

Wykorzystanie niestacjonarnego modelu przepływu do oceny rzeczywistej wielkości eksploatacji wód podziemnych z piętra jurajsko-kredowego na obszarze intensywnych nawodnień rolniczych w rejonie Kalisza

Magdalena Matusiak¹, Jan Przybyłek²

The usefulness of transient modeling method in quantification of actual groundwater abstraction out of Jurassic-Cretaceous aquifer within intensive irrigated areas near Kalisz. Prz. Geol., 65: 1218–1224.

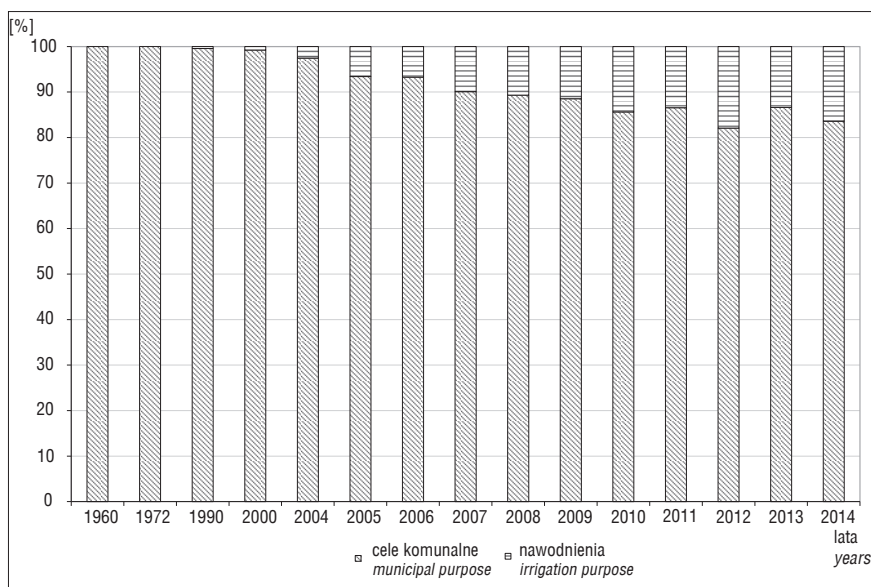
Abstract. The paper presents an increasing problem of uncontrolled groundwater extraction of the Jurassic-Cretaceous aquifer near Kalisz. Groundwater abstraction for irrigation purpose leads to a significant decrease in groundwater pressure in the northern reaches of the Kalisz district. Spatial and temporal analyses of the depression cone development made the author searching for a reason that would cause an ongoing decrease in the groundwater level of agriculturally utilized areas. Due to a significant range of Jurassic-Cretaceous piezometric pressure fluctuations, a transient model has been constructed to achieve this task. The model analysis indicates that the groundwater extraction of 1240 m³/h, required to make the piezometric field distribution compatible to field measurements, is to be 30% higher than recorded. Water abstraction may rise up to 1790 m³/h in the growing season and contribute to a progressive development of a regional depression crater as a consequence. Following the over-exploitation, the piezometric pressure of the Jurassic-Cretaceous basin has already been lowered by over 20.0 m in depth in the Blizanów community.

Keywords: groundwater flow transient modelling, groundwater extraction for irrigation purposes, unregistered groundwater consumption

Wody górnourajskiego poziomu wodonośnego w rejonie Kalisza są powszechnie wykorzystywane jako źródło zaopatrzenia zarówno do celów pitnych – komunalnych, jak i przemysłowych z uwagi na swą korzystną jakość i łatwość ich uzdatniania. Do lat 90. XX w. głównymi konsumentami wód z kaliskiego zbiornika górnourajskiego były wodociągi komunalne miasta Kalisza, wokół których utworzył się rozległy lej depresyjny. W wyniku postępu i przemian gospodarczych zachodzących po 1990 r. w rejo-

nie Kalisza nastąpił istotny wzrost poziomu produkcji i efektywności rolnictwa, którego specyfiką jest wysoko rozwinięta uprawa ogrodnicza pod osłonami. W związku z rozwojem obszarów wiejskich w tym czasie, nastąpiła stopniowa dekoncentracja poboru wód ze zbiornika górnourajskiego i jego przeniesienie na obszary peryferyjne. Wraz z rozwojem produkcji spożywczej w regionie (głównie uprawy roślin) wzrosło również zapotrzebowanie na wody podziemne do nawodnień upraw. Przegrupowanie

eksploatacji spowodowało pogłębienie się leja depresji na terenach przyległych do Kalisza – o charakterze rolniczym, przy jednoczesnym wzniosie zwierciadła wody poziomu górnourajskiego w jego dotychczasowy centrum odwodnienia. Wzrost liczebności nowej grupy odbiorców wywołał stopniową zmianę charakteru poboru wód. Do ok. 2000 r. dominował pobór całoroczny, a udział eksploatacji sezonowej był podrzędny. Po 2000 r. stosunek ten zaczął się zmieniać, wykazując coraz istotniejszą rolę poboru sezonowego w całkowitej wielkości eksploatacji wód podziemnych (ryc. 1). W 2014 r. pobór wód podziemnych piętra jurajsko-kredowego na obszarze badań realizowano 55 ujęciami o charakterze komunalnym lub przemysłowym (całorocznym) oraz 39 ujęciami do nawodnień rolniczych (20 obiektów sezonowych i 19 całorocznych gospodarstw rolno-ogrodniczych).



