

Wpłynęło 30.04.2014 r.
Zrecenzowano 15.09.2014 r.
Zaakceptowano 23.02.2015 r.
A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

RYZIKO WYKORZYSTANIA MODELI NUMERYCZNYCH DO IDENTYFIKACJI ZASOBÓW WODNYCH W BESKIDZIE WYSPOWYM (KARPATY ZEWNĘTRZNE)

**Dominika BAR-MICHALCZYK^{ABDEF}, Tomasz MICHALCZYK^{ABCF},
Kamil JUŚKO^{BCEF}, Marta DENDYS^{ACF}**

AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej

Streszczenie

Badania terenowe przeprowadzono w okresie niskich stanów wód w zlewni częściowej potoku Smolnik, obejmującej zlewnie potoków Kłodnianka i Bukowiec. Skonstruowano jednowarstwowy model filtracji ustalonej lokalnego pola filtracji wód podziemnych metodą różnic skończonych w programie Visual MODFLOW. Wykorzystanie modelowania matematycznego do oceny możliwości zwiększenia eksploatacji zasobów wodnych przysporzyło wielu problemów. Obszar badań cechuje się trudną do odwzorowania, złożoną budową geologiczną. Duża jego część jest aktywnym osuwiskiem. Niewielkie rozpoznanie budowy geologicznej obszaru przekłada się na jakość odwzorowania warunków krążenia wód podziemnych. Problemem wymagającym rozwiązania jest brak wiedzy o wielkości rzeczywistego poboru wód podziemnych z prywatnych studni przyzagrodowych. Celem prac było wyznaczenie obszarów perspektywicznych dla poboru wody pitnej w obszarze działania wodociągu wiejskiego w miejscowości Kłodne.

Słowa kluczowe: *gospodarka wodna, Karpaty fliszowe, modelowanie matematyczne*

WSTĘP

Zaopatrzenie ludności w wodę dobrej jakości jest problemem globalnym. Ostatnie lata, z długimi okresami bez opadów, pokazały jak ważna jest efektywna gospodarka zasobami wodnymi na szczeblu lokalnym [KZGW 2010a; MIODUSZEWSKI in. 2011]. Skomplikowane warunki hydrogeologiczne obszarów górskich

Do cytowania For citation: Bar-Michalczyk D., Michalczyk T., Juško K., Dendys M. 2015. Ryzyko wykorzystania modeli numerycznych do identyfikacji zasobów wodnych w Beskidzie Wyspowym (Karpaty Zewnętrzne). Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 15. Z. 3 (51) s. 5–14.

oraz słaby stopień rozpoznania ich budowy geologicznej powodują, że tereny takie rzadko są obejmowane badaniami modelowymi lub badania te są znacznie uproszczone i bazują na analogiach z innymi obszarami. Jednakże znane są przypadki, w których modele matematyczne były stosowane z powodzeniem w gospodarce wodami strefy mieszania się wód zwykłych i leczniczych w skali lokalnej, w terenach górskich [BUCZYŃSKI i in. 2007; WITCZAK i in. 2002]. Były to wielowarstwowe (7 warstw) modele, obejmujące małe powierzchnie (do 13 km²), o kroku siatki rzędu kilku lub kilkunastu metrów [WCISŁO i in. 2010].

Projekt badawczy realizowany w miejscowości Kłodne został sfinansowany ze środków pochodzących z dotacji celowej z budżetu AGH, pozyskanej w ramach konkursu „Grant Rektorski 2013”.

