niniejszym rozdziale przedstawia się szczegółowe wytyczne dotyczące sposobu przygotowania poszczególnych rozdziałów tekstu dokumentacji i załączników do niej. Uwzględniają one wszystkie zalecenia wykonawcze i elementy składowe dokumentacji wyszczególnione w ww. rozporządzeniu oraz dodatkowe zadania wynikające z rozszerzonego zakresu dokumentacji, opisanego we wstępie poradnika. Mimo że wytycznych tych nie należy traktować jako ścisłej instrukcji postępowania i pewne modyfikacje są możliwe, przyjęcie i zastosowanie proponowanego układu dokumentacji jest wskazane z uwagi na potrzebę standaryzacji tych opracowań, które będą przygotowywane przez różnych wykonawców. Zapewni to lepsze porównywanie wyników prac oraz łatwiejsze ich scalanie i prezentację w skali kraju.

## □ **Struktura i zawartość dokumentacji hydrogeologicznej**

### **STRONA TYTUŁOWA I KARTA INFORMACYJNA DOKUMENTACJI**

Należy je przygotować zgodnie z wymaganiami ww. rozporządzenia przedstawionymi w § 2.4 (strona tytułowa) i § 2.5 (karta informacyjna dokumentacji).

#### **1. WSTĘP**

- Podstawa formalna pracy: umowa wykonawcza, przyjęty program prac geologicznych, akty prawne odnoszące się do spraw będących przedmiotem prac dokumentacyjnych.
- Zamawiający, Finansujący i Wykonawca zadania oraz zespół autorski.
- Cel i zakres prac dokumentacyjnych ustalonych w programie prac.
- Ogólny opis źródeł oraz sposobu pozyskania danych i informacji.
- Ogólny opis sposobu realizacji zadania: podwykonawcy, krótkie omówienie wykorzystanych narzędzi informatycznych oraz formy przekazania Zamawiającemu efektu rzeczowego.

#### **2. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ**

##### **2.1. Położenie geograficzne i administracyjne**

Zakres informacji i sposób ich przedstawienia – podobnie jak w programie prac.

##### **2.2. Regionalizacja hydrogeologiczna i wodnogospodarcza**

Zakres informacji i sposób ich przedstawienia – podobnie jak w programie prac. Należy podkreślić, że granice rejonów wodnogospodarczych oraz JCWPd i GZWP są granicami referencyjnymi. W przypadku, gdy w toku prac dokumentacyjnych skorygowane zostały granice rejonów wodnogospodarczych, należy omówić dokonane zmiany.

### **2.3. Obszary chronione przyrody i ekosystemy zależne od wód podziemnych**

Zakres informacji i sposób ich przedstawienia – podobnie jak w programie prac. Ekosystemy zależne od wód podziemnych należy w miarę możliwości szczegółowo scharakteryzować, ze wskazaniem głównie wymogów zachowania określonych stanów wód podziemnych (jeśli dane na ten temat są dostępne).

### **2.4. Regionalizacja fizycznogeograficzna i ukształtowanie powierzchni terenu**

Zakres informacji i sposób ich przedstawienia – podobnie jak w programie prac. Więcej uwagi należy poświęcić charakterystyce morfologii terenu, wykorzystując do ilustracji graficznej numeryczny model powierzchni terenu.

### **2.5. Warunki klimatyczne**

Zakres informacji i sposób ich przedstawienia – podobnie jak w programie prac.

### **2.6. Wody powierzchniowe**

#### **2.6.1. Sieć hydrograficzna i jakość wód**

Zakres informacji i sposób ich przedstawienia – podobnie jak w programie prac. Uzpełnienia i bardziej szczegółowego opisu może wymagać charakterystyka zabudowy hydrotechnicznej oraz stopnia przeobrażenia stosunków wodnych, w oparciu o nowe informacje zebrane w terenie. Należy zwrócić szczególną uwagę na te elementy, które w sposób istotny zmieniają stosunki wodne i mogą wpływać na wielkość zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych oraz warunki ich ochrony. Kwestię oceny istotności tych elementów pozostawia się wykonawcy dokumentacji.

#### **2.6.2. Warunki hydrologiczne**

Przedstawioną w programie charakterystykę warunków hydrologicznych należy zweryfikować i uszczegółwić w oparciu o ewentualne nowe dane uzyskane z IMGW oraz o wyniki własnych pomiarów przepływów. W rozdziale tym należy opisać następujące zagadnienia:

- charakterystykę stanów wód oraz przepływów charakterystycznych w punktach wodowskazowych IMGW;
- wyniki pomiarów przepływów wykonanych w ramach dokumentacji (zestawienie tabelaryczne wyników pomiarów);

- charakterystykę przepływów nienaruszalnych jako jednego z kryteriów ograniczających przy ustalaniu wielkości zasobów dyspozycyjnych.

Ustalenie zasilania podziemnego rzek na podstawie danych hydrologicznych należy przedstawić w rozdziale 7 dokumentacji.

## **2.7. Użytkowanie i zagospodarowanie terenu**

Zakres informacji i sposób ich przedstawienia – podobnie jak w programie prac. Należy jedynie dodać nowe, ale istotne informacje zebrane na etapie prac dokumentacyjnych.

## **2.8. Charakterystyka wodnogospodarcza**

### **2.8.1. Użytkowanie wód powierzchniowych**

Zakres informacji i sposób ich przedstawienia – podobnie jak w programie prac. W ramach prac dokumentacyjnych należy jedynie zweryfikować posiadane informacje oraz uzupełnić brakujące dane, których nie udało się pozyskać, przygotowując program prac. Jeśli dla dokumentowanego obszaru był wykonany w przeszłości bilans wodnogospodarczy i warunki korzystania z wód, należy przytoczyć ustalenia zawarte w tych opracowaniach i w miarę możliwości wykorzystać zawarte w nich informacje.

### **2.8.2. Użytkowanie wód podziemnych**

Charakterystykę poboru wód podziemnych przedstawioną w programie prac należy uzupełnić i zweryfikować w oparciu o nowe dane zebrane w trakcie kartowania hydrogeologicznego. Zestawienie największych ujęć należy przedstawić w tabeli, natomiast w tekście należy opisać następujące zagadnienia:

- charakterystykę ujęć wód: łączną liczbę czynnych ujęć oraz ich rodzaj (zbiorowego zaopatrzenia ludności, przemysłowe, rolnicze, leśne i inne), ujęty poziom wodonośny, wielkość poboru wody: rzeczywistą i według pozwolenia wodnoprawnego;
- ocenę szacunkową wielkości i przestrzennego rozkładu nieewidencjonowanego poboru wód podziemnych;
- charakterystykę odwodnień górniczych (lokalizacja, nazwa i typ odwadnianego obiektu, wielkość poboru i zrzutu wody, sposób jej wykorzystania);
- charakterystykę wielkości poboru wód z poszczególnych pięter wodonośnych w granicach poszczególnych rejonów wodnogospodarczych.

Zestawiając i opracowując dane o poborze wód podziemnych, należy stosować się do uwag i zaleceń przedstawionych w rozdz. 6.3.5 poradnika.

### **2.8.3. Gospodarka ściekowa**

Zakres informacji i sposób ich przedstawienia – podobnie jak w programie prac. Dane uzyskane na etapie przygotowywania programu należy uzupełnić i zweryfikować o informacje zebrane w terenie. Przygotowując ten rozdział, należy wykorzystać uwagi przedstawione w rozdz. 6.3.6 poradnika.

## **3. DOTYCHCZASOWY STAN ROZPOZNANIA HYDROGEOLOGICZNEGO**

Konstrukcję rozdziału oraz zakres i sposób przedstawienia informacji, w tym także prezentacji graficznej, należy przyjąć podobnie, jak w programie prac. Trzeba jedynie zweryfikować opis i uzupełnić o nowe informacje zebrane w terenie oraz o wnioski wynikające ze szczegółowej analizy materiałów archiwalnych wykonanej na etapie prac dokumentacyjnych.

### **3.1. Dane wiertnicze i badania geofizyczne**

Charakterystyka danych wiertniczych – podobnie jak w programie prac, z uwzględnieniem nowych informacji pozyskanych w trakcie kartowania terenowego. Archiwalne badania geofizyczne należy ocenić pod kątem ich przydatności do opracowania dokumentacji (jeśli posiadane dane na to pozwolą). Należy ustalić, czy i w jakim zakresie zostały one uwzględnione w opracowaniach i materiałach archiwalnych wykorzystanych w dokumentacji.

### **3.2. Archiwalne opracowania hydrogeologiczne**

W rozdziale tym należy zamieścić charakterystykę najważniejszych, wykorzystanych dokumentacji hydrogeologicznych z oceną ich przydatności dla realizowanego zadania. Ocena powinna dotyczyć głównie sposobu ustalenia zasobów wód podziemnych, w tym zwłaszcza: zastosowanej metody, przyjętego schematu hydrogeologicznego, wielkości zasobów.

