

## OCENA HYDROGEOCHEMICZNEGO WSPÓŁDZIAŁANIA WÓD PODZIEMNYCH RYNNY BRWINOWSKIEJ I NIECKI MAZOWIECKIEJ NA PODSTAWIE MODELOWANIA DRÓG REAKCJI

### EVALUATION OF THE HYDROGEOCHEMICAL INTERACTION OF GROUNDWATER FROM THE BRWINÓW BURIED VALLEY AND THE MAZOVIAN BASIN, BASED ON THE CHEMICAL REACTION-PATH MODELLING METHOD

KATARZYNA SAWICKA<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Wyniki badań i analiz (hydrodynamicznych, hydrogeochemicznych i izotopowych) przeprowadzonych w latach 2004–2007 w obrębie rynny brwinowskiej pozwoliły na zidentyfikowanie obszarów, w których pełni ona rolę zasilającą w stosunku do niżej leżących oligoceńskich utworów wodonośnych niecki mazowieckiej. Zasilanie odbywa się głównie w południowej strefie rynny. Na odcinku centralnym i północnym stwierdzono występowanie lokalnych stref ascenzji wód z utworów oligoceńskich do najgłębszej warstwy wodonośnej rynny brwinowskiej. Dzięki przeprowadzonemu hydrogeochemicznemu modelowaniu dróg reakcji (mieszania się wód) oszacowano, iż udział składowej „oligoceńskiej” w mieszaninie wód podziemnych występujących w omawianej warstwie jest bardzo duży i teoretycznie może wynosić aż 60–80%.

**Słowa kluczowe:** badania izotopowe, ascenzja, modelowanie hydrogeochemiczne, rynna brwinowska, niecka mazowiecka.

**Abstract.** The results of hydrodynamic, hydrogeochemical and isotopic researches performed between 2004 and 2007 show that groundwater from the Quaternary series recharges the Oligocene aquifer of the Mazovian Basin in the southern part of the Brwinów Buried Valley. The groundwater ascent flow is possible in the northern part of this structure. Thanks to this discovery and geochemical modelling studies, the detailed proportions of the groundwater's mixture have been evaluated in this area. Two solutions mix together in the following proportions: an average of 60–80 percent of groundwater comes from the Mazovian Basin and 40–20 percent originates from the Quaternary Buried Valley. It determines the very unique chemical composition of groundwater in the northern part of the structure.

**Key words:** isotopic studies, ascent flow, hydrogeochemical modelling, Brwinów Buried Valley, Mazovian Basin.

Rynna brwinowska jest rozległą i głęboką czwartorzędową strukturą kopalną znajdującą się niemal w całości na Równinie Łowicko-Błońskiej, w zlewni rzeki Utraty. Wcinając się w utwory oligocenu centralnej części niecki mazowieckiej, maksymalną głębokość ok. 220 m osiąga na swoim centralnym odcinku, w okolicach Józefowa-Święcic. W profilu pionowym rynny brwinowskiej występują trzy warstwy wodonośne: najgłębsza (Q3), środkowa (Q2) oraz warstwa pierwsza, najpłycej leżąca (lokalnie bezpośrednio pod powierzchnią terenu), oznaczana dalej jako Q1. Wszystkie one

tworzą wspólne czwartorzędowe piętro wodonośne, którego szczegółową charakterystykę hydrogeologiczną i hydrogeochemiczną przedstawiono we wcześniejszych publikacjach (Sawicka, 2005, 2007).

Szczególnie istotną rolę w kształtowaniu lokalnych i regionalnych warunków krążenia wód podziemnych w obrębie rynny brwinowskiej odgrywają złożone relacje hydrauliczne zachodzące między poszczególnymi warstwami wodonośnymi omawianej struktury, a także jej związek z utworami wodonośnymi sąsiednich jednostek hydroge-

<sup>1</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail: sawicka@uw.edu.pl

ologicznych, zwłaszcza z poziomem oligoceńskim niecki mazowieckiej. Wyniki badań i analiz (hydrodynamicznych, hydrogeochemicznych i izotopowych) przeprowadzonych w latach 2004–2007 w obrębie rynny brwinowskiej pozwoliły na zidentyfikowanie obszarów, w których rynna brwinowska pełni rolę zasilającą w stosunku do niżej leżących utworów wodonośnych niecki mazowieckiej.