Ryc. 1. Czasowa zmienność struktury poboru wód podziemnych poziomu jurajsko-kredowego na obszarze badań modelowych

Fig. 1. Changes in the water consumption structure of the Jurassic-Cretaceous aquifer

¹ Hydroconsult Sp. z o.o., ul. Smardzewska 15, 60-161 Poznań; m.matusiak@hydroconsult.pl.

² Collegium Geologicum, Instytut Geologii, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Bogumiła Krygowskiego 12, 61-680 Poznań; janex@amu.edu.pl.

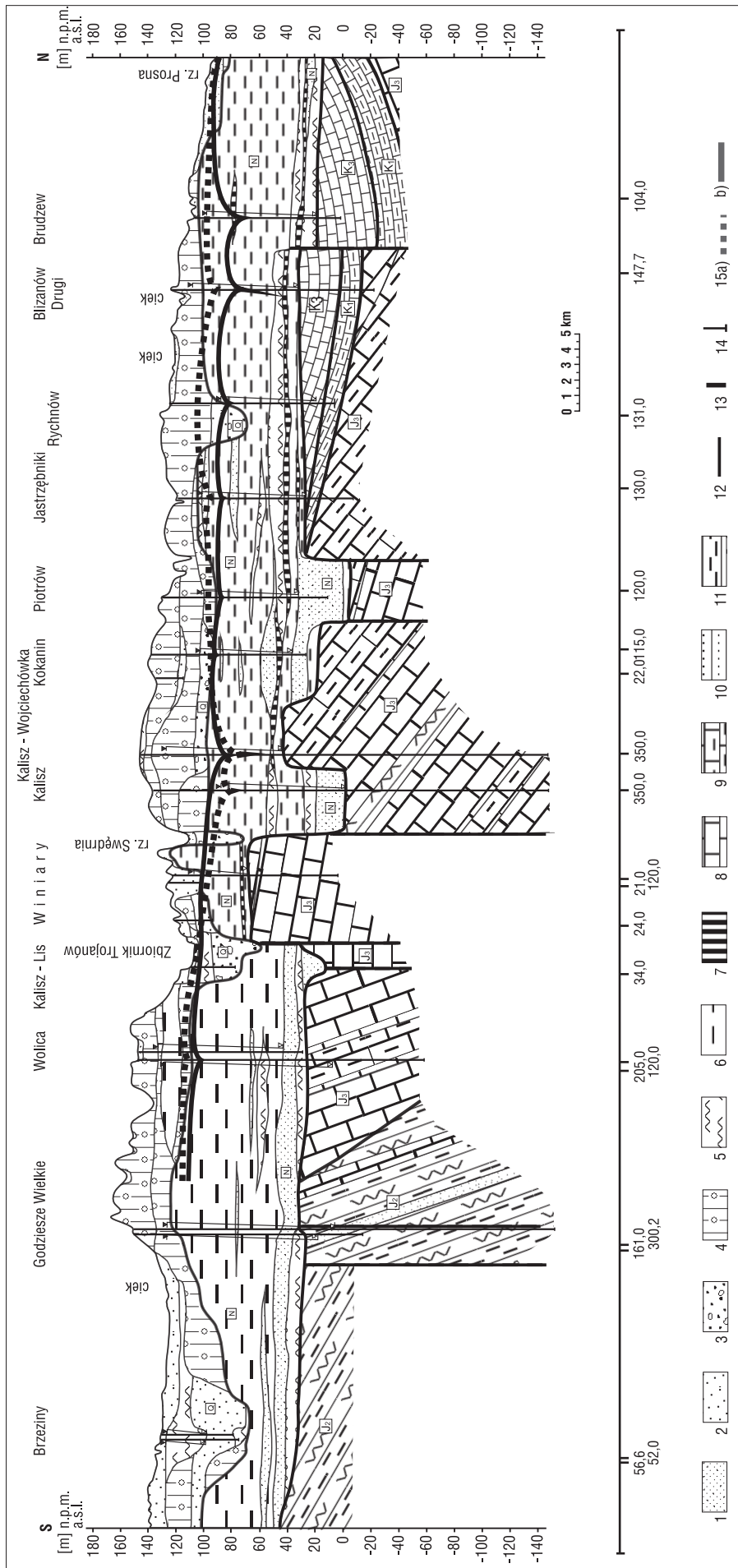


Ryc. 2. Mapa dokumentacyjna obszaru badań. 1 – dolina kopalna Proсны z interglacjału Wielkiego (wg Dąbrowskiego 1991); 2 – pozostałe struktury czwartorzędowe (poziom przypowierzchniowy i międzyglinowy), 3 – poziom mioceniński; 4 – poziomy mezozoiczne (J_1 – jury dolnej, J_2 – jury środkowej, J_3 – jury górnej, K_1 – kredy dolnej, K_3 – kredy górnej); 5 – uskoki tektoniczne; 6 – linia przekroju hydrogeologicznego; 7 – ujęcia wód podziemnych do nawodnień rolniczych; 8 – szklarnie: a) małe < 2500 m², b) duże i średnie > 2500 m².