### **3.3. Monitoring wód podziemnych**

Zestawienie tabelaryczne punktów monitoringu krajowego i regionalnego wód podziemnych, przygotowane na etapie sporządzania programu prac, należy uzupełnić o punkty monitoringów lokalnych, zidentyfikowanych w czasie kartowania terenowego. Dla wybranych reprezentatywnych otworów monitoringowych należy zamieścić wykresy wahań zwierciadła wody oraz zmian podstawowych parametrów fizyko-chemicznych.

## **4. ZAKRES I METODYKA WYKONANYCH PRAC**

- Opis przeprowadzonych prac terenowych: zakresu, czasu wykonania oraz napotkanych trudności.
- Przedstawienie wyników prac geofizycznych (jeśli były wykonane) w formie odrębnych dokumentacji powykonawczych i dołączenie ich do dokumentacji podstawowej jako załączniki.
- Zestawienie wyników analiz laboratoryjnych przez certyfikowane laboratorium w formie sprawozdania oraz dołączenie go do dokumentacji jako odrębnego załącznika. W rozdziale trzeba przedstawić zestawienie punktów opróbowania, a wyniki analiz umieścić w zestawieniu zbiorczym w zał. 10.
- Krótkie omówienie sposobu wykonania pomiarów przepływów oraz przedstawienie ich wyników wraz z komentarzem w rozdz. 5.3.3. Należy przedstawić metodykę pomiarów, uzasadnienie wyboru przekrojów, z ogólnym opisem sytuacji hydrologicznej w okresie pomiarów, podać uwagi dotyczące czynników hydrotechnicznych mogących wpływać na pomiar (zrzuty, piętrzenia, pobory). Punkty pomiarowe powinny mieć lokalizację GPS.
- Podanie w opisie kartowania terenowego m.in.: zakresu informacji, jakie udało się pozyskać w różnych instytucjach, wraz z oceną dostępności i kompletności danych. Wyniki inwentaryzacji ujęć wód podziemnych i wykonanych w nich pomiarów poziomu zwierciadła wody, jak również wyniki inwentaryzacji ognisk zanieczyszczeń należy zestawić w tabeli i dołączyć do dokumentacji w wersji cyfrowej (zał. 8).
- Opis weryfikacji danych Banku HYDRO i formy przekazania jej wyników Zamawiającemu (baza GIS zawierająca prawidłowe lokalizacje otworów i rzędne terenu w miejscu odwiercenia otworów).
- Opis wykorzystanych narzędzi informatycznych oraz zastosowanych procedur i metod analiz przestrzennych i statystycznych.
- Podsumowanie w postaci oceny zgodności zakresu i sposobu wykonania prac terenowych i kameralnych z programem prac geologicznych. Uzasadnienie ewentualnych odstępstw. Syntetyczna ocena stopnia osiągnięcia celów badawczych założonych w programie prac.

## **5. BUDOWA GEOLOGICZNA**

### **5.1. Charakterystyka geologicznostrukturalna**

Syntetyczne przedstawienie genezy, budowy geologicznej i tektoniki badanego obszaru oraz jego otoczenia. Krótka charakterystyka jednostek geologicznych i głównych struktur. Zaleca się przedstawienie poglądowego schematu warunków geostrukturalnych obszaru badań.

## **5.2. Charakterystyka pięter geologicznych**

Należy opisać poszczególne piętra: paleozoik, mezozoik, paleogen-neogen i czwartorzęd. Zakres charakterystyki i jej szczegółowość powinny być dostosowane do charakteru analizowanego systemu wodonośnego i celów dokumentacji. Zaleca się przedstawienie map poglądowych tak, jak w programie prac.

Rozdział ten można podzielić na podrozdziały odpowiadające poszczególnym charakteryzowanym piętrům geologicznym.

## **6. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE**

### **6.1. Warunki hydrostrukturalne i hydrodynamiczne**

Ogólne przedstawienie uwarunkowań geologicznostrukturalnych występowania wód podziemnych i charakterystyki systemu krążenia wód (warstwowość, zasilanie i drenaż, kontakty z otoczeniem). W opisie systemu wodonośnego należy odwoływać się do jego schematu konceptualnego szerzej opisanego w następnym rozdziale.

### **6.2. Wydzielone poziomy wodonośne**

- Charakterystyka poszczególnych poziomów wodonośnych: ich parametrów (miąższości, współczynnika filtracji, wodoprzewodności), rozprzestrzenienia, stopnia izolacji, warunków zasilania i drenażu, użytkowania, łączności hydraulicznej, wymiany wód z otoczeniem i innych. Szczególną uwagę należy zwrócić na pierwszy poziom wodonośny, który ma wpływ na funkcjonowanie ekosystemów zależnych od wód podziemnych. Jego charakterystykę należy uszczegółowić w stosunku do tej przedstawionej w programie prac.
- Opis przyjętego schematu hydrogeologicznego (modelu konceptualnego) obejmującego wszystkie opisane poziomy wodonośne i poziomy rozdzielające.

Rozdział ten wygodnie jest podzielić na podrozdziały odpowiadające poszczególnym charakteryzowanym poziomom wodonośnym bądź zagadnieniom. Ilustrację w tekście mogą stanowić poglądowe mapy zasięgów wydzielonych poziomów wodonośnych, jak również graficzny schemat modelu konceptualnego.

### **6.3. Własności fizyko-chemiczne i jakość wód podziemnych**

- Charakterystyka stanu chemicznego i jakości wód podziemnych (wg metodyki dla JCWPd) oparta głównie na wynikach archiwalnych analiz



i opracowań oraz danych z monitoringu wód podziemnych obejmujących ostatnich kilka lat oraz analiz wykonanych na potrzeby dokumentacji.

- Charakterystyka trendów zmian chemizmu wód na podstawie dostępnych danych z monitoringu wód podziemnych.
- W miarę dostępności danych należy dążyć do przedstawienia chemizmu i klas jakości wód oddzielnie dla pierwszego poziomu wodonośnego (PPW) i pozostałych wydzielonych poziomów wgłębnych.
- Identyfikacja i opis obszarów występowania wód zmienionych antropogenicznie oraz obszarów ascensyjnego zasolenia wód.

## **7. OCENA WIELKOŚCI ZASOBÓW ODNAWIALNYCH WÓD PODZIEMNYCH**

W niniejszym rozdziale należy przedstawić obliczenia zasobów odnawialnych przy użyciu metod, opisanych w rozdziale 5 poradnika, bazujących na bilansie hydrogeologicznym zlewni kontrolowanej przekrojem wodowskazowym. Najistotniejszym składnikiem bilansu jest zasilanie podziemne rzek. Ponieważ metod obliczania tego parametru jest kilka, wybór najwłaściwszej z nich pozostawia się do decyzji dokumentatora. Obliczona średnia odnawialność wód podziemnych (dla przyjętego zgodnie z programem prac wielolecia) stanowi daną wejściową do modelu matematycznego, na którym następuje ostateczne ustalenie zasobów odnawialnych, z uwzględnieniem ich przestrzennej zmienności. Dodatkowo w rozdziale tym należy ustalić odnawialność dla lat posusznych oraz mokrych, które wykorzystane będą w symulacjach modelowych wykonywanych na potrzeby jednolitego bilansu wodnogospodarczego.

Wyniki obliczeń należy przedstawić w następujących rozdziałach:

### **7.1. Dane wejściowe do oceny zasobów**

Należy kolejno omówić sposób ustalenia (obliczenia) poszczególnych składników równania bilansowego:

#### ***Zasilanie podziemne rzek***

Przedstawienie zastosowanej metody obliczeń odpływu podziemnego, danych wejściowych i wyników otrzymanych dla wszystkich zlewni bilansowych obszaru badań.

#### ***Drenaż ewapotranspiracyjny***

Analiza rangi drenażu ewapotranspiracyjnego wód podziemnych w obrębie dolin rzecznych na tle obliczonego zasilania podziemnego rzek. Sposób postępowania przedstawiony jest w rozdziale 5.4 poradnika. Omówienie metodyki obliczeń i wyników dla zlewni bilansowych obszaru badań.

### ***Użytkowanie wód podziemnych***

Pobory wód podziemnych scharakteryzowane w rozdziale 2.8.2 dokumentacji należy zestawić tabelarycznie z podziałem na analizowane zlewnie bilansowe.

### ***Zrzuty ścieków***

Na podstawie danych omówionych w rozdziale 2.8.3 dokumentacji należy zestawić wielkości zrzutu ścieków w poszczególnych zlewniach bilansowych i ocenić ich rolę w kształtowaniu tej części odpływu w rzekach, która jest objęta badaniami odpływu podziemnego.

## **7.2. Zasoby odnawialne średnie z wielolecia**

Analiza wieloletniej zmienności odpływu podziemnego na podstawie danych przekazanych do wykonania dokumentacji. Dla poszczególnych zlewni bilansowych należy zestawić tabelarycznie wszystkie składniki równania bilansowego i – na tej podstawie – dokonać obliczenia zasobów odnawialnych. Przykład takiej tabeli przedstawiono w rozdziale 5.9 poradnika.