Zasilanie odbywa się głównie w południowej (C) strefie rynny, na obszarze Wysoczyzny Mszczonowskiej (fig. 1), gdzie ciśnienie piezometryczne w trzeciej warstwie wodonośnej (Q3) jest o kilkanaście metrów (do 20 m) wyższe niż w poziomie oligoceńskim niecki mazowieckiej (Sawicka,

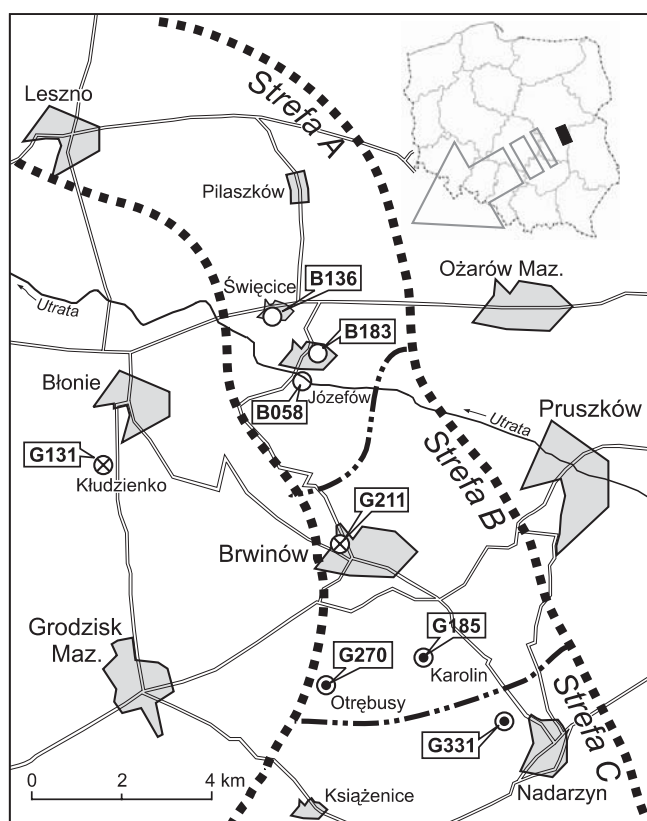
2009). Zasilająca rola rynny brwinowskiej w stosunku do wód podziemnych niecki mazowieckiej zgodna jest z poglądami innych badaczy np. Nowickiego (2003).

Równocześnie jednak stwierdzono możliwość występowania lokalnych stref ascenzji wód z utworów oligoceńskich do trzeciej warstwy wodonośnej (Q3) rynny brwinowskiej. Ascenzja może zachodzić lokalnie, głównie w centralnej i północnej części rynny, w rejonie Józefowa-Święcic, gdzie ciśnienie piezometryczne w utworach oligoceńskich niecki mazowieckiej jest o kilka metrów (ok. 7 m) wyższe niż w warstwie Q3 rynny (Sawicka, 2007). Budowa geologiczna rynny brwinowskiej na omawianym odcinku z całą pewnością umożliwi kontakty hydrauliczne obu struktur, gdyż w rejonie Józefowa-Święcic i dalej na północ do Pilaszkowa, stwierdzono w wierceniach brak osadów plioceńskich i mioceńskich w podłożu rynny brwinowskiej oraz wcięcie się dna struktury bezpośrednio w utwory oligoceńskie.

Ważną przesłanką potwierdzającą dopływ znacznie starszych wód podziemnych do trzeciej warstwy wodonośnej (Q3) w omawianym rejonie rynny brwinowskiej są wyniki badań stężeń trytu przeprowadzonych w latach 2004–2006, które pokazują lokalne i nietypowe występowanie wód beztrytowych w utworach czwartorzędowych. Lokalna obecność wód beztrytowych w okolicach Józefowa-Święcic może być interpretowana jako wynik ascenzyjnego dopływu znacznie starszych wód z utworów oligoceńskich niecki mazowieckiej i powstanie w trzeciej warstwie wodonośnej (Q3) rynny brwinowskiej takiej mieszaniny wód, w której nie wykrywa się obecności trytu, gdyż jej średni wiek w znacznym stopniu zdeterminowany jest przez składową pochodzącą z utworów oligoceńskich (Sawicka, 2009). Chemizm wód podziemnych w najgłębszej warstwie wodonośnej (Q3) również wskazuje na bezpośredni kontakt hydrauliczny obu poziomów wodonośnych (czwartorzędowego Q3 i oligoceńskiego) oraz intensywne mieszanie się wód podziemnych. W okolicach Józefowa-Święcic stwierdzono występowanie dodatknych anomalii hydrogeochemicznych dla stężeń chlorków, żelaza i mineralizacji ogólnej, a także podwyższone stężenia strontu, baru i sodu w wodach podziemnych trzeciej warstwy wodonośnej rynny

