

NOWE WYZWANIA W HYDROGEOLOGII – EUROPEJSKI PROJEKT FP7 GENESIS

NEW CHALLENGES IN HYDROGEOLOGY – EUROPEAN FP7 PROJECT GENESIS

STANISŁAW WITCZAK¹, JAROSŁAW KANIA¹, GRZEGORZ MALINA¹, ADAM POSTAWA¹, ANNA ŻUREK¹,
MAREK DULIŃSKI², KAZIMIERZ RÓŻAŃSKI², PRZEMYSŁAW WACHNIEW², GRZEGORZ NIKIEL^{3,4}

Abstrakt. W artykule krótko przedstawiono charakterystykę europejskiego projektu FP-7 GENESIS oraz doświadczenia wynikające z badania polskich obszarów testowych włączonych do projektu. W zrozumieniu systemu krążenia wód podziemnych najważniejsza jest rola skali czasowej oraz ocena środowiskowej roli wody. W prezentacji skali czasowej bardzo ważne są proste modele konceptualne. Bardziej zaawansowane modelowanie numeryczne wymaga nowych metod ograniczających niepewność prognoz. Jedną z przedstawionych w artykule metod jest kalibracja modeli przepływu i transportu przy pomocy znaczników środowiskowych w kolejnych krokach zależnych od dostępnych danych oraz przedziałów wieków wody.

Słowa kluczowe: wody podziemne, znaczniki środowiska, skala czasowa, FP7 GENESIS, GDE, dyrektywy UE.

Abstract. The paper briefly describes the European FP7 project GENESIS and lessons learned from the Polish case studies involved into the project. The most important are the role of time scales in understanding the groundwater flow system and environmental water requirements. Simple conceptual models are very important for time scale presentation. More sophisticated numerical modeling needs new methods of uncertainty control. One of them shown in the paper is calibration of flow and transport models with the aid of tracers in steps related to available data and age ranges.

Key words: groundwater, environmental tracers, time scale, FP7 GENESIS, EU Directives.

WSTĘP

Dla Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW, 2000) oraz jej „córki” – Dyrektywy dotyczącej ochrony Wód Podziemnych (DWP, 2006) kończy się pierwszy okres implementacji (Komisja Europejska, 2008), w którym powstał szereg ważnych rozwiązań dotyczących gospodarki wodnej i ochrony zasobów wód podziemnych. Na gruncie europejskim pojawił się jednak szereg problemów, które starano się rozwiązywać

pragmatycznie, ale nie zawsze w sposób dostatecznie podbudowany naukowo. W związku z tym w 2013 roku przewidziano podsumowanie doświadczeń i ewentualną rewizję DWP (artykuł 8 i 10). Jednym z elementów wspomagających to zadanie jest projekt 7 Programu Ramowego UE o akronimie GENESIS, w którym ze strony polskiej bierze udział Zespół z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: witzak@agh.edu.pl

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: rozanski@fis.agh.edu.pl

³ Politechnika Częstochowska, WIŚiB, Instytut Inżynierii Środowiska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa

⁴ GEOBIOS Sp. z o.o., ul. Tartakowa 82, 42-202 Częstochowa; e-mail: g.nikiel@gmail.com

W projekcie GENESIS biorą udział naukowcy z 13 krajów UE i 4 krajów stowarzyszonych. Jest to 25 partnerów z 15 uniwersytetów i 8 instytutów badawczych. Projekt GENESIS przygotowuje podstawy naukowe do ewentualnej rewizji DWP. GENESIS stworzył platformę do ukształtowania się nowych kierunków rozwoju hydrogeologii i nowych wyzwań, jakie stoją przed hydrogeologią w procesie implementacji DWP. Projekt jest koordynowany przez norweski instytut ochrony środowiska Bioforsk (prof. B. Klove) i kończy się 1 kwietnia 2014 r. Ogólna charakterystyka projektu została podana we wcześniejszych publikacjach (Witzak i in., 2012, 2013b). Celem niniejszej publikacji jest przede wszystkim przedstawienie nieprezentowanych dotychczas na forum ogólnopolskim dokonań polskiego zespołu, poka-

zujących jakie nowe wyzwania w hydrogeologii są przedmiotem dyskusji na forum europejskim.

Prace prowadzone przez polski zespół obejmują przede wszystkim:

- wykorzystanie metod znacznikowych oraz modelowania numerycznego dla lepszego zrozumienia systemu krążenia wód podziemnych (dwa obiekty testowe w obrębie GZWP 451 Bogucice i GZWP 326 Częstochowa E),
- ocenę kierunków działań związanych z uwzględnieniem ekosystemów wodnych i lądowych zależnych od wód podziemnych (GDE) w rozpoznaniu i modelowaniu krążenia wód podziemnych (obszar Natura 2000 – Torfowisko Wielkie Błoto).

NOWE WYZWANIA ZWIĄZANE Z SZEROKIM STOSOWANIEM SKALI CZASOWEJ W OPISIE SYSTEMU WÓD PODZIEMNYCH

Zastosowanie metod znacznikowych oraz modelowania numerycznego na polskich obiektach testowych pokazało istotną rolę podejścia opartego na znajomości skal czasowych w procesach związanych z implementacją Ramowej Dyrektywy Wodnej. W pierwszej fazie realizacji RDW skala czasowa była niezbędna do zrozumienia opóźnienia z jakim zanieczyszczenia antropogeniczne przenikają z powierzchni do wód podziemnych (Witzak i in., 2007) oraz przez ten

system do receptorów takich jak: ujęcia wód podziemnych (wody przeznaczone do spożycia), ekosystemów wodnych i lądowych (środowisko) zależnych od wód podziemnych (GDE). W stanie aktualnym po zakończeniu pierwszego cyklu implementacji skala czasowa jest szczególnie ważna w kontekście realizacji programów działań związanych z poprawą stanu ilościowego i chemicznego wód podziemnych (Fenton i in., 2011; Herrmann i in., 2012; Sophocleous,