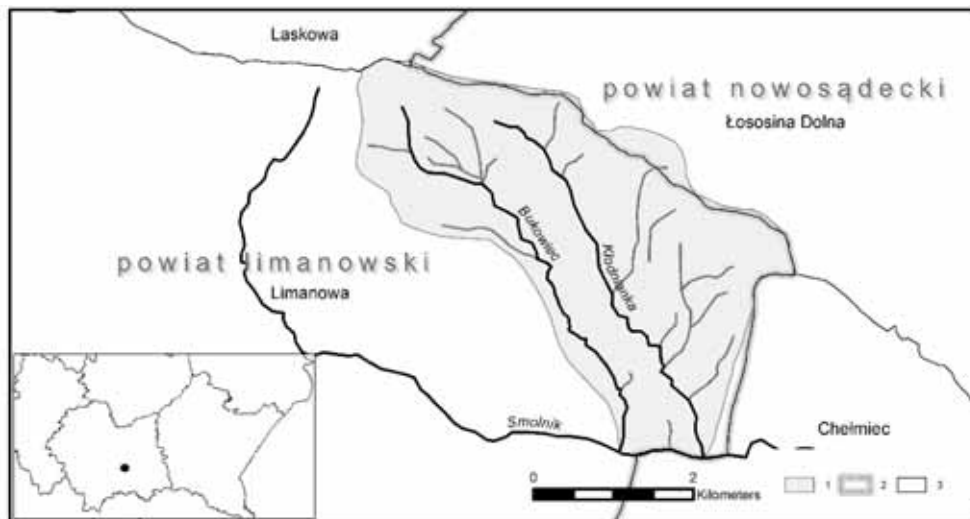
OBSZAR BADAŃ

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA

Kłodne to mała miejscowość położona w województwie małopolskim, powiecie limanowskim (rys. 1). Badana częściowa zlewnia potoku Smolnik ma charakter typowo rolniczy. Użytki rolne w gminie wiejskiej Limanowa, położonej w obszarze zlewni, pokrywają 53% jej powierzchni. Przeważają tu gleby mało urodzajne, w większości V i VI klasy [PAULO i in. 2000]. Lasy występują w północnej części badanej zlewni. Miejscowość Kłodne, w przeciwieństwie do tendencji ogólnokrajowych, charakteryzuje się niewielką emigracją miejscowej ludności oraz rosnącą od dekady liczbą mieszkańców, dlatego gospodarstwa rolne uległy rozdrobnieniu. Przeciętne zajmuje powierzchnię 2,70 ha. W miejscowości Kłodne w 2010 r. doszło do powstania osuwiska, które zniszczyło 20 domów oraz wyrządziło wiele szkód w infrastrukturze.

BUDOWA GEOLOGICZNA

Dominującą formą w rzeźbie terenu obszaru badań jest podłużna elewacja w postaci Pasma Łososińskiego. Budowa obszaru obejmuje cztery piętra strukturalne, budujące Karpaty Zewnętrzne. Najstarsze piętro, zalegające na głębokości ok. 5 km, tworzy kompleks wczesnokaledońskiego masywu małopolskiego [KONDRACKI 2011]. Na nim zalega paleozoiczno-mezozoiczna pokrywa platformowa, zbudowana z nasuniętych ku północy jednostek fliszowych, reprezentowana przez utwory piaskowcowe słabo zaburzonych warstw magurskich i podmagurskich serii magurskiej. Piętro mioceńskie występuje poza obszarem opracowania. Najmłodsze czwartorzędowe piętro Karpat Zewnętrznych jest zróżnicowane. W obszarze badań tworzą je zarówno żwiry fluwioglacjalne, aluwia współczesnych dolin rzecznych, jak i koluwia osuwiskowe, zwietrzliny i deluwia. Karpaty fliszowe, ze względu na



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań; granice: 1 = zlewni, 2 = powiatów, 3 = gmin;
źródło: opracowanie własne na podstawie: KZGW [2010b]

Fig. 1. Location of the Kłodne village; borders of: 1 = catchment, 2 = counties, 3 = communes;
source: own elaboration based on KZGW [2010b]

rzeźbę i budowę geologiczną obszaru, deszcze nawalne oraz niewłaściwą ingerencję człowieka w środowisko, są miejscem częstego występowania osuwisk [CHOWANIEC i in. 2012].