Tak liczne przesłanki hydrodynamiczne, hydrogeochemiczne oraz izotopowe stanowiły podstawę do przeprowadzenia hydrogeochemicznego modelowania dróg reakcji w celu określenia ilościowych stosunków w jakich może dochodzić do hydrogeochemicznego współdziałania wód podziemnych z czwartorzędowej warstwy wodonośnej (Q3) rynny brwinowskiej oraz wód z oligoceńskiego poziomu wodonośnego niecki mazowieckiej. Charakterystyka ilościowa zjawiska mieszania się wód podziemnych polegała na określeniu proporcji mieszania, czyli udziału poszczególnych składowych w mieszaninie, a także na obliczeniu transferu ich masy.

Przyjęty schemat modelowania miał na celu rozpoznanie istniejącego współdziałania hydrogeochemicznego między wodami z utworów oligoceńskich i czwartorzędowych, bez uwzględnienia procesów paleohydrogeologicznych regionu. Model koncepcyjny zakładał, że mieszanie się wód w skutek ascenzyjnego dopływu z poziomu oligoceńskiego do trzeciej



- studnie ujmujące wody z warstwy Q3 rynny brwinowskiej (rzeczywiste roztwory odniesienia)  
*wells in the Brwinów Buried Valley (actual reference solutions)*
- ⊙ studnie ujmujące wody z warstwy Q3 rynny brwinowskiej (dane wejściowe do modelu)  
*wells in the Brwinów Buried Valley (input data)*
- ⊗ studnie ujmujące wody z utworów oligoceńskich niecki mazowieckiej (dane wejściowe do modelu)  
*wells in the Mazovian Basin (input data)*
- — — granice rynny brwinowskiej  
*Brwinów Buried Valley boundary*
- · — · — strefy  
*zones*
- Ⓛ B183 numery studni  
*well numbers*

**Fig. 1.** Mapa lokalizacyjna rynny brwinowskiej z podziałem na strefy

Location map of the Brwinów Buried Valley with zoning shown

warstwy wodonośnej zachodzi wyłącznie w strefie wytypowanej na podstawie wspomnianych wcześniej przesłanek hydrogeochemicznych, poza tą strefą chemizm wód podziemnych warstwy był niezmienny i mógł służyć jako roztwór wejściowy do modelu, stanowiąc pierwszą składową mieszaninę. Składową tą stanowiły więc wody podziemne pobrane z trzeciej warstwy wodonośnej (studnie na południe od strefy ascencji), o zbadanym (rzeczywistym) składzie chemicznym.

Drugą składową mieszaninę, także o znanym i rzeczywistym składzie chemicznym, były wody reprezentatywne dla utworów oligocenu niecki mazowieckiej, pochodzące ze studni zlokalizowanych w obrębie rynny brwinowskiej lub najbliższej jej granic. Upewniono się, że wybrane studnie nie znajdowały się w strefie ascencji, ani bezpośredniego zasilania przez okna hydrogeologiczne z warstw wyżej leżących. Skład chemiczny roztworu teoretycznego otrzymanego w wyniku symulacji mieszania takich dwóch składowych powinien odpowiadać rzeczywistemu chemizmowi wód z utworów czwartorzędowych ze strefy ascencji. Za takie punkty odniesienia, a więc za roztwory rzeczywiste, do których odnoszone były wszystkie rozwiązania modelowe, posłużyły wyniki ana-

liz chemicznych wód ze studni, w których stwierdzono występowanie wód beztrytowych oraz anomalne stężenia strontu, baru, chlorków i sodu. Były to studnie z Józefowa i Świąć: B058, B136 i B183. Jako dane wejściowe posłużyły analizy chemiczne ze studni ujmujących warstwę Q3: G331 (Nadarzyn), G270 (Otrębusy) i G185 (Karolin) oraz dwóch studni ujmujących utwory oligocenu: B211 (Brwinów) i G131 (Kłudzienko) (fig. 1). Symulacji mieszania dokonano kojarząc ze sobą kolejno wszystkie wytypowane analizy i testując różne warianty proporcji mieszania. Poniżej przytoczono tylko wybrane rozwiązania, dla których udało się znaleźć najlepsze dopasowanie do roztworów rzeczywistych.