## **7.3. Zasoby odnawialne dla okresu lat posusznych**

Przedstawienie wielkości zasobów odnawialnych dla okresu obniżonego zasilania infiltracyjnego. Metodę obliczeń przedstawiono w rozdziale 6.5.7 poradnika.

## **8. BADANIA MODELOWE USTALAJĄCE ZASOBY DYSPOZYCYJNE WÓD PODZIEMNYCH**

### **8.1. Granica obszaru badań modelowych**

- Przedstawienie i uzasadnienie granic modelu na tle naturalnych granic hydrogeologicznych (hydrodynamicznych lub strukturalnych). Podanie powierzchni modelu w zestawieniu z powierzchnią obszaru bilansowego.

### **8.2. Zasady schematyzacji**

- Opis struktury modelu, tj. jego warstwowości, ze szczególnym uwzględnieniem sposobu odwzorowania pierwszego poziomu wodonośnego. Przedstawienie założeń algorytmu (programu) obliczeniowego. Dokonując schematyzacji, należy stosować się do uwag i zaleceń przedstawionych w rozdz. 6.5.1.

- Prezentacja w tekście: schemat struktury modelu i agregacji warstw z podaniem ich numeracji (tabela i/lub przekrój).

### **8.3. Dyskretyzacja obszaru badań, warunki brzegowe**

- Podanie rodzaju siatki dyskretyzacyjnej (kwadratowa, prostokątna, ze stałym lub zmiennym krokiem). Omówienie warunków brzegowych zadanych dla poszczególnych warstw modelu (rodzaj warunku, wartości przyjętych wydatków i ciśnień).

### **8.4. Parametry modelu**

- Omówienie zadanych parametrów wejściowych dla poszczególnych warstw modelu: współczynników filtracji lub przewodności wodnej (zakres zmienności, obszary występowania), zasilania pionowego, wydajności ujęć.

### **8.5. Identyfikacja modelu**

- Charakterystyka przyjętych kryteriów identyfikacji modelu.
- Opis procesu identyfikacji oraz osiągniętego stopnia jego zgodności z modelem hydrogeologicznym (obliczonego i pomierzonego zwierciadła wody oraz parametrów bilansowych).
- Opis procesu weryfikacji modelu i ocena jego wiarygodności.
- Przedstawienie bilansu modelu (cały model, obszar bilansowy, poszczególne rejony wodnogospodarcze).
- Prezentacja w tekście: wizualizacja błędów tarowania w jednej z następujących postaci:
  - wykres błędów;
  - tabela z zestawieniem wyników pomierzonego zwierciadła wody i zwierciadła wody otrzymanego na modelu;
  - mapa pogłówna przebiegu hydroizohips wg pomiarów terenowych i wg obliczeń modelowych (dotyczy to z reguły głównego użytkowego poziomu wodonośnego).

### **8.6. Ustalenie zasobów odnawialnych**

- Ustalenie zasobów odnawialnych jako sumy zasilania infiltracyjnego modelu.
- Tabelaryczne przedstawienie zasobów z podziałem na poszczególne rejony wodnogospodarcze.
- Porównanie wielkości zasobów odnawialnych ustalonych na modelu z zasobami odnawialnymi obliczonymi innymi metodami, opisanymi w rozdz. 5 dokumentacji.

## **8.7. Prognozy modelowe**

### **8.7.1. Wariant I – dla warunków bez eksploatacji**

Symulacja ta wykonywana jest w celu odtworzenia tzw. „naturalnych warunków hydrogeologicznych” (tj. nie zaburzonych eksploatacją). Jej wyniki mogą być przydatne do weryfikacji modelu i są niezbędne do sporządzenia jednolitego bilansu wodnogospodarczego. Należy pamiętać, że ta wersja modelu ma ograniczoną wiarygodność, ponieważ nie uwzględnia zmian wielkości infiltracji wywołanych pracą ujęć. Z tego względu może dojść do sytuacji, gdy obliczone na modelu zwierciadło wody będzie występowało ponad powierzchnią terenu.

W tekście należy przedstawić bilans krążenia wód, natomiast mapy hydroizohips – z powodu ograniczonej wiarygodności zamieszcza się w skali przeglądowej.

### **8.7.2. Wariant II – pobór w wysokości udzielonych pozwoleń wodnoprawnych**

Symulacja ta wykonywana jest po to, aby sprawdzić, czy suma wydanych pozwoleń wodnoprawnych nie przekracza możliwości eksploatacyjnych analizowanego systemu wodonośnego oraz aby ocenić rezerwy zasobowe w obszarze bilansowym oraz w wydzielonych rejonach wodnogospodarczych.

W tekście należy przedstawić bilansu modelu (cały model, tylko obszar bilansowy, poszczególne regiony wodnogospodarcze), a także należy zestawić i skomentować zmiany poszczególnych składników bilansu w stosunku do stanu aktualnego. W szczególności należy skomentować zmiany przepływów przez granice zewnętrzne analizowanego obszaru bilansowego oraz wielkość i kierunek zmian wymiany wód podziemnych z wodami powierzchniowymi.

Trzeba ocenić wpływ prognozowanej eksploatacji na stan hydrodynamiczny wód podziemnych w obszarach o chronionych stosunkach wodnych oraz zachowanie przepływów nienaruszalnych.

Mapy poglądowe hydroizohips i depresji modelowanych poziomów wodonośnych należy przedstawić w załączniku – dokumentacji badań modelowych (zał. 7).

### **8.7.3. Wariant III – pobór w wysokości prognozowanej dla określonej perspektywy czasowej**

Symulacja ta będzie wykonywana tylko w przypadku posiadania informacji na temat poborów perspektywicznych (na koniec kolejnego okresu planistycznego w gospodarce wodnej). Sposób przeprowadzenia i prezentacji – jak dla wariantu II.

#### **8.7.4. Wariant IV – pobór w wysokości ustalonych zasobów dyspozycyjnych**

Należy przedstawić:

- sposób zadania poboru dla istniejących ujęć oraz poboru dodatkowego (w rejonach wodnogospodarczych oraz poziomach wodonośnych) zgodnie z rozdziałem 6.5.4;
- kryteria dopuszczalnego stopnia szcerpania zasobów zgodnie z rozdziałem 6.5.5;
- bilans modelu wraz z oceną zmian poszczególnych składników bilansu w stosunku do stanu aktualnego.

Podsumowaniem rozdziału jest ocena stopnia spełnienia przyjętych kryteriów szcerpania zasobów (waga poszczególnych kryteriów) oraz ocena zmian struktury bilansu, ze szczególnym uwzględnieniem zmian dopływów i odpływów brzegowych. Mapy hydroizohips oraz depresji przedstawia się na *Mapie zasobów wód podziemnych* (zał. 4) i w załączniku dokumentującym badania modelowe (zał. 7).

Ponieważ procedura ustalania zasobów dyspozycyjnych uwzględnia zadawanie dodatkowych poborów w rejonach o korzystnych warunkach hydrogeologicznych, to rejony te stanowią jednocześnie obszary perspektywiczne do zagospodarowania wód podziemnych. Należy je krótko scharakteryzować, podając m.in.: lokalizację, szacunkową wielkość przypisanych im zasobów dyspozycyjnych (według wariantu przyjętego na modelu), stratygrafię i głębokość występowania użytkowych poziomów wodonośnych. Lokalizację obszarów należy przedstawić na *Mapie zasobów wód podziemnych* (zał. 4). Poglądowo można je również przedstawić w tekście w formie *Mapy obszarów perspektywicznych wód podziemnych*.

### **8.8. Bilans wodnogospodarczy wód podziemnych**

Bilans wodnogospodarczy należy zestawić i omówić dla całego obszaru bilansowego oraz poszczególnych regionów wodnogospodarczych. Zestawienie obejmuje porównanie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych z poborami według wariantów symulowanych na modelu. Efektem porównania jest stan rezerw zasobowych. W tekście należy zamieścić zestawienie tabelaryczne i wykres porównawczy: poboru aktualnego, poboru dopuszczalnego pozwoleńmi wodnoprawnymi, poboru prognozowanego oraz wielkości rezerw zasobów.

### **8.9. Zasoby odnawialne i dyspozycyjne (dostępne) w obrębie jednolitych części wód podziemnych (JCWPd)**

Oszacowanie wielkości zasobów w granicach JCWPd poprzez zsumowanie ich wielkości w obrębie fragmentów znajdujących się w granicach rejonów wodnogospodarczych z uwzględnieniem występującego w nich przestrzennego zróżnicowania zasilania. Prezentowana jest mapa JCWPd na tle rejonów wodnogospodarczych.

## **8.10. Zmienność odpływu podziemnego do rzek w warunkach zasilania średniego i niskiego**

Aby ustalić tę zmienność, wymagane jest wykonanie dodatkowej symulacji, uwzględniającej obniżone zasilanie modelu charakterystyczne dla lat posusznych. Wyniki mają charakter jedynie poglądowy, głównie z tego względu, że model matematyczny jest stacjonarny, a lata posuszne trwają przez ograniczony czas. Efekt obniżonego zasilania równoważony jest inercją systemu wodonośnego, czego nie uwzględnia model matematyczny. Tym niemniej, na potrzeby późniejszego wykorzystania w jednolitym bilansie wodnogospodarczym, taką symulację wykonuje się zgodnie z zasadami omówionymi w rozdziale 6.5.7. Efektem przedstawianym w dokumentacji są tabele bilansowe z krótkim komentarzem dotyczącym przede wszystkim przypadków nadmiernego szczypania zasobów wód powierzchniowych skutkującego niezachowaniem przepływu nienaruszalnego.