HYDROGEOLOGIA I KLIMAT

Na obszarze Karpat fliszowych wody podziemne krążą w obrębie pokryw utworów czwartorzędowych i podłoża fliszowego [CHOWANIEC (red.) 1997]. Obszarami zasilania (alimentacji) wód podziemnych są wierzchowiny i górne partie zboczy [PACZYŃSKI, SADURSKI (red.) 2007]. Przepuszczalność ośrodka wodonośnego w utworach fliszowych jest mocno zróżnicowana przestrzennie. Jest to związane ze szczelinowatością piaskowców, która zmniejsza się wraz z głębokością [WITCZAK i in. 2002]. Wartości współczynnika filtracji w płytszej strefie (do 40 m) są rzędu 10^{-6} do 10^{-5} $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. W strefie głębszej są o rząd wielkości mniejsze. Profil litologiczny warstwy podmagurskiej, rozpoznany w trakcie wiercenia studni znajdującej się na terenie osuwiska, pokazuje występowanie utworów wodonośnych do niespełna 60 m [DUDA 2004].

Badany obszar leży w regionie klimatu górskiego. Zróżnicowanie średnich rocznych temperatur powietrza wynosi $5\text{--}7^{\circ}\text{C}$, a średnia roczna suma opadów sięga nawet 900 mm. Duży wpływ na warunki wodne w tym obszarze mają nagłe odwil-

że, słoneczna i mroźna pogoda w okresie jesienno-zimowym, intensywne opady późną wiosną i wczesnym latem oraz niższe temperatury powietrza na wiosnę niż jesienią.

Obszar badań, pomimo wysokiej sumy opadów w ciągu roku, cierpi na niedostatek wody w okresie jesieni i wczesnej zimy. Powoduje to niedobory zasobów wodnych w skali lokalnej, co przejawia się problemami zaopatrzenia w wodę gospodarki komunalnej i przemysłu. Charakteryzowany obszar znajduje się w obrębie zlewni potoku górskiego Smolnik, stanowiącego lewobrzeżny dopływ Dunajca [CHOWANIEC (red.) 1997]. Obszar zlewni potoku Smolnik na terenie badań odwadniają również jego dopływy – potok Kłodnianka (zwany też lokalnie Mokrym Potokiem) oraz potok Bukowiec [BAŚCIK, CHELMICKI 2004]. Objęta badaniami powierzchnia zlewni potoku Smolnik wynosi 13,37 km² [MPHP 2010].

METODY BADAŃ

BADANIA TERENOWE

Badania terenowe przeprowadzono w grudniu 2012 r., w okresie niskich stanów wód. Obejmowały one:

- pomiary głębokości zwierciadła wody w 46 studniach gospodarskich kopanych – za pomocą głębokościomierza (gwizdka hydrogeologicznego);
- pomiary przepływów w ciekach powierzchniowych (potok Kłodnianka, potok Bukowiec, cieki niewyróżnione) w 39 punktach – metodą wolumetryczną (metodą objętościową, podstawionego naczynia);
- pomiary temperatury, przewodności elektrolitycznej właściwej oraz pH wody w wybranych studniach gospodarskich oraz ciekach;
- pobór 6 próbek wody do analizy fizykochemicznej.

Chemizm wody ($\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca}$) oraz jej mała mineralizacja (173,3–455,6 mg·dm⁻³) są typowe dla strefy aktywnej wymiany wód w utworach fliszu karpackiego [CHOWANIEC 2009].

MODEL NUMERYCZNY

Badaniom modelowym poddano fragment zlewni potoku Smolnik o powierzchni 13,0 km². Obszar wyznaczono po poznaniu warunków geologicznych, hydrogeologicznych oraz hydrograficznych. Piętra wodonośne, czwartorzędowe, związane z osadami piaszczysto-żwirowymi, oraz paleogeńsko-kredowe, zbudowane z utworów fliszu karpackiego, które pozostają ze sobą w kontakcie hydraulicznym odwzorowano za pomocą układu jednowarstwowego. Znacznie uprościło to proces modelowania na wstępnym etapie. Położenie zwierciadła wody oraz war-

tości przepływów odpowiadają stanowi z prac terenowych przeprowadzonych w grudniu 2012 r.