Z symulacji mieszania próbek wód podziemnych ze studni czwartorzędowej w Karolinie (G185) oraz ze studni B211-1 ujmującej utwory oligocenu na Stacji Hydrogeologicznej w Brwinowie wynika, że najlepsze dopasowanie do rzeczywistego roztworu zbadanego w studni B183 (Józefów) osiąga roztwór teoretyczny złożony w 80% z wód ascendujących z poziomu oligocenu (tab. 1). Różnice transferów masy między roztworem rzeczywistym a teoretycznym są nieznaczące, a duża zgodność modelu potwierdzona jest zbliżeniami wartościami wskaźnika nasycenia SI

Tabela 1

**Wyniki modelowania hydrogeochemicznego – mieszanie się wód podziemnych, model G185/B211:  
A – proporcje mieszania i transfer mas, B – wskaźnik nasycenia SI**

Results of the hydrogeochemical modelling – mixing of groundwater, simulation G185/B211:  
A – mixing proportions and mass transfers, B – Saturation Index SI

składnik	Roztwory teoretyczne, w stosunkach procentowych (odpowiednio Q3/oligocen – G185/B211)									
	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	20/80	10/90	Roztwór rzeczywisty B183 (Q3)
	mmol/l									
Al	3,02e-05	3,05e-05	3,07e-05	3,09e-05	3,12e-05	3,14e-05	3,16e-05	3,19e-05	3,21e-05	3,24e-05
HCO <sub>3</sub>	8,87e-02	1,19e-01	1,50e-01	1,81e-01	2,12e-01	2,42e-01	2,73e-01	3,04e-01	3,34e-01	3,50e-01
Ca	1,44e-02	1,98e-02	2,51e-02	3,05e-02	3,59e-02	4,13e-02	4,66e-02	5,20e-02	5,74e-02	4,94e-02
Cl	1,93e-02	2,17e-02	2,40e-02	2,64e-02	2,87e-02	3,10e-02	3,34e-02	3,57e-02	3,81e-02	3,96e-02
K	8,02e-04	1,60e-03	2,41e-03	3,21e-03	4,01e-03	4,81e-03	5,61e-03	6,42e-03	7,22e-03	7,13e-03
Mg	6,45e-03	7,90e-03	9,34e-03	1,08e-02	1,22e-02	1,37e-02	1,51e-02	1,66e-02	1,80e-02	1,78e-02
Mn	2,45e-04	2,40e-04	2,36e-04	2,31e-04	2,26e-04	2,21e-04	2,16e-04	2,11e-04	2,07e-04	3,00e-04
N(5-)	1,74e-03	1,65e-03	1,55e-03	1,46e-03	1,37e-03	1,27e-03	1,18e-03	1,09e-03	9,95e-04	9,86e-04
Na	1,52e-02	1,95e-02	2,37e-02	2,79e-02	3,22e-02	3,64e-02	4,07e-02	4,49e-02	4,91e-02	4,14e-02
P	3,28e-04	4,56e-04	5,84e-04	7,12e-04	8,40e-04	9,68e-04	1,10e-03	1,22e-03	1,35e-03	1,52e-03
S(6-)	4,15e-02	3,70e-02	3,25e-02	2,80e-02	2,35e-02	1,90e-02	1,45e-02	1,00e-02	5,50e-03	1,00e-02
Si	9,69e-04	1,94e-03	2,91e-03	3,88e-03	4,85e-03	5,81e-03	6,78e-03	7,75e-03	8,72e-03	7,88e-03
Sr	3,83e-04	7,66e-04	1,15e-03	1,53e-03	1,91e-03	2,30e-03	2,68e-03	2,96e-03	3,45e-03	2,75e-03

tabela 1 cd.