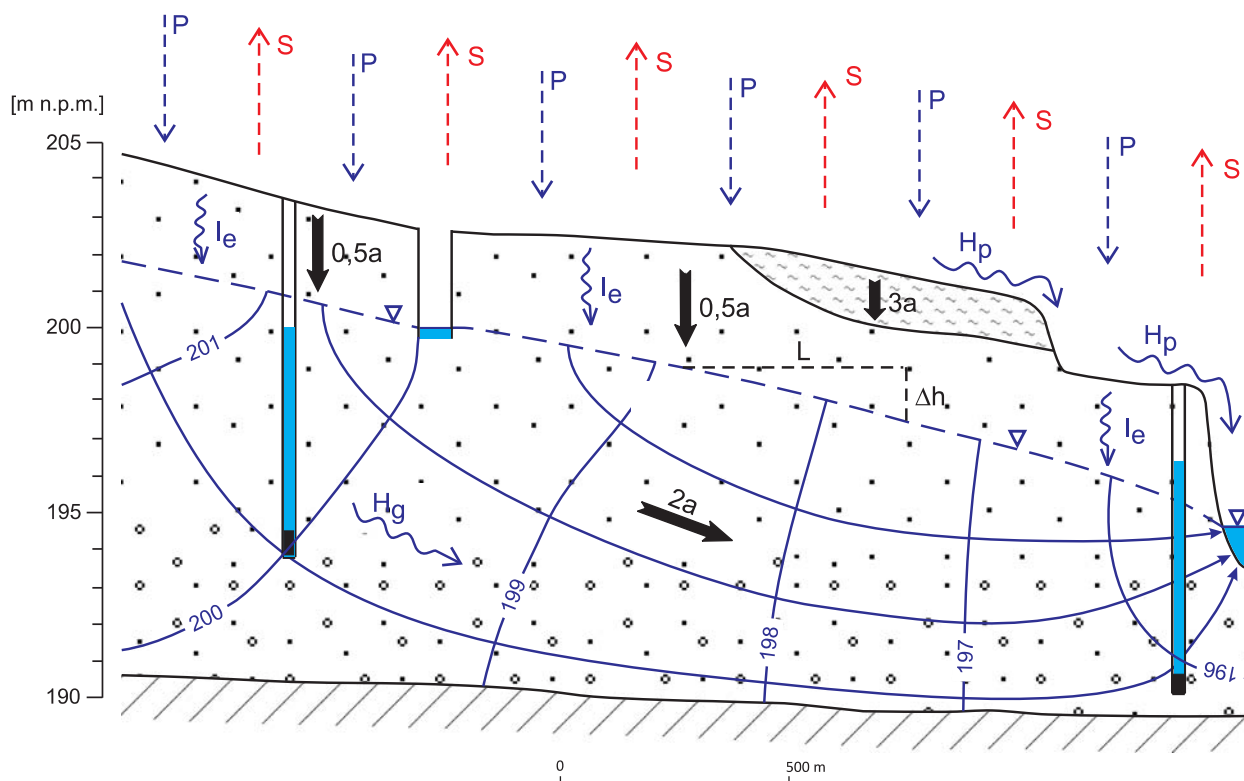


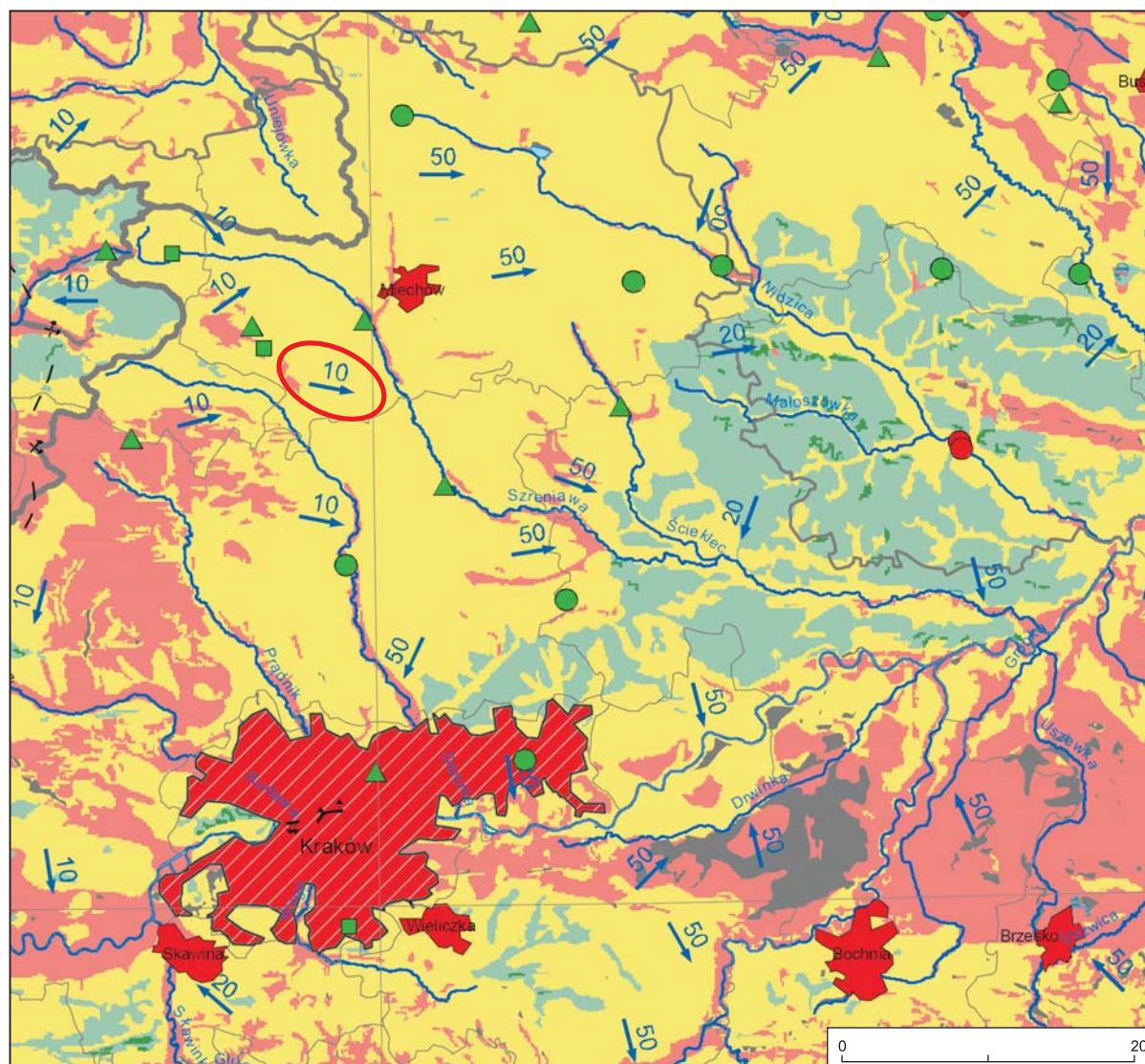
Fig. 1. Model konceptualny przepływu wód gruntowych w dolinie rzecznej (wg Witzaka i in., 2013a)

Conceptual model of groundwater flow in river valley (Witzak *et al.*, 2013a)

2012). Nie wszyscy decydenci rozumieją, że nawet drastyczne ograniczenie emisji zanieczyszczenia na powierzchni terenu (np. użycia nawozów w rolnictwie) nie prowadzi do natychmiastowego zmniejszenia się stężenia azotanów w rzekach i w odpływie do Morza Bałtyckiego. W polskich warunkach szybkie zmniejszenie ładunku azotanów może nastąpić tylko w splywie powierzchniowym, jednak około 60% ładunku azotanów w Polsce odpływa przez system krążenia wód podziemnych, co oznacza opóźnienie rzędu kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu lat.

Potrzeba upowszechnienia podejścia opartego na znajomości skal czasowych wymaga działań, które będą łatwo zrozumiałe zarówno dla fachowców, jak i dla szerokiej publiczności, na przykład przez posługiwanie się językiem nie technicznym. Przykłady takich działań to:

- wprowadzenie skal czasowych na modelach konceptualnych (pojęciowych) – prosty model przedstawiono na [figurze 1](#),
- wprowadzenie skal czasowych na mapach hydrogeologicznych ([fig. 2](#)).



MRT [a]



Fig. 2. Fragment mapy wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie dla okolic Krakowa (Duda i in., 2011). Klasy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie oparte na MRT (mean residence time) pokazują czas w latach (a) niezbędny do pionowej migracji zanieczyszczeń konserwatywnych z powierzchni do wód podziemnych. Kierunek i skalę czasu lateralnego przepływu wód podziemnych do rzeki Szreniawy oznaczono czerwonym owalem. Opis strzałki zgodny z objaśnieniem na [fig. 1](#) (10 lat)

Selected portion of Groundwater Vulnerability Map of Poland in the vicinity of Cracow (Duda *et al.*, 2011). Classes of aquifer vulnerability to pollution based on mean residence time MRT [a] show the time period necessary for vertical migration of conservative contaminants from the surface to the aquifer. Direction and time scale of lateral flow of groundwater towards Szreniawa river was marked in red oval.