Fig. 2. Map of the study area. 1 – pre-Proсна valley of the Mazovian Interglacial (after Dabrowski, 1991); 2 – other Pleistocene aquifers; (first-unconfined and intertill one) 3 – Miocene basin; 4 – Mesozoic basins (J_1 – Lower Jurassic, J_2 – Middle Jurassic, J_3 – Upper Jurassic, K_1 – Lower Cretaceous, K_3 – Upper Cretaceous); 5 – faults; 6 – cross-section lines; 7 – intakes for irrigation; 8 – greenhouses, a) small < 2500 m², b) medium and large > 2500 m².

Przestrzenna i czasowa analiza rozwoju leja depresji poziomu górnourajsko-kredowego w rejonie kaliskim skłoniły do poszukiwania przyczyn i skali nadmiernego sukcesywnego obniżania zwierciadła wód podziemnych zaobserwowanego w ostatnich latach na obszarach rolniczych. Wyniki wstępnej próby odtworzenia stanu hydrodynamicznego z 2014 r. na

modelu przepływu stacjonarnego nasunęły przypuszczenia, że eksploatacja wód podziemnych do nawodnień rolniczych może mieć na rozpatrywanym obszarze charakter poboru nie rejestrowanego, o znacznej intensywności. Celem przeprowadzonych badań była ocena rzeczywistej eksploatacji wód kompleksu górnourajsko-kredowego w rejonie Kalisza.



Ryc. 3. Przekrój hydrogeologiczny. 1 – piaski; 2 – piaski i żwiry; 3 – gliny; 4 – mulki; 5 – ility; 6 – węgiel brunatny; 7 – wapienie; 8 – margle; 9 – piaskowce; 10 – iłowce i mulowce; 11 – granice stratygraficzne; 12 – uskoki; 13 – zwierciadło poziomu jurajsko-kredowego a) w 2004 r., b) latem 2014 r. Stratygrafia: Q – czwartorzęd; N – neogen (miocen); J₂ – jura środkowa; J₃ – jura górna; K₁ – kreda dolna; K₃ – kreda górna.

Fig. 3. Hydrogeological cross-section. 1 – sands; 2 – sand and gravel mix; 3 – tills; 4 – muds; 5 – clays; 6 – lignite; 7 – limestones; 8 – marls; 9 – sandstones; 10 – claystones and mudstones; 11 – stratigraphic boundaries; 12 – faults; 13 – piezometric surface: a) in 2004, b) in summer 2014; Stratigraphy: Q – Quaternary; N – Neogene (Miocene); J₂ – Middle Jurassic; J₃ – Upper Jurassic; K₁ – Lower Cretaceous; K₃ – Upper Cretaceous.

BUDOWA GEOLOGICZNA I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Występowanie głównych struktur wodonośnych piętra czwartorzędowego w rejonie Kalisza ogranicza się zasadniczo do pasmowego przebiegu współczesnej doliny Proсны, jej dolin kopalnych oraz lokalnych struktur międzymorenowych (ryc. 2). Obecność poziomu mioceńskiego jest związana z seriami piasków drobnoziarnistych i mułkowatych brzeżnej strefy basenu wielkopolskiego o miąższości 5,0–15,0 m i przewodności w granicach 2,0–9,0 m²/h. Ograniczony zasięg poziomu warunkuje urozmaicona rzeźba podłoża mezozoicznego, którego strop nawiercono w szerokim przedziale 30,0 m p.p.m.–110,0 m n.p.m.

Mezozoiczne poziomy wodonośne stanowiące przedmiot szczegółowych rozważań występują na większości obszaru badań w porowych, porowo-szczelinowych i szczelinowych ośrodkach jury górnej i kredy (ryc. 2). Obecność uprzywilejowanych stref o korzystnym uszczelinowaniu odnotowano powszechnie na głębokościach 30,0–350,0 m. Najkorzystniejszymi parametrami hydrogeologicznymi cechuje się silnie zaangażowany tektonicznie poziom górnourajski dominujący w środkowej części obszaru (wydajności jednostkowe ujęć „q” 5,0–10,0 m³/h/mS). Najniższe parametry filtracyjne odnotowano natomiast w północnej i północno-wschodniej części obszaru badań (q – 0,5–1,0 m³/h/mS).