## **9. ANTROPOPRESJA I OCENA ZAGROŻENIA STANU WÓD PODZIEMNYCH**

### **9.1. Ogniska zanieczyszczeń wód podziemnych**

Ogólna charakterystyka punktowych, liniowych i obszarowych ognisk rzeczywistego i potencjalnego zanieczyszczenia wód podziemnych. Ogniska należy zestawić w formie tabelarycznej. Lokalizację szczegółową należy przedstawić na *Mapie dokumentacyjnej w skali 1 : 50 000* (zał. 1) oraz na *Mapie zagrożeń i ochrony wód podziemnych* (zał. 6).

### **9.2. Wpływ antropopresji na stan chemiczny wód podziemnych**

Szczegółowa charakterystyka obszarów o stwierdzonym wpływie antropopresji na stan chemiczny wód podziemnych: identyfikacja i charakterystyka czynników antropopresji (obiektów, rodzaju działalności, typu użytkowania terenu), ocena stopnia i charakteru zmian antropogenicznych, ocena możliwości działań naprawczych lub ograniczenia niekorzystnych trendów zmian.

### **9.3. Wpływ antropopresji na stan ilościowy wód podziemnych**

Szczegółowa charakterystyka obszarów o istotnych, stwierdzonych zmianach poziomu zwierciadła wód podziemnych:

- obszarów zdepresjonowania zwierciadła wód wywołanego eksploatacją wód i/lub odwodnieniami górnictwami,

- obszarów o zmienionym stanie zwierciadła wód gruntowych wywołanego spiętrzeniem wód powierzchniowych,
- obszarów zagrożonych podtopieniami na skutek zaprzestania eksploatacji wód podziemnych lub odwadniania kopalń,
- obszarów zmeliorowanych.

Dla obszarów tych należy określić: wielkość zmian, ich charakter (stałe, sezonowe), znaczenie dla zaopatrzenia ludności w wodę, zasadność i możliwość wykonania działań naprawczych lub ograniczenia niekorzystnych trendów zmian.

#### **9.4. Zagrożenia geogeniczne**

Wskazanie obszarów i poziomów wodonośnych o stwierdzonym lub potencjalnym geogenicznym zagrożeniu stanu chemicznego wód wskutek dopływu wód zasolonych (morskich lub wgłębnych). Dla obszarów tych należy określić: wielkość, charakter i trwałość zmian, przyczynę, znaczenie dla zaopatrzenia ludności w wodę, zasadność i możliwość wykonania działań naprawczych lub ograniczenia niekorzystnych trendów zmian.

### **10. DZIAŁANIA DLA OCHRONY ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH**

#### **10.1. Strefy ochronne ujęć wód podziemnych**

Zestawienie i krótka charakterystyka ujęć wód posiadających formalnie ustanowione i obowiązujące strefy ochronne (tereny ochrony pośredniej). W zestawieniu należy podać podstawowe dane o ujęciu i jego strefie ochronnej: użytkownika i adres ujęcia, powierzchnię strefy ochronnej oraz datę i numer decyzji ustanawiającej. Obszar stref należy przedstawić na *Mapie dokumentacyjnej* (zał. 1), a lokalizację ujęć na mapie w tekście: *Mapa poglądowa stref i obszarów ochronnych ujęć wód i zbiorników śródlądowych*.

#### **10.2. Obszary ochronne Głównych Zbiorników Wód Podziemnych**

Zestawienie i krótka charakterystyka obszarów ochronnych GZWP z wyszczególnieniem tych, które zostały formalnie ustanowione. W zestawieniu należy podać podstawowe dane o obszarze ochronnym (powierzchnia w km<sup>2</sup>, data i numer decyzji ustanawiającej). Granice obszarów należy przedstawić na *Mapie dokumentacyjnej* (zał. 1) i w tekście na *Mapie po-*

*glądowej stref i obszarów ochronnych ujęć wód i zbiorników śródlądowych.*

### **10.3. Strefy i obszary ochronne ujęć i zbiorników wód powierzchniowych**

Objęcie ochroną prawną zbiorników wód powierzchniowych, głównie tych stanowiących źródło zaopatrzenia ludności w wodę, może w istotny sposób poprawiać warunki ochrony wód podziemnych, zwłaszcza w obszarach dolin rzecznych. Stąd też w dokumentacji należy zestawić i krótko scharakteryzować ustanowione dla nich strefy i obszary ochronne. Powierzchnie obszarów należy przedstawić na *Mapie dokumentacyjnej* (zał. 1) i poglądowo w tekście na *Mapie poglądowej stref i obszarów ochronnych ujęć wód i zbiorników śródlądowych*.

### **10.4. Zasady i ograniczenia w użytkowaniu wód podziemnych zawarte w warunkach korzystania z wód regionu wodnego lub zlewni**

Jeżeli dla danego obszaru bilansowego zostały kiedykolwiek opracowane warunki korzystania z wód zlewni, należy je przejrzeć oraz krótko skomentować przedstawione w nich zapisy dotyczące zasad i ograniczeń w użytkowaniu wód podziemnych. Należy również ustalić stan formalny tych zapisów oraz sposób i stan wdrażania ich w życie.

### **10.5. Zalecenia działań dla ochrony wód podziemnych**

Na podstawie oceny dotychczasowych działań ochronnych, zidentyfikowanych zagrożeń dla stanu chemicznego i ilościowego wód podziemnych oraz wykonanych analiz modelowych, należy sformułować propozycje i zalecenia racjonalnego gospodarowania wodami w poszczególnych rejonach wodnogospodarczych oraz propozycje monitoringu.

## **11. PODSUMOWANIE I WNIOSKI**

Syntetyczne zestawienie najważniejszych zagadnień przedstawionych w dokumentacji: charakterystyka obszaru badań, zakres wykonanych prac, sposób ustalenia wielkości zasobów dyspozycyjnych, ocena stanu chemicznego i zagrożeń antropogenicznych, stopnia wykorzystania zasobów i ich rezerw, koniecznych działań ochronnych.



## **12. SPIS WYKORZYSTANEJ LITERATURY I MATERIAŁÓW ARCHIWALNYCH**

***Do dokumentacji należy dołączyć następujące załączniki:***

### ***Załącznik 1. Mapa dokumentacyjna***

Mapa powinna być przygotowana na podkładzie mapy topograficznej w skali 1 : 50 000. Przedstawione na niej informacje powinny zawierać wszystkie elementy wymienione § 5.2.2 rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz. U. z 2011 r., Nr 291, poz. 1714).

### ***Załącznik 2. Przekroje hydrogeologiczne***

Załącznik ten zawiera własne, autorskie przekroje hydrogeologiczne, zestawione w skali poziomej zgodnej z mapą dokumentacyjną.

### ***Załącznik 3. Mapa hydrogeologiczna***

Mapę należy opracować w skali nie mniejszej niż 1 : 100 000, na wzór tej przygotowanej dla programu prac i według tych samych wskazań (oprócz skali). Powinna zawierać przede wszystkim charakterystykę głównego użytkowego poziomu wodonośnego (GUPW) i w miarę możliwości także innych, istotnych poziomów. Hydroizohipsy przedstawione na mapie powinny być opracowane na podstawie datowanych pomiarów zwierciadła wody wykonanych w ramach kartowania hydrogeologicznego.

Aby zachować większą czytelność treści mapy podstawowej i pełną prezentację warunków hydrogeologicznych obszaru bilansowego, wybrane warstwy informacyjne można przedstawić na dodatkowych mapach tematycznych w odpowiednio dobranej skali.

### ***Załącznik 4. Mapa zasobów wód podziemnych***

Mapa powinna być przygotowana w skali nie mniejszej niż 1 : 200 000. Zakres przedstawionych informacji powinien obejmować wszystkie istotne elementy charakterystyki zasobów wód podziemnych wydzielonych rejonów wodnogospodarczych, w tym w szczególności: lokalizację czynnych ujęć wód podziemnych, hydroizohipsy prognozowane dla pełnego wykorzystania zasobów dyspozycyjnych i depresje w stosunku do stanów aktualnych, obszary o korzystnych warunkach hydrogeologicznych, wielkość zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych, ich moduły, stopień wykorzystania zasobów, udział zasobów dyspozycyjnych w zasobach odnawialnych.

### ***Załącznik 5. Mapa chemizmu i jakości wód podziemnych***

Mapa powinna być przygotowana w skali nie mniejszej niż 1 : 200 000. Sposób jej opracowania pozostawia się inwencji dokumentatora, natomiast zakres przedstawionych informacji powinien obejmować co najmniej: charakterystykę

punktową chemizmu i jakości wód (klasy jakości wg metodyki dla JCWPd), zasięgi występowania przekroczeń wybranych parametrów fizyko-chemicznych wg norm dla wód pitnych.