The scale of the arrows is shown like on [Fig. 1](#) (10 years)

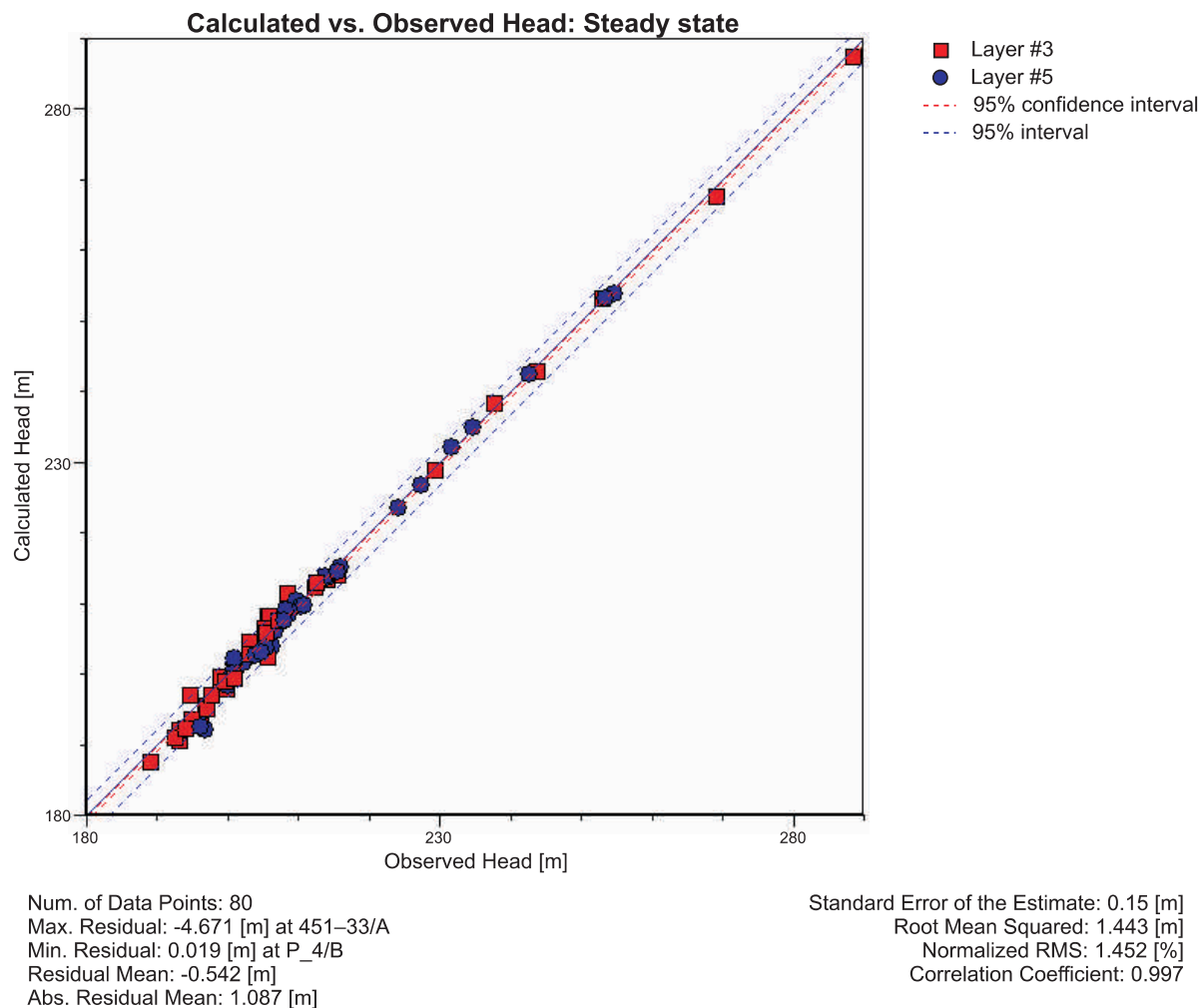


Fig. 3. Kalibracja modelu przepływu GZWP 451 Bogucice. Wykalibrowany model przepływu nie gwarantuje, że model transportu będzie dobrze działał. Model transportu wymaga niezależnej kalibracji

Calibration of groundwater flow model of GZWP 451 Bogucice. Calibrated flow model does not imply that transport model will perform well. Transport model needs independent calibration

Skala czasowa na figurze 1 jest pokazana czarnymi strzałkami z informacją o liczbie lat (a), niezbędnych do przepłynięcia dystansu o długości strzałki. Trójwymiarowy charakter przepływu wód podziemnych podkreślają: izolacje wysokości hydraulicznych [m n.p.m.], prostopadłe do nich linie prądu odwzorowujące kierunki przepływu wód oraz położenie zwierciadła wody w otworach obserwacyjnych.

Szersze wykorzystanie skali czasowej na mapach łączy się z wprowadzeniem map podatności wód podziemnych opartych na takiej skali. W ramach projektu GENESIS propagujemy polską mapę tego typu (Duda i in., 2011). Jest ona częścią przygotowywanego w 2013 roku w ramach projektu GENESIS krytycznego przeglądu metod oceny podatności systemów wód podziemnych (Żurek i in., 2013).

Drugi bardzo istotny element związany z szerokim stosowaniem skal czasowych to nowe podejście do weryfikacji skal czasowych na modelach numerycznych przepływu i migracji zanieczyszczeń z wykorzystaniem znaczników środowiskowych. Są to substancje, które migrują w wodach pod-

ziemnych w różnej skali czasu (pojedynczych, dziesiątek, setek czy nawet tysięcy lat – Zuber, 2007). Obserwacje znaczników środowiskowych są najczęściej interpretowane w celu określenia czasu przebywania wody w systemie (wiek wód). Nowym kierunkiem realizowanym w ramach projektu jest wykorzystanie rozpoznanych stężeń takich znaczników jak tryt, SF_6 , ^{39}Ar i ^{14}C do kalibracji modeli transportu, zwłaszcza w zbiornikach wód podziemnych pozbawionych innych danych o migracji substancji zanieczyszczających.

Klasyczny sposób prognozowania migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych polega w pierwszym etapie na wykalibrowaniu modelu przepływu, a następnie traktowaniu go jako podstawy do realizacji obliczeń prognostycznych migracji zanieczyszczeń z wykorzystaniem modelu transportu. Modele przepływu i transportu są oparte jednak na innym równaniu fizycznym (Konikow, 2011) i ich połączenie bez dodatkowej kalibracji modelu transportu prowadzi zazwyczaj do poważnych błędów. Wynika to z faktu, że model przepływu jest oparty na równaniu, w którym nie ma członu

