

Specyfika oceny regionalnych zasobów wód podziemnych w zróżnicowanych warunkach hydrostrukturalnych Polski

Jacek Gurwin¹, Henryk Marszałek¹, Mirosław Wąsik¹,
Michał Rysiukiewicz¹, Mateusz Machnik¹



J. Gurwin



H. Marszałek



M. Wąsik



M. Rysiukiewicz



M. Machnik

Specifics of the assessment of regional groundwater resources under diverse hydro-structural conditions of Poland. *Prz. Geol.*, 73: 820–828; doi: 10.7306/2025.88

Abstract. The paper discusses the specifics of assessment of the regional groundwater resources in reservoirs with diverse hydro-structural conditions. Methodological aspects of resource calculation are presented for both Cenozoic porous and older fractured or porous-fractured reservoirs, including crystalline rocks of the Sudetes. Resource evaluation methods are analysed, highlighting the important role of numerical modelling as a key tool in interpreting groundwater dynamics. Special attention is given to the hydrogeological structures of the Sudetes, where the application of classical hydrological methods remains a reliable component for verifying modelling results.

Keywords: renewable and disposable groundwater resources, numerical modelling, water balance areas, Main Groundwater Basins

Jednym z ważniejszych nurtów badawczych podejmowanych przez Zespół Zakładu Hydrogeologii Stosowanej Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego (ING UWr) są prace związane z hydrogeologią regionalną, a zwłaszcza określaniem zasobów wód podziemnych w skali regionalnej, czyli zlewni/obszaru bilansowego/głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP). W latach 1990–2024 wykonano 32 tego typu opracowania, związane z określaniem bilansów wodnogospodarczych, dokumentowaniem zasobów czy też określaniem obszarów ochronnych GZWP. Doświadczenia z zakresu ustalania zasobów wód podziemnych kraju dotyczą zasadniczo obszaru SW Polski i całego dorzecza Odry, jednak tego typu regionalne prace dokumentacyjne prowadzono również dla zlewni rzek Przymorza, zlewni Kryniczanki w Karpatach czy w rejonie Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej (ryc. 1, tab. 1).

Dobór metody oceny regionalnych zasobów wód podziemnych jest uzależniony od kilku czynników uwzględniających przyrodnicze cechy obszaru zasobowego. Jednostkami bilansowymi są najczęściej zlewnie hydrograficzne, w obszarach których występują systemy wodonośne obejmujące układy krążenia wód podziemnych powiązane z wodami powierzchniowymi. Granice obszarów bilansowych wód powierzchniowych i podziemnych powinny być

zbieżne, jednak w obszarach, gdzie zlewnie hydrograficzne nie pokrywają się z granicami hydrostrukturalnymi zbiorników wód podziemnych, różnice koryguje się odpowiednio zadanymi warunkami brzegowymi na modelach.

Zgodnie z przepisami *Prawa geologicznego i górniczego* (Ustawa, 2011) ocenom podlegają zasoby dyspozycyjne (i eksploatacyjne) stanowiące część zasobów dynamicznych (odnawialnych), znajdujących się w stałym ruchu podczas przepływu przez określone warstwy skalne strefy aktywnej wymiany i podlegających procesom zasilania infiltracyjnego i drenażu. Ich wielkość zależy od rozmiarów zbiornika (rozprzestrzenia i miąższości warstw wodonośnych), warunków hydrodynamicznych oraz parametrów filtracyjnych warstw wodonośnych. Podstawową metodą ich oceny jest modelowanie numeryczne.

PROBLEMATYKA OCENY REGIONALNYCH ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH

Odwzorowanie na regionalnym modelu warunków krążenia wód podziemnych na potrzeby udokumentowania zasobów wydzielonego systemu wodonośnego zmierza do ustalenia bilansu wodnego z rozbiciem na poszczególne poziomy/piętra wodonośne. Już w 1993 r. Macioszczyk (1993) wskazywał na wadliwy sposób obliczeń i przedsta-

¹ Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, plac Makska Borna 9, 50-204 Wrocław; jacek.gurwin@uwr.edu.pl; henryk.marszalek@uwr.edu.pl; miroslaw.wasik@uwr.edu.pl; michal.rysiukiewicz@uwr.edu.pl; mateusz.machnik@uwr.edu.pl; ORCID ID: J. Gurwin – 0000-0003-3911-9511, H. Marszałek – 0000-0003-0102-5595, M. Wąsik – 0000-0003-0894-1553, M. Rysiukiewicz – 0000-0001-8546-1559, M. Machnik – 0000-0002-9391-5204



Ryc. 1. Obszary zrealizowanych w UW r regionalnych ocen zasobów wód podziemnych (numery 1–20 zgodnie z tab. 1; dla GZWP podano ich numery)

Fig. 1. Areas of regional research carried out to assess groundwater resources (numbers 1–20 acc. to Table 1; MGB, numbers are provided)

wiania bilansu jako jednego z podstawowych niedociągnięć metodycznych dokumentacji modelu. Dlatego kluczowe było takie dopracowanie metodyki modelowania, aby objąć bilansami wszystkie wydzielone poziomy wodoносne, a różnice w przychodach i rozchodach poszczególnych warstw i całego modelu zamykały się poniżej 1%. Bardzo intensywny rozwój w zakresie numerycznego modelowania i technik geoinformacyjnych spowodował szybkie zmiany w jakości wykonywanych opracowań. Już na początku lat 90. ub.w. standardem stawało się wykorzystywanie numerycznych map w przygotowaniu dokumentacji i danych do modelu, na co zwrócono uwagę, w trakcie przygotowania cyfrowych warstw dla zlewni Oławy (Gurwin i in., 1993) czy też wykorzystania modelowania geostatystycznego w przygotowaniu map hydroizohips (Gurwin, 1997). Był to jeden z przełomów w realizacji opracowań regionalnych, gdyż uzyskiwano dzięki temu wielokrotnie wyższą efektywność przy interpretacji i zmianach w rozkładzie parametrów hydrogeologicznych. Późniejsze lata były obfite w prace metodyczne, głównie prezentowanych

i publikowanych przez środowisko hydrogeologów w ramach cyklicznych spotkań na konferencjach *Modelowanie Przepływu Wód Podziemnych* (MPWP), zapoczątkowanych przez zespół z UW r w 2004 r. (Gurwin, Staško, 2004). Zasoby odnawialne i dyspozycyjne wód podziemnych były wyznaczane zgodnie z metodyką wypracowaną przez środowisko hydrogeologów, przedstawioną m.in. w poradnikach polecanych przez obecne Ministerstwo Klimatu i Środowiska oraz Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (Macioszczyk i in., 1996; Herbich i in., 2013).

