

Ustalanie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach bilansowych przy użyciu Generators Poboru Wirtualnego – mechanizm i wyniki

Lech Śmietański¹, Elżbieta Przytuła¹, Sławomir Filar¹, Aneta Starościak¹

The assessment of the available groundwater resources in the catchment areas using the Virtual Wells Generator – mechanism and results. Prz. Geol., 65: 1159–1162.

Abstract. The available groundwater resources assessment in Poland is now the biggest hydrogeological project run by the Polish Hydrogeological Survey with the use of the numerical modelling based on the Modflow groundwater flow simulator standard. All the presently used Modflow-based graphic environments are the tools designed to simulate the wells hydrodynamic impact but not the groundwater resources on the regional scale. This paper presents the tool generating data allowing for the simulation of the groundwater regional withdrawal leading to the assessment of the groundwater resources in the area of a given catchment. This tool called the Virtual Wells Generator is based on the constant volume transformation concept and is compatible with one of the popular groundwater flow modelling environments. The results of the groundwater resources assessment calculations with the use of this generator illustrate the method.

Keywords: groundwater resources, numerical model, catchment, constant volume transformation, Virtual Wells Generator

Ustalanie dyspozycyjnych zasobów wód podziemnych w obszarach bilansowych to największe aktualnie przedsięwzięcie hydrogeologiczne realizowane w Polsce przez państwową służbę hydrogeologiczną (PSH). Narzędziem, które służy do wykonania tego przedsięwzięcia, jest modelowanie matematyczne przepływu wód podziemnych w tych obszarach.

Stosowane w kraju do ilościowej oceny zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych środowiska graficzne oparte na symulatorze Modflow nie są narzędziami zaprojektowanymi do ustalania regionalnych zasobów wód podziemnych, a jedynie do modelowania pracy ujęć wód podziemnych i tym samym do oceny ich zasobów eksploatacyjnych. Tymczasem zasoby dyspozycyjne są inną kategorią zasobów i są ustalane dla określonych obszarów, jakimi są obszary bilansowe, a nie dla pojedynczych ujęć, dla których są ustalane zasoby eksploatacyjne.

Autorzy dokumentacji zasobowych stosują symulator Modflow do ilościowej oceny regionalnych zasobów wód podziemnych, jakimi są zasoby dyspozycyjne, starając się odwzorować pobór tych zasobów przez „ręczne” wprowadzanie do modelu ujęć wirtualnych w granicach obszaru bilansowego.

Dla efektywnego operowania na modelu matematycznym obszarowym poborem wirtualnym w państwowej służbie hydrogeologicznej opracowano Generator Poboru Wirtualnego nazywany w dalszej części artykułu Generatorem. Kod źródłowy Generators został napisany w języku Fortran 95 przez jednego z autorów artykułu.

Celem artykułu jest przedstawienie mechanizmu oraz wyników działania tego narzędzia w postaci ustalonych zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych dla dwóch obszarów bilansowych.

PODSTAWA TEORETYCZNA GENERATORA

Generator jest oparty na teorii przekształcenia stałoobjętościowego (Śmietański, 2010; Śmietański i in., 2014). W sensie matematycznym przekształcenie to zmienia daną powierzchnię M opisaną w zdefiniowanym obszarze równaniem $z = M(x, y)$ na nową powierzchnię H

o równaniu $z = H(x, y)$ w ten sposób, że objętość V_M bryły ograniczonej powierzchnią M równa się objętości V_H bryły ograniczonej powierzchnią H . Objętość jest więc niezmiennikiem tego przekształcenia. Z zachowania objętości wynika, że średnia wartość funkcji $z = M(x, y)$ w obszarze równa się średniej wartości funkcji $z = H(x, y)$ w tym obszarze, czyli $M_{sr} = H_{sr}$.

Sterowanie zmianą kształtu powierzchni jest realizowane przy użyciu czynników wagowych W_i , mających postać funkcyjną $z = W_i(x, y)$, gdzie i to indeks i -tego czynnika wagowego. Ogólną postać przekształcenia stałoobjętościowego przedstawia równanie [1] (Śmietański, 2010).

$$H(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^N W_i(x, y) M(x, y)}{\sum_{i=1}^N W_i(x, y)} \quad [1]$$

Całkując w obszarze obie strony równania [1], otrzymuje się równanie [2]:

$$H(x, y) = M(x, y) \quad [2]$$

czyli $V_H = V_M$.