Głębokie wcięcia erozyjne doliny Proсны powodują powstanie więzi hydraulicznej pomiędzy wodami poziomów wodonośnych czwartorzędu, miocenu oraz jury górnej (ryc. 3). Istniejące okna hydrogeologiczne stanowią potencjalne drogi zasilania poziomu górnourajskiego w obrębie leja depresji wywołanego pracą ujęć komunalnych miasta Kalisza z utworów górnourajskich. Zasadnicze zasilanie poziomu odbywa się w południowo-wschodniej części obszaru badań, w rejonie wyniesionej ponad 100,0 m n.p.m. elewacji utworów mezozoicznych. Na pozostałym obsza-

rze obecność kilkudziesięciometrowej ciągłej pokrywy osadów słabo przepuszczalnych (iłów i glin zwałowych) w znacznym stopniu utrudnia zasilanie poziomu górnourajskiego i kredowego.

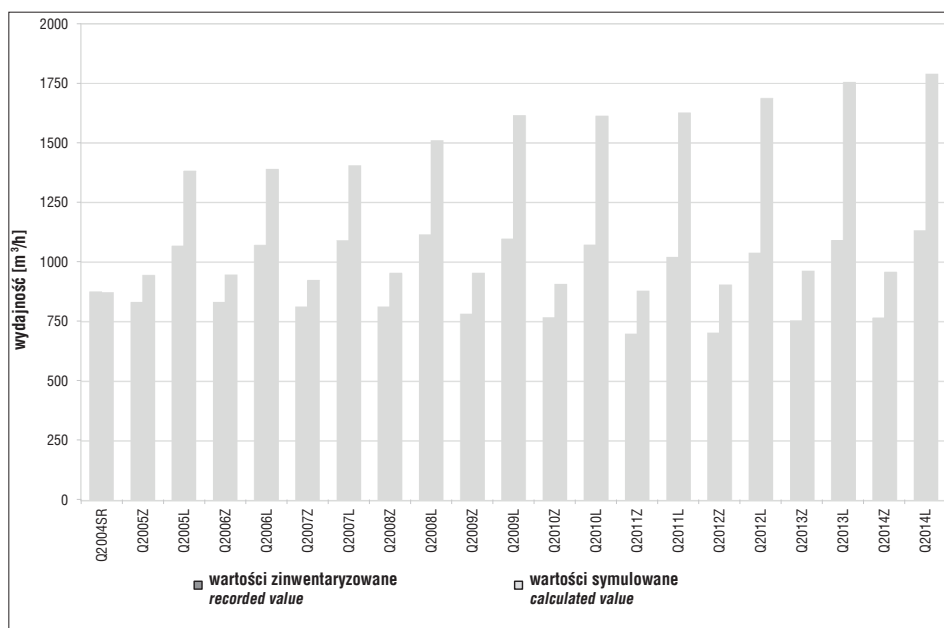
W podłożu na obszarze badań, na głębokości 527,0–576,0 m, stwierdzono występowanie wodonośnych utworów jury środkowej. Jak pokazują wyniki przeprowadzonej analizy termodynamicznej, poziom ten może stanowić element zasilający w stosunku do zasadniczego poziomu górnourajskiego poprzez strefy uskokowe.