Wykonanie zasadnego numerycznego wielowarstwowego modelu filtracji sprawdza się najlepiej w dobrze rozpoznanych systemach wodoносnych wydzielonych w kenozoicznych kompleksach skał osadowych. Większe trudności zachodzą przy jednoznacznej interpretacji zbiorników związanych z ośrodkami porowo-szczelinowatymi w utworach mezozoicznych. A największe wątpliwości co do odtworzenia układu hydrostrukturalnego zachodzą podczas dokumentowania obszarów występowania utworów

krystalicznych, przy zmiennej litologii i silnym zaangażowaniu tektonicznym, jak to ma miejsce w Sudetach. Właśnie zebrane bogate doświadczenia w zakresie modelowania i dokumentowania zasobów wód podziemnych w tego typu obszarach upoważniają nas do zwrócenia uwagi na pewne aspekty metodyczne, które są pomocne dla hydrogeologów podejmujących takie zadania.

USTALANIE ZASOBÓW WÓD PODZIEMNYCH W REGIONIE SUDECKIM

Znaczne trudności z odwzorowaniem warunków hydrogeologicznych na modelu napotymano podczas dokumentowania zasobów w obszarach górskich, szczególnie w masywach krystalicznych regionu sudeckiego. Niezależnie od budowy geologicznej masywów górskich, wybór właściwej metody obliczeniowej jest uzależniony od wielu czynników takich jak: stan rozpoznania hydrogeologicznego jednostki bilansowej, stopień skomplikowania warunków hydrogeologicznych, warunki morfologiczne i hydrograficzne.

Metody hydrologiczne, bazujące na wielkościach natężenia przepływu wód w rzekach, a sprowadzające się w szczególności do analizy w skali regionalnej naturalnego odpływu podziemnego ze strefy aktywnej wymiany, są grupą metod często stosowanych w obliczeniach zasobów wodnych. Wiąże się to z większą dostępnością do odpowiednio długich ciągów pomiarowych przepływów rzecznych w porównaniu z ograniczonymi informacjami o parametrach hydro-geologicznych wyniesionych morfologicznie zbiorników porowo-szczelinowych. W tych częściach masywów górskich, gdzie wypełnienie dolin rzecznych osadami aluwialnymi jest znaczne, do oceny zasobów wód podziemnych można z powodzeniem zastosować metody modelowania numerycznego. W warunkach sudeckich może to dotyczyć porowych zbiorników czwartorzędowych wypełniających doliny rzeczne położone w strefach rozległych obniżen śródgórskich o charakterze kotlin, przykładem mogą być Kotliny: Jeleniogórska czy Kłodzka z dolinami Bobru i Nysy Kłodzkiej.

Z grupy metod hydrologicznych do obliczeń zasobowych często stosowane są statystyczne metody Wundta i Kille'go, bazujące na minimalnych miesięcznych przepływach wód w rzekach, oraz metody Natermanna i krzywych wysychania (Pleczyński, Przybyłek, 1974; Hölting, 1980; Marszałek, 2007). Pomocne w ocenie zasobów wód podziemnych, szczególnie w utworach pokrywowych struktur dolinnych lub zwietrzelin skał krystalicznych, mogą być metody wykorzystujące wahania zwierciadła wód podziemnych.

W przypadku górnej części zlewni Kaczawy ocenę zasobową, opracowaną w latach 1992–1993 (Bocheńska i in., 1994), oparto w całości na obliczeniach metodami hydrologicznymi, bowiem badania modelowe dopiero wdrażano, a obszar ten charakteryzuje się skomplikowanymi warunkami hydrogeologicznymi. Już w połowie lat 90. XX w. starano się jednak włączać nowoczesne techniki numeryczne, także w tym specyficznym regionie górskim. Przykładem może być zbudowany model zlewni Ścinawki (ryc. 1 – nr 4), uwzględniający zróżnicowanie wodopruszczalności górnokredowych skał osadowych niecki śródsudeckiej i masywu Gór Stołowych (Gurwin, Wąsik, 1997). W tym przypadku dodatkową trudność stanowiło zdobycie odpowiednich danych po czeskiej stronie zlewni. Zwykle w takich obszarach przygranicznych, w porówna-

niu z jednostkami bilansowymi Niżu Polskiego, dysponujemy bardzo ograniczoną liczbą danych (niewiele otworów) przy dużej zmienności ośrodka. Dlatego, mimo wykonanych obliczeń modelowych (tab. 1), ostatecznie zasoby odnawialne wód podziemnych przyjęto z obliczeń metodami hydrologicznymi, gdyż dysponowano odpowiednimi ciągami pomiarów na ciekach.

Metody hydrologiczne i modelowania numerycznego stosowano również przy określaniu zasobów wód podziemnych w wydzielonym przez Marszałka (2007) hydrogeologicznym rejonie Kotliny Jeleniogórskiej (ryc. 1, tab. 1 – nr 8). Jednostka ta jest zbudowana ze skał krystalicznych obejmujących spękane skały magmowe i metamorficzne o niskiej porowatości i przepuszczalności z zalegającymi na nich pokrywami osadowymi. Kotlina Jeleniogórska należy do struktur depresyjnych wypreparowanych w granitowym podłożu i wypełnionych cienką, rzadko przekraczającą 20 m pokrywą plejstoceno-holocenickich skał osadowych. Stosunkowo niewielka miąższość i rozpręstrzenie wodonośnych utworów czwartorzędowych oraz niskie zdolności retencyjne utworów krystalicznych nie sprzyjają akumulacji bogatych zasobów wód podziemnych w kotlinie. O wielkości zasobów wodnych tego obszaru decyduje głównie ilość opadów atmosferycznych zasilających zarówno wody sieci rzecznej, jak i zbiorniki wód podziemnych. Wartości zasobów wód podziemnych maleją wraz z obniżeniem wielkości zasilania infiltracyjnego, szczególnie w okresach długotrwałych suszy. Sprzyja temu wyniesiony morfologicznie charakter zbiorników wód podziemnych, występujących w otaczających Kotlinę Jeleniogórską hydrogeologicznych masywach górskich, gdzie następuje intensyfikacja naturalnego drenażu. Główne rzeki, w tym Kamienna i Łomnica, odprowadzają swoje wody do Bobru, którego koryto stanowi główną bazę drenażu dla całej omawianej jednostki hydrogeologicznej (Marszałek, 2007).