Model numeryczny filtracji wód podziemnych oraz późniejsze obliczenia symulacyjne wykonano za pomocą programu Visual MODFLOW v.4.2 [DOHERTY, SIMONS 2013; WOLF i in. 2008]. Obszar badań modelowych podzielono siatką ortogonalną o wymiarach bloków $\Delta x = \Delta y = 50$ m (120 kolumn, 104 wiersze). Na podstawie danych literaturowych [CHOWANIEC (red.) 1997; WITCZAK i in. 2002] przyjęto, że spąg modelowanego obszaru sięga 50 m ppt. Numeryczny model terenu na potrzeby badań modelowych skonstruowano na podstawie odwzorowania punktów wysokościowych oraz warstwicy mapy topograficznej w skali 1:10 000. Naturalne ograniczenie obszaru badań modelowych od strony zachodniej, wschodniej oraz północnej stanowiły wododziały wód powierzchniowych – potoku Bukowiec na zachodzie oraz potoku Kłodnianka na wschodzie – 4. oraz 3. rzędu, wododziały obu tych cieków na północy. Natomiast od strony południowej – potok Smolnik. Naturalną bazę drenażową stanowią cieki powierzchniowe wymuszające generalne kierunki przepływu wód podziemnych z NW na SE i z SE na NW. Kolejnym założeniem było zasilanie systemu wodonośnego w całości z opadów atmosferycznych. Na potrzeby badań modelowych, na podstawie analogii do opracowań z rejonu Karpat fliszowych, przyjęto zasilanie infiltracyjne w wysokości $150 \text{ mm}\cdot\text{rok}^{-1}$ w dolinie potoku Smolnik (utwory piaszczysto-żwirowe) oraz $135 \text{ mm}\cdot\text{rok}^{-1}$ na pozostałym obszarze (piaskowce i łupki). Początkowe współczynniki filtracji przyjęto na podstawie opracowań mapy hydrogeologicznej [CHOWANIEC (red.) 1997]. Wydzielono dwie główne strefy – doliny potoku Smolnik o współczynniku filtracji równym $1,15\cdot 10^{-4} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz obszaru zbudowanego przez osady fliszowe (piaskowce, łupki) o współczynniku filtracji równym $1,5\cdot 10^{-6} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Wartości współczynnika filtracji uległy później zmianom.

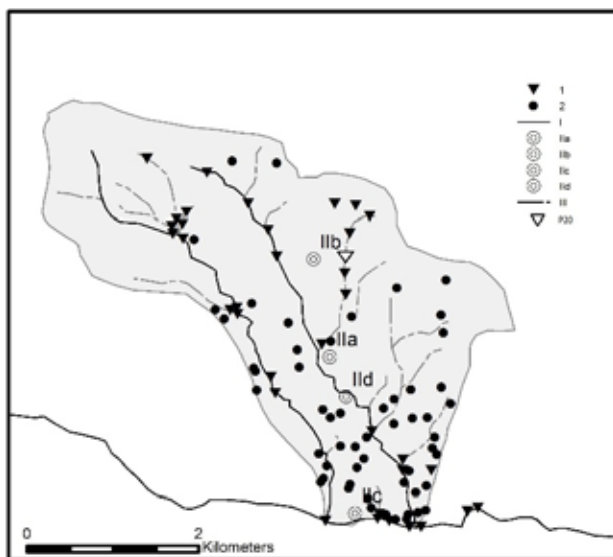
W granicach obszaru badań modelowych warunkiem brzegowym I rodzaju symulowano potok Smolnik, stanowiący naturalną bazę drenażu. Warunek II rodzaju zastosowano do wprowadzenia zasilania infiltracyjnego. Z kolei warunkiem III rodzaju symulowano mniejsze cieki i strumienie powierzchniowe, stanowiące bazę drenażową analizowanego fragmentu zlewni (rys. 2).