B		Roztwory teoretyczne z mieszanina wód, w stosunkach procentowych (odpowiednio Q3/oligocen – G185/B211-1)									
Faza mineralna		90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	20/80	10/90	Roztwór rzeczywisty B183 (Q3)
		SI									
Al(OH) <sub>3</sub> (a)	Al(OH) <sub>3</sub>	-0,53	-0,36	-0,25	-0,16	-0,09	-0,03	0,02	0,07	0,11	-0,10
Albit	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	1,67	2,88	3,63	4,18	4,61	4,96	5,25	5,51	5,74	5,60
Anhydryt	CaSO <sub>4</sub>	-0,22	-0,17	-0,17	-0,19	-0,23	-0,30	-0,40	-0,55	-0,80	-0,60
Anortyt	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	0,36	1,50	2,22	2,74	3,15	3,47	3,74	3,97	4,18	4,01
Aragonit	CaCO <sub>3</sub>	1,15	1,45	1,65	1,81	1,94	2,03	2,11	2,18	2,23	2,48
Kalcyt	CaCO <sub>3</sub>	1,30	1,59	1,8	1,95	2,08	2,18	2,25	2,32	2,38	2,63
Dolomit	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2,37	2,91	3,3	3,6	3,84	4,03	4,67	4,30	4,42	5,08
Gibsyty	Al(OH) <sub>3</sub>	2,16	2,33	2,44	2,53	2,60	2,66	2,71	2,76	2,80	2,69
Gips	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0,00	0,04	0,05	0,03	-0,02	-0,09	-0,29	-0,33	-0,59	-0,49
Halit	NaCl	-5,40	-5,25	-5,12	-5,02	-4,93	-4,85	-4,77	-4,70	-4,64	-4,69
Illit	K <sub>0,6</sub> Mg <sub>0,25</sub> Al <sub>2,3</sub> Si <sub>3,5</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	6,30	7,98	9,01	9,76	10,34	10,82	11,22	11,57	11,88	11,43
Kaolinit	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	7,12	8,06	8,64	9,07	9,41	9,69	9,94	10,15	10,34	9,92
Muskowit	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	12,89	14,63	15,70	16,48	17,09	17,59	18,01	18,38	18,71	18,04
Kwarc	SiO <sub>2</sub>	0,98	1,29	1,46	1,59	1,69	1,77	1,84	1,90	1,95	1,91
SiO <sub>2</sub> (a)	SiO <sub>2</sub>	-0,29	0,02	0,20	0,32	0,42	0,50	0,57	0,63	0,69	0,64

dla najpowszechniej występujących faz mineralnych (nie rozpatrywano roli procesów rozpuszczania i wytrącania oraz sensu hydrogeochemicznego uzyskanych wartości wskaźnika SI, służył on jedynie jako kryterium zgodności).

Rozwiązaniem potwierdzającym możliwość mieszaniny wód w rejonie Józefowa-Święcic są wyniki uzyskane z modelu dla wód z czwartorzędowej studni G270 (Otrębusy) i ujmującej oligocen studni G131 (Kłodzianko). Rezultatem mieszaniny tych dwóch składowych przy 60% udziale wód z poziomu oligocenijskiego jest roztwór teoretyczny bardzo zbliżony chemicznie do stwierdzonego w opróbowanej studni B136 (Święcice) (tab. 2). Największe rozbieżności między składem chemicznym roztworu teoretycznego a rzeczywistego, dotyczą transferu mas potasu i fosforanów, mieszczą się jednak w tym samym rzędzie wielkości.

Kolejnym modelem o dobrej zgodności składu chemicznego roztworu teoretycznego i rzeczywistego jest model G331/B211. Zgodność tą zapewniło zmieszanie 30% wody reprezentującej czwartorzędową warstwę wodonośną (G331 – Nadarzyn) z 70% wody z poziomu oligocenijskiego (B211 – Brwinów). Uzyskany roztwór odpowiadał pod względem

chemizmu wodzie pobranej ze studni w Józefowie (B058) (tab. 3), czyli ze strefy ascencji wód podziemnych.

Przeprowadzone modelowanie hydrogeochemiczne wykazało, że w rejonie Józefowa-Święcic, w strefie cechującej się anomalnie wysokimi stężeniami niektórych składników (strontu, baru, chlorków, sodu), w istocie dochodzi obecnie do zjawiska ascencji i mieszaniny wód z poziomu oligocenijskiego niecki mazowieckiej i wód rynny brwinowskiej. Zjawisko to jest na tyle intensywne, że determinuje skład chemiczny wód trzeciej warstwy wodonośnej (Q3) na znacznym obszarze. Ustalono bowiem, iż udział składowej „oligocenijskiej” w mieszaninie jest bardzo duży, teoretycznie sięgać może nawet 80%, a z wielu rozwiązań modelowych w żadnym nie spadł on poniżej 60%. Nie oceniano możliwości wzbudzenia lub intensyfikowania ascencji przez zbyt intensywną eksploatację wód podziemnych z warstwy Q3, a niewątpliwie problem ten wymaga dalszych szczegółowych badań. Rozważyć należy w jakim stopniu niekorzystne warunki hydrogeologiczne, utrudniające zasilanie i wymianę wód podziemnych oraz nadmierna eksploatacja wód tej warstwy wodonośnej prowadzić mogą do dalszej in-

Tabela 2

**Wyniki modelowania hydrogeochemicznego – mieszanie się wód podziemnych, model G270/G131:  
A – proporcje mieszania i transfer mas, B – wskaźnik nasycenia SI**