Wysokie zasilanie opadowe i intensywny stopień spękania masywu krystalicznego w części przypowierzchniowej grzbietowych partii pasm górskich otaczających Kotlinę Jeleniogórską sprawia, że w tej części profilu formuje się główna ilość zasobów o dużej odnawialności. Obliczone wartości modułów odpływu podziemnego, utożsamianego z zasobami odnawialnymi, są ekstremalnie wysokie (10–15 l/s km²) w części grzbietowej, silnie spękanej i pokrytej rumowiskami skalnymi, gdzie zasilanie opadowe jest najwyższe (Marszałek, 1996, 2007). W dół profilu hipsometrycznego wraz ze spadkiem opadów atmosferycznych wartości odpływu podziemnego obniżają się do ok. 5 l/s km². Odpływ podziemny jest formowany przez źródła i drenaż korytowy cieków powierzchniowych. Obliczone z wielolecia 1974–1998 średnie moduły odpływu podziemnego dla dwóch głównych zlewni karkonoskich: Kamiennej kontrolowanej w Piechowicach i Łomnicy do przekroju w Łomnicy, wynosiły odpowiednio 11,8 i 10,2 l/s km². Podobne wartości zasobów odnawialnych wynoszące 219 011 m³/d (11,8 l/s km²) uzyskano dla wydzielonego w południowej części omawianego rejonu zbiornika *Karkonosze* (tab. 1), zbudowanego w zdecydowanej przewadze z górnokarbońskiego granitu.

Największe znaczenie użytkowe ma jednak wykształcony w centrum Kotliny Jeleniogórskiej zbiornik wód porowych *Jelenia Góra*, związany ze skałami osadowymi wypełniającymi doliny głównych rzek, o powierzchni 59,1 km²

(tab. 1) i maksymalnej miąższości 20 m. Wysokie wartości parametrów filtracyjnych (wodoprzewodność najczęściej w przedziale 100–500 m³/d) przekładają się na znaczne wydajności otworów przekraczających lokalnie 90 m³/h. Zasoby odnawialne zbiornika oszacowano na 40,2 tys. m³/d (Marszałek, 2007). Uwzględniając powierzchnię analizowanego obszaru, daje to wartość modułu zasobów odnawialnych równą 7,88 l/s km². Na wartość tę składają się: zasilanie infiltracyjne z opadów wynoszące 23 908 m³/d (4,68 l/s km²), zasilanie z sieci rzecznej w ilości 10 764 m³/d (2,11 l/s km²) oraz dopływ boczny z otaczających wzgórz w wysokości 5 555 m³/d (1,09 l/s km²). Wielkość drenażu rzecznoego wynoszącego 26 203 m³/d stanowi 65%, a infiltracja opadów atmosferycznych ok. 60% wartości obliczonych zasobów (Marszałek, Wąsik, 2012). Pomijając infiltrację z rzek, wysokość zasilania czwartorzędowego piętra wodonośnego wynosi 29,5 tys. m³/d (Marszałek, 2007).

Obliczenia zasobów metodą modelowania przeprowadzono również oddzielnie dla trzech podobszarów bilansowych, odpowiadających w większości zbiornikom wód podziemnych w osadach dolinnych trzech głównych rzek: Bobru, Kamiennej i Łomnicy. Największe wartości zasobów odnawialnych osiągające 25 317 m³/d (10,5 l/s km²) uzyskano w obszarze obejmującym poziomy wodonośne zarówno współczesnej, jak i kopalnej doliny Bobru. W obszarach zlewni Kamiennej i Łomnicy uzyskano odpowiednio: 13 069 m³/d (5,89 l/s km²) i 3 810 m³/d (7,92 l/s km²).

Określone dla zbiornika *Jelenia Góra* zasoby odnawialne są niższe o ok. 10% od udokumentowanych tą samą metodą w latach 90. ub.w. zasobów (Zaleska i in., 1999).

ODWZOROWANIE ZŁOŻONYCH WARUNKÓW HYDROSTRUKTURALNYCH A WYNIKI BILANSOWE MODELU

W późniejszych latach, wraz z postępowaniem technik geoinformacyjnych, modelowanie numeryczne zastosowano do ocen zasobowych bardziej złożonych struktur hydrogeologicznych. Problematykę schematyzacji na modelu złożonych warunków hydrostrukturalnych kredowego zbiornika wód podziemnych niecki północnosudeckiej poruszono w pracach Gurwina (2016, 2020) o charakterze *stricte* metodycznym, w których wykazano potrzebę i sposób odwzorowania przypowierzchniowego poziomu wodonośnego, bardzo często pomijanego przy wyznaczaniu zasobów. Przebieg wypełnionych aluwiami wciętych dolin rzecznych ma tu bowiem decydujące znaczenie dla obliczeń interakcji wód powierzchniowych z wodami podziemnymi i tym samym bilansowania zasobów. Podobnie wykazano, że testowana wcześniej wersja modelu typu „T”, czyli quasi-wielowarstwowego, opartego na współczynniku wodoprzewodności, mimo że formalnie poprawna, nie spełnia kryteriów dla wiarygodnych ocen zasobowych, zwłaszcza w tak złożonych warunkach hydrogeologicznych. Nawet w ostatnich transzach krajowego planu opracowania dokumentacji zasobów dyspozycyjnych wciąż były przypadki wykorzystania modeli typu „T”, co znacząco ogranicza interpretację układu krążenia wód podziemnych i wzajemnych oddziaływań.

W przypadku GZWP nr 317 niecka zewnętrzna sudecka Bolesławiec (ryc. 1, tab. 1) ostateczny model przestrzenny oparto na pięciu warstwach numerycznych, odwzorowujących porowe oraz porowo-szczelinowe zbiorniki wód podziemnych w utworach Q, Ng, Cr, T oraz częściowo

także utworów starszych. W tym konkretnym przypadku zasoby odnawialne zbiornika ustalono na 327 096 m³/d (tab. 1), a zasoby dyspozycyjne na 120 000 m³/d, czyli ok. 35% odnawialnych, dając wartość wyższą o 50% od pierwotnie zakładanych zasobów zbiornika (Kleczkowski, 1990). W późniejszym okresie w dokumentacji zlewni środkowego Bobru (Koślacz i in., 2018) wyznaczono moduł zasobów odnawialnych o zbliżonej wartości (tab. 1), a średni moduł zasobów dyspozycyjnych na poziomie 2,3 l/s · km², w tym tylko dla piętra mezozoicznego, właściwie tożsamego z GZWP 317, 1,03 l/s · km². Zatem moduł wyznaczony w opracowaniu GZWP, wynoszący 1,65 l/s · km², mieści się w przedziale powyższych wartości. Nieco bardziej ograniczone zasoby przedstawione w dokumentacji (Koślacz i in., 2018) wynikają z analiz przeprowadzonych w domkniętym zlewniowo obszarze bilansowym oraz z przyjętego podziału na piętra wodonośne (m.in. oddzielnie traktowane połączone piętro Q–K), a także z dokładnie analizowanych przesłanek jakościowych. Niestety granice GZWP są zupełnie różne od granic obszarów bilansowych zlewni i najczęściej nie ma możliwości ustalenia zasobów zbiornika w ramach dokumentowania zlewni. Tym bardziej, że w przypadku GZWP model musi już mieć w pełni przestrzenną strukturę do interpretacji prędkości i czasów dopływu. Inne merytoryczne kwestie poruszano też wcześniej w innych artykułach dotyczących budowy przestrzennych modeli regionalnych systemów wodonośnych (m.in. Gurwin, 2001, 2004, 2015; Gurwin, Serafin, 2008, 2010).