#### **Załącznik 6. Mapa zagrożeń i ochrony wód podziemnych**

Mapa powinna być przygotowana w skali nie mniejszej niż 1 : 200 000. Dla obszarów aglomeracji miejsko-przemysłowych zaleca się przygotowanie dodatkowej mapy w większej skali. Sposób opracowania mapy pozostawia się inwencji dokumentatora, natomiast zakres przedstawionych informacji powinien obejmować co najmniej: sposób użytkowania terenu (na podstawie bazy Corine Land Cover), lokalizację najważniejszych punktowych, liniowych i obszarowych ognisk zanieczyszczeń, obszary zagrożone powodzią i podtopieniami, obszary ustanowionych stref ochronnych ujęć wód i obszarów ochronnych GZWP, obszary udokumentowanych antropogenicznych zmian stanu chemicznego i ilościowego wód podziemnych oraz zagrożeń geogenicznych. Na mapach bocznych można dodatkowo przedstawić podatność na zanieczyszczenie pierwszego poziomu wodonośnego (PPW) według mapy wrażliwości [Witczak (red.), 2011] i/lub MhP PPW–WJ oraz podatność głównego użytkowego poziomu wodonośnego (GUPW) według MhP.

#### **Załącznik 7. Dokumentacja badań modelowych**

W załączniku tym należy zamieścić ilustracje dokumentujące konstrukcję, parametry i wyniki badań modelowych. Ponieważ są to ilustracje o charakterze poglądowym wystarczająca jest zazwyczaj skala umożliwiająca druk w formacie A4 lub A3 (przy czym wynikowe mapy hydroizohips są przenoszone do systemu GIS i przedstawione na mapach w większych skalach – zał. 3, 4). Przykładowy zestaw map wynikowych modelu został omówiony w rozdziale 6.5.6 poradnika.

#### **Załącznik 8. Załączniki w wersji cyfrowej**

Wersja cyfrowa zawiera bazy danych wykorzystane w dokumentacji. Są to zarówno bazy GIS (warstwy informacyjne), jak i bazy opisowe (np. zestawienia wyników inwentaryzacji ujęć wód podziemnych, analiz fizyko-chemicznych, zinwentaryzowanych ognisk zanieczyszczeń).

#### **Załącznik 9. Wyniki badań geofizycznych (jeśli były wykonywane)**

Załącznik prezentujący wyniki przeprowadzonych badań geofizycznych powinien zawierać co najmniej: omówienie metody badań, linie przekrojów na podkładzie topograficznym wraz z lokalizacją otworów reperowych, przekroje geofizyczne na podstawie dokonanych sondowań.



# Literatura

---

---



1. Bardzik A., Indyk W., Jarzabek A., Książczyński K., Nachlik E., Szczęsny J., Więzik B. 1994 – *Bilans wodno-gospodarczy zlewni rzeki Kamiennej*. W: *Aktualna problematyka gospodarki wodnej w skali zlewni rzecznej*. Wyd. SGGW, Warszawa.
2. Batelaan O., Wang Z.-M., de Smedt F., 1996 – *An adaptive GIS toolbox for hydrological modelling*, [in:] *Application of geographic information systems in hydrology and water resources management*, K. Kovar, H.P. Nachtnebel (eds), IAHS publication no. 235; Wallingford.
3. Batelaan O., de Smedt F., 2001 – *WetSpaas: a flexible, GIS based, distributed recharge methodology for regional groundwater modeling*. Gehrels H., Peters J., Hoehn E., Jensen K., Leibundgut C., Griffioen J., Webb B., Zaadnoordijk W.-J. (red.). *Impact of Human Activity on Groundwater Dynamics*, IAHS Publ. No. 269, pp. 11-17.
4. Bieniaszewska H., 1973 – *Metody obliczeń odpływu gruntowego na przykładzie małej zlewni*. Instytut Geologiczny. Biuletyn 277. *Z badań hydrogeologicznych w Polsce*. T. III.
5. Bieniaszewska H., 1980 – *Ocena zasobów dyspozycyjnych metodą hydrodynamiczną w wielopoziomowych serach czwartorzędowych*. W: *Symposium współczesne problemy hydrogeologii regionalnej*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, s. 130-143.
6. Bocheńska T., Poprawski L. (red.), 1998 – *Kenozoiczne zbiorniki wód podziemnych rejonu Lubin-Głogów*. Wyd. Un. Wrocław.
7. Bocheńska T., Marszałek H., Poprawski L., 1998 – *Groundwater resources of the middle and upper Odra River basin, southwestern Poland*. *Hydrogeology Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 315-322.
8. Bogusławska M., 1967 – *Określenie infiltracji za pomocą metody potamologicznej na przykładzie niektórych dopływów rzeki Bzury*. *Prace i studia Komitetu Inżynierii i Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk*. T. VIII.
9. Byczkowski A., Chormański J., Herbich P., Mandes B., Okruszko T., Tyszewski S., 2001 – *Propozycja równań regresji do obliczania odpływów jednostkowych średnich oraz niższych od średniego z wykorzystaniem parametrów hydrogeologicznych*. „Wiadomości IMGW”. T. XXIV, z. 1.

10. Choromański J., Michałowski R., 2011 – *Model hydrologiczny zlewni WetSpa-SGGW zintegrowany z modulem obliczeniowym w środowisku ArcGIS*. „Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska” nr 53, 2011, s. 196-206.
11. Chowaniec J., 2009 – *Studium hydrogeologii zachodniej części Karpat polskich*. „Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego” nr 434. *Hydrogeologia*, z. VIII. Warszawa.
12. Ciężkowski W., Kapuściński J., 2011 – *Wyznaczanie granic obszaru i terenu górniczego dla złóż wód podziemnych uznanych za kopaliny – poradnik metodyczny*. Wyd. Borgis, Warszawa.
13. Chomicz K., 1976 – *Opady rzeczywiste w Polsce (1931-1960)*. „Przegląd Geofizyczny”, R. XXI (XXIX), z. 1.
14. Dąbrowski S., Szymanko J., 1980 – *Problemy regionalizacji wielopoziomowych jednostek hydrogeologicznych na Niżu Polskim*. W: *Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej*. T. I. Warszawa.
15. Dąbrowski S., Górski J., Kapuściński J., Przybyłek J., Szczepański A., 2004 – *Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych – poradnik metodyczny*. Wyd. Borgis, Warszawa.
16. Dąbrowski S., Kapuściński J., Nowicki K., Przybyłek J., Szczepański A., 2011 – *Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych*. Boguski Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
17. Dynowska I., 1971 – *Przestrzenna zmienność procentowego udziału podziemnego zasilenia rzek polskich*. Folia Geographica., se. Geographica Physica, 5. Kraków.
18. Dynowska I., 1974 – *Obliczanie odpływu gruntowego metodą Natermanna*. Zeszyty Nauk. UJ 378. Prace Geogr. 37. Kraków.
19. Dynowska I., 1979 – *Ocena przydatności metody Lwowicza do ustalenia średniego odpływu podziemnego*. Czasop. Geogr. 50, z. 2. Wrocław.
20. Dynowska I., 1983 – *Odpływ podziemny w dorzeczu górnej Wisły*. Czasop. Geogr. 54, z. 4. Wrocław.
21. Dowgiałło J. (red.), 2002 – *Słownik hydrogeologiczny*. PIG, Warszawa.
22. Drużyńska E., Nachlik E. (red.), 2006 – *Podstawy metodyczne i standardy zintegrowanego planowania w gospodarce wodnej*. Praca zbiorowa. Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki. Monografie 341. Seria *Inżynieria Środowiska*. Kraków.
23. Duda R., Paszkiewicz M., Stach-Klarus M., Szczepańska J., Szczepański A., Witczak S., Zdechlik R., 2006 – *Wody podziemne i ich współdziałanie z wodami powierzchniowymi*. W: *Identyfikacja oddziaływań ntropogenicznych na zasoby wodne Raby wraz z oszacowaniem ryzyka nieosiągnięcia celów środowiskowych*. Monografia 340. Politechnika Krakowska, Kraków.
24. Fal B., 1993 – *Zmienność odpływu z obszaru Polski w bieżącym stuleciu (lata 1901-1990)*. „Wiadomości IMGW”, T. XVI, z. 3, s. 3-20.
25. Fal B., 2000 – *Przepływy charakterystyczne głównych rzek polskich w latach 1951-1995*. IMGW. Materiały Badawcze. Seria *Hydrologia i oceanologia* nr 26. Warszawa.
26. Gutry-Korycka M., 1978 – *Zasilanie podziemne rzek polskich*. „Przegląd Geofizyczny”, R. 23(31), z. 2.
27. Graf R., Kajewski I., 2013 – *Kształtowanie się elementów bilansu wodnego w zlewni Mogilnicy na podstawie badań symulacyjnych*. Nauka Przyroda Technologie. T. 7, z. 1; s. 1-11.