Warunki brzegowe wyznaczają funkcję zmian ciśnienia H lub jego pochodnej w granicach zewnętrznych badanego obszaru filtracji oraz w charakterystycznych punktach wnętrza. Warunek I rodzaju określa wartość funkcji H na brzegu obszaru lub w jego wnętrzu. Za pomocą tego warunku najczęściej odwzorowywane są rzędne wody w ciekach i zbiornikach powierzchniowych oraz rzędne depresji zwierciadła wody w studniach eksploatacyjnych. Warunek II rodzaju określa wartość przepływu Q , będącego pochodną funkcji H . Warunkiem tym modeluje się zazwyczaj infiltrację z opadów atmosferycznych oraz wydajność studni eksploatacyjnych. Warunek III rodzaju stanowi liniową kombinację warunków I i II rodzaju i oznacza zmienny przepływ zachodzący w wyniku różnicy ciśnień. Najczęściej

służy do odwzorowywania cieków o słabym kontakcie hydraulicznym z warstwą wodonośną [HAŁADUS, KULMA 2012].

Kalibrację modelu przeprowadzono dla stanu zwierciadła wód podziemnych zaobserwowanego w 33 studniach gospodarskich podczas badań terenowych w grudniu 2012 r. Do kalibracji nie wykorzystano pomiarów przepływów w ciekach powierzchniowych. Pominięto ten krok ze względu na brak możliwości zwerifikowania jednorazowych pomiarów. Podczas procesu kalibracji modyfikacjom ulegała wartość współczynnika filtracji. Ostatecznie wyróżniono 19 stref o różnych wartościach współczynnika filtracji. Współczynnik korelacji wyniósł 0,997, a różnice pomiędzy pomierzonym i obliczonym położeniem zwierciadła wód podziemnych 0,3–9 m. Efektem tego procesu było uzyskanie obrazu kształtowania się warunków wodnych oraz określenie przybliżonych warunków krążenia wód.

W celu określenia perspektywicznych miejsc do poboru wód podziemnych przeprowadzono obliczenia symulacyjne pracy ujęć wód podziemnych w formie pojedynczych studni dogłębionych w czterech lokalizacjach (rys. 2). Studnie były symulowane warunkiem II rodzaju, poprzez wymuszenie określonej wartości poboru wód podziemnych.



Rys. 2. Mapa dokumentacyjna obszaru badań; punkty pomiaru: 1 = przepływu w ciekach; 2 = zwierciadła wód podziemnych; bloki symulowane warunkami brzegowymi: I = I rodzaju; II = II rodzaju dla wariantów: a, b, c, d; III = III rodzaju; P20 = punkt pomiaru przepływu; źródło: opracowanie własne na podstawie: KZGW [2010b]

Fig. 2. Documentation map of the study area; points of measurement of: 1 = flow in streams; 2 = groundwater levels; blocks with boundary conditions: I = constant-head; II = constant flux in variants: a, b, c, d; III = mixed boundary conditions; P20 = flow measured in point P20; source: own elaboration based on KZGW [2010b]