Bardzo duże znaczenie ma oparcie granic modelu na jednoznacznie zdefiniowanych, najlepiej hydrostrukturalnych lub hydraulicznych, powierzchniach brzegowych, zgodnie z przyjmowanymi schematami i kryteriami wydzielenia systemów wodonośnych i ich powierzchni ograniczających (Margat, 1976; Szymanko, 1980). Od tego bowiem zależy poprawność wprowadzonych warunków brzegowych, a w ślad za tym właściwie obliczonych bilansów wody w obszarach bilansowych. Dlatego najczęściej obszar objęty modelem jest znacząco większy od obszaru zasobowego, a w przypadku GZWP może to być nawet dwukrotnie większa powierzchnia.

Regionalne badania modelowe są niewątpliwie pracochłonne, dlatego warto czynić starania, aby raz wykonany model był narzędziem do stałych aktualizacji. Niestety bardzo rzadko się to zdarza, na co zwrócono uwagę przy realizacji dużego modelu rejonu kopalń Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM; Gurwin, Wcisło, 2018), który prawdopodobnie jako pierwszy stał się takim właśnie przez lata wykorzystywanym modelem. Często w takim przypadku bardzo zalecanym metodycznym aspektem pracy jest przejście z modelu regionalnego do skali modelu subregionalnego lub lokalnego. Dobrym przykładem jest tu model Przedgórze Sudeckiego (ryc. 1), z którego kilka lat później wycięto modele dla dwóch struktur hydrogeologicznych: niecki Ziębic i niecki Świdnicy (Gurwin, 2010a) (ryc. 2). Po znacznym zagęszczeniu siatki dyskretyzacyjnej, reinterpretacji rozkładów parametrów, dostosowaniu warunków brzegowych (zwłaszcza III rodzaju) i ponownej kalibracji uzyskane znacznie dokładniejsze wyniki obliczeń bilansowych były podstawą weryfikacji ocen zasobowych.

Czasem badania modelowe wykonywano w ramach ustalania warunków ochrony zbiornika, ale w trakcie ich realizacji koncentrowano się na podobszarze o szczególnym

Tab. 1. Wielkość zasobów wód podziemnych badanych obszarów
Table 1. Groundwater resources values in study areas

Numer zgodny z ryc. 1 No. acc. to Fig. 1	Obszar badań Study area		Powierzchnia przyjęta w obliczeniach The area used in the calculations [km ²]	Zasoby / Resources [m ³ /d]		Moduł zasobów odnawialnych M _{odn} Renewable resources module M _{odn} [l/s · km ²]
				Odnawialne Renewable	Dyspozycyjne Disposable	
1	zlewnia Oławy Oława river catchment		1167,00	236 200	–	2,34
2	obszar badań Przedgórze Sudeckiego the Sudetes Foreland research area	przyjęty obszar zasobowy adopted resource area	1706,00	–	189 275	–
		obszar modelu Przedgórze Sudeckiego Sudetic Foreland model area	2829,00	951 878	313 540	3,89
3	zlewnia górnej Kaczawy upper Kaczawa river catchment		330,90	85 199	–	2,98
4	zlewnia Ścinawki Ścinawka river catchment		593,30	495 000	252 000	9,66
5	zlewnia Nysy Łużyckiej Nysa Łużycka river catchment		2197,00	394 917*	237 340	2,53
6	zlewnia Dziwny Dziwna river catchment		1139,10	244 397*	136 902	2,48
7	zlewnia Kryniczanki (część) Kryniczanka river catchment (part)		10,30	5780	–	6,49
8	zlewnia górnego Bobru (Kotlina Jeleniogórska) upper Bóbr river catchment	8a) zbiornik Karkonosze Karkonosze basin	215,00	średnie average 219 011*	–	11,79
				niskie low 119 886*	–	6,40
		8b) zbiornik Jelenia Góra Jelenia Góra basin	59,10	średnie average 40 227	–	7,87
9	zlewnia Słupi Słupia river catchment		1661,20	1 313 600	647 800	9,15
10	zlewnia Obrzycy Obrzyca river catchment		1816,00	495 200	252 000	3,15
11	zlewnia Zalewu Szczecińskiego Szczecin Lagoon catchment		1424,50	287 629	–	2,34
12	zlewnia dolnej Warty i dolnej Noteci lower Warta river and lower Noteć river catchment		4423,18	1 380 450	468 890	3,61
13	zlewnia Osobłogi i Straduni Osobłoga river and Stradunia river catchment		1017,20	185 874	89 347	2,11
14	zlewnia dolnej Nysy Kłodzkiej lower Nysa Kłodzka river catchment		1542,70	293 755	148 556	2,20
15	zlewnia dolnej Małej Panwi lower Mała Panew river catchment		1012,90	275 725	182 926	3,15
16	zlewnia Stobrawy i Budkowiczanki Stobrawa river and Budkowiczanka river catchment		1584,90	264 386	170 421	1,93
17	zlewnia Przyodrze W-XI (GL) Przyodrże W-XI catchment		883,44	220 324	151 368	2,88
18	zlewnia Baryczy Barycz river catchment		5543,40	614 498	411 193	1,28
19	zlewnia Drawy Drawa river catchment		3288,56	162 3047	412 592	5,70
20	zlewnia środkowego Bobru middle Bóbr river catchment		3518,90	1 283 894	712 000	4,20
21	GZWP 314 Głogów (Q) MGB 314 Głogów (Q)		347,00	107 930	80 400	3,60
22	GZWP 316** Lubin (Ng) MGB 316** Lubin (Ng)		258,00	27 427	–	1,07
23	GZWP 321 E*** Kąty Wr.–Oława–Brzeg (Ng) – obszar bilansowy MGB 321 E*** Kąty Wr.–Oława–Brzeg (Ng) – balance area		540,00	64 800	–	1,40
24	GZWP 319 Prochowice – Środa Śląska – (struktura Bogdaszowic) MGB 319 Prochowice – Środa Śląska – (Bogdaszowic structure)		127,00	36 900	28 773	3,36

Tab. 1. Wielkość zasobów wód podziemnych badanych obszarów
Table 1. Groundwater resources values in study areas