28. Gurwin J., 2010 – *Ocena odnawialności struktur wodonośnych bloku przedsudeckiego*. Wyd. Uniwersytetu Wrocławskiego.
29. Herbich P. 1980 – *Określanie podziemnego zasilania rzek metodą transformacji zmian stanów wód podziemnych na przykładzie zlewni górnego Wieprza*. W: *Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej* – Jachranka 1980. Wyd. Geol. Warszawa.
30. Herbich P., 1983 – *Zmiany reżimu odnawialności zasobów wód podziemnych w rejonach intensywnej eksploatacji ze szczelinowych utworów górnej kredy wschodniej Lubelszczyzny*. Rozprawa doktorska (niepubl.). Arch. Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
31. Herbich P., 1987 – *Dynamika zwierciadła wód podziemnych w obszarach oddziaływania ujęć wód podziemnych Chełma i Rejowca*. W: *Problemy hydrogeologiczne środkowo-wschodniej Polski*. PIG, Warszawa.
32. Herbich P., 1989 – *Ewapotranspiracja wód podziemnych w rejonie Chełma*. W: *Współczesne problemy geologiczne Polski Centralnej*. Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
33. Herbich P., 1994 – *Ocena wpływu zagospodarowania zasobów wód podziemnych na przepływy wód powierzchniowych w przekrojach bilansowych*. W: *VII Ogólnopolskie Seminarium Naukowo-Techniczne „Ochrona jakości i zasobów wód – Zasady racjonalnej gospodarki wodą”*. Wyd. PZiITS, Kraków.
34. Herbich P., Tyszewski S., 1994 – *Bilans wodno-gospodarczy i warunki korzystania z wód zlewni Wkry*. W: *Aktualna problematyka gospodarki wodnej w skali zlewni rzecznej*. Wyd. SGGW, Warszawa.
35. Herbich P. 1997 – *Określanie wpływu eksploatacji ujęć wód podziemnych na zasoby wód powierzchniowych dla potrzeb bilansów wodnogospodarczych zlewni*. W: *Współczesne problemy hydrogeologii*. T. VIII. Poznań.
36. Herbich P., 1999 – *Hydrogeologiczne i środowiskowe uwarunkowania oceny zasobów eksploatacyjnych ujęć wód podziemnych w Chełmie*. W: *Współczesne problemy hydrogeologii*. T. XI. PIG, Warszawa.
37. Herbich P., 2002 – *Dokumentowanie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w zlewniach rzecznych*. W: *Gospodarowanie zasobami wód podziemnych: Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej*. T. XIV. Częstochowa, s. 58-67.
38. Herbich P., Dąbrowski S., Nowakowski Cz., 2003 – *Ustalenie zasobów perspektywicznych wód podziemnych w obszarach działalności regionalnych zarządów gospodarki wodnej*. Praca niepublikowana wykonana na zamówienie Ministra Środowiska.
39. Herbich P., 2005 – *Zasoby perspektywiczne wód podziemnych – cel ustalenia i metodyka obliczeń dla zlewniowych systemów wodonośnych*. W: *Współczesne Problemy Hydrogeologii*. T. XII.
40. Herbich P., Kozerski B., Ciecchanowski M., 2005 – *Rafy i mielizny dokumentowania na oceanie hydrogeologii*. „Przegląd Geologiczny”. T. 53, nr 10/1. Warszawa.
41. Herbich P., Dąbrowski S., Nowakowski Cz., 2006 – *Hydrogeologiczne podstawy metodyki wydziałania rejonów wodno-gospodarczych dla potrzeb zintegrowanego zarządzania zasobami wód podziemnych z uwzględnieniem wód powierzchniowych*. Praca niepublikowana, wykonana na zamówienie Ministra Środowiska.
42. Herbich P., Nowicki Z., Sadurski A., Skrzypczyk L. 2006 – *Kryteria i tryb wyznaczania jednolitych części wód podziemnych*. W: *Problemy związane z wprowadzaniem ramowej dyrektywy wodnej*. Częstochowa.



43. Herbich P., 2007 – *Związek wód podziemnych z powierzchniowymi w układzie zlewniowym rzek*. W: *Hydrogeologia regionalna Polski*. T. I. Wody słodkie. PIG, Warszawa.
44. Herbich P., Dąbrowski S., Nowakowski Cz., 2007 – *Wydzielenie rejonów wodno-gospodarczych dla potrzeb zintegrowanego zarządzania zasobami wód podziemnych i powierzchniowych kraju*. Praca niepublikowana wykonana na zamówienie Ministra Środowiska.
45. Herbich P. i in., 2008 – *Wskazania metodyczne do opracowania warstw informacyjnych bazy danych GIS Map hydrogeologicznej Polski „pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód”*. Pr. niepubl. wykonana na zamówienie Ministra Środowiska. PIG-PIB, Warszawa.
46. Herbich P., Prażak J., Przytuła E., 2009a – *Dynamika stanu retencji płytkich wód podziemnych w jednostkach bilansowych*. „Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego” nr 436.
47. Herbich P., Kapuściński J., Nowicki K., Prażak J., Skrzypczyk L., 2009b – *Metodyka wyznaczania obszarów ochronnych głównych zbiorników wód podziemnych dla potrzeb planowania i gospodarowania wodami w obszarach dorzeczy*. Ministerstwo Środowiska, Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa.
48. Herbich P. i zespół, 2009c – *Określanie dynamiki odnawialności zasobów wód podziemnych w zlewniach bilansowych metodą analizy związku zmian stanów retencji i odpływu podziemnego*. Zadanie PSH, dział tematyczny V: *Rozpoznawanie, bilansowanie i ochrona wód podziemnych*. Warszawa.
49. Herbich P. i in., 2011 – *Określenie dynamiki odnawialności zasobów wód podziemnych w zlewniach bilansowych metodą analizy związku zmian stanów retencji i odpływu podziemnego do rzek. Działalność państwowej służby hydrogeologicznej. Zadanie 22. Sprawozdania roczne z realizacji I-IV etapu w latach 2008-2011*. Praca niepubl.
50. Herbich P., Mordzonek G., Przytuła E., 2011 – *Stan rozpoznania i stopień wykorzystania dostępnych do zagospodarowania zasobów wód podziemnych w Polsce*. „Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego” nr 445. *Współczesne problemy hydrogeologii*. T. 15, Warszawa.
51. Herbich P., 2012 – *Problemy dokumentowania i ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w świetle zmian przepisów prawnych*. W: *Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej: mat. na XIX sympozjum naukowo-techniczne pt. „Gospodarowanie wodami podziemnymi w aktualnych uwarunkowaniach”*. PZiITS, Częstochowa.
52. Herbich P., Przytuła E., 2012 – *Bilans wodno-gospodarczy wód podziemnych z uwzględnieniem oddziaływań z wodami powierzchniowymi*. „Informator Państwowej Służby Hydrogeologicznej”. PIG-PIB.
53. Hulboj A., Kapuściński J., Barszczewska M., Nowak K., 2013 – *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne zlewni Wdy i Mątawy*. Arch. NAG, Warszawa.
54. Hydroprojekt, 1992 – *Metodyka jednolitych bilansów wodno-gospodarczych*. Praca niepublikowana (zespół autorski: Kloss A., Łaski A., Rutkowski M., Sokół W., Tyszewski S., Kleczkowski A.S., Szczepański A.).
55. Indyk W., Jarząbek A., Tyszewski S., Herbich P., 2011 – *Bilans dynamiczny dla potrzeb sformułowania ograniczeń ilościowych i jakościowych w warunkach korzystania z wód zlewni rzeki Tywy*. BRAIN, Kraków.