Results of the hydrogeochemical modelling – mixing of groundwater, simulation G270/G131:  
A – mixing proportions and mass transfers, B – Saturation Index SI

składnik	Roztwory teoretyczne z mieszania wód, w stosunkach procentowych (odpowiednio Q3/oligocen – G270/G131)									
	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	20/80	10/90	Roztwór rzeczywisty B136 (Q3)
	mmol/l									
Al	3,00e-05	3,00e-05	3,00e-05	3,00e-05	3,00e-05	3,00e-05	3,00e-05	3,00e-05	3,00e-05	3,24e-05
HCO <sub>3</sub>	2,09e-01	2,22e-01	2,36e-01	2,36e-01	2,50e-01	2,63e-01	2,77e-01	3,04e-01	3,17e-01	2,82e-01
Ca	5,59e-02	5,47e-02	5,36e-02	5,36e-02	5,24e-02	5,12e-02	5,00e-02	4,77e-02	4,65e-02	5,28e-02
Cl	1,04e-02	1,01e-02	9,82e-03	9,82e-03	9,52e-03	9,23e-03	8,93e-03	8,34e-03	8,05e-03	9,34e-03
K	7,00e-04	1,40e-03	2,10e-03	2,10e-03	2,80e-03	3,50e-03	4,20e-03	5,60e-03	6,30e-03	5,56e-03
Mg	7,81e-03	8,82e-03	9,83e-03	9,83e-03	1,08e-02	1,19e-02	1,29e-02	1,49e-02	1,59e-02	2,05e-02
Mn	4,54e-04	4,28e-04	4,01e-04	4,01e-04	3,75e-04	3,49e-04	3,23e-04	2,70e-04	2,44e-04	3,70e-04
N(5-)	4,22e-04	4,50e-04	4,79e-04	4,79e-04	5,08e-04	5,36e-04	5,65e-04	6,23e-04	6,51e-04	5,43e-04
Na	1,59e-02	1,77e-02	1,96e-02	1,96e-02	2,15e-02	2,34e-02	2,52e-02	2,90e-02	3,08e-02	2,55e-02
P	3,13e-04	4,26e-04	5,39e-04	5,39e-04	6,52e-04	7,65e-04	8,78e-04	1,10e-03	1,22e-03	1,15e-04
S(6-)	2,16e-02	1,92e-02	1,68e-02	1,68e-02	1,44e-02	1,20e-02	9,60e-03	4,80e-03	2,40e-03	2,00e-02
Si	1,85e-02	1,70e-02	1,55e-02	1,55e-02	1,41e-02	1,26e-02	1,11e-02	8,10e-03	6,62e-03	1,24e-02

B		Roztwory teoretyczne z mieszania wód, w stosunkach procentowych (odpowiednio Q3/oligocen – G270/G131)									
Faza mineralna		90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	20/80	10/90	Roztwór rzeczywisty B136 (Q3)
		SI									
Al(OH) <sub>3</sub> (a)	Al(OH) <sub>3</sub>	-0,30	-0,31	-0,32	-0,32	-0,33	-0,34	-0,35	-0,35	-0,36	0,08
Albit	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	5,95	5,89	5,81	5,71	5,60	5,46	5,30	5,10	4,86	5,49
Anhydryt	CaSO <sub>4</sub>	-0,09	-0,16	-0,24	-0,32	-0,42	-0,53	-0,68	-0,88	-1,21	-0,38
Anortyt	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	4,33	4,23	4,13	4,01	3,89	3,75	3,60	3,43	3,22	3,78
Aragonit	CaCO <sub>3</sub>	2,26	2,27	2,29	2,30	2,30	2,31	2,32	2,32	2,32	2,34
Kalcyt	CaCO <sub>3</sub>	2,41	2,42	2,43	2,44	2,45	2,45	2,46	2,46	2,47	2,48
Dolomit	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4,11	4,20	4,28	4,35	4,42	4,48	4,53	4,59	4,63	4,57
Gibbsyt	Al(OH) <sub>3</sub>	2,39	2,38	2,37	2,37	2,36	2,35	2,34	2,34	2,33	2,37
Gips	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0,12	0,06	-0,02	-0,11	-0,20	-0,32	-0,46	-0,66	-0,99	0,03
Halit	NaCl	-5,67	-5,64	-5,61	-5,58	-5,56	-5,54	-5,53	-5,52	-5,51	-5,52
Illit	K <sub>0,6</sub> Mg <sub>0,25</sub> Al <sub>2,3</sub> Si <sub>3,5</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	11,52	11,57	11,54	11,46	11,34	11,19	11,00	10,78	10,49	11,18
Kaolinit	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	10,14	10,06	9,97	9,87	9,75	9,63	9,49	9,33	9,14	10,06
Muskowit	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	17,56	17,73	17,77	17,75	17,68	17,58	17,44	17,26	17,02	17,94
Kwarc	SiO <sub>2</sub>	2,27	2,24	2,20	2,15	2,11	2,05	1,99	1,92	1,83	1,94
SiO <sub>2</sub> (a)	SiO <sub>2</sub>	1,31	1,27	1,23	1,19	1,14	1,09	1,03	0,95	0,87	0,98