Numer zgodny z ryc. 1 No. acc. to Fig. 1	Obszar badań Study area	Powierzchnia przyjęta w obliczeniach The area used in the calculations [km ²]	Zasoby / Resources [m ³ /d]		Moduł zasobów odnawialnych M _{odn} Renewable resources module M _{odn} [l/s · km ²]
			Odnawialne Renewable	Dyspozycyjne Disposable	
25	GZWP 322 Oleśnica MGB 322 Oleśnica	262,20	41 887	39 162	1,85
26	GZWP 117 Bytów MGB 117 Bytów	514,00	191 000	140 000	4,30
27	GZWP 105*** Zbiornik międzymorenowy Słupsk MGB 105*** Słupsk intermoraine basin	54,00	5500	3850	1,17
28	GZWP 106*** Dolina kopalna Machowino MGB 106*** Machowino fossil valley	20,00	7800	5500	4,51
29	GZWP 302 Pradolina Barycz – Głogów (W) MGB 302 Barycz – Głogów (W) proglacial valley	496,60	332 296	182 000	7,74
30	GZWP 326 Częstochowa (E) MGB 326 Częstochowa (E)	3172,20	1 267 488	667 000	4,61
31	GZWP 325 Częstochowa (W) MGB 325 Częstochowa (W)	778,90	233 250	156 277	2,33
32	GZWP 317 niecka zewnętrzna sudecka Bolesławiec MGB 317 Outer Sudetes basin Bolesławiec	843,15	327 096	120 000	4,49

Niektóre wartości zasobów wynikają bezpośrednio z modelu, toteż mogą się różnić od ostatecznie zatwierdzonych zasobów zlewni / Some resource values result directly from the model, so they may differ from the finally approved catchment resources.

* wyznaczone metodami hydrologicznymi / determined using hydrological methods.

** na mapie zbiornik w nowych granicach z późniejszej dokumentacji innych wykonawców / on the map, the reservoir has new boundaries based on subsequent documentation from other contractors.

*** zbiorniki niespełniające kryteriów hydrogeologicznych określonych dla GZWP / reservoirs that do not meet the hydrogeological criteria specified for the Main Groundwater Basins.

znaczeniu. Tak było w przypadku GZWP 319 Prochowice – Środa Śląska, który jako dobrze izolowany zbiornik w utworach neogenu spełnia kryteria ochrony, natomiast niewralgiczny obszar stanowi głęboko wcięta dolina kopalna struktury Bogdaszowic. Biorąc pod uwagę potencjał wykorzystania dużych ujęć, złożonych z kilkunastu studni, przy wyznaczaniu obszaru ochronnego GZWP należało uwzględnić tę strukturę z uwagi na łączność hydrauliczną z neogeńskim poziomem użytkowym samego GZWP. Zadanie takie realizowano zgodnie z zaproponowaną wówczas metodyką weryfikacji wyznaczonego obszaru ochronnego GZWP w warunkach funkcjonowania dużego ujęcia wód podziemnych (Gurwin, 2010b). Zasoby dyspozycyjne wyznaczono jako 78% ustalonych zasobów odnawialnych (tab. 1), a następnie skoncentrowano się na obliczeniach służących wyznaczeniu obszaru ochronnego struktury i tym samym zbiornika (Gurwin, 2015).

INNE UWAGI ODNOŚNIE MODELOWANIA REGIONALNYCH SYSTEMÓW WODONOŚNYCH

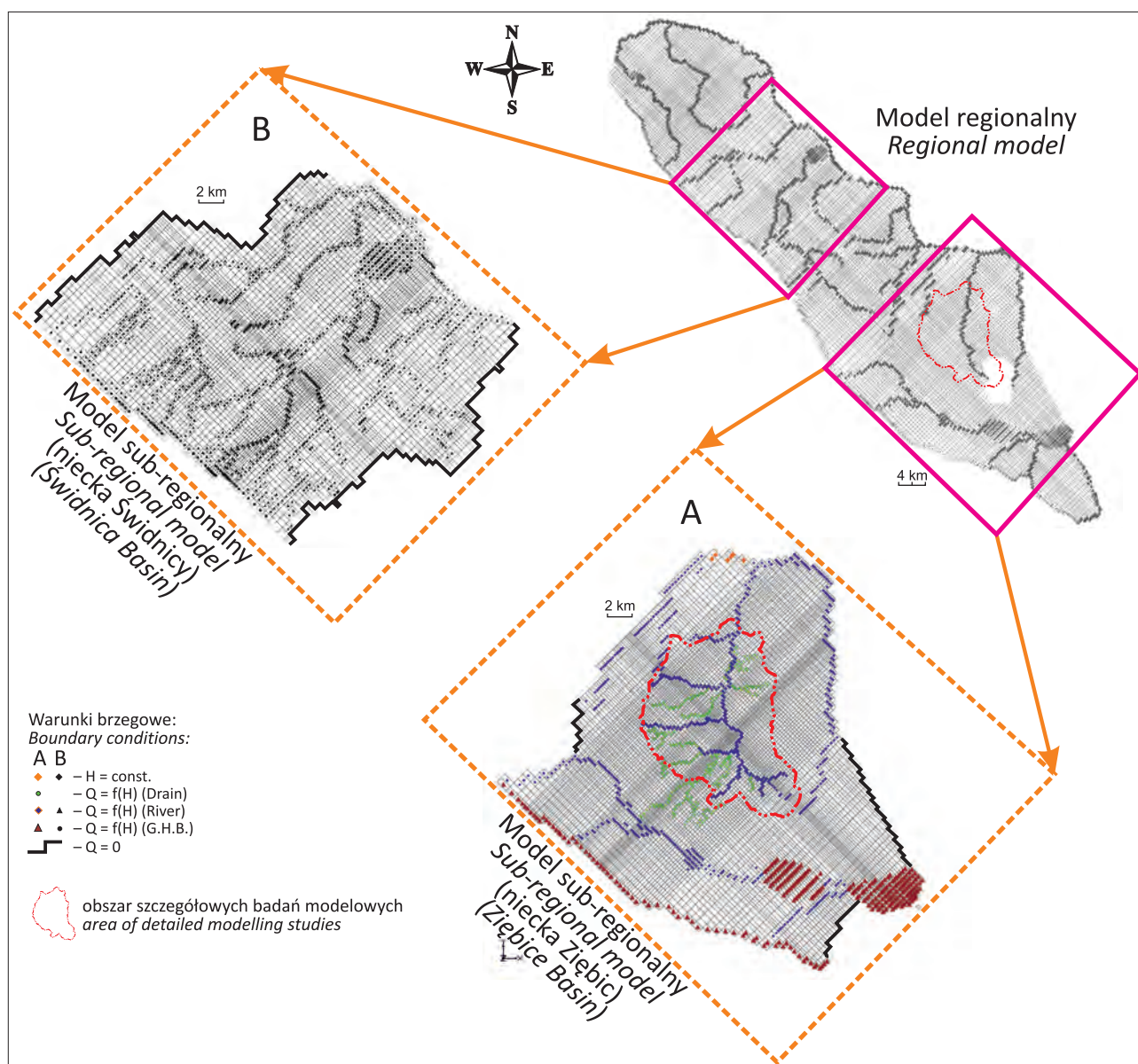
Zasoby wód podziemnych były wyznaczane zgodnie z przyjętą metodyką, dlatego należałoby oczekiwać, że oszacowane wielkości zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych powinny być spójne i wiarygodne. Jednak w niektórych przypadkach można mieć wątpliwości, porównując zasoby wyznaczone dla różnych zbiorników. Przy czym nie da się ich wytłumaczyć różnymi warunkami hydrogeologicznymi, stanem zagospodarowania terenu, wykorzystaniem wód podziemnych czy kryteriami środowiskowymi.