Powierzchnie M i H reprezentują tu rozkład poboru wirtualnego wód podziemnych w określonym obszarze. Rozkład ten jest sterowany zdefiniowanymi czynnikami wagowymi W_i .

ZARYS PROCEDURY USTALANIA ZASOBÓW DYSPOZYCYJNYCH WÓD PODZIEMNYCH PRZY UŻYCIU GENERATORA

Ustalanie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarze bilansowym z zastosowaniem Generators odbywa się na bazie modelu przepływu wód podziemnych, obejmującego ten obszar, zbudowanego w standardzie

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-950 Warszawa; lech.smietanski@pgi.gov.pl.

Modflow 96. Budowę modeli w tym standardzie umożliwia popularne wśród modelujących hydrogeologów środowisko graficzne Groundwater Vistas.

Procedura ustalania zasobów dyspozycyjnych polega na określeniu metodą kolejnych przybliżeń części zasobów odnawialnych danego obszaru przeznaczonej na rezerwę zasobów dyspozycyjnych, następnie na wyznaczeniu proporcji podziału rezerwy zasobów dyspozycyjnych na poszczególne warstwy modelu oraz na określeniu rozkładu tej rezerwy w poszczególnych warstwach modelu w oparciu o zdefiniowane czynniki wagowe. Generator oblicza dla każdej warstwy bieżący wariant rozkładu poboru wirtualnego, który następnie po wczytaniu do środowiska graficznego modelu pozwala na symulację tego poboru. Wynik symulacji umożliwia stwierdzenie w jakim stopniu są spełnione kryteria przyjęte dla ustalenia zasobów dyspozycyjnych. Proces ustalania rezerwy zasobów dyspozycyjnych kończy się po określeniu maksymalnej wielkości poboru wirtualnego spełniającej te kryteria. Tak ustalona wielkość poboru wirtualnego ma sens rezerwy zasobów dyspozycyjnych. Proces ten przypomina więc kalibrację samego modelu. Suma aktualnego poboru i rezerwy jest wielkością zasobów dyspozycyjnych.

Danymi wejściowymi dla Generatora są pliki utworzone przez środowisko graficzne Groundwater Vistas i składające się na model przepływu wód podziemnych. Są to pliki o następujących rozszerzeniach:

- BAS – plik definiujący rozdzielczość modelu, jego kształt, bloki aktywne i nieaktywne, bloki z ewentualnym warunkiem I rodzaju oraz startowe wartości wysokości hydraulicznej;
- HDS – plik z obliczonymi przez skalibrowany model wartościami wysokości hydraulicznej;
- RCH – plik z efektywnym zasilaniem infiltracyjnym utożsamianym z zasobami odnawialnymi (ZO);
- WEL – plik z aktualnym poborem wód podziemnych.

Danymi wejściowymi są także czynniki wagowe W_i , sterujące rozkładem poboru wirtualnego w przestrzeni domeny modelu. Czynniki wagowe są definiowane w środowisku graficznym programu Groundwater Vistas i zapisane przez ten program do plików z rozszerzeniem BCF. Czynnikiem wagowym jest rozkład wartości przewodności hydraulicznej lub rozkład obszarów chronionych w granicach obszaru bilansowego z wartością wagi 0, przypisaną do obszaru chronionego i wartością wagi 1 poza tym obszarem.

Do zbioru danych wejściowych dla Generatora należy bieżąca wartość mnożnika m określającego wielkość poboru wirtualnego (PW) w stosunku do zasobów odnawialnych (ZO) obszaru bilansowego wg zależności [3].

$$PW = m \cdot ZO \quad [3]$$

gdzie:

0 m 1

W zbiorze danych wejściowych jest także bieżąca proporcja podziału poboru wirtualnego (PW) pomiędzy warstwy modelu wg wzoru [4]. W zapisie tym indeksy I, II, III, ..., N oznaczają numery warstw modelu.

$$P_I : P_{II} : P_{III} : \dots : P_N \quad [4]$$

Po zakończeniu obliczeń Generator zapisuje bieżący rozkład poboru wirtualnego w poszczególnych warstwach modelu w formacie umożliwiającym symulację tego poboru w środowisku Groundwater Vistas.