WYNIKI BADAŃ

Wariant *a* zakładał symulację pracy perspektywicznego ujęcia *Ila* zlokalizowanego w centralnej części obszaru. Zakładano wydatki w zakresie $50\text{--}80\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$. Na podstawie obserwacji zmian układu hydroizohips stwierdzono, że maksymalny obliczony wydatek w tej lokalizacji wynosi $70\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, co nie spełnia zgłaszanego zapotrzebowania na wzrost poboru wód podziemnych. Wariant *b* zakładał pracę ujęcia *Ilb* zlokalizowanego na obszarze wysoczyzny w widłach Kłodnianki i strumieni bez nazwy. Symulowano wydatki w zakresie $50\text{--}70\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$. Ten wariant również nie dał oczekiwanych rezultatów, ponieważ jego zastosowanie, według obliczeń, spowodowało osuszenie bloków obliczeniowych w pobliżu wskazanej lokalizacji. W wariantcie *c* zaproponowano lokalizację ujęcia *Ilc* w dolinie potoku Smolnik. Symulację jego pracy przeprowadzono w zakresie wydatków $50\text{--}120\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że zastosowanie tego wariantu spowoduje rozległą depresję oraz osuszenie bloku z symulowaną studnią. Wariant *d* zakładał lokalizację studni *Ild* w prawobrzeżnej części zlewni Kłodnianki w pobliżu osuwiska w Kłodnem. W wyniku obliczeń symulacyjnych stwierdzono, że możliwe jest uzyskanie wydatku o wartości $250\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$, co w pełni pokrywa zapotrzebowanie na wzrost poboru wody na potrzeby mieszkańców, jednakże lokalizacja w tym miejscu ujęcia o takim wydatku jest niemożliwa, ze względu na pokrywanie się zasięgu leja depresji z powierzchnią czynnego osuwiska. Zaproponowano lokalizację ujęcia, alternatywną do symulowanych, na lewobrzeżnym dopływie Kłodnianki w punkcie P20 (rys. 2). Przepływ zmierzony w tym punkcie wyniósł $7,20\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ($172,8\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$), co spełnia oczekiwania związane z powiększeniem poboru wody. Dopływ ten jest zasilany przez źródło o wydajności $1\text{--}10\text{ dm}^3\cdot\text{s}^{-1}$ [CHOWANIEC 2009].

DYSKUSJA WYNIKÓW I WNIOSKI

Średni pobór dobowy na ujęciu wiejskiego wodociągu w Kłodnem wynosi $110\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$. Ujęcie ma charakter mieszany – ujmowane są wody powierzchniowe oraz podziemne. Zapotrzebowanie na wodę pitną wynosi aktualnie $120\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ (przyjmując średnie dobowe zapotrzebowanie na 1 osobę na poziomie $260\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$). Pobór zależy od sezonowych zmian wydajności ujęcia. Okresy przedzimia powodują znaczne zmniejszenie jego możliwości eksploatacyjnych. Planowany jest wzrost liczby użytkowników wodociągu, co jest równoznaczne z powiększeniem poboru wody. Miejscowość Kłodne liczy 1037 mieszkańców (2013 r.). Wodociąg zaopatrza w wodę pitną 120 domostw (ok. 450 mieszkańców). Pozostała część ludności (ponad połowa) czerpie wodę z studni przyzagrodowych. Całkowity nierejestrowany pobór wód podziemnych oraz zapewne częściowo powierzchniowych przez gospodarstwa niekorzystające z wodociągu może sięgać nawet $150\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$. Wartość ta

w skali jednego gospodarstwa jest niewielka, ale w obszarach o niskim stopniu zwodociągowania istotna. Problem stanu regulacji prawnych dotyczących studni głębinowych zaopatrujących gospodarstwa domowe jest szeroko poruszany w środowisku hydrogeologów [SZCZEPAŃSKI 2013]. Niejednoznaczność prawa prowadzi do braku wiedzy o skali problemu.

Nierejestrowany pobór wód podziemnych, wobec braku danych, został pominięty w konstrukcji modelu. Zarówno kalibracja, jak i obliczenia symulacyjne wykazywały, że pobór wody w zakładanych lokalizacjach będzie prowadził do osuszania bloków obliczeniowych. Proces ten obejmie głównie północną część modelowanego obszaru oraz – w zależności od symulowanego wariantu – pojedyncze bloki jego środkowej części. Jednocześnie widoczny jest rozwój depresji eksploatacyjnej, nie tylko w obszarze lokalizacji otworów studziennych, ale również przy wschodniej granicy obszaru. Jedną z przyczyn może być brak tożsamości wododziałów niskiego rzędu – topograficznego i podziemnego. Nie wyklucza się błędów w czasie kalibracji, wynikających z niedostatecznego rozpoznania parametrów ośrodka oraz braku kalibracji opartej na przepływach wód powierzchniowych.