Jako przykład można podać dwa niewielkie GZWP leżące na obszarze Sudetów: GZWP 340 dolina kopalna rzeki Nysa Kłodzka i GZWP 343 dolina rzeki Bóbr (Marciszów), o powierzchni odpowiednio 4,02 i 8,13 km². Wy-

dzielony na mniejszych głębokościach w osadach czwartorzędowych GZWP 340 charakteryzuje się nieco korzystniejszymi warunkami hydrogeologicznymi, przede wszystkim większą przepuszczalnością skał i miąższością poziomu zbiornikowego. Pozycja morfologiczna i zagospodarowanie powierzchni terenu obu zbiorników są zbliżone (ok. 80% stanowią obszary rolnicze). Jednak odwrotnie niż można byłoby oczekiwać, znacznie wyższe zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zostały wyznaczone dla GZWP 343 (23 980,2 m³/d – GZWP nr 343 i 4 120 m³/d – GZWP 340) (Mikołajków, Sadurski, 2017). Moduł zasobów dyspozycyjnych obliczony dla GZWP 343 jest ok. trzy razy wyższy od modułu obliczonego dla GZWP 340.

Inną kwestią wskazującą przynajmniej na dyskusyjność wyznaczonych zasobów wód podziemnych w przypadku niektórych GZWP są obliczone dla nich, budzące wątpliwości, wartości modułów zasobów odnawialnych i dyspozycyjnych. Ponownie jako przykład można podać GZWP 343. Obliczono dla niego moduł zasobów dyspozycyjnych o wartości 34,1 l/s · km² oraz moduł zasobów odnawialnych 85,8 l/s · km². Dla porównania, jedne z najwyższych w Sudetach moduły odpływu podziemnego, wyznaczone dla górskiego obramowania Kotliny Jeleniogórskiej, głównie dla wybranych małych zlewni najwyższych partii Karkonoszy nieznacznie przekraczają 10 l/s · km². Natomiast moduły odpływu całkowitego rzeczno określone dla Karkonoszy wynoszą maksymalnie nieco powyżej 30 l/s · km², a w Kotlinie Kamiennogórskiej, obejmującej częściowo GZWP 343, ok. 10 l/s · km² (Kowalski, 1992).

W związku z rozwojem metod modelowania, w niektórych przypadkach wielkość zasobów dyspozycyjnych przedstawiana w dokumentacjach hydrogeologicznych może być uzależniona od okresu ich ustalania. Przy czym zauważyć



Ryc. 2. Obszary zasobowe wybranych struktur w ramach regionalnego modelu Przedgórze Sudeckie (Gurwin i in., 2010a, zmienione)
Fig. 2. Groundwater resources areas of selected structures in the framework of the regional model of the Sudetic Foreland (Gurwin et al., 2010a, modified)

można zależność, że w starszych dokumentacjach, wykonanych przed 2000 r., zasoby dyspozycyjne zwykle stanowią wyższy procent zasobów odnawialnych. Czasem w tym okresie zasoby odnawialne, mimo wykonanych badań modelowych, przyjmowano jako ostateczne obliczone metodami hydrologicznymi (np. zlewnie Dziwny czy Nysy Łużyckiej – tab. 1). Natomiast zasoby dyspozycyjne były często przyjmowane po ekspercku w wysokości 60–70% zasobów odnawialnych, po przeprowadzeniu analizy zagospodarowania powierzchni terenu, jakości wód podziemnych i możliwości technicznych poboru. Warto tu przytoczyć przykład czwartorzędowego GZWP 322 Oleśnica (tab. 1), który tworzą poziomy międzymorenowy i rynnowy. W 2006 r. zasoby dyspozycyjne oszacowano w wysokości 94% zasobów odnawialnych (Krawczyk i in., 2006). Jednak w tym przypadku na 6-warstwowym modelu 3D szczegółowo odwzorowano również dolinę kopalną, po czym wykonano symulacje optymalizujące eksploatację ujęć do poziomu możliwych do szczytowania zasobów dyspo-

zycyjnych. Obliczenia na poziomie zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych w wysokości 50 tys. m³/d wykazały nadmierne obniżenie zwierciadła. Dlatego poprzez zmiany lokalizacji, rozkładu ujęć i ich wydajności poprawiono te wartości, ustalając ostatecznie zasoby dyspozycyjne na 39,2 tys. m³/d. Wykazano, że wraz z obniżaniem depresji następuje znaczący przyrost zasilania z cieków, który wraz ze wzrostem przesączania zabezpieczy taki poziom eksploatacji.

W późniejszym okresie, gdy powszechnie już wykorzystywano metodykę przedstawioną w poradniku Herbicha i in. (2013), wielkość zasobów dyspozycyjnych w stosunku do odnawialności systemu bywa mocno zróżnicowana, głównie w zależności od regionu hydrogeologicznego i typu piętrowo/poziomych wodonosnych. Często stanowi jedynie 30–40% zasobów odnawialnych, jak np. w zlewni dolnej Warty po Obrę i zlewni dolnej Noteci 34% (Niedworok i in., 2018) (tab. 1). Niekiedy jest to zakres 50–60%, jak np. w przypadku zlewni Obrzyca, zlewni

Osobłogi, zlewni dolnej Nysy, zlewni środkowego Bobru i Słupi (Marszałek i in., 2002). Zdarzają się jednak wartości w zakresie 60–70%, jak np. obliczone dla dolnej części zlewni Małej Panwi, zlewni Stobrawy i Budkowiczanki, zlewni Baryczy, czy też GZWP nr 105, 105, 117 (Biniak i in., 2002a, b, c). Są więc na takim poziomie, jak te wyznaczane dawniej metodami eksperckimi.