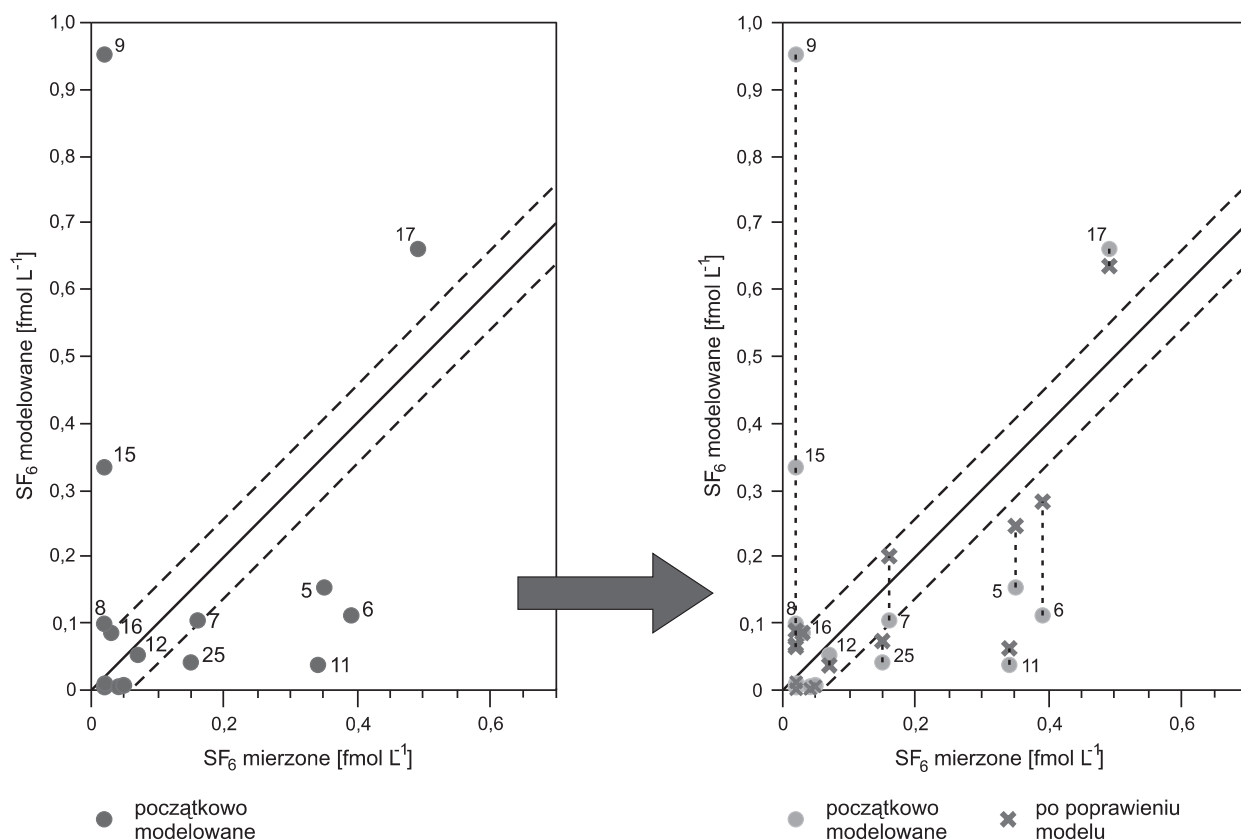


Fig. 4. Kalibracja modelu transportu GZWP 451 z wykorzystaniem pomiarów znacznika środowiska SF₆. Widoczna jest (rys. prawy) znaczna poprawa zgodności mierzonych i symulowanych wartości stężeń SF₆ po rekaliibracji modelu przepływu (np. otwór 9). Dla niektórych otworów (np. 11, 25) niezgodności utrzymują się

Calibration of transport model with the aid of environmental tracer SF₆. Significantly better agreement between measured and modeled SF₆ concentrations could be obtained after recalibration of the flow model (e.g. well No. 9). For some wells (e.g. No. 11, 25) discrepancies still remain

adwekcyjnego. Istotny jest bilans wody, a nie szybkość migracji poszczególnych cząstek. Kalibracja polega najczęściej na dopasowaniu przewodności warstwy wodonośnej do obserwowanych wysokości hydraulicznych. Przewodność jest iloczynem współczynnika filtracji i miąższości warstwy wodonośnej ($T=k \cdot m$). Stąd, dopasowując miąższością i współczynnikiem filtracji, można uzyskać wiele modeli o tej samej przewodności, ale o różnym współczynniku filtracji (por. dyskusja na ten temat w publikacji Zuber i in., 2011).

W równaniu transportu masy o adwekcyjnym przenoszeniu zanieczyszczeń decyduje natomiast współczynnik filtracji. Dobre wykalibrowanie modelu przepływu nie gwarantuje więc dobrego działania opartego na nim modelu migracji. Niezbędne jest wykalibrowanie modelu migracji na niezależnych danych i ewentualny powrót do rekaliibracji modelu przepływu. Źródłem takich niezależnych danych mogą być obserwacje migracji znaczników środowiska, a strategię realizacji takiego postępowania zespół AGH prezentuje w projekcie dla dwóch obiektów testowych w obrębie GZWP 451 Bogucice i GZWP 326 Częstochowa E. Dla GZWP 451 ta strategia została już częściowo opublikowana natomiast dla Częstochowy jest w trakcie realizacji.

Strategia kalibracji modelu przepływu i transportu dla GZWP 415 polegała na wykorzystaniu danych znacznikowych dostępnych dla tego systemu. Obejmują one dane stężeniowe izotopów promieniotwórczych (³H, ³⁹Ar, ¹⁴C) oraz antropogenicznego gazu śladowego (SF₆). Zastosowana strategia kalibracji objęła następujące etapy:

- początkowa kalibracja modelu przepływu z wykorzystaniem danych hydrodynamicznych (fig. 3),
- kalibracja modelu transportu z wykorzystaniem SF₆ (fig. 4); rekaliibracja modelu przepływu z częściową zmianą modelu konceptualnego,
- wykorzystanie ³H do kalibracji modelu transportu w strefie krążenia młodych wód (fig. 5); rekaliibracja modelu przepływu,
- wykorzystanie ¹⁴C do kalibracji modelu transportu w głębszych strefach krążenia odległych od obszaru zasilania; rekaliibracja modelu przepływu z częściową zmianą modelu konceptualnego,
- wykorzystanie ³⁹Ar do walidacji modelu transportu w pośrednich strefach krążenia w centralnej części GZWP 451; rekaliibracja modelu przepływu.

Znaczny margines niepewności występuje już w fazie tworzenia modelu geologicznego (struktura) oraz modelu konceptualnego (pojęciowego), do których po kalibracji modelu przepływu i transportu trzeba czasem wrócić i dokonać ich modyfikacji (Refsgaard i in., 2012).

Dobrze wykalibrowany model przepływu i transportu może być wykorzystany jako dodatkowe źródło informacji o systemie krążenia wód podziemnych. Jeśli w obszarze zasilania takiego modelu przeprowadzimy symulację impulsowej iniekcji substancji konserwatywnej (znacznika), to otrzymamy w dowolnym punkcie systemu rozkład czasów dojścia do tego miejsca (RTD – Residence Time Distribution). Krzywe są zazwyczaj asymetryczne (fig. 6), co powoduje, że średni czas traktowany jako „wiek wody” jest dużo większy od czasu odpowiadającego maksimum funkcji rozkładu. W przypadku studni 7 (fig. 6) wiek średni jest około 7-krotnie dłuższy od czasu odpowiadającego maksimum funkcji rozkładu. Czas ten powinien być brany pod uwagę przy ocenie zagrożenia dla tej studni. Szersza dyskusja na ten temat jest zawarta w dostępnym raporcie projektu GENESIS (Wachniew i in., 2012) oraz przygotowywanym raporcie na temat podatności wód na zanieczyszczenie (Żurek i in., 2013). W skrócie problem jest również poruszony w polskojęzycznej publikacji (Kania, Witczak, 2011).

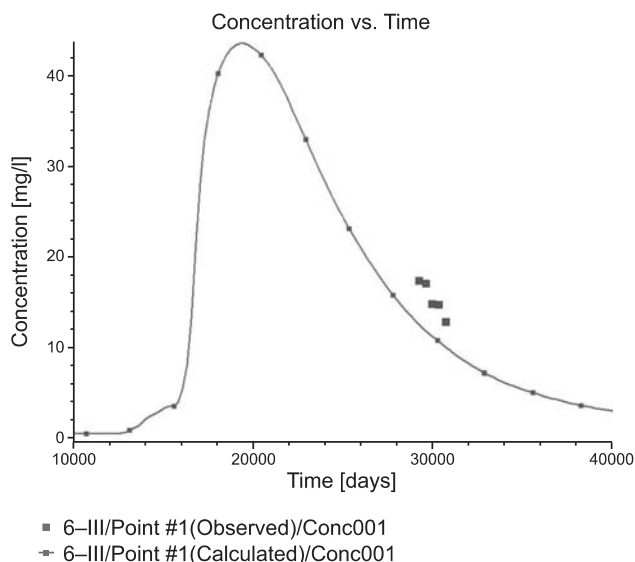


Fig. 5. Kalibracja modelu transportu GZWP 451 z wykorzystaniem pomiarów trytu. Porównanie symulowanych (linia ciągła) i mierzonych (symbole kwadratowe) stężeń trytu [T.U.] w studni nr 6

Calibration of transport model with tritium. Comparison of simulated (line) and measured (rectangles) tritium concentrations [T.U.] in well No 6