PZYKŁADY USTALENIA ZASOBÓW DYSPOZYCYJNYCH WÓD PODZIEMNYCH W OBSZARACH BILANSOWYCH PRZY UŻYCIU GENERATORA

Poniżej przedstawiono wyniki zastosowania Generatora do ustalenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych na przykładzie dwóch obszarów bilansowych (ryc. 1):

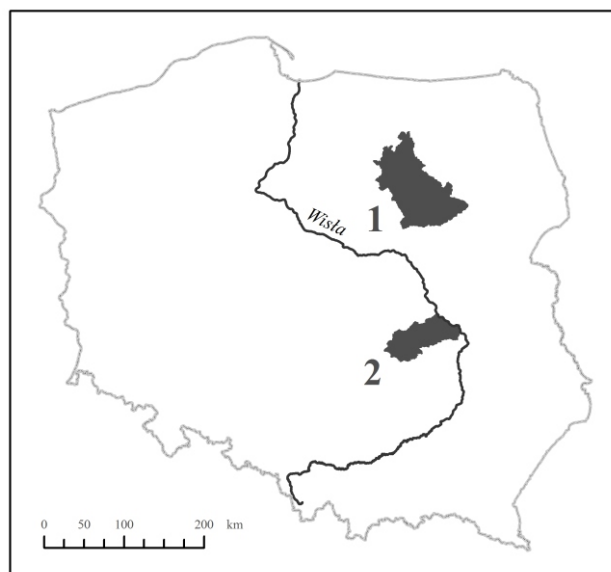
1. Zlewnia Orzyca, Omulwi i Orza,
2. Zlewnia Radomki i Zagożdżonki.

Zasoby dyspozycyjne dla tych obszarów zostały ustalone w dokumentacjach hydrogeologicznych wykonanych przez przedsiębiorstwa geologiczne. Materiały te zostały przyjęte przez Komisję Dokumentacji Hydrogeologicznych. Zdefiniowane w nich kryteria dla ograniczenia środowiskowych skutków poboru zasobów dyspozycyjnych to:

- depresja regionalna w obrębie obszarów chronionych zależnych od wód podziemnych nie większa niż dopuszczalna dla tych obszarów wartość obniżenia zwierciadła wody podziemnej;
- zachowanie przepływu nienaruszalnego w ciekach;
- niedopuszczenie do nadmiernej zmiany struktury bilansu przepływu wód podziemnych;
- zapewnienie niezakłóconej pracy istniejącym ujęciom.

Przykład 1: Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Orzyca, Omulwi i Orza

Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Orzyca, Omulwi i Orza została opracowana przez Hydroconsult Sp. z o.o. (Sobolewska i in., 2016) (ryc. 1).



Ryc. 1. Położenie przykładowych obszarów bilansowych: 1 – zlewnia Orzyca, Omulew i Orz, 2 – zlewnia Radomki i Zagożdżonki

Fig. 1. Location of the example areas: 1 – the Orzyc, Omulew and Orz catchment, 2 – the Radomka and Zagożdżonka catchment

Tab. 1. Litostratygrafia warstw odwzorowanych na modelu
Table 1. The lithostratigraphy of the model layers

Nr warstwy Layer No.	Litostratygrafia Lithostratigraphy
I	piaski drobno- i średnioziarniste zlodowacenia środkowopolskiego i północnopolskiego <i>fine- and medium-grained sands of the Middle and North Polish glaciations</i>
II	piaski różnoziarniste z domieszką żwirów i otoczków zlodowacenia środkowopolskiego oraz piaski drobno i średnioziarniste z domieszką mułków interglacjału mazowieckiego <i>various grained sands with gravels and pebbles of the Middle Polish Glaciation and fine- and medium-grained sands with mud of the Mazovian Interglacial</i>
III	piaski różnoziarniste poprzedzielane mułkami i iłami zlodowacenia południowopolskiego <i>various grained sands interlayered with mud and clays of the South Polish Glaciation</i>
IV	piaski pylaste i drobnoziarniste miocenu <i>Miocene silt and fine sands</i> piaski pylaste i drobnoziarniste oligocenu <i>Oligocene silt and fine sands</i>

Tab. 2. Zasoby odnawialne, rezerwa zasobów, pobór aktualny i zasoby dyspozycyjne wód podziemnych
Table 2. The renewable resources, resources reserve, current withdrawal and available groundwater resources

	Zasoby odnawialne Renewable resources [m ³ /d]	Rezerwa zasobów Resources reserve [m ³ /d]	Pobór aktualny Current withdrawal [m ³ /d]	Zasoby dyspozycyjne Available resources [m ³ /d]
Obszar bilansowy Catchment area	1 646 156,5	576 154,8	56 512,0	632 666,8
Obszar bilansowy – warstwa I modelu Catchment area – model layer I		28 807,7	5 820,8	34 628,6
Obszar bilansowy – warstwa II modelu Catchment area – model layer II		334 169,8	30 352,0	364 521,8
Obszar bilansowy – warstwa III modelu Catchment area – model layer III		207 415,7	19 723,8	227 139,5
Obszar bilansowy – warstwa IV modelu Catchment area – model layer IV		5 761,5	615,3	6 376,9

Piętra wodonośne objęte ustalaniem zasobów to piętro czwartorzędowe i neogeńsko-paleogeńskie. Obszar dokumentowany wynosi 6571,1 km².