Doświadczenia autorów pozwalają stwierdzić, że zasoby dyspozycyjne oszacowane przed 2000 r. mogłyby w niektórych przypadkach znacznie się różnić, gdyby zostały obliczone zgodnie z obecnie zalecaną metodyką. Podobnie nie wszystkie zasoby dyspozycyjne wyznaczone w późniejszym okresie można przyjmować bezkrytycznie. Zapewne w niektórych przypadkach zostały one niedoszacowane, co mogło wynikać głównie z uproszczonego podejścia do metodyki ich wyznaczania. Objawiało się to symulowaniem na modelu ujęć wód podziemnych wyłącznie o dużej wydajności w obszarach o najkorzystniejszych warunkach hydrogeologicznych. W takim podejściu część zasobów dyspozycyjnych może być pominięta w szacunkach. W przypadku takich zbiorników zdarza się, że rzeczywisty pobór wód podziemnych nawet przewyższa wielkość wyznaczonych zasobów dyspozycyjnych. Należy jednak pamiętać, że oprócz kryteriów hydrodynamicznych ważny czynnik stanowią ograniczenia środowiskowe, głównie te związane z obszarami podmokłymi zależnymi od wód podziemnych. Dlatego wyznaczenie zasobów dyspozycyjnych jest złożonym procesem i zasadniczo nie da się wprost porównywać wyników dla jednego obszaru z innym, chyba że zbiornik zawiera się w obrębie systemu wodonośnego wydzielonego dla obszaru bilansowego, jak to już wcześniej opisano dla GZWP 317. I właśnie w tym zbiorniku, z uwagi na jego charakter i ustalone ograniczenia zasoby dyspozycyjne zostały bardziej zredukowane.

Zdarza się, że na sposób dokumentowania zasobów wód podziemnych potrafią wpływać czynniki pozamerytoryczne. Autorzy zetknęli się z taką sytuacją w trakcie wykonywania dokumentacji hydrogeologicznej zlewni Dziwny i Przymorza. Na etapie zatwierdzania dokumentacji autorzy zostali zmuszeni do zmiany granic dokumentowanego obszaru. Przyczyna okazała się prozaiczna. Równoległe wykonywana była dokumentacja zlewni Regi, która przy powierzchni 2,7 tys. km² charakteryzuje się niewielką szerokością w części ujściowej. Dokumentujący, mając problemy z symulacją odpływu ze zlewni do Morza Bałtyckiego, poszerzyli ten fragment zlewni, włączając do niego m.in. część zlewni Dziwny i Przymorza. Dokumentacja zlewni Regi została zatwierdzona nieco wcześniej, co wymusiło wspomniane zmiany.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wykonane w latach 1990–2024 liczne opracowania, mające na celu ocenę regionalnych zasobów wód podziemnych, wskazują na znaczny postęp w zakresie wykorzystywanych metod, zwłaszcza technik geoinformacyjnych i numerycznego modelowania filtracji. Często budowa zasadnego modelu zależy od stopnia złożoności warunków hydrostrukturalnych i tym samym od regionu, w którym takie prace przewidziano. Niemniej jednak doświadczenia autorów wskazują, że oceny zasobowe powinny się opierać na przestrzennym wielowarstwowym modelu numerycz-

nym, a czasem, zwłaszcza w obszarach górskich, skutecznie można aplikować rozwiązania metodami hydrologicznymi.

Analiza wielkości zasobów wód podziemnych udokumentowanych dla różnych zbiorników wskazuje na konieczność ich weryfikacji, szczególnie w przypadkach, gdzie ich wartości mogą budzić zastrzeżenia.

Warto czynić starania, aby wykonane modele o charakterze regionalnym mogły służyć w kolejnych latach innym lub też zbliżonym celom niż pierwotnie założono, co niestety rzadko ma miejsce. Dlatego bardzo zalecanym podejściem jest realizacja najpierw modelu obejmującego cały system wodonośny, a następnie, w zależności od potrzeb, uszczegółowienie i reinterpretacja wyników na modelu lokalnym wydzielonej struktury wodonośnej czy też obszaru zasobowego wybranego ujęcia.

Niezależnie od napotkanych problemów przy realizacji regionalnych badań hydrogeologicznych, niewątpliwie podstawową kwestią jest zgromadzenie odpowiedniego zasobu danych. Również w tym zakresie w ostatnich latach doszło do pozytywnych zmian, zwłaszcza mając na uwadze jakość sieci obserwacyjnych, a nawet możliwości budowy niewielkim kosztem stacji automatycznego monitoringu w ramach pojedynczego projektu.

Autorzy pragną podziękować Recenzentom za wnikliwą ocenę pracy, co niewątpliwie przyczyniło się do poprawy jej jakości.

LITERATURA

- BINIĄK G., CHUDY K., MARSZAŁEK H., WAŚIK M. 2002a – Dokumentacja hydrogeologiczna zbiornika wód podziemnych Bytów (GZWP nr 117). Arcadis Ekokonrem Sp. z o.o., Wrocław.
- BINIĄK G., CHUDY K., MARSZAŁEK H., WAŚIK M. 2002b – Dokumentacja hydrogeologiczna zbiornika „Dolina kopalna Machowino” (GZWP nr 106). Arcadis Ekokonrem Sp. z o.o., Wrocław.
- BINIĄK G., CHUDY K., MARSZAŁEK H., WAŚIK M. 2002c – Dokumentacja hydrogeologiczna zbiornika wód podziemnych Słupsk (GZWP nr 105). Arcadis Ekokonrem Sp. z o.o., Wrocław.
- BOCHEŃSKA T., GURWIN J., WAŚIK M. 1994 – Hydrogeologia zlewni górnej Kaczawy. Acta Universitatis Wratislaviensis, 1684, Prace Geologiczno-Mineralogiczne, 47.
- GURWIN J. 1997 – Wykorzystanie modelowania geostatystycznego w przygotowaniu mapy hydroizohips przypowierzchniowego poziomu wodonośnego dla modelowych badań regionalnych. [W:] Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej – Modelowanie matematyczne w hydrogeologii i ochronie środowiska, Częstochowa: 56–63.
- GURWIN J. 2001 – The methods of regional to local scale model conversion placing emphasis on multi-layered aquifer systems. Współczesne problemy hydrogeologii, t. 10/2, Krzyżowa k/Świdnicy, Wydawnictwo Sudety, Wrocław: 333–340.
- GURWIN J. 2004 – Problem kalibracji i analizy niepewności numerycznego modelu filtracji. [W:] Gurwin J., Staško S. (red.), Modelowanie przepływu wód podziemnych. Acta Universitatis Wratislaviensis, 2729: 47–57.
- GURWIN J. 2010a – Ocena odnawialności struktur wodonośnych bloku przedsudeckiego. Integracja danych monitoringowych i GIS/RS z numerycznymi modelami filtracji. Acta Universitatis Wratislaviensis, Hydrogeologia, 3258.
- GURWIN J. 2010b – Wskazania metodyczne dla weryfikacji wyznaczonego obszaru ochronnego GZWP (w dokumentacjach przewidzianych do reambulacji) w warunkach funkcjonowania dużego ujęcia wód podziemnych, z wykorzystaniem modelu matematycznego ujęcia. Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa.
- GURWIN J. 2015 – Integration of numerical models with geoinformatic techniques in delimitation of protection zone of complex multi-aquifer system of MGB 319, SW Poland. Geologos, 21 (3): 169–177.
- GURWIN J. 2016 – Problematyka wyznaczania obszarów ochronnych w złożonych warunkach hydrostrukturalnych kredowego zbiornika wód podziemnych. [W:] Witeczak S., Żurek A. (red.), Praktyczne metody modelowania przepływu wód podziemnych. Wydawnictwo Naukowe AGH, Kraków: 33–44.