ZAKRES I METODY BADAŃ

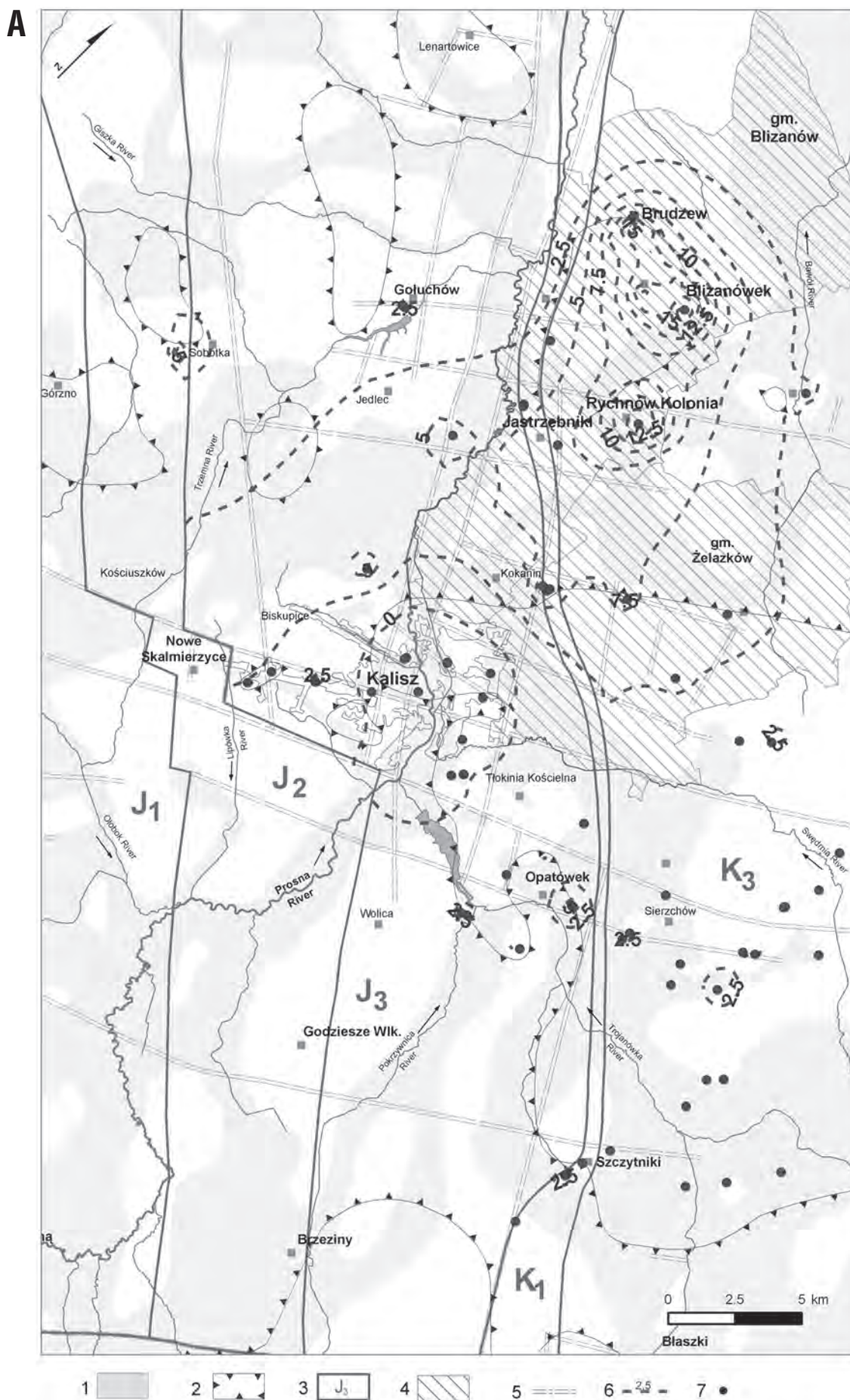
Analizę budowy geologicznej oraz ocenę wielkości poboru wody, ze szczególnym uwzględnieniem poziomu górnourajskiego i kredowego, przeprowadzono na podstawie materiałów archiwalnych dokumentujących bogatą historię i przebieg eksploatacji ujęć dla Kalisza, regionalnych dokumentacji hydrogeologicznych (Przybyłek i in., 1988; Dąbrowski i in., 1994; Dąbrowski i in., 2002; Rynarzewski, 2015) i informacji udzielonych przez użytkowników ujęć wód podziemnych na potrzeby realizowanej rozprawy doktorskiej.

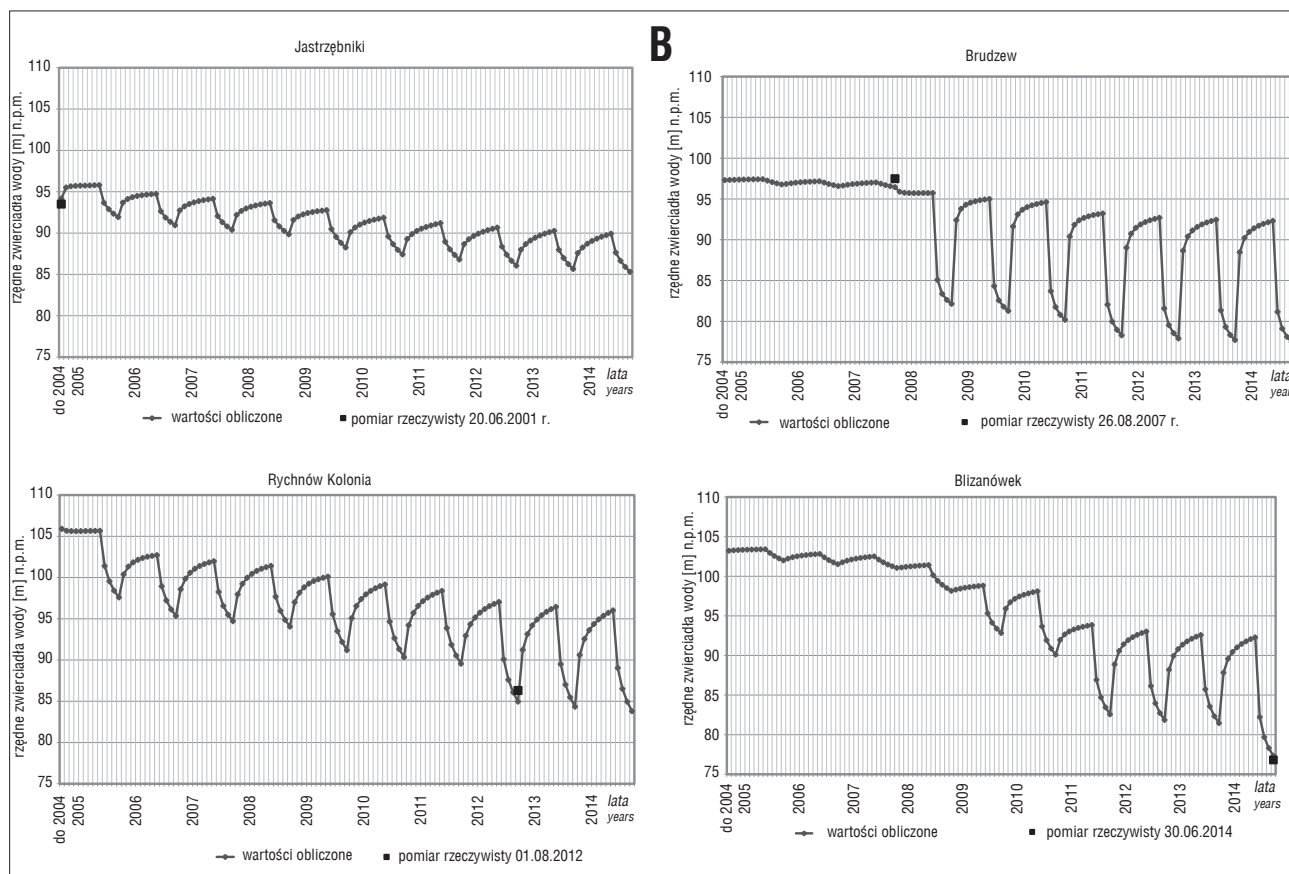
Przeprowadzone we wcześniejszych etapach badania modelowe filtracji ustalonej, oparte na średniej rocznej wielkości eksploatacji ujęć, wykazały brak możliwości odwzorowania stanu wód poziomu jurajsko-kredowego z 2014 r. Model ten należało jednak uznać za wiarygodny, gdyż symulacje walidacyjne stanów z lat 1970, 1990 i 2000 (w których sezonowość rozbiór wód nie wpływała istotnie na rozkład ciśnień piezometrycznych) dostarczały zadowalających zbieżności. Z uwagi na sezonową zmienność poboru, która wywołała w 2014 r. wahania zwierciadła wód poziomów wodonośnych dochodzące do kilkunastu metrów w skali rocznej, do dalszych badań istniejący model przekształcono w model filtracji nieustalonej, którego zasadniczym celem była indentyfikacja rzeczywistej wielkości poboru wody górnourajsko-kredowego poziomu wodonośnego w rejonie Kalisza.