Teren objęty badaniami modelowymi ma powierzchnię 11 391,5 km². W procesie schematyzacji wydzielono cztery warstwy modelowe. W tabeli 1 przedstawiono litostratygię warstw wodonośnych odwzorowanych na modelu (Sobolewska i in., 2016).

Warstwy rozdzielające słabo przepuszczalne I/II, II/III i III/IV uwzględniono na modelu w postaci międzywarstwowej przewodności pionowej. Tworzą je czwartorzędowe gliny zwałowe, ropy i mułki oraz neogeńskie ropy, mułki i pyły.

W procesie ustalania rezerwy zasobów dyspozycyjnych określono wartość mnożnika m na $m = 0,35$. Tym samym rezerwę zasobów ustalono na 35% zasobów odnawialnych. Proporcję podziału rezerwy pomiędzy warstwy modelu określono na $P_I : P_{II} : P_{III} : P_{IV} = 5 : 58 : 36 : 1$. Do obliczenia w poszczególnych warstwach modelu, przy użyciu Generatora, wielkości i rozkładu rezerwy zasobów zdefiniowano pięć czynników wagowych. Wynik obliczeń wielkości zasobów przedstawiono w tabeli 2 (Sobolewska i in., 2016).

Z zamieszczonych w niej rezultatów obliczeń wynika, że stopień wykorzystania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarze bilansowym zlewni Orzycy, Omulwi i Orza wynosi 8,9%. Procentowy podział rezerwy zasobów dyspozycyjnych pomiędzy warstwy modelu wynosi: warstwa I – 5%, II – 58%, III – 36%, IV – 1%.

Tab. 3. Litologia i wiek utworów tworzących warstwy modelu
Table 3. The lithology and age of sediments making the model layers

Nr warstwy Layer No.	Litostratygrafia Lithostratigraphy
I	piaski czwartorzędowe na wysoczyznach i w dolinach rzecznych <i>Quaternary sands on the uplands and in river valleys</i> piaskowce jury <i>Jurassic sandstones</i>
II	gliny i ropy czwartorzędowe <i>Quaternary tills and clays</i> mułki i ropy neogenu i paleogenu <i>Neogene and Paleogene muds and clays</i> piaskowce i wapienie margliste jury <i>Jurassic sandstones and lime marls</i>
III	piaski czwartorzędowe dolin kopalnych <i>Quaternary sands of the buried valleys</i> piaski i pyły neogenu i paleogenu <i>Paleogene sands and silts</i> margle kredy <i>Cretaceous marls</i> piaskowce i wapienie margliste jury <i>Jurassic sandstones and marl limestones</i>
IV	margle kredy <i>Cretaceous marls</i> piaskowce i wapienie margliste jury <i>Jurassic sandstones and marl limestones</i>
V	margle kredy <i>Cretaceous marls</i> piaskowce i wapienie margliste jury <i>Jurassic sandstones and marl limestones</i>

Tab. 4. Zasoby odnawialne, rezerwa zasobów, pobór aktualny i zasoby dyspozycyjne wód podziemnych
Table 4. The renewable resources, resources reserve, current withdrawal and available groundwater resources

	Zasoby odnawialne Renewable resources [m ³ /d]	Rezerwa zasobów Resources reserve [m ³ /d]	Pobór aktualny Current withdrawal [m ³ /d]	Zasoby dyspozycyjne Available resources [m ³ /d]
Obszar bilansowy Catchment area	571 750,2	308 745,1	68 764,0	377 509,1
Obszar bilansowy – warstwa I modelu Catchment area – model layer I		44 106,4	3 242,8	47 349,2
Obszar bilansowy – warstwa II modelu Catchment area – model layer II		0,0	88,0	88,0
Obszar bilansowy – warstwa III modelu Catchment area – model layer III		88 212,9	18 813,7	107 026,6
Obszar bilansowy – warstwa IV modelu Catchment area – model layer IV		0,0	363,4	363,4
Obszar bilansowy – warstwa V modelu Catchment area – model layer V		176 425,8	46 256,1	222 681,9

Przykład 2: Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Radomki i zlewni Zagożdżonki

Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Radomki ze zlewnią Zagożdżonki została opracowana przez konsorcjum firm: Przedsiębiorstwo Geologiczne Polgeol S.A. i Hydroeko – Biuro Poszukiwań i Ochrony Wód Andrzej Rodzoch (Rodzoch i in., 2016) (ryc. 1).