- GURWIN J. 2020 – Rola numerycznego modelowania filtracji w szacowaniu zasobów wód podziemnych w złożonych warunkach hydrostrukturalnych. [W:] Kałuża T., Radecki-Pawlik A., Wiatkowski M., Hämerling M. (red.), Modelowanie procesów hydrologicznych – Zagadnienia modelowania w sektorze gospodarki wodnej. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 39–54.
- GURWIN J., SERAFIN R. 2008 – Budowa przestrzennych modeli koncepcyjnych GZWP w systemach GIS zintegrowanych z MODFLOW. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 431: 49–59.
- GURWIN J., SERAFIN R. 2010 – Zastosowanie numerycznego modelu filtracji i systemów geoinformatycznych GIS jako narzędzi wspomagających wyznaczenie stref ochronnych GZWP. , 442: 69–78.
- GURWIN J., STĄSKO S. (red.) 2004 – Hydrogeologia. Modelowanie przepływu wód podziemnych. Acta Universitatis Wratislaviensis, 2729 (312).
- GURWIN J., WCISŁO M. 2018 – Hydrogeologiczny model regionalny jako stałe narzędzie w rozwiązywaniu różnoskalowych zadań – doświadczenia z rejonu LGOM. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, Hydrogeologia, 471: 33–40.
- GURWIN J., WĄSIK M. 1997 – Assigning parameter values for groundwater flow model in fractured media of the Ścinawka watershed. Acta Universitatis Wratislaviensis, Hydrogeology, 2052: 162–170.
- GURWIN J., LIMISIEWICZ P., POPRAWSKI L. 1993 – Mapa komputerowa – narzędzie w gospodarce wodnej. Współczesne problemy hydrogeologii, t. 6, Wrocław: 397–400.
- HERBICH P., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K., RODZICH A. 2013 – Metodyka określania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach bilansowych z uwzględnieniem potrzeb jednolitych bilansów wodnogospodarczych. Poradnik metodyczny. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- HÖLTING B. 1980 – Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. Enke Verlag, Stuttgart.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.) 1990 – Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony 1 : 500 000. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.
- KOŚLACZ R., GURWIN J., KOZIOLEK J., OTRĘBSKI A., JANISZEWSKI R., ROBAK A. 2018 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych obszaru bilansowego Zlewni środkowego Bobru (bez zlewni Szprotawy) i polskiej części zlewni Izery. Integrated Management Services sp. z o.o., Arcadis sp. z o.o., Wrocław.
- KOWALSKI S. 1992 – Czynniki naturalne warunkujące występowanie wód podziemnych w regionie sudeckim. Acta Universitatis Wratislaviensis, 1324, Prace Geologiczno-Mineralogiczne, 25.
- KRAWCZYK J., GURWIN J., JEDNORÓG A., SERAFIN R., ŚLIWKA R. 2006 – Dokumentacja określająca warunki hydrogeologiczne dla ustalenia obszaru ochronnego zbiornika wód podziemnych Oleśnica (GZWP nr 322), lokalizacja region wrocławski. Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa, nr inw. 5838/2007.
- MACIOSZCZYK T. 1993 – Oczekiwania a praktyka modelowania bilansów i zasobów wód podziemnych. Referat z Komisji Dok. Hydrogeol.
- MACIOSZCZYK T., KAZIMIERSKI B., MITREGA J. 1996 – Ustalanie dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych – poradnik metodyczny. Wyd. MŚZNiL, Warszawa.
- MARGAT J. 1976 – Analyse des systemes aquiferes et evaluation des ressources en eau souterraine. Rapp. BRGM 76 GN 532 AME, Orleans.
- MARSZAŁEK H. 1996 – Hydrogeologia górnej części zlewni Kamiennej w Sudetach Zachodnich. Acta Universitatis Wratislaviensis, 1881, Prace Geologiczno-Mineralogiczne, 54.
- MARSZAŁEK H. 2007 – Kształtowanie zasobów wód podziemnych w rejonie Kotliny Jeleniogórskiej. Acta Universitatis Wratislaviensis, 2993, Hydrogeologia.
- MARSZAŁEK H., WĄSIK M. 2012 – Ocena możliwości ujęcia czwartorzędowego piętra wodonośnego w rejonie Kotliny Jeleniogórskiej. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 451: 169–176.
- MARSZAŁEK H., WĄSIK M., CHUDY K. 2002 – Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych zlewni Słupi i Przymorza. ARCADIS Ekokonrem Sp. z o.o., Wrocław.
- MIKOŁAJKÓW J., SADURSKI A. (red.) 2017 – Informator PSH. Główne Zbiorniki Wód Podziemnych w Polsce. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- NIEDWOROK A., KOŚLACZ R., KOZIOLEK J., WĄSIK M., ŚLIWKA R., WYSZOWSKA I., OTRĘBSKI A., KUDEŁACIK J., URBANIAK M., MICHALAK J. 2018 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych obszaru bilansowego: Zlewnia Dolnej Warty po Obrę i zlewnia Dolnej Noteci. Integrated Management Services Sp. z o.o., Arcadis Sp. z o.o., Wrocław.
- PLECZYŃSKI J., PRZYBYŁEK J. 1974 – Problematyka dokumentowania zasobów wód podziemnych w dolinach rzecznych (Studium metodyczne). Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- SZYMANO J. 1980 – Koncepcje systemu wodonośnego. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- USTAWA, 2011 – Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. z 2011 r. nr 163 poz. 981, t.j.
- ZALESKA M., ŚLIWKA R., KUDEŁACIK J., HAŁADAJ J. 1999 – Dokumentacja hydrogeologiczna regionu sudeckiego – zlewnie górnych biegów Nysy Łużyckiej i Bobru wraz z oceną zasobów poziomów wodonośnych. Arcadis Ekokonrem, Wrocław (mpis).

Praca wpłynęła do redakcji 15.02.2025 r.
Akceptowano do druku 24.03.2025 r.