

### **Ewa Wysowska**

„Sądeckie Wodociągi” Spółka z o.o. w Nowym Sączu  
e-mail: ewa.wysowska@swns.pl

### **Alicja Kicińska**

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza  
e-mail: kicinska@geolog.geol.agh.edu.pl

### **Grzegorz Nikiel**

„Geobios” Spółka z o.o. w Częstochowie  
e-mail: g.nikiel@gmail.com

---

## **METODYCZNE PODEJŚCIE DO KONIECZNOŚCI USTANAWIANIA STREF OCHRONNYCH UJĘĆ WÓD PODZIEMNYCH NA PRZYKŁADZIE UJĘCIA W STARYM SĄCZU**

---

## **METHODOLOGICAL APPROACH TO NECESSITY OF THE ESTABLISHMENT OF GROUNDWATER SAFETY ZONES ON THE EXAMPLE OF WATER INTAKE IN STARY SĄCZ**

---

DOI: 10.15611/pn.2017.494.21

JEL Classification: Q53

**Streszczenie:** Autorzy przedstawili metodyczne podejście do konieczności ustanowienia strefy ochronnej na przykładzie ujęcia wód podziemnych w Starym Sączu. Analiza obejmowała m.in. uwarunkowania hydrogeologiczne z wykorzystaniem metody elementów analitycznych (*Analytic Element Method*) oraz sozologiczne na obszarze zasobowym ujęcia. Ponadto wykonano ocenę podatności warstwy wodonośnej na zanieczyszczenie, z uwzględnieniem czasu przesączania pionowego oraz z wykorzystaniem metody DRASTIC. Na podstawie uzyskanych wyników zaproponowano zasięg strefy ochrony pośredniej ujęcia. Porównano możliwe ograniczenia w użytkowaniu terenu wynikające z ustanowienia strefy z obowiązującymi ograniczeniami, będącymi następstwem przepisów odrębnych oraz przyjętych planów działań. W pracy dokonano również oceny planowanego efektu ekologicznego działań ochronnych.

**Słowa kluczowe:** strefy ochronne ujęć wód podziemnych, AEM, DRASTIC.

**Summary:** The authors of the article presented the methodical approach to the necessity of the safety zone establishment on the example of groundwater intake in Stary Sącz. The analysis included the minimal hydrogeological conditions with the use of the Analytic Element Method and the sozological conditions in the resource area. Also, an assessment of the aquifer

susceptibility to contamination was made taking into account the vertical filtration time and using the DRASTIC Method. Basing on the obtained results, the scope of the indirect safety zone was proposed. The possible restrictions in land use resulting from the safety zone establishment were compared with valid restrictions which are the consequence of separate regulations and the adopted action plans. In this work one also evaluated the planned ecological effect of protective measures.

**Keywords:** protection zones for groundwater intakes, AEM, DRASTIC.

## 1. Wstęp

Zgodnie z wymogami unijnymi państwa członkowskie zostały zobowiązane do zapobiegania potencjalnemu wodnopochoodnemu niebezpieczeństwu dla zdrowia ludzi [Dyrektywa Rady 98/83/WE...]. Zapewnienie bezpiecznej dla zdrowia i życia wody stanowi jedno z priorytetowych zadań właścicieli ujęć zaopatrujących ludność w wodę do picia. Wskazanemu celowi służy m.in. ustanawianie stref ochronnych ujęć wód podziemnych i powierzchniowych.

Nowelizacja ustawy Prawo wodne [Ustawa z 20 lipca 2017] wprowadza istotne zmiany w sposobie ustanawiania stref ochronnych. Aktualnie (do wejścia w życie nowych przepisów, tj. do dnia 1 stycznia 2018 r.) obowiązująca treść ustawy [Ustawa z 18 lipca 2001] określa opcjonalność wprowadzania stref. Proces ten obecnie odbywa się na wniosek właściciela ujęcia, na podstawie zapisów zawartych odpowiednio dla ujęć wód podziemnych w dokumentacji hydrogeologicznej. Zmianę stanowiska legislacyjnego w tym zakresie podkreślają proponowane zapisy, mówiące że: „zapewnieniu odpowiedniej jakości wód ujmowanych do zaopatrzenia w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi [...], a także ochronie zasobów wodnych, **służy ustanawianie: 1) stref ochronnych ujęć wody [...]**” [Ustawa z 20 lipca 2017]. W dotychczasowym prawodawstwie istota tworzenia obszarów ochronnych ujęć miała brzmienie: „W celu zapewnienia odpowiedniej jakości wody ujmowanej do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczona do spożycia [...], a także ze względu na ochronę zasobów wodnych **mogą być ustanawiane: 1) strefy ochronne ujęć wody [...]**” [Ustawa z 18 lipca 2001].