56. *Instrukcja opracowania Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1 : 50 000*. PIG, Warszawa 1999.
57. Jokiel P., 1994 – *Zasoby, odnawialność i odpływ wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce*. Acta Geographica Lodziensia. Łódź, s. 66-67.
58. Kajewski I., 2004 – *Ocena bilansu wodnego zlewni przy zastosowaniu modelu WetSpass*. W: Modelowanie przepływu wód podziemnych. Acta Univ. Wratislaviensis nr 2729, Hydrogeologia, s. 69-80.
59. Kapuściński J., 1989 – *Rola wyznaczania oporów hydraulicznych studni w prognozie zasobowej rejonów intensywnej eksploatacji na przykładzie modelu wykonanego dla Łomży*. Mat. Konf. Politechniki Krakowskiej pt. „Matematyczne modelowanie ujęć wody podziemnej”. Kraków.
60. Kapuściński J., Śmietański L., 2010 – *Problem dyskretyzacji pionowej trójwymiarowych modeli przepływu wód podziemnych na obszarach o silnie zróżnicowanej hipsometrii na przykładzie modelu wykonanego w rejonie Świeradowa Zdroju i Czerniawy Zdroju*. Mat. Konf. „Modelowanie Przepływu wód podziemnych”. Gdańsk.
61. Kapuściński J., Niewiarowicz J., Kubiczek I., Połujan-Kowalczyk M., Szymańska E., Pijewski G., Rodzoch A., Dobkowska A., 2010 – *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Wkry z bezpośrednią zlewnią Wisły*. POLGEOL S.A. NAG, Warszawa.
62. Kazimierski B., 1995 – *Struktura bilansu wód podziemnych i wynikające z jej znajomości możliwości interpretacyjne*. WPH. T. VII, s. 195-201.
63. Kazimierski B., 2002 – *Metodyczne aspekty ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych*. PZITS, Częstochowa, vol. 14.
64. Kiciński T., 1960 – *Odpływ gruntowy w rzekach oraz jego określenie*. Gosp. wodna 10. Warszawa.
65. Kiciński T., 1961 – *Wydzielenie odpływu gruntowego w odpływie całkowitym rzek w okresie wezbrania*. Zeszyty nauk. SGGW, ser. Melior. Rol., 3. Warszawa.
66. Kiciński T., 1963 – *Odpływ wód gruntowych zlewni Wisły po Zawichost*. Prace i Studia Komit. Inż. i Gosp. Wodnej PAN. Warszawa.
67. Kille K., 1970 – *Das Verfahren MoMNO, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse*. Z. deutsch. Geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem. Hannover.
68. Kleczkowski A.S. (red.), 1990 – *Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych w Polsce (GZWP) wymagających szczególnej ochrony*. IHiGI AGH w Krakowie.
69. Kondracki J., 1998 – *Podział regionalny Polski*. PWN, Warszawa.
70. Kostrzewa H., 1972 – *Przepływy nienaruszalne w profilach kontrolnych rzek Polski*. Inst. Gosp. Wod. Mat. Bad. S. Gosp. Zasobami Wodnymi, nr 17.
71. Kostrzewa H., 1977 – *Weryfikacja kryteriów i wielkości przepływu nienaruszalnego dla rzek Polski*. Mat. Bad., Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, IMGW, Warszawa.
72. Kowalczyk A., Rózkowski A., 1994 – *Problemy bilansowania zasobów wód podziemnych w zlewni hydrologicznej dla formułowania warunków korzystania z tych wód w obszarach wysokiej antropopresji*. „Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu” nr 248 – Konferencje V.

73. Kowalczyk A., 2003 – *Formowanie się zasobów wód podziemnych w utworach węglanych triasu śląsko-krakowskiego w warunkach antropopresji*. Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach nr 2152. Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
74. Krajewski S., 1980 – *Odnawialność a dyspozycyjność zasobów wód podziemnych kredy lubelskiej*. W: *Współczesne problemy hydrogeologii regionalnej*. T. I. Wyd. Geolog. Warszawa.
75. Krogulec E., Sawicka K., 2012 – *Hydrogeologiczny aspekt w identyfikacji i ochronie ekosystemów zależnych od wód podziemnych*. „Przegląd Geologiczny”. T. 60, nr 3.
76. Kryza J., 1996 – *Zasoby dyspozycyjne, strategia ich ujmowania oraz problemy zagrożenia i ochrony wód podziemnych zbiornika triasowego Opole-Zawadzkie*. Mat. Konf. „Trias Opolski”. Opole. s. 1-39.
77. Kubiczek I., Kapuściński J., Nowak K., 2013 – *Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z ustanawianiem obszarów ochronnych Głównego Zbiornika Wód Podziemnych nr 221 – Dolina kopalna Wyszków*. NAG, Warszawa.
78. Kulma R., Zdechlik R., 2009 – *Modelowanie procesów filtracji*. Wyd. AGH, Kraków.
79. Llamas M.R., Cruces de Abia J., 1976 – *Conceptual and Digital Model of the Ground water Flow in the Tertiary Basin of the Tagus River (Spain)*. IAH. Memoires. Vol. XIV. Budapest.
80. Macioszczyk A. (red.), 2006 – *Podstawy hydrogeologii stosownej*. PWN, Warszawa.
81. Macioszczyk T., Szestakow W.M., 1983 – *Dynamika wód podziemnych*. Wyd. Geol., Warszawa.
82. Macioszczyk T., Kazimierski B., 1990a – *Zasady symulacji zagospodarowania zasobów wód podziemnych w warunkach optymalizowania zakresu zmian składników bilansowych*. Wyd. ZMP UW.
83. Macioszczyk T., Kazimierski B., 1990b – *Zasady budowy modeli systemów hydrogeologicznych dla oceny zasobów dyspozycyjnych i symulacji regionalnego ich zagospodarowania*. Wyd. SGGW – AR, CBPB-04.10, nr 53, Warszawa.
84. Macioszczyk T., 1995 – *Wybrane pojęcia dynamiki wód podziemnych związane z racjonalizacją gospodarowania zasobami wód podziemnych*. WPH. T. VII, s. 277-201.
85. Malinowski J. (red.), 1976 – *Atlas zasobów zwykłych wód podziemnych w Polsce*. Wyd. Geol., Warszawa.
86. *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 50 000. Udostępnianie, weryfikacja, aktualizacja i rozwój. Instrukcja*. PIG, Warszawa 2004.
87. Mészczynski J., Pietruszka W., 1997 – *Model hydrodynamiczny dorzecza Bystrzycy*. W: *Strategia wykorzystania i ochrony wód w dorzeczu Bystrzycy*. Wyd. UMCS, Lublin.
88. Michalak J., 2002 – *Wyznaczanie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych oparte na metodyce PDE*. „Przegląd Geologiczny”. T. 50, nr 10, s. 846-851.
89. Michalak J., Nowicki Z. (red.), 2009 – *Wyznaczanie zmiany zasobów wód podziemnych w rejonach zbiorników małej retencji*. „Informator PSH”. PIG, Warszawa.
90. Michalak J., Nawalany M., Sadurski A., 2011 – *Schematyzacja warunków hydrogeologicznych na potrzeby numerycznego modelowania przepływu w JCWP*. PIG-PIB, Warszawa.
91. Michalczewski J. (przew. kom. red.), 1980 – *Przepływy charakterystyczne rzek polskich w latach 1951-1970*. IMGW, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.

92. Nachlik E. (red.), 2006 – *Identyfikacja i ocena oddziaływań antropogenicznych na zasoby wodne zlewni Raby wraz z oszacowaniem ryzyka nieosiągnięcia celów środowiskowych*. Praca zbiorowa. Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki. Monografie 340. Seria *Inżynieria Środowiska*. Kraków.
93. Neitsch S., Arnild J., Kiniry J., Williams J., 2011 – *Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation w. 2009*. Tech. Rep. TR-406, Texas University.
94. Nowakowski Cz., Nowicki K., Pich J., 1994 – *Warunki korzystania z wód dorzecza Radomki w zakresie wód podziemnych*. „Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu” nr 248 – Konferencje V.
95. Orsztynowicz J., 1971 – *Podziemny odpływ rzek jako podstawa dyspozycyjnych zasobów rzecznych*. Gosp. Wodna, 9. Warszawa.
96. Orsztynowicz J., 1973 – *Odpływ podziemny rzek Polski*. Gosp. wodna, nr 5. Warszawa.
97. Paczyński B. (red.), 1995 – *Atlas hydrogeologicznych Polski 1:50 0000. cz. II. Zasoby, jakość i ochrona zwykłych wód podziemnych*. PIG, Warszawa.
98. Paczyński B., 1977 – *Aktualne rozpoznanie regionów hydrogeologicznych Polski pod kątem możliwości wykorzystania wód podziemnych*. PZITS Częstochowa, vol. 1, s. 41-48.
99. Paczyński B., Macioszczyk T., Kazimierski B., Mitrega J., 1996 – *Ustalanie dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych – poradnik metodyczny*. Wyd. MŚZNiL, Warszawa.
100. Paczyński B., Sadurski A., red., 2007 – *Hydrogeologia regionalna Polski*. PIG, Warszawa.
101. Paślowski Z., Koczorowska J., 1974 – *Odpływ podziemny rzek na obszarze dorzecza Warty*. „Przegląd Geofizyczny”, R. XIX, z. 1, s. 17-29.
102. Pazdro Z., 1964 – *Hydrogeologia ogólna*. Wyd. Geol. Warszawa.
103. Pazdro Z., 1977 – *Hydrogeologia ogólna* (wyd. II). Wyd. Geol. Warszawa.
104. Pazdro Z., Kozerski B., 1990 – *Hydrogeologia ogólna* (wyd. IV uzupełnione). Wyd. Geol. Warszawa.
105. Pleczyński J., Przybyłek J., 1974 – *Problematyka dokumentowana zasobów wód podziemnych w dolinach rzecznych (studium metodyczne)*. Wyd. Geol., Warszawa.
106. Pleczyński J., 1981 – *Odnawialność wód podziemnych*. Wyd. Geol., Warszawa.
107. Piniewski M., Okruszko T., 2011 – *Multi-site calibration and validation of the hydrological component of SWAT in a large lowland catchment*. In: *Modeling of Hydrological Processes in the Narew Catchment. Geoplanet: Earth and Planetary Sciences*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 15-41.
108. Pokojska P., 2004 – *Application and verification of water balance model with distributed parameters (on the example of Rega River Basin)*. *Miscellanea Geographica*, Warszawa 2004, vol. 11, s. 139-149.
109. Poźniak R., 1975 – *Wpływ warunków hydrogeologicznych na wielkość zasilania rzek nizinnych wodami podziemnymi*. SGGW. Warszawa.
110. Prażak J., Witczak S., Żurek A., 2001 – *Problemy związane z oceną zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w zlewniach rzek o przepływie limitowanym przez odpływ podziemny*. W: *Współczesne problemy hydrogeologii*. T. 10. Oficyna Wydawnicza Oddziału Wrocławskiego, Wrocław.
111. Punzet J., 1959 – *Wykorzystanie krzywej opadania przepływów do wyznaczania odpływu gruntowego w rzece. Z zagadnień hydrologii górnej Odry. cz. III*. *Wiad. służby hydr. i meteor.*, 7,2. Warszawa.