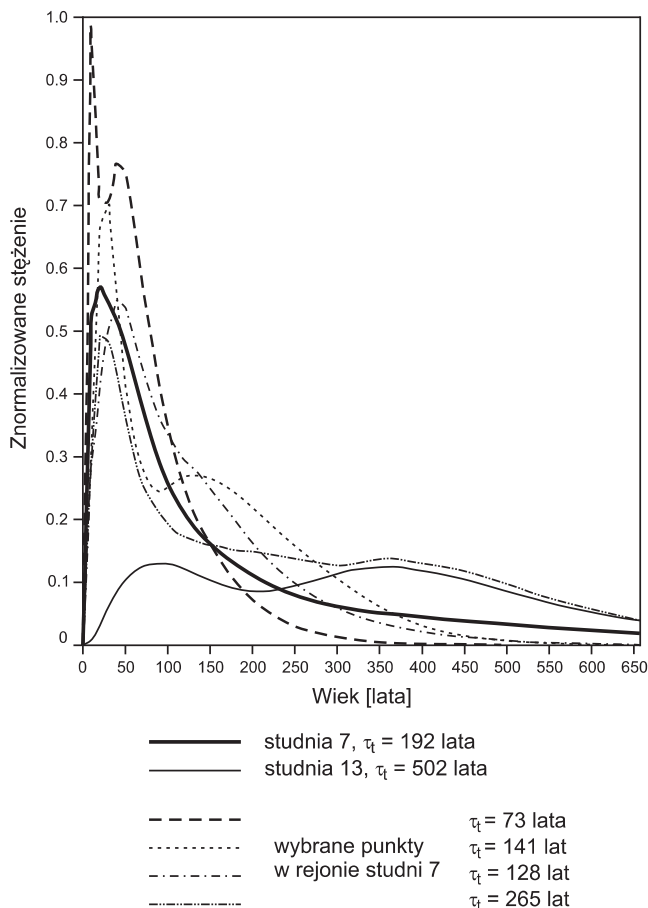


Fig. 6. Rozkłady czasów przebywania dla wybranych punktów w zbiorniku GZWP 451 uzyskane z symulacji programem MT3D. Skala pionowa pokazuje prawdopodobieństwo pojawienia się wody o określonym czasie przepływu (wieku) (Kania, Witczak, 2011)

RTD functions generated for chosen points of the GZWP 451 Bogucice aquifer, simulated by MT3D code (Kania, Witczak, 2011)

Asymetryczne krzywe RTD są również charakterystyczne dla przepływu przez strefę aeracji co w ramach projektu GENESIS jest badane przez grupę prof. P. Małozewskiego z Monachium (por. Stumpp, Małozewski, 2010), ale również będą opisane doświadczenia w tym zakresie zespołu AGH.

Przedstawiona strategia dla GZWP 451 o charakterze porowym jest aktualnie implementowana dla fragmentu GZWP 326 w rejonie Częstochowy o charakterze szczelinowo-krasowym. Stworzono model 3D, którego kalibracja opiera się głównie na obserwacjach trytu, a pomocniczo – na migracji azotanów i chromu. Celem jest weryfikacja metod ograniczania zawartości azotanów dla wybranych ujęć zaproponowana przez Malinę i in. (2007) oraz sprawdzenie zasadności modelu migracji chromu zasugerowanego we wcześniejszych publikacjach (Nikiel, 1999; Hermański i in., 2012).

NOWE WYZWANIA ZWIĄZANE ZE ŚRODOWISKOWĄ ROLĄ WÓD PODZIEMNYCH

Ocena nowych wyzwań związanych ze środowiskową rolą wód podziemnych oraz wynikające stąd konflikty pomiędzy potrzebami środowiska i człowieka w korzystaniu z zasobów wód podziemnych przedstawiono na przykładzie obszaru Natura 2000 w Puszczy Niepołomickiej i nowego ujęcia wód podziemnych Wola Batorska zlokalizowanego na północnej granicy GZWP 451 (fig. 7). Obszarem zainteresowania jest Torfowisko Wielkie Błoto stanowiące obszar Natura 2000 (PLH120080). Na całym obszarze torfowiska występują zwarte populacje trzech gatunków motyli wymienianych w II Załączniku Dyrektywy Siedliskowej: *Maculinea teleius*, *M. nausithos*, *Lycaena dispar*. W przypadku motyli z rodzaju *Maculinea* są to najprawdopodobniej największe tak zwarte populacje w Europie. Zarastanie łąk krzewami i drzewami stanowi zagrożenie dla ww. populacji. Może to być wynikiem obniżenia poziomu wód gruntowych pod wpływem eksploatacji wód podziemnych w zalegającym poniżej GZWP 451 Bogucice. Takie obniżenie zwierciadła wody zagraża również otaczającym obszarom leśnym Puszczy Niepołomickiej w strefach, gdzie stan lasu zależy od płytko występujących wód podziemnych (obszary GDTE – fig. 8).

nea teleius, *M. nausithos*, *Lycaena dispar*. W przypadku motyli z rodzaju *Maculinea* są to najprawdopodobniej największe tak zwarte populacje w Europie. Zarastanie łąk krzewami i drzewami stanowi zagrożenie dla ww. populacji. Może to być wynikiem obniżenia poziomu wód gruntowych pod wpływem eksploatacji wód podziemnych w zalegającym poniżej GZWP 451 Bogucice. Takie obniżenie zwierciadła wody zagraża również otaczającym obszarom leśnym Puszczy Niepołomickiej w strefach, gdzie stan lasu zależy od płytko występujących wód podziemnych (obszary GDTE – fig. 8).