Do symulacji przebiegu eksploatacji wykorzystano program numeryczny Modflow 2000 z pakietu Groundwater Vistas, dzieląc obszar rozpoznania o powierzchni 1500 km², siatką kwadratową 250 × 250 m. Układ hydrostrukturalny sprowadzono do 9 warstw modelowych odzwierciedlających: poziomy przypowierzchniowy i międzyglinowe czwartorzędu – warstwy I i III, poziom mioceński – warstwa V, poziom górnourajski i kredowy – warstwa VII, poziom środkowourajski – warstwa IX. Walidacji modelu dokonano poprzez odwzorowanie procesu filtracji nieustalonej dla jednego z maksymalnych okresów rozwoju leja depresji z 1990 r. Uzyskany stopień odwzorowania wa-



Ryc. 4. Wielkość eksploatacji wód poziomu jurajsko-kredowego
Fig. 4. Water extraction from the Jurassic-Cretaceous aquifer





Ryc. 5. Depresja zwierciadła wód poziomu jurajsko-kredowego w sezonie letnim 2014 r. w świetle sezonowej zmienności ciśnienia piezometrycznych w wybranych punktach obserwacyjnych w Jastrzębnikach, Brudzewie, Rychnowie Kolonii i Blizanówku – **B** (wg badań modelowych filtracji nieustalanej). Mapa na stronie poprzedniej (**A**): 1 – struktury czwartorzędowe, 2 – poziom mioceni; 3 – poziomy mezozoiczne (J_1 – jury dolnej, J_2 – jury środkowej, J_3 – jury górnej, K_1 – kredy dolnej, K_3 – kredy górnej); 4 – gminy Blizanów i Żelazków objęte największym zdepresjonowaniem; 5 – uskoki tektoniczne; 6 – izoliny depresji [m]; 7 – wybrane punkty kalibracyjne.

Fig. 5. Depression of the Jurassic-Cretaceous aquifer in summer 2014 in terms of seasonal variation of piezometric pressure in selected observation wells in Jastrzębniki, Brudzew, Rychnów Kolonia and Blizanówek – **B** (according to transient flow modelling). Map on previous page (**A**): 1 – Pleistocene aquifers; 2 – Miocene basin; 3 – Mesozoic basins (J_1 – Lower Jurassic, J_2 – Middle Jurassic, J_3 – Upper Jurassic, K_1 – Lower Cretaceous, K_3 – Upper Cretaceous); 4 – Blizanów and Żelazków communities under the most noticeable decrease in piezometric surface 5 – tectonic faults; 6 – depression isolines [m]; 7 – observation wells.

←

runków przepływu wód pozwolił uznać stworzony model za wiarygodne narzędzie przydatne do weryfikacji rzeczywistego zużycia wód podziemnych w 2014 r.