Tabela 3

**Wyniki modelowania hydrogeochemicznego – mieszanie się wód podziemnych, model G331/B211:  
A – proporcje mieszania i transfer mas, B – wskaźnik nasycenia SI**

Results of the hydrogeochemical modelling – mixing of groundwater, simulation G331/B211:  
A – mixing proportions and mass transfers, B – Saturation Index SI

składnik	Roztwory teoretyczne z mieszania wód, w stosunkach procentowych odpowiednio Q3/oligocen (G331/B211)									
	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	20/80	10/90	Roztwór rzeczywisty B058 (Q3)
	mmol/l									
Al	3,02e-05	3,05e-05	3,07e-05	3,09e-05	3,12e-05	3,14e-05	3,16e-05	3,19e-05	3,21e-05	3,15e-05
HCO <sub>3</sub>	2,90e-01	2,99e-01	3,07e-01	3,15e-01	3,24e-01	3,32e-01	3,40e-01	3,48e-01	3,57e-01	3,45e-01
Ca	1,80e-02	2,30e-02	2,79e-02	3,29e-02	3,79e-02	4,29e-02	4,78e-02	5,28e-02	5,78e-02	4,48e-02
Cl	8,89e-02	8,35e-02	7,81e-02	7,27e-02	6,73e-02	6,20e-02	5,66e-02	5,12e-02	4,58e-02	5,75e-02
K	8,02e-04	1,60e-03	2,41e-03	3,21e-03	4,01e-03	4,81e-03	5,61e-03	6,42e-03	7,22e-03	5,37e-03
Mg	9,15e-03	1,03e-02	1,14e-02	1,26e-02	1,37e-02	1,49e-02	1,60e-02	1,72e-02	1,83e-02	1,64e-02
Mn	2,90e-04	2,80e-04	2,71e-04	2,61e-04	2,51e-04	2,41e-04	2,31e-04	2,21e-04	2,12e-04	2,40e-04
N(5-)	1,79e-03	1,69e-03	1,59e-03	1,50e-03	1,40e-03	1,30e-03	1,20e-03	1,10e-03	1,00e-03	1,43e-03
Na	1,88e-02	2,27e-02	2,65e-02	3,03e-02	3,42e-02	3,80e-02	4,19e-02	4,57e-02	4,95e-02	4,50e-02
P	1,51e-04	2,98e-04	4,46e-04	5,94e-04	7,42e-04	8,89e-04	1,04e-03	1,19e-03	1,33e-03	9,90e-04
S(6-)	5,86e-02	5,22e-02	4,58e-02	3,94e-02	3,30e-02	2,66e-02	2,02e-02	1,38e-02	7,40e-03	2,30e-02
Si	9,69e-04	1,94e-03	2,91e-03	3,88e-03	4,85e-03	5,81e-03	6,78e-03	7,75e-03	8,72e-03	6,92e-03