Ze względu na to, że strefy ochrony bezpośredniej dotyczą w większości przypadków nieruchomości będących w zarządzie właścicieli ujęć i w związku z tym nie następują trudności prawno-funkcjonalnych oraz społecznych, w niniejszym artykule skupiono się na analizie **strefy ochronnej terenu ochrony pośredniej (TOP) ujęcia wody przeznaczonej do spożycia.**

W świetle nowo powoływanych zmian przepisów prawnych [Ustawa z 20 lipca 2017] o potrzebie ustanowienia strefy ochronnej TOP ma decydować przeprowadzona analiza ryzyka<sup>1</sup>. W związku z tym do prawidłowego ustanowienia stref ochrony

<sup>1</sup> Autorzy podkreślają brak delegacji do rozporządzenia określającego szczegółowe zalecenia metodologii przeprowadzania analizy ryzyka.

pośredniej ujęć wód podziemnych niezbędne jest dokonanie szerokiej analizy uwarunkowań hydrogeologicznych, sozologicznych oraz potencjalnych zagrożeń wód podziemnych i ich wpływu na zdrowie ludzi.

Właściwe i przemyślane wyznaczenie strefy ochrony pośredniej stanowi jeden z podstawowych aspektów ochrony wód podziemnych [Duda i in. 2015, s. 694]. Strefa ochronna ujęcia powinna wpływać na zabezpieczenie ilościowe i jakościowe ujmowanych wód oraz chronić je przed możliwymi zagrożeniami (zanieczyszczeniami) wynikającymi z różnych form zagospodarowania terenu. Nie powinna również generować znaczących kosztów dla właściciela ujęcia, wynikających z jej ustanowienia i utrzymania.

Celami artykułu są: analiza konieczności ustanowienia strefy ochronnej wybranego ujęcia, wypracowanie procedury postępowania oraz próba oszacowania efektu ekologicznego i wpływu na jakość wód podziemnych potencjalnego obszaru ochronnego.

Na potrzeby opracowania autorzy posłużyli się wynikami badań hydrogeologicznych oraz modelowych wykonanych celem ustalenia zasobów eksploatacyjnych ujęcia wód podziemnych w Starym Sączu. Przeprowadzone analizy w zakresie stref ochronnych zostały wykonane w oparciu o aktualnie obowiązujące przepisy [Ustawa z 18 lipca 2001]. Stanowią one jednak istotny wkład w wymaganą wprowadzanymi zmianami [Ustawa z 20 lipca 2017] analizę ryzyka.

## **2. Charakterystyka obszaru badań**

Obiekt przeprowadzonych badań stanowił obszar wielootworowego ujęcia wód podziemnych zlokalizowany w miejscowości Stary Sącz (powiat nowosądecki, woj. małopolskie). W skład ujęcia wchodzi 16 studni głębinowych położonych wzdłuż doliny rzecznej Dunajca, wykorzystujących czwartorzędowe piętro wodonośne. W ciągu technologicznym warstwa wodonośna, a poprzez nią studnie, dodatkowo zasilana jest wodą powierzchniową przez system basenów infiltracyjnych (pola infiltracyjne I, II oraz III).

## **3. Badania geologiczne i modelowe**

### **3.1. Prace geologiczne**

W trakcie badań wykonano rozpoznanie warunków hydrogeologicznych rejonu ujęcia. Badania obejmowały w szczególności pompowania pomiarowe studni dla warunków naturalnych (wariant I) oraz dla warunków ze sztucznym zasilaniem warstwy wodonośnej (wariant II), trwające po 96 godzin każde. Przed wykonaniem pompowań we wszystkich studniach dokonano pomiaru statycznego zwierciadła wody. W wyniku prac ustalono zasoby eksploatacyjne ujęcia.

### 3.2. Badania modelowe

W celu rozwiązania problemów hydrogeologicznych wykorzystano metody modelowe. Zastosowanie takich metod umożliwia uzyskanie wyników najbardziej zbliżonych do rzeczywistych warunków hydrodynamicznych, dzięki wielokryterialnemu charakterowi analiz [Dąbrowski 2004, s. 166]. W modelowaniu filtracji wód podziemnych naturalne pole hydrodynamiczne zastępowane jest modelem konceptualnym, stanowiącym uproszczenie warunków naturalnych [Zdechlik, Kulma 2009, s. 569-570].

Opracowano model matematyczny pozwalający m.in. na określenie hydrostrukturalnych warunków krążenia wód. Model został wykonany w oparciu o **metodę elementów analitycznych** (*Analytic Element Method* – AEM). Za wyborem wskazanej metody przemawiał fakt, że w skład ujęcia wchodzi kilkanaście studni pracujących z różną wydajnością. Dodatkowo zastosowany system sztucznego nawadniania również wpływa na skomplikowanie warunków hydrodynamicznych. W związku z tym należy przypuszczać, że zastosowanie klasycznych metod analitycznych nastęrczyłoby wielu problemów, a uzyskane wyniki mogłyby być mniej wiarygodne [Nikiel i in. 2015, s. 42].

Metoda AEM oparta jest na superpozycji funkcji analitycznych. Uzyskane wyniki mają charakter ciągły i nie są uzależnione od podziału blokowego modelu. Jest ona jedną z metod zalecanych podczas wyznaczania zasięgu stref ochronnych [Duda i in. 2013, s. 47].

Do badań wykorzystano oprogramowanie Visual AEM opracowane przez University of Waterloo w Kanadzie. W związku ze skomplikowanymi warunkami pracy ujęcia w trakcie badań modelowych wykonano symulacje dla dwóch wariantów:

- wariantu I – praca ujęcia w warunkach naturalnego zasilania wód podziemnych,
- wariantu II – eksploatacja ujęcia w warunkach sztucznego zasilania wód podziemnych za pomocą zespołów basenowych.

Wykonany model obejmował fragment Głównego Zbiornika Wód Podziemnych (GZWP) nr 437 w rejonie ujęcia wód podziemnych i został sporządzony w oparciu o rzeczywiste wartości wydatków i stanów zwierciadła wody w studniach ujęcia. Dla schematyzacji modelu przyjęto następujące założenia:

- Naturalną granicę badań modelowych stanowiło koryto rzeki Dunajec.
- Uwzględniono wpływ rzeki Dunajec na kształtowanie pola hydrodynamicznego. Rzeka była modelowana jako obiekt liniowy o zadawanych w poszczególnych węzłach poziomach zwierciadła wody w rzece.
- Ograniczenie warstwy wodonośnej do doliny rzeki oraz do granic GZWP 437.
- Warstwa wodonośna modelowana była jako warstwa jednorodna, ze swobodnym zwierciadłem wody.
- Zasilanie warstwy wodonośnej przez opady atmosferyczne przyjęto na uśrednionym poziomie  $6,18 \cdot 10^{-4}$  m/d dla całego obszaru badań.
- Wpływ sztucznego zasilania warstwy wodonośnej na pole hydrodynamiczne.

- Wielkość współczynnika filtracji przyjęto na poziomie 60 m/d jako wartość średnią wyników próbnych pompowań.
- Średnia miąższość warstwy wodonośnej wynosi 10 m.
- Uśredniona wielkość porowatości wynosi 33%.
- Studnie ujęcia symulowane są jako obiekty punktowe o stałym wydatku na podstawie wyników pompowań badawczych.
- Sztuczne zasilanie warstwy wodonośnej modelowane jest jako obszar o zwiększonym zasilaniu z infiltracji opadów atmosferycznych. Po uwzględnieniu wielkości pól z basenami nawadniającymi na ujęciu infiltracja została przyjęta na następujących poziomach [Nikiel i in. 2015, s. 44]: 0,891 m/d dla pola basenowego I, 0,989 m/d dla pola basenowego II oraz 1,030 m/d dla pola basenowego III.

W wyniku zastosowanych symulacji otrzymano rozkład ciśnień w analizowanej warstwie wodonośnej, na podstawie którego wykreślono hydroizohipsy oraz linie prądu dopływu wód do ujęcia<sup>2</sup>. Na podstawie uzyskanych wyników określono kierunek spływu wód do ujęcia z SSE od granicy GZWP 437.

Następnie wykonano obliczenia z zadaniem krokiem czasowym w celu uzyskania wielkości czasu dopływu wód do ujęcia. W ten sposób otrzymano izochrony dopływu wód dla warunków naturalnych (*variant I*). Maksymalny uzyskany czas dopływu wód do ujęcia wynosił ok. 4 lat. Obliczenia takie wykonano również dla warunków ze sztucznym zasilaniem warstwy wodonośnej (*variant II*).

Wyniki badań modelowych dla warunków naturalnych zaprezentowano na rys. 1, a dla warunków ze sztucznym zasilaniem – na rys. 2.

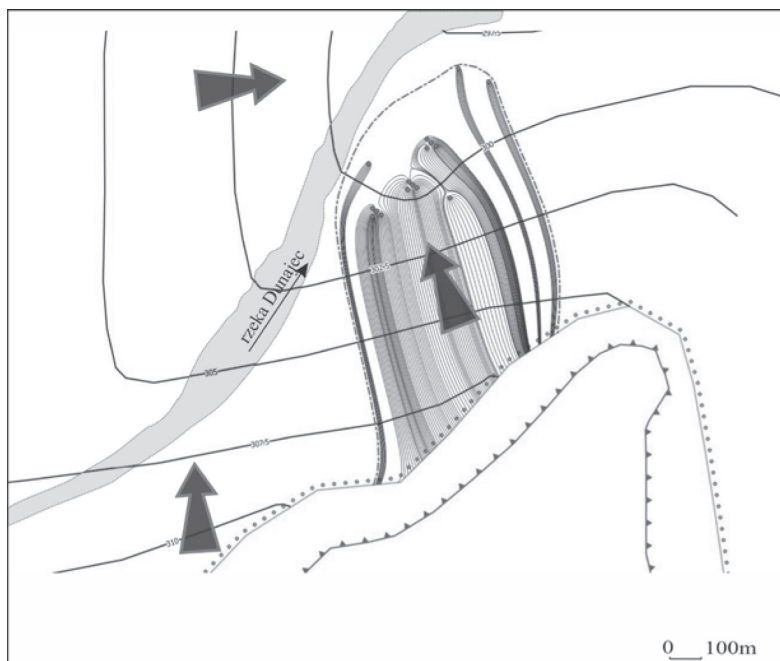
Następnie, w oparciu o wyznaczone linie prądu dopływu wód podziemnych do studni ujęcia, wyznaczono obszar spływu wód (OSW)<sup>3</sup> do ujęcia oraz obszar zasobowy (OZ)<sup>4</sup> ujęcia. OSW do ujęcia w górze strumienia jest ograniczony zasięgiem warstwy wodonośnej. W wyniku zastosowanych symulacji różnił się zasięg OSW dla zadanych wariantów obliczeń. W warunkach naturalnych (wariant I) uzyskano większy obszar OSW niż dla warunków ze sztucznym zasilaniem wód podziemnych (wariant II). Wynika to z tego, że całość wód, jakie dopływają do ujęcia, pochodzi z czwartorzędowej warstwy wodonośnej. W związku z tym określony zasięg OSW dla warunków naturalnych uznano za właściwy dla analizowanego ujęcia [Nikiel i in. 2015, s. 44].

---

<sup>2</sup> Linie prądu wyznaczające geometryczny charakter strumieni wód podziemnych [Dąbrowski i in. 2004, s. 38].

<sup>3</sup> Obszar spływu wód (OSW) do ujęcia stanowi część wyznaczonego pola hydrodynamicznego na obszarze zasilania ujęcia, w którym linie prądu wód podziemnych zbiegają się na ujęciu [Dąbrowski i in. 2004, s. 15].

<sup>4</sup> Obszar zasobowy (OZ) ujęcia odpowiada obszarowi, w obrębie którego formułuje się zasadnicza część zasobów eksploatacyjnych ujęcia [Dowgiałło i in. (red.) 2002, s. 144].



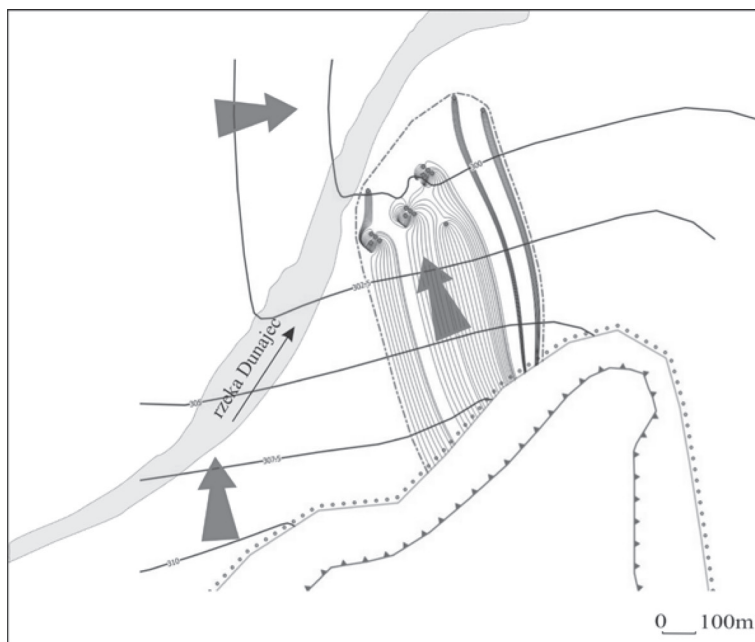
## OBJAŚNIENIA:

- - Ujęcie wód podziemnych
- • • - Granica GZWP 437
- ▲ ▲ ▲ - Granica obszaru ochronnego GZWP 437
- ➡ - Kierunek przepływu wód podziemnych
- - - - - Obszar splywu wód do ujęcia (OSW)
- - Obszar NATURA 2000 "Środkowy Dunajec z dopływami"
- 310 — - Hydroizohipsy poziomu czwartorzędowego
- - - - - Linie prądu dopływu wód do ujęcia

**Rys. 1.** Mapa wynikowa modelowania dla warunków naturalnego zasilania wód podziemnych

Źródło: na podstawie [Nikiel i in. 2015].

OZ ujęcia po bokach strumienia ograniczony jest przez OSW, natomiast w górę strumienia wód podziemnych ograniczony jest izochroną 25-letniego czasu dopływu wód do ujęcia lub zasięgiem warstwy wodonośnej. Ze względu na to, że maksymalny czas dopływu wód do ujęcia wynosi ok. 4 lat, nie było możliwe wyznaczenie izochrony 25-letniego czasu dopływu. Zatem OZ został ograniczony zasięgiem



OBJAŚNIENIA:

- - Ujęcie wód podziemnych
- - Granica GZWP 437
- ▲▲▲— - Granica obszaru ochronnego GZWP 437
- ➔ - Kierunek przepływu wód podziemnych
- - Obszar splywu wód do ujęcia (OSW) dla warunków sztucznego zasilania wód podziemnych
- - Obszar NATURA 2000 "Środkowy Dunajec z dopływami"
- 310— - Hydroizohipsy poziomu czwartorzędowego
- - Linie prądu dopływu wód do ujęcia w warunkach sztucznego zasilania

**Rys. 2.** Mapa wynikowa modelowania dla warunków sztucznego zasilania wód podziemnych

Źródło: na podstawie [Nikiel i in. 2015].

warstwy wodonośnej. Ponieważ większość zasobów pochodzi z infiltracji opadów atmosferycznych, zaproponowano, aby OZ powiększyć do zasięgu obszaru ochronnego GZWP 437.

Na podstawie uzyskanych wyników i uwarunkowań hydrogeologicznych zaproponowano zasięg strefy ochronnej – teren ochrony pośredniej (TOP).

## 4. Analiza potrzeby ustanowienia strefy ochronnej

Dla zaproponowanego obszaru ochronnego, będącego wynikiem prac modelowych, wykonano analizę konieczności ustanowienia strefy ochronnej oraz próbę oszacowania efektów ekologicznych zakładanych dzięki istnieniu strefy. Przeanalizowano również ograniczenia w użytkowaniu terenu, będące następstwem odrębnych przepisów obowiązujących na terenie badań oraz ich wpływ na ochronę wód podziemnych.

### 4.1. Uwarunkowania hydrogeologiczne, geologiczne oraz geomorfologiczne

Zgodnie z rejonizacją hydrogeologiczną kraju obszar badań położony jest w regionie górnej Wisły, subregion Karpat zewnętrznych (fliszowych) [Paczyński, Sadurski (red.) 2007, s. 108]. Teren ten, jak już wspomniano, należy do GZWP nr 437 Dolina rzeki Dunajec (Nowy Sącz). Zbiornik cechuje się porowym charakterem, a główną bazę wód podziemnych stanowią utwory piaszczysto-żwirowe, związane z dolinami rzecznyymi Dunajca, Kamienicy Nawojowskiej oraz Popradu [Mikołajków, Sadurski (red.) 2017, s. 327-328]. Na terenie analizowanego ujęcia warstwa wodonośna wykazuje charakter swobodny, ze zwierciadłem zalegającym na głębokościach 1,5-4,0 m p.p.t. Główne źródło zasilania wód podziemnych stanowi infiltracja z opadów atmosferycznych (ok. 55%), natomiast zasilanie z wód powierzchniowych rzeki Dunajec określane jest na poziomie ok. 40% [Nikiel i in. 2015, s. 40].

Pod względem morfologicznym analizowany obszar należy do Kotliny Sądeckiej z charakterystycznym systemem terasów dennych i zboczowych. Ujęcie położone jest na najniższym terasie rzeki Dunajec. Geologicznie teren położony jest na obszarze Zewnętrznych Karpat Zachodnich, dokładnie w strefie sądeckiej (bystrzyckiej) płaszczowiny magurskiej [Kicińska 2010, s. 16-17]. W profilu geologicznym ujęcia przeważają utwory czwartorzędowe, wykształcone w postaci osadów rzecznych: otoczków z przewarstwieniami piaszczysto-żwirowymi, domieszkami piasków i żwirów oraz przekładkami glin. Na terenie ujęcia warstwy glin o miąższościach ok. 0,3-0,8 m zalegają w spągu bądź występują w postaci przekładek [Nikiel i in. 2015, s. 12-15].

### 4.2. Analiza sozologiczna oraz źródła zagrożenia wynikające ze sposobu zagospodarowania terenu

Analiza stanu zagospodarowania wykazała brak silnie zurbanizowanych terenów w bezpośrednim sąsiedztwie ujęcia, na co wpływ miała przewaga rozproszony zabudowy. Zgodnie z danymi GUS-u, na koniec 2015 r. stopień zalesienia terenu gminy Stary Sącz wynosił około 39%, co korzystnie wpływało na wody podziemne oraz utrzymanie naturalnej retencji [GUS 2016]. Na podstawie analizy pokrycia terenu według Corine Land Cover stwierdzono, iż na terenie zlewni bilansowej rzeki Dunajec przeważający udział mają tereny rolne i zielone. Na terenie Scalonej Części



Wód Powierzchniowych (SCJ) nr GW0412, gdzie zlokalizowane jest ujęcie, użytki zielone stanowiły prawie 27%. Na terenie SCJ nr GW0410, GW0411 oraz GW0415, położonych na kierunku dopływu wód podziemnych, przeważały ekosystemy leśne i seminaturalne [Nikiel i in. 2015, s. 52-53].

Największe zagrożenie dla jakości i ilości wód podziemnych na omawianym terenie stanowi działalność antropogeniczna. W związku z tym w czasie analiz dokonano identyfikacji potencjalnych ognisk zanieczyszczeń.

Działalność rolnicza cechuje się tu stosunkowo dużym rozdrobnieniem, ekstenywnością oraz stosunkowo niewielkim stopniem nawożenia. Wiele gospodarstw nie jest obecnie użytkowanych rolniczo. Na podstawie dotychczasowego stanu jakościowego wód podziemnych stwierdzono, iż ze strony rolnictwa nie występuje znaczące oddziaływanie na wody podziemne. Sukcesywna rozbudowa systemu kanalizacyjnego korzystnie wpływa na ochronę zasobów wód powierzchniowych i podziemnych [Kicińska 2010, s. 107-112]. W trakcie analiz nie stwierdzono nieczynnych otworów studziennych wykorzystywanych jako szamba bądź miejsc stałych nagromadzeń odpadów [Nikiel i in. 2015, s. 58].

Na badanym terenie stwierdzono punktowe potencjalne ogniska zanieczyszczeń wynikające z obecnego stanu zagospodarowania, stanowiące składy opału oraz punkty dystrybucji paliw. Na podstawie wieloletniej eksploatacji ujęcia nie stwierdzono dotychczas negatywnego oddziaływania wskazanych obiektów na pracę ujęcia. W okolicy ujęcia nie stwierdzono zarejestrowanych, aktywnych miejsc pozyskiwania złóż kopaliny, co ma pozytywny wpływ na jakość zasobów. Wydobywanie kopaliny niesie za sobą szereg potencjalnych konsekwencji środowiskowych, m.in. obniżenie poziomu zwierciadła wód gruntowych, zapylenie (transport urobku), zmiany warunków hydrologicznych, deficyt rumowiska itd. Na badanym terenie nie istnieją również zagrożenia geogeniczne<sup>5</sup> dla ujmowanej warstwy wodonośnej. W trakcie inwentaryzacji nie stwierdzono dużych