Zlewnie o charakterze górskim stanowią obszary zasilania jednostek hydrogeologicznych, dlatego też zaleca się możliwie szczegółowe ich modelowanie [WCISŁO i in. 2010]. Znaczne spadki wymagają szczegółowego rozpoznania terenowego oraz zastosowania odpowiedniej metodyki. Występowanie wód podziemnych na obszarze Beskidu Wyspowego jest związane z morfologią obszaru. W dolinie potoku Smolnik występują potencjalnie zasobne utwory piaszczysto-żwirowe, natomiast na wzniesieniach zwierciadło wód podziemnych występuje w utworach fliszowych. Zlokalizowanie otworu studziennego ujmującego wody podziemne z utworów fliszowych jest obarczone dużym ryzykiem, ponieważ zbadanie występowania tu utworów wodonośnych jest trudne. Koszty inwestycji prowadzonych w obszarze badań niejednokrotnie nie zostały zrekomensowane poborem wód. Dodatkowo należy pamiętać, że nieodpowiedzialne zmiany w gospodarce wodnej mogą mieć niekorzystny wpływ na stateczność osuwiska.

Konstruując model matematyczny pola filtracji, dysponowano licznymi informacjami o położeniu zwierciadła wód podziemnych, natomiast parametry systemu, głównie budowę geologiczną, przedstawiono w sposób znacznie uproszczony, dlatego wyniki przeprowadzonych symulacji należy rozpatrywać jako środek pomocniczy, przedstawiający zgeneralizowany, przybliżony obraz warunków wodnych.

LITERATURA

- BAŚCIK M., CHELMICKI W. 2004. Komentarz do Mapy hydrograficznej Polski w skali 1:50 000. Arkusze Łososina Dolna. Kraków. UJ. ISBN 83-239-75191.
- BUCZYŃSKI S., OLICHWER T., TARKA R., STAŚKO S. 2007. Zawodnienie formacji fliszowej Karpat w oparciu o wyniki badań źródeł Beskidu Krynickiego w rejonie Tylicza. Współczesne Problemy Hydrogeologii. T. 13. Cz. 2 s. 403–412.