Wywiad przeprowadzony z użytkownikami oraz szczegółowa analiza pozwoleń wodnoprawnych i dokumentacji zasobowych ujęć, pod kątem długości oraz wielkości sezonowego poboru wód podziemnych z piętra jurajsko-kredowego w 2014 r., pozwoliła na następującą klasyfikację eksploatacji: typ 1 – ujęcia komunalne i przemysłowe wykazujące pobór całoroczny; typ 2 – sezonowe ujęcia do nawodnień (głównie szklarnie tunelowe i uprawy gruntowe); typ 3 – nowoczesne szklarnie wielkopowierzchniowe prowadzące działalność całoroczną. Cechą wspólną wszystkich typów ujęć jest istotny przyrost eksploatacji w miesiącach czerwiec–wrzesień. Dla określenia potencjalnej wielkości sezonowego poboru wód przyjęto następujące założenia: a) wodociągi komunalne (typ 1) – na podstawie odczytów wodomierzy w poszczególnych latach przy założeniu 30% wzrostu eksploatacji w miesiącach czerwiec–wrzesień; b) zakłady przemysłowe (typ 1) – na podstawie odczytów wodomierzy, zmienność sezonowa dostosowana indywidualnie w zależności od charakteru

produkcji (pobór stały lub zmienny sezonowo); c) sezonowe gospodarstwa rolne i ogrodnicze (typ 2) – pobór 4 miesiące w ciągu roku, zgodnie z obowiązującym pozwoleniem wodnoprawnym lub dokumentacją zasobową; d) całoroczne gospodarstwa rolne i ogrodnicze (typ 3) – pobór 4 miesiące w ciągu roku w wysokości maksymalnego zapotrzebowania zgłoszonego w pozwoleniu wodnoprawnym lub dokumentacji zasobowej (Q_{hmax}), pozostała wielkość określona dopuszczalnym rocznym zużyciem podzielona przez pozostałą część roku. Według przyjętej metodyki średnia wielkość eksploatacji wód przedmiotowego poziomu w 2014 r. wynosiła 889,0 m³/h i różnicowała się z zależności od pory roku od 765,0 m³/h, w sezonie zimowym, do 1130,0 m³/h, w okresie letnim o największym zapotrzebowaniu.

Stacjonarna symulacja początkowa została przyjęta dla średniego poboru z 2004 r., na poziomie 870,0 m³/h. Rzeczywista wielkość eksploatacji na cele komunalne i przemysłowe stanowiła w tym okresie 98%, tj. 850,0 m³/h. Proces filtracji nieustalanej symulowano w kolejnych 10 latach, tj. do 2014 r. włącznie. W związku z przytoczoną strukturą poboru każdy rok został podzielony na

2 podokresy: zimowy, obejmujący 8 kroków czasowych odpowiadających miesiącom od października do końca maja, oraz okres letni, o najintensywniejszym poborze w miesiącach czerwiec–wrzesień (4 kroki czasowe).

Wprowadzony wg przyjętego schematu pobór wód podziemnych, uzupełniany w kolejnych okresach obliczeniowych o sukcesywnie przybývające ujęcia, nadal nie był w stanie wywołać obniżenia modelowanego ciśnienia poziomu górnourajsko-kredowego do pomiarów terenowych w otworach obserwacyjnych. W celu poprawnego zlokalizowania miejsc przypuszczalnego poboru wody przeprowadzono analizę map satelitarnych, w trakcie której zinventaryzowano ponad 1300 szklarni o powierzchni > 1000 m². Największy z tego typu obiektów przekraczał swym rozmiarem 10 ha. Uwagę zwraca znaczna dysproporcja pomiędzy liczbą zinventaryzowanych szklarni, a liczbą udokumentowanych ujęć wód podziemnych wszystkich poziomów wodonośnych (ryc. 3). Analiza różnicowa rozmieszczenia zinventaryzowanych ujęć na tle usytuowania szklarni pozwoliła wytypować 1220 obiektów, będących potencjalnymi odbiorcami wód podziemnych. Oceny wielkości zapotrzebowania wody do zaspokojenia potrzeb tej ilości obiektów wykonano zgodnie z Rozporządzeniem w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody (Rozporządzenie, 2001). Obliczona wydajność możliwa do rozdysponowania na poszczególne poziomy wodonośne, wywołana potencjalnym poborem wód do nawodnień upraw pod osłonami, wyniosła ponad 1000,0 m³/h.

WYNIKI BADAŃ

Uzyskany w wyniku modelowania stanu z 2014 r. pobór wód poziomu jurajsko-kredowego, niezbędny do wytworzenia depresji odpowiadającej pomiarom terenowym, wynosi 1240,0 m³/h w skali rocznej i jest ok. 30% wyższy od wielkości eksploatacji deklarowanej przez użytkowników ujęć. Sezonowa eksploatacja w okresie wegetacyjnym może wahać się od 960,0 m³/h, w okresie zimowym, do 1790,0 m³/h, w sezonie letnim (ryc. 4). Szacuje się, że w okresie największego poboru wód trwającego od czerwca do września wydajność ujęć przeznaczonych do nawodnień (930,0 m³/h) może przekraczać połowę poboru w tym okresie, podczas gdy w okresie zimowym stanowi zaledwie 30% tego rozbioru.