112. Radczuk L., Szarska O., 1986 – *Ocena zasilania Odry Środkowej wodami gruntowymi*. „Przegląd Geofizyczny”, z. 31(2). Warszawa.
113. Rodzoch A., 2002 – *Problemy dokumentowania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w zlewniach rzecznych*. Mat. XIV Konferencji „Gospodarowanie zasobami wód podziemnych”. Częstochowa, s. 68-78.
114. Rodzoch, A., Muter K., Karwacka K., Oficjalska H., Dobkowska A., Krawczyński J., 2007 – *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Raduni i Motławy*. HYDROEKO Andrzej Rodzoch. NAG, Warszawa.
115. Rogoż M., 2007 – *Dynamika wód podziemnych*. Wyd. Gł. Inst. Górnictwa, Katowice.
116. Sawicki J., 1978 – *Krzywe zasilania podziemnego rzek i krzywe stanów retencji – konstrukcja i zastosowanie*. Acta. Univ. Wrat. No 3131, Wrocław.
117. Sawicki J., 2000 – *Zmiany naturalnej infiltracji opadów do warstw wodonośnych pod wpływem głębokiego, górniczego drenażu*. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław.
118. Soczyńska U. (red.), 1990 – *Podstawy hydrologii dynamicznej*. Wyd. UW, Warszawa.
119. Soczyńska U. (red.), 1997 – *Hydrologia dynamiczna*. PWN, Warszawa.
120. Stachy J., 1970 – *Wieloletnia prognoza odpływu rzek polskich*. „Prace PIHM”, z. 100. Warszawa.
121. Stachy J., 2010 – *Średnie roczne przepływy Odry i Wisły w latach 1900-2008*. „Gospodarka Wodna” nr 6.
122. Stachy J., 2011 – *Występowanie lat mokrych i posusznych w Polsce (1951-2008)*. „Gospodarka Wodna” nr 8.
123. Staško S., Tarka R., 2002 – *Zasilanie i drenaż wód podziemnych w obszarach górskich na podstawie badań w masywie Śnieżnika*. Prz. Geol.-Mineral., 2528.
124. Staško S., Weisło M., 2008 – *Wpływ niejednorodności ośrodka skalnego na obliczanie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych*. „Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego” nr 431. *Modelowanie przepływu wód podziemnych* (red. M. Nawalany). *Hydrogeologia*. Warszawa.
125. Szczepański A., 1993 – *Metodyczne uwarunkowania bilansów wodnogospodarczych w zakresie wód podziemnych*. W: *Współczesne problemy hydrogeologii*. T. VI. Wrocław.
126. Szczepański A., 2003 – *Hydrogeologiczne uwarunkowania i skutki likwidacji zakładów górniczych w Polsce*. W: *Współczesne problemy hydrogeologii*. T. 11, cz. 1. Politechnika Gdańska, Gdańsk.
127. Szczepański A., Szklarczyk T., 2007 – *Ocena możliwości eksploatacyjnych wód podziemnych w dorzeczu Górnej Wisły*. W: *Współczesne problemy hydrogeologii*. T. 13, cz. 3. AGH, Kraków.
128. Szczepański A., 2008 – *Metodyka modelowego bilansowania zasobów wód podziemnych w ich zlewniowym zagospodarowaniu*. „Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego” nr 431. *Modelowanie przepływu wód podziemnych* (red. M. Nawalany). *Hydrogeologia*. Warszawa.
129. Szczepiński J., 2012 – *Wykorzystanie modułu strumienia w ocenie wzajemnego oddziaływania wód podziemnych i powierzchniowych*. Mat. Konf. „Modelowanie przepływu wód podziemnych” „Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego”. *Hydrogeologia*, z. XIII.



130. Szklarczyk T., Szczepański A., 2008a – *Modelowanie matematyczne w ocenie kształtowania się zasobów wód podziemnych w obszarach wododziałowych na przykładzie GZWP 414 Zagnańsk*. „Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego” nr 431. *Hydrogeologia: Modelowanie przepływu wód podziemnych* (pod red. nauk. Marka Nawalanego).
131. Szklarczyk T., Szczepański A., 2008b – *Możliwości modelowej oceny aktualnego i prognozowanego wpływu pracy ujęć wód podziemnych na wielkość przepływu wód powierzchniowych na przykładzie zlewni*. Koprzywianki. „Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego” nr 431. Warszawa.
132. Szklarczyk T., Stach-Kalarus M., Kmiecik E., 2011 – *Wybrane metody i narzędzia badawcze w bilansowaniu wodno-gospodarczym i ocenie stanu wód podziemnych na przykładzie zlewni Koprzywianki*. Wydawnictwa AGH, Kraków.
133. Szymanko J., 1980 – *Koncepcje systemu wodonośnego i metod jego modelowania*. Wyd. Geol., Warszawa.
134. Szymanko J., Kreczmar A., Poliszot W., Nowicki K., Dąbrowski S., Przybyłek J., 1980 – *Budowa modeli matematycznych w hydrogeologii na przykładzie biblioteki systemowej HYDRYLIB. Matematyczne modelowanie ujęć wody podziemnej. Studia z zakresu inżynierii*, 19. Warszawa-Kraków.
135. Szymanko J., Łódzński S., 1980 – *Hydrogeologiczne problemy projektowania systemów wodno-gospodarczych*. Przegl. Geol., vol. 28, s. 501- 11.
136. Szymanko J., Dąbrowski S., Poliszot W., Nowicki K., 1982 – *Model matematyczny przepływu uasirójwymiarowego w ośrodku porowatym, sieć kwadratowa, reżim ustalony, blok SW – z. 6, reżim nieustalony – blok EW – z. 7*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
137. Szymanko J., 1993 – *Słowniczek pojęć stosowanych przy dokumentowaniu zasobów wód podziemnych (propozycja)*. Warszawa, 10 stycznia 1993 r. (niepublik.)
138. Śmietaniński L., 2012 – *Zastosowanie przekształcenia stałoobjętościowego do oceny odnawialności zasobów wód podziemnych wschodniej części Pojezierza Pomorskiego*. „Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego” nr 451. *Hydrogeologia*, z. XIII. Warszawa.
139. Toth J., 1963 – *A Theoretical Analysis of Groundwater Flow In Small Drainage Basins*. “Journal of Geophysical Research”. Vol. 68, Nr. 16.
140. Turek S. (red.), 1971 – *Poradnik hydrogeologa*. Wyd. Geol., Warszawa.
141. Tyszewski S., Herbich P., Indyk W., Jarząbek A., Pułłowska-Tyszewska D., Rutkowski M., 2008 – *Metodyka opracowywania warunków korzystania z wód regionu wodnego oraz warunków korzystania z wód zlewni*. Pro Woda, Warszawa.
142. Walton W.C., 1970 – *Groundwater Resource Evaluation*. McGraw-Hill, New York.
143. Witczak S., Prażak J., Żurek A., 2002 – *Wody podziemne i powierzchniowe jako niepodzielny zasób środowiska wodnego*. W: *Gospodarowanie zasobami wód podziemnych. XIV konferencja z cyklu „Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej”*. PZLiTS, Częstochowa.
144. Witczak S., Karlikowska J., 2004 – *Gospodarowanie zbiornikami wód podziemnych z uwzględnieniem ich jakości*. W: *Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej (mat. na XV sympozjum naukowo-techniczne pt. „Gospodarowanie wodami podziemnymi w Unii Europejskiej*. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Częstochowa

145. Witczak S., Żurek A., 2008 – *Problemy związane z uwzględnieniem przepływu nienaruszalnego przy ocenie dyspozycyjnych zasobów wodnych*. W: *Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej: materiały na XVII sympozjum naukowo-techniczne pt. „Zrównoważone gospodarowanie zasobami wód podziemnych na terenach przekształconych antropogenicznie”*. PZiITS Częstochowa.
146. Witczak S. (red.), 2011 – *Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie I: 500 00*. Wyd. AGH, Kraków.
147. Witczak S., Kania J., Kmieciak E., 2013 – *Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania* Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
148. Wundt W., 1953 – *Gewasserkunde*. Berlin – Gottingen – Heidelberg.
149. Załuski M., 1973 – *Odnawialność wód podziemnych w świetle wybranych elementów i obliczeń bilansowych*. Instytut Geologiczny. Biuletyn 277. Z badań hydrogeologicznych w Polsce. T. III.