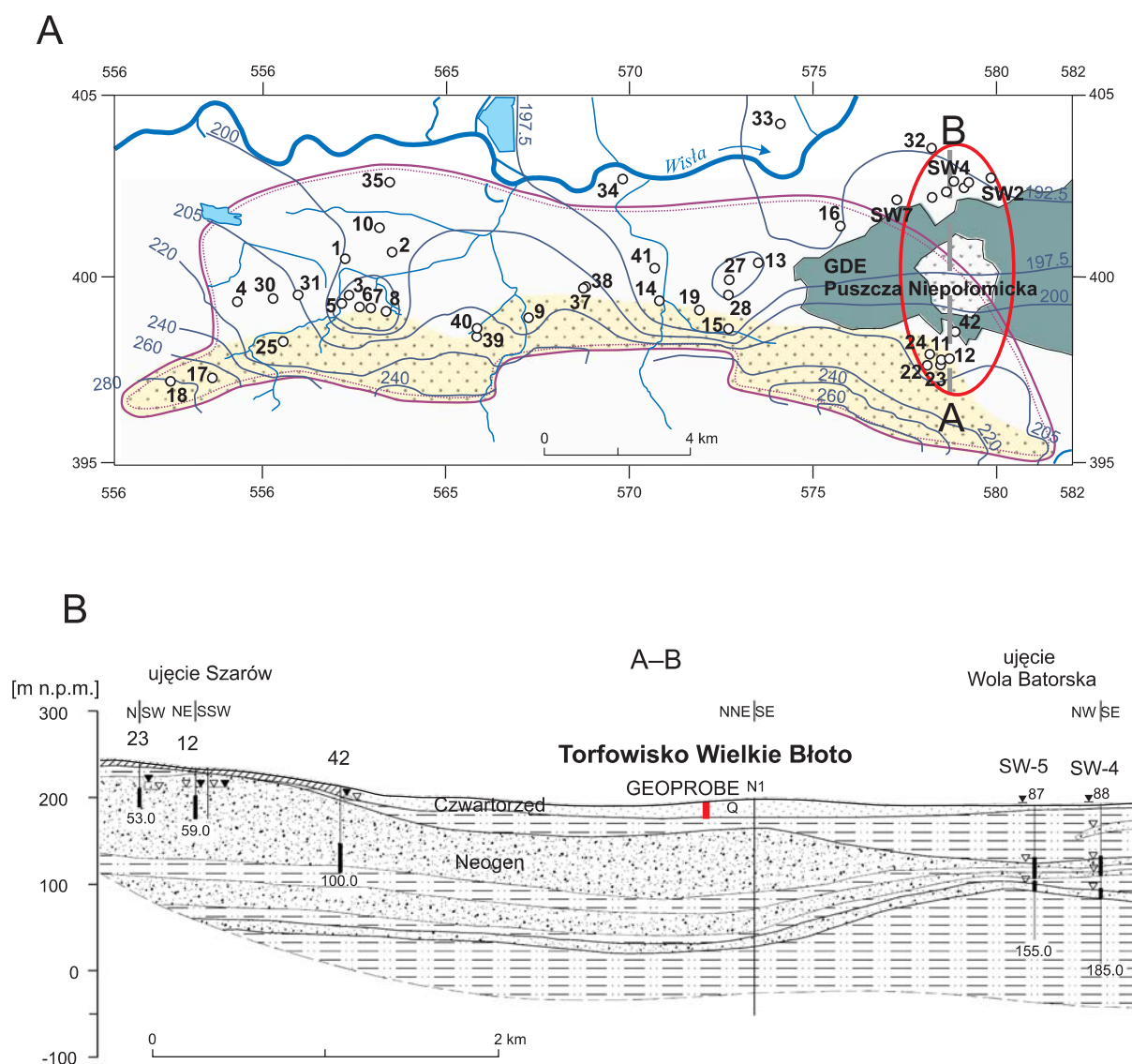


Fig. 7A. Uproszczona mapa hydrogeologiczna rejonu konfliktu ujęć wód podziemnych i ekosystemu zależnego od wód podziemnych (czerwony owal). B. Szkieletowy przekrój hydrogeologiczny (linia A–B na fig. A) wg A. Szybista i A. Garlickiego (Górka i in., 2010) ilustruje położenie torfowiska Wielkie Błoto oraz ujęć Szarów i Wola Batorska. Naturalny przepływ wód podziemnych odbywał się wzdłuż przekroju z południa na północ

A. Simplified hydrogeological map of the conflict region between wellfields and GDE (red oval). B. Cross-section of the aquifer (line A–B in fig. A) with the position of wellfields Szarów and Wola Batorska. Natural direction of groundwater flow is from south to north. Cross-section according to A. Szybista and A. Garlicki (Górka *et al.*, 2010)

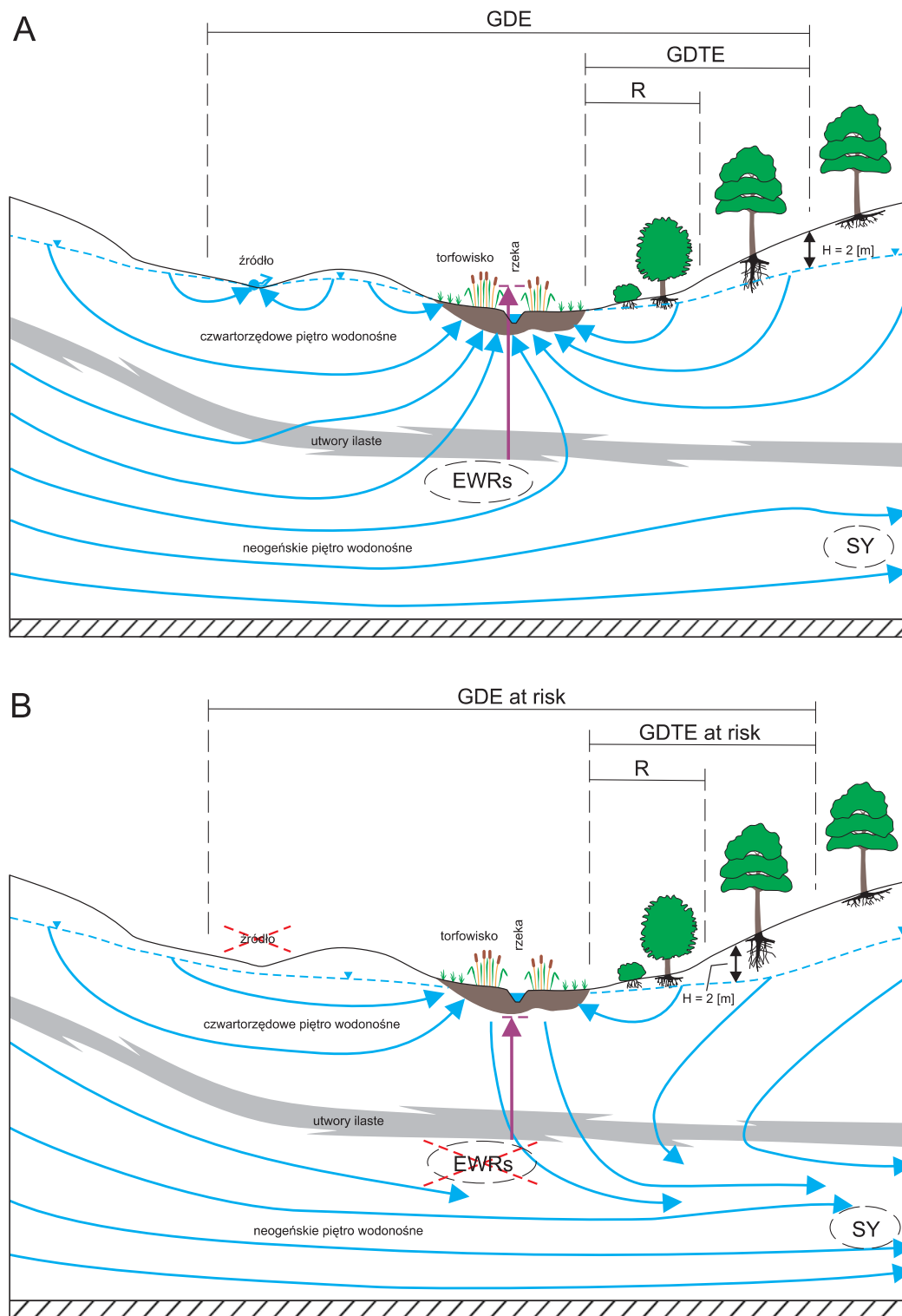


Fig. 8. Model konceptualny obszaru Natura 2000 – Torfowisko Wielkie Błoto w warunkach naturalnych (A) i przewidywany stan w okresie intensywnej eksploatacji ujęcia Wola Batorska (B)

GDE – ekosystemy zależne od wód podziemnych; GDTE – ekosystemy lądowe zależne od wód podziemnych ($H < 2$ m p.p.t.); R – lasy nadbrzeżne (riparian forests); EWRs (Environmental Water Requirements) – wydatek wody niezbędny dla zachowania GDE; SY (Save Yield) – zasoby dyspozycyjne użytkowego poziomu wód podziemnych wykorzystywanego przez ujęcie Wola Batorska.

Conceptual model of protected area Natura 2000 – Wielkie Błoto Fen. **A.** Natural state. **B.** Provisional status during intensive exploitation of Wola Batorska wellfield

GDE – Groundwater Dependent Ecosystems; GDTE – Groundwater Dependent Terrestrial Ecosystems ($H < 2$ m b.l.s.); R – riparian forests; EWRs – Environmental Water Requirements; SY – Save Yield of aquifer exploited by wellfield Wola Batorska