Porównanie rozkładu hydroizohips z 2004 r. i września 2014 r. wykazało występowanie obszarów, w których zwierciadło wód poziomu górnourajskiego i kredowego po sezonie wegetacyjnym obniża się do ok. 77,0 m n.p.m., a szacowany przyrost depresji w stosunku do 2004 r. przekracza lokalnie 20,0 m (ryc. 5). Zagrożenie nadmierną eksploatacją wyraźnie zaznacza się w położonych na północ od Kalisza terenach gmin Żelazków i Blizanów i wiąże się ze znacznym zagęszczeniem szklarni na obszarach pozbawionych młodszych struktur wodonośnych, przy niskiej odnawialności wód piętra jurajsko-kredowego. Obserwowane w ciągu analizowanego 11-lecia sukcesywne obniżanie ciśnienia wód piętra jurajsko-kredowego na pozostałym obszarze z reguły nie przekracza 2,5 m.

WNIOSKI

Intensywny rozwój rolnictwa w warunkach ograniczonego zasięgu łatwo dostępnych wód podziemnych młodszych pięter wodonośnych o dostatecznej zasobności stwarza popyt na wody podziemne głębszych poziomów wodonośnych: górnourajskiego i kredowego w rejonie Kalisza. Przedstawiony przykład świadczy o istotnym zagrożeniu związanym z niekontrolowanym rozwojem ujęć do nawodnień bazujących na wodach tych poziomów. Dominujący rolniczy charakter regionu sprawia, że dotychczasowa struktura poboru wód ulega sukcesywnym zmianom na rzecz poboru do nawodnień. Uzyskany dla 2014 r. średni pobór wód podziemnych dla zaspokojenia potrzeb gospodarstw rolnych i ogrodniczych stanowi aż 40% całkowitego rozbioru wód tego poziomu i wzrasta do ponad 50% w okresach letnich. Obecna niekontrolowana praca ujęć, służących zaspokojeniu potrzeb produkcyjnych na skalę wielkoprzemysłową, stanowi największe zagrożenie stanu wód w tym rejonie. Obserwowany od 2000 r. systematyczny przyrost bazujących na tym poziomie studni do nawodnień rolniczych jest w ostatnich latach przyczyną rozwoju regionalnego leja depresji, obejmującego tereny gmin Blizanów i Żelazków.

Zastosowanie modelowania przepływu wód w reżimie nieustalonym do odzwierciedlenia przebiegu 11-letniego procesu odwadniania jurajsko-kredowego podlegającego cyklicznym wahaniom dochodzącym do kilkunastu metrów w skali rocznej, pozwoliło na określenie wielkości eksploatacji odpowiedzialnej za kształtowanie się stanów wód w poszczególnych okresach obliczeniowych. Obliczona wielkość eksploatacji w 2014 r. wyniosła 1240 m³/h, a uzyskane w wyniku obliczeń modelowych wydajności, niezbędne do obniżenia modelowanego ciśnienia hydrostatycznego poziomu górnourajsko-kredowego do pomiarów rzeczywistych w otworach obserwacyjnych, okazały się o 30% wyższe od wartości figurujących w dokumentacjach hydrogeologicznych i obowiązujących pozwoleniach wodnoprawnych, odzwierciedlając skalę nierejestrowanego poboru odbywającego się współcześnie ze zbiornika jurajsko-kredowego w rejonie Kalisza.

Autorzy pragną skierować podziękowania Recenzentowi dr. hab. inż. Jackowi Szczepińskiemu za cenne i konstruktywne uwagi dotyczące artykułu Badania sfinansowano ze środków własnych.

LITERATURA

- DĄBROWSKI S. 1991 – Rozwój doliny Proсны w plejstocenie. Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych. *Geografia*, 50: 35–46
- DĄBROWSKI S. I IN. 1994 – Bilans wodnogospodarczy zlewni Proсны Część II. Zasoby wód podziemnych ich wykorzystanie. Hydroconsult: Sp. z o.o., Oddział w Poznaniu.
- DĄBROWSKI S. I IN. 2002 – Bilans wód podziemnych na terenie powiatów: kaliskiego, ostrowskiego, leszczyńskiego, obornickiego, wągrowieckiego, chodzieskiego, grodzkiego, nowotomyskiego i konińskiego – woj. wielkopolskie. Hydroconsult Sp. z o.o. Poznań.
- PRZYBYŁEK J. I IN. 1988 – Bilans zasobów wód podziemnych województwa kaliskiego. PTPNoZ – Oddział Wielkopolski, Poznań.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody. *Dz.U.* 2002 Nr 8, poz. 70.
- RYNARZEWSKI W. 2015 – Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby dyspozycyjne wód podziemnych zlewni Proсны. Hydroconsult Sp. z o.o. Poznań.