B		Roztwory teoretyczne z mieszania wód, w stosunkach procentowych odpowiednio Q3/oligocen (G331/B211)									
Faza mineralna		90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	20/80	10/90	Roztwór rzeczywisty B059 (Q3)
		SI									
Al(OH) <sub>3</sub> (a)	Al(OH) <sub>3</sub>	-0,38	-0,30	-0,23	-0,16	-0,09	-0,03	0,02	0,07	0,11	0,06
Albit	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	2,00	3,07	3,74	4,25	4,65	4,98	5,27	5,53	5,75	5,22
Anhydryt	CaSO <sub>4</sub>	-0,25	-0,19	-0,17	-0,16	-0,18	-0,23	-0,31	-0,44	-0,69	-0,50
Anortyt	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	0,75	1,64	2,24	2,71	3,10	3,42	3,70	3,94	4,16	4,02
Aragonit	CaCO <sub>3</sub>	1,65	1,78	1,88	1,97	2,05	2,11	2,16	2,21	2,25	2,14
Kalcyt	CaCO <sub>3</sub>	1,79	1,92	2,02	2,11	2,19	2,25	2,30	2,35	2,39	2,28
Dolomit	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	3,43	3,63	3,81	3,96	4,09	4,19	4,29	4,37	4,45	4,28
Gibsyty	Al(OH) <sub>3</sub>	2,31	2,39	2,46	2,53	2,60	2,66	2,71	2,76	2,80	2,75
Gips	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	-0,03	0,02	0,05	0,05	0,03	-0,02	-0,1	-0,23	-0,47	-0,19
Halit	NaCl	-4,72	-4,66	-4,62	-4,59	-4,57	-4,55	-4,55	-4,55	-4,57	-4,42
Illit	K <sub>0,6</sub> Mg <sub>0,25</sub> Al <sub>2,3</sub> Si <sub>3,5</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	6,76	8,20	9,11	9,80	10,36	10,82	11,22	11,57	11,88	11,36
Kaolinit	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	7,45	8,21	8,72	9,11	9,43	9,70	9,94	10,15	10,34	10,06
Muskowit	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	13,42	14,87	15,81	16,52	17,1	17,59	18,01	18,38	18,71	18,22
Kwarc	SiO <sub>2</sub>	1,00	1,30	1,48	1,60	1,70	1,78	1,85	1,91	1,96	1,89
SiO <sub>2</sub> (a)	SiO <sub>2</sub>	-0,27	0,03	0,21	0,34	0,43	0,51	0,58	0,64	0,69	0,55

tensyfikacji ascencji wód z utworów oligoceńskich niecki mazowieckiej. Dalsza eksploatacja wód podziemnych z najgłębszej warstwy wodonośnej (Q3) rynny brwinowskiej wymaga prowadzenia monitoringu ich składu chemicznego,

ze szczególnym zwróceniem uwagi na parametry zasolenia (chlorki, sól, żelazo) oraz stężenia mikrośladników (stront, bar), których wzrost świadczyć będzie o zwiększonym dopływie wód z utworów oligocenu.

## LITERATURA

- NOWICKI Z., 2003 – „Wiek” wód podziemnych występujących w utworach oligocenu na E i S niecki mazowieckiej na podstawie oznaczeń izotopowych  $^{14}\text{C}$  i  $^{36}\text{Cl}$ . Raport z projektu badawczego KBN nr rejestracyjny 9T12B04118. Arch. KBN. Warszawa.
- SAWICKA K., 2005 – Charakterystyka rynny brwinowskiej wraz z oceną chemizmu i jakości wód podziemnych. *W: Współczesne Problemy Hydrogeologii*, t. 12: 655–661. UMK, Toruń.
- SAWICKA K., 2007 – Rynna brwinowska i jej znaczenie dla kształtowania się lokalnych i regionalnych warunków hydrogeologicznych. *W: Współczesne Problemy Hydrogeologii*, t. 13: 869–877. AGH, Kraków.
- SAWICKA K., 2009 – Analiza strefowości hydrogeochemicznej w rynnach brwinowskiej. Praca doktorska. Bibl. Wydz. Geol. UW, Warszawa.

## SUMMARY

The Brwinów Buried Valley is a Quaternary buried structure situated in the central part of Mazovian Basin. It is a rich aquifer characterized by a very complex geological composition and complicated hydrogeological conditions. It's surrounded by deposits which hydrogeological parameters are much worse than in the studied area and no usable groundwater whatsoever. That is why, even despite of the incomplete recognition of the structure, the Brwinów Buried Valley is extremely important source of drinking water for Warsaw's satellite cities (e.g. Pruszków, Brwinów, Milanówek, Podkowa Leśna, Nadarzyn).

The main goal of the research was the evaluation of Brwinów Buried Valley role in forming local and regional hydrogeological conditions. Hydrogeochemical and isotopic groundwater studies (e.g. analysis of tritium concentration) not only allowed to observe differences in vertical groundwater flow in this structure, but also to point out the relation

with the Mazovian Basin. It's also claimed that in the southern part of the Brwinów Buried Valley groundwater from the Quaternary series recharge the oligocene aquifer of the Mazovian Basin. The groundwater ascent flow is possible in the northern part of this structure. Changes in the chemical composition of the groundwater, such as the high concentration of iron, strontium and sodium, was observed in the local areas of ascent flow.

Thanks to this discovery and geochemical modelling studies, the detailed proportions of the groundwater's mixture in this area have been evaluated. The two solutions mixed together in the proportions, in the average rate of 60–80 percent groundwater from the Mazovian Basin and 40–20 percent from Quaternary Buried Valley, determine the very unique chemical composition of groundwater in the northern part of the studied structure.