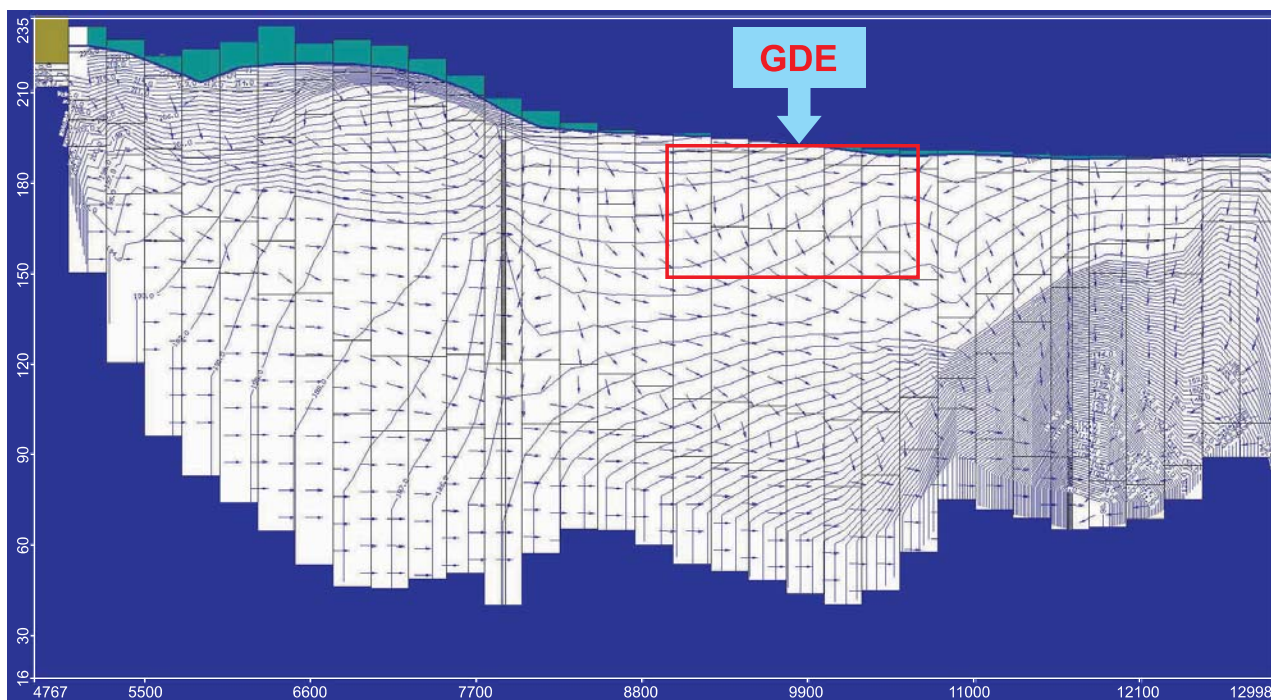


Fig. 9. Wstępne rezultaty modelowania badanego obszaru wskazują, że eksploatacja ujęcia Wola Batorska z wydajnością równą aktualnym zasobom eksploatacyjnym może wywołać zmianę kierunku przepływu wód podziemnych zgodnie z **fig. 8B** i w konsekwencji stworzyć zagrożenie dla egzystencji obszaru Natura 2000 – Torfowisko Wielkie Błoto (GDE)

Preliminary results of 3D flow model applied to the study area indicate that exploitation of wellfield Wola Batorska with maximum permitted capacity may lead to lowering water table below the Wielkie Błoto Fen and, as a consequence, endanger further existence of this GDE

Obszar Torfowiska Wielkie Błoto odwadnia zlewnia strumienia Długa Woda. Dotychczasowe badania w ramach projektu GENESIS wskazują na częściowe zasilanie tej zlewni od dołu przez artezyjskie wody występujące w neogénskich piaskach i piaskowcach GZWP 451 Bogucice (**fig. 8A**), mimo oddzielenia ich od utworów czwartorzędowych ilasto-pylastymi utworami neogenu.

Warunki pokazane na **fig. 8A** mogą ulec zmianie pod wpływem eksploatacji ujęcia Wola Batorska położonego około 2 km na północ od Wielkiego Błota (**fig. 7**). Ujęcie to, włączone w 2009 roku, zwiększyło znacznie eksploatację wód podziemnych w tym rejonie w stosunku do wcześniejszej, prowadzonej przez ujęcie Szarów położone na południe od tego obszaru. Skład wód i znaczniki środowiska oraz model numeryczny wskazują, że aktualnie krążenie wód odbywa się jeszcze zgodnie z modelem koncepcyjnym przedstawionym na **fig. 8A**. Ujęcie Wola Batorska eksploatuje obecnie wodę na poziomie około 30% zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych. Prognoza na modelu numerycznym wskazuje jednak, że przy pełnym wykorzystaniu zasobów eksploatacyjnych ujęcia Wola Batorska istnieje wysokie prawdopodobieństwo odwrócenia się kierunków przepływu i obniżenie zwierciadła wody w rejonie torfowiska (**fig. 8B, 9**).

Przedstawiony sposób oceny ilości wody (EWRs) niezbędnej dla zachowania ekosystemu zależnego od wód podziemnych (GDE) jest wzorowany na zaleceniach pakietu

WP4 projektu GENESIS (Klove i in., 2011). Przy zasilaniu GDE z głębiej położonego poziomu wód podziemnych wydaje się celowe, aby zamiast oceny przepływu nienaruszalnego wód powierzchniowych wyznaczyć przepływ nienaruszalny wód podziemnych wg założeń proponowanych we wcześniejszych publikacjach (Witczak, Żurek, 2008).

Kluczowym wskaźnikiem hydrodynamicznym zagrożenia Wielkiego Błota jest odpowiedni poziom zwierciadła w głębszej warstwie wodonośnej. Szybciej zostanie stwierdzone obniżenie się zwierciadła niż zmiany przepływu Długiej Wody odwadniającej Wielkie Błoto w warunkach znacznej zmienności przepływu. Trudniej również ocenić zmiany zwierciadła wody w płytkiej warstwie wodonośnej, które w rejonie Puszczy Niepołomickiej i Wielkiego Błota mają dość złożony rytm (Suliński, 1981; Chełmicki i in., 2003) związany ze zmianami opadów i wpływem melioracji.

Kluczowym wskaźnikiem fizykochemicznym malejącego zasilania z dolnej warstwy wodonośnej powinien być skład wód odpływających ze zlewni Wielkiego Błota. Eliminacja zasilania z podłoża o wysokim pH, wysokiej zawartości Na i niskiej zawartości trytu będzie manifestowała się odpowiednimi zmianami składu wód.

Dzięki przeprowadzonym badaniom w ramach projektu GENESIS mamy więc indykatory fizykochemiczne (pH, Na, tryt) jak również hydrodynamiczne (H w dolnej, pierwotnie artezyjskiej warstwie wodonośnej), pozwalające na monitorowanie problemu. Przy planowaniu monitoringu należy brać

pod uwagę skalę czasową tych procesów w zlewni Wielkiego Błota, która zostanie dokładniej oceniona po całkowitym zakończeniu badań modelowych.

Czy uda się rozwiązać konflikt pomiędzy potrzebami środowiska i człowieka w korzystaniu z wody? Wydaje się, że po zakończeniu prowadzonych w ramach programu GE-

NESIS badań terenowych oraz modelowania uda się wypracować ścieżkę racjonalnego postępowania w tym i podobnych przypadkach. Prawdopodobnie będzie to wymagało ograniczenia pełnego wykorzystania zasobów ujęć, które były określone w warunkach braku świadomości konfliktu z sąsiadującym GDE.

PODSUMOWANIE

Rezultaty, które zostały zaprezentowane w artykule stanowią poglądy polskiego zespołu wzbogacone o dyskusje na forum spotkań projektu GENESIS. Oficjalne stanowisko projektu będzie zaprezentowane w raporcie końcowym oraz w publikacjach w czasopiśmie naukowych.

Szerokie wprowadzenie skali czasowej ma bardzo istotne znaczenie w procesie właściwej implementacji Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW i DWP). Szczególnie krytycznie należy odnieść się do braku uwzględnienia skali czasowej w procesach oceny stanu chemicznego wód podziemnych oraz realizacji programów działań związanych z poprawą stanu ilościowego i chemicznego wód podziemnych.

Jako ważny obszar konfliktowy wymagający rozwiązania pozostaje właściwe określenie środowiskowej roli wody. Przedstawiony w artykule przykład konfliktu dużego ujęcia wody i obszaru Natura 2000 ilustruje występujące problemy i możliwość ich rozwiązania nawet w dość specyficznych warunkach zależności GDE od głębszych poziomów wodnośnych.

Niniejsze opracowanie wykonano w ramach realizacji projektu GENESIS (7 Program Ramowy Unii Europejskiej, nr projektu 226536) oraz w ramach prac statutowych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (projekty nr 11.11.140.026 oraz 11.11.220.01).

LITERATURA

- CHELMICKI W., CISZEWSKI S., KLIMEK M., ŻELAZNY M., 2003 — Rekonstrukcja wahań zwierciadła wód gruntowych w Puszczy Niepołomickiej za pomocą sieci neuronowych. *Prz. Geogr.*, **75**, 2: 251–269.
- DUDA R., WITCZAK S., ŻUREK A., 2011 — Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie 1: 500 000. Metodyka i objaśnienia tekstowe. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.
- DWP, 2006 — Dyrektywa 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L 372, Tom 49, 27 grudnia 2006.
- FENTON O., SCHULTE R.P.O., JORDAN P., LALOR S.T.J., RICHARDS K.G., 2011 — Time lag: a methodology for the estimation of vertical and horizontal travel and flushing timescales to nitrate threshold concentrations in Irish aquifers. *Environmental Science & Policy*, **14**, 4: 419–431.
- GÓRKA J., RECZEK D., GONTARZ Ż., SZKLARZ K., 2010 — Aneks do projektu prac geologicznych dla udokumentowania zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych oraz wyznaczenia obszarów ochronnych subzbiornika Bogucice (GZWP nr 451). SEGI-AT Sp. z o.o.
- HERMAŃSKI S., ŁUKACZYŃSKI I., NIKIEL G., MIZERA J., DULIŃSKI M., KANIA J., RÓŻAŃSKI K., SZKLARCZYK T., WACHNIEW P., WITCZAK S., ŻUREK A., 2012 — Persistent pollution of Warta river catchment with chromium: case study from central Poland. *Geophysical Research Abstracts*, **14**.
- HERRMANN F., BERTHOLD G., FRITSCHKE J.G., KUNKEL R., VOIGT H.J., WENDLAND F., 2012 — Development of a conceptual hydrogeological model for the evaluation of residence times of water in soil and groundwater: the state of Hesse case study, Germany. *Environ. Earth Sci.*, **67**: 2239–2250.
- KANIA J., WITCZAK S., 2011 — Modele migracji zanieczyszczeń. W: Dąbrowski S. i in.: Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych: poradnik metodyczny. Poznań, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, rozdz. 13: 313–332.
- KLOVE B., ALA-AHO P., ALLAN A., BERTRAND G., DRUŻYŃSKA E., ERTÜRK A., GOLDSCHIEDER N., HENRY S., KARAKAYA N., KARJALAINEN T.P., KOUNDOURI P., KVAERNER J., LUNDBERG A., MUOTKA T., PREDA E., PULIDO VELÁZQUEZ M., SCHIPPER P., 2011 — Groundwater dependent ecosystems. Part II. Ecosystem services and management in Europe under risk of climate change and land use intensification. *Environ. Sci. Policy*, **14**: 782–793.
- Komisja Europejska, 2008 — Ochrona wód podziemnych w Europie. Nowa dyrektywa dotycząca wód podziemnych – konsolidacja struktury regulacyjnej UE. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg.
- KONIKOW L.F., 2011 — The secret to successful solute-transport modelling. *Ground Water*, **49**: 144–159.
- MALINA G., KACZOROWSKI Z., MIZERA J., 2007 — Zintegrowany system gospodarowania i ochrony zasobów wodnych GZWP 326. Monografia PWiK okręgu Częstochowskiego.
- NIKIEL G., 1999 — Modelowanie migracji zanieczyszczeń we fragmencie GZWP 326 na N od Częstochowy, *Współ. Probl. Hydrogeol.*, **9**: 479–483.
- RDW, 2000 — Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich L 327, Tom 43, 22 grudnia 2000.

- REFSGAARD J.S., CHRISTENSEN S., SONNENBORG T.O., SEIFERT D., HOJBERG A.L., TROLDORF L., 2012 — Review of strategies for handling geological uncertainty in groundwater flow and transport modeling. *Advances in Water Resources*, **36**: 36–50.
- SOPHOCLEOUS M., 2012 — On Understanding and Predicting Groundwater Response Time. *Ground Water*, **50**, 4: 528–540.
- STUMPP C., MALOSZEWSKI P., 2010 — Quantification of preferential flow and flow heterogeneities in an unsaturated soil planted with different crops using the environmental isotope $d^{18}O$. *J. Hydrol.*, **394**: 407–415.
- SULIŃSKI J., 1981 — Zarys klimatu, rzeźby i stosunki wodne w Puszczy Niepołomickiej. *Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej PAN*, **9**: 25–69.
- WACHNIEW P., GKEMITZI A., HUNKELER D., KANIA J., KLOVE B., KUPFERSBERGER H., KÜBECK C., KVAERNER J., LUNDBERG A., MEEKS J., PEÑA HARO S., POSAVEC K., STUMPP C., PULIDO VELAZQUEZ M., RÓŻAŃSKI K., WITCZAK S., 2012 — Guidelines on flowpath characterization, dynamics and groundwater renewal. GENESIS, Deliverable D2.2, <http://www.thegenesisproject.eu>.
- WITCZAK S., ŻUREK A., 2008 — Problemy związane z uwzględnieniem przepływu nienaruszalnego przy ocenie dyspozycyjnych zasobów wodnych. *W: Problemy wykorzystania wód podziemnych w gospodarce komunalnej. XVII sympozjum naukowo-techniczne pt. Zrównoważone gospodarowanie zasobami wód podziemnych na terenach przekształconych antropogenicznie. PZITS Częstochowa*, 38–48.
- WITCZAK S., DUDA R., ŻUREK A., 2007 — The Polish concept of groundwater vulnerability mapping. *W: Witkowski A.J., Ko-walczyk A., Vrba J.: Groundwater Vulnerability Assessment and Mapping. Selected Papers on Hydrogeology*, **11**: 45–59.
- WITCZAK S., KANIA J., KMIECIK E., 2013a — Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- WITCZAK S., KANIA J., ŻUREK A., DULIŃSKI M., RÓŻAŃSKI K., WACHNIEW P., 2012 — Kierunki zmian w dyrektywach Unii Europejskiej (RDW i DWP) w świetle realizacji europejskiego projektu FP7 GENESIS. *W: Materiały na XIX sympozjum naukowo-techniczne pt. Gospodarowanie wodami podziemnymi w aktualnych uwarunkowaniach. PZITS Oddz. w Częstochowie*, s. 3–12.
- WITCZAK S., KANIA J., ŻUREK A., DULIŃSKI M., RÓŻAŃSKI K., WACHNIEW P., 2013b — Gospodarowanie wodami podziemnymi w Polsce a kierunki zmian w dyrektywach UE w świetle realizacji europejskiego projektu GENESIS. *Gospodarka Wodna*, **3**: 96–102.
- ZUBER A. (red.), 2007 — Metody znacznikowe w badaniach hydrogeologicznych: poradnik metodyczny. Ministerstwo Środowiska. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- ZUBER A., RÓŻAŃSKI K., KANIA J., PURTSCHERT R., 2011 — On some methodological problems in the use of environmental tracers to estimate hydrogeologic parameters and to calibrate flow and transport models. *Hydrogeol. J.*, **19**: 53–69.
- ŻUREK A., WITCZAK S., WACHNIEW P., RÓŻAŃSKI K., STUMPP C., MEEKS J., KVAERNER J., GKEMITZI A., GARGINI A., FILIPPINI M., 2013 — Critical review of methods for assessment of vulnerability of groundwater systems. Deliverable D2.3, <http://www.thegenesisproject.eu>.

SUMMARY

The paper briefly describes the European FP7 project GENESIS and lessons learned from the Polish case studies involved into the project. The most important is the role of time scales in understanding the groundwater flow system and environmental water requirements. Simple conceptual models are very important for time scale presentation. More sophisticated numerical modeling needs new methods. One of them shown in the paper is calibration of flow and transport models with the aid of tracers in steps related to available data and age ranges.

The second part of the study shows the problem of environmental water requirements EWRs of groundwater depen-

dent ecosystem GDE in comparison to save yield of deeper artesian aquifer. The main aim was to quantify the interaction between Wielkie Bloto fen (Natura 2000), and the underlying Bogucice Sands aquifer. Due to artesian conditions in the area and relatively thin clay layer separating Neogene aquifer from shallow Quaternary aquifer, the upward leaching of deeper groundwater may contribute in a significant way to the water balance of the investigated GDE. Demonstration of use of the hydraulic heads, physico-chemical parameters (pH, Na) and tracer data (tritium) as indicators of GDE vulnerability was shown.