Piętra wodonośne objęte ustaleniem zasobów to piętro czwartorzędowe, neogeńsko-paleogeńskie, kredowe i jurajskie. Obszar dokumentowany wynosi 2763,2 km², natomiast objęty badaniami modelowymi 3329,7 km². W procesie schematyzacji wydzielono pięć warstw modelowych. W tabeli 3 przedstawiono litostratygrafię utworów tworzących warstwy modelu (Rodzoch i in., 2016).

W procesie ustalania rezerwy zasobów dyspozycyjnych określono wartość mnożnika $m = 0,54$. Tym samym rezerwę zasobów ustalono na 54% zasobów odnawialnych. Proporcję podziału rezerwy pomiędzy warstwy modelu określono na $P_I : P_{II} : P_{III} : P_{IV} : P_V = 1 : 0 : 2 : 0 : 4$. Warstwy II i IV zostały tu wyłączone z alokacji rezerwy zasobów, gdyż tworzą je utwory słabo przepuszczalne. Dla obliczenia w poszczególnych warstwach modelu, przy użyciu Generatora, wielkości i rozkładu rezerwy zasobów zdefiniowano sześć czynników wagowych. Wynik obliczeń wielkości zasobów przedstawia tabela 4 (Rodzoch i in., 2016). Z zamieszczonych w niej rezultatów obliczeń wynika, że stopień wykorzystania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarze bilansowym zlewni Radomki i Zagożdżonki wynosi 18,2%. Procentowy podział rezerwy zasobów dyspozycyjnych pomiędzy warstwy modelu wynosi: warstwa I – 14,3%, II – 0%, III – 28,6%, IV – 0%, V – 57,1%.

PODSUMOWANIE

Opracowany w państwowej służbie hydrogeologicznej Generator Poboru Wirtualnego został w praktyce zastoso-

wany przez przedsiębiorstwa geologiczne do ustalenia zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w obszarach bilansowych w ramach sporządzanych przez te przedsiębiorstwa dokumentacji hydrogeologicznych.

Warunkiem koniecznym dla zastosowania tego narzędzia jest uprzednie opracowanie modelu matematycznego przepływu wód podziemnych obejmującego obszar bilansowy dla którego są ustalane zasoby dyspozycyjne wód podziemnych.

W procesie ustalania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych przy użyciu Generatora użytkownik operuje na modelu obszarowym poborem wirtualnym, którego rozkład jest obliczany na podstawie teorii przekształcenia stałoobjętościowego.

Autorzy dziękują Prof. dr hab. A. Sadurskiemu za wnikliwą recenzję i cenne uwagi uwzględnione w treści artykułu.

LITERATURA

- RODZOCH A., MUTER K., MANUSZAK M., URSZULAK M., PAZIO-URBANOWICZ K., JELENIEWICZ G., MIAZ D., KOZERA M., JANIK A., KOPACZ M., MESZCZYŃSKI J., SZCZERBICKA M., KĘDZIERAWSKA A., WOŚ E., OŻGA A. 2016 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Radomki ze zlewnią Zagożdżonki. Arch. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- SOBOLEWSKA A., NOWAKOWSKI C., HAJDAS M., TRACZYK T., NOWICKI K., WĘGRZYN A., WOŹNIAK M., ŻEREBIEC-CHMIELEWSKA A., GRZEBULSKA B., KURKIEWICZ M., SIERPIŃSKI D. 2016 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Orzyca, Omulwi i Orza. Arch. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ŚMIETAŃSKI L. 2010 – The quantitative evaluation of the catchment available groundwater resources – the case study. Biul. Państw. Inst. Geol., 441: 183–192.
- ŚMIETAŃSKI L., DĄBROWKI S., RYNARZEWSKI W., MATUSIAK M. 2014 – Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych obszaru GZWP nr 151 w świetle badań modelowych. [W:] Krawiec A., Jamorska I. (red.), Modele matematyczne w hydrogeologii. Konf. Modelowanie przepływu wód podziemnych. Wyd. Nauk. UMK. Toruń.