- CHOWANIEC J. (red.) 1997. Objąsnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000. Arkusz Męcina. Warszawa. PIG ss. 19.
- CHOWANIEC J. 2009. Studium hydrogeologii zachodniej częsci Karpat Polskich. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego. Nr 434. Hydrogeologia. Z. 8. ISSN 0867-6143 ss. 98.
- CHOWANIEC J., WÓJCIK A., MROZEK T., RĄCZKOWSKI W., NESCIERUK P., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., MARCINIEC P., ZIMNAL Z., GRANOSZEWSKI W. 2012. Osuwiska w województwie małopolskim. Atlas – Przewodnik. Kraków. Wydaw. Kartograf. Compass. ISBN 978-83-7605-362-2 ss. 143.
- DOHERTY J., SIMMONS C.T. 2013. Groundwater modelling in decision support: reflections on a unified conceptual framework. Hydrogeology Journal. Vol. 21. Iss. 7 s. 1531–1537.
- DUDA J. 2004. Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne otworu studziennego K-1 ujmującego warstwę wodonosną w obrębie utworów trzeciorzędowych w miejscowości Kłodne. Hydrogeol Zakład Wiertniczo-Geologiczny S.C. Maszynopis.
- HAŁADUS A., KULMA R. 2012. Dynamika wód podziemnych. Kraków. Wydaw. AGH. ISBN 978-83-7464-472-3 ss. 267.
- KONDRACKI J. 2011. Geografia regionalna Polski. Warszawa. Wydaw. Nauk. PWN. ISBN 978-83-01-160227 ss. 440.
- KZGW 2010a. Diagnoza aktualnego stanu gospodarki wodnej. Załącznik 1 do projektu polityki wodnej państwa 2030 (z uwzględnieniem etapu 2016) [online]. [Dostęp 30.04.2014]. Dostępny w Internecie: http://kzgw.gov.pl/files/file/Programy/PPWP2030/Zalaczniki_do_projektu_Polityki_wodnej_panstwa_do_roku_2030.pdf
- KZGW 2010b. Mapa podziału hydrograficznego Polski [online]. [Dostęp 30.04.2014]. Dostępny w Internecie: <http://geoportal.kzgw.gov.pl/imap/>
- MIODUSZEWSKI W., SZYMCZAK T., KOWALEWSKI Z. 2011. Gospodarka wodna jako dyscyplina naukowa w służbie rolnictwa. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. T. 11. Z. 1(33) s. 179–202.
- PACZYŃSKI A., SADURSKI A. (red.) 2007. Hydrogeologia regionalna Polski. T. 1. Wody słodkie. Warszawa. PIG. ISBN 978-83-7538-168-9 ss. 542.
- PAULO A., GAŁAŚ A., KRZAK M., STRZELECKA-SMAKOWSKA B. 2000. Objąsnienia do mapy geologiczno-gospodarczej Polski 1: 50 000. Arkusz Męcina. Warszawa. PIG ss. 35.
- WCISŁO M., STAŚKO S., BUCZYŃSKI S. 2010. Czy modelować małe zlewnie w terenach górskich? Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego. Nr 442 s. 159–166.
- WITCZAK S., DUŃCZYK L., MOTYKA J., OSZCZYPKO N. 2002. Regionalny wielowarstwowy model pola hydrodynamicznego w utworach fliszu karpackiego na przykładzie zlewni Krynicyzanki (Płasczowina Magurska). Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego. Nr 404. Hydrogeologia. Z. 4. s. 263–290.
- WOLF J., BARTEL R., BRAUN J. 2008. Modeling ground water flow in alluvial mountainous catchments on a watershed scale. Groundwater [online]. Vol. 46 s. 695–705. [Dostęp 30.04.2014]. Dostępny w Internecie: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.17456584.2008.00456.x/ctedby>
- SZCZEPAŃSKI A. 2013. Postulaty i wnioski środowiska hydrogeologów z obrad i dyskusji uczestników XVI Sympozjum [online]. Współczesne Problemy Hydrogeologii. Jachranka, 16–18.10.2013. [Dostęp 30.04.2014]. Dostępny w Internecie: http://www.wph2013.uw.edu.pl/?page_id=2197

Dominika BAR-MICHALCZYK, Tomasz MICHALCZYK, Kamil JUŚKO, Marta DENDYS

**PROBLEM WITH THE USE OF COMPUTER MODELS IN WATER MANAGEMENT
IN THE OUTHER CARPATIANS (FLYSH) – AN EXAMPLE OF THE KŁODNE VILLAGE**

Key words: *Flysch Carpathians, numerical modelling, water management*

S u m m a r y

Numerical modelling is a frequently used tool in the assessment of both available groundwater resources and for optimization of water management in shortage areas. Field studies in the Kłodne and Męcina area were carried out in December 2012, in the period of low water level after a long term drought. Archive and collected data on groundwater levels and flows in streams were the base for creation a one-layer steady state hydrodynamic model of the local area. Possibilities of increasing aquifer exploitation in the study area were evaluated with the finite difference method in Visual MODFLOW V.4.2 package. Modelling the Carpathians gives rise to many problems. First problem with model construction was the description of geological structure, which resulted in low fidelity model. Study area has a complicated geological structure with large part of the active landslide. Flysch Carpathians are characterised by a lack of continuity of aquifer structures but the software allows to characterise only continuous layers in the model. Furthermore, real groundwater intake was burdened by high uncertainty. Specific water use is registered. Problematic was to estimate unregistered exploitation by private farmstead wells fairly widespread in the study area.

Adres do korespondencji: dr inż. D. Bar-Michalczyk, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; tel. + 48 12 617-38-97, e-mail: bar@agh.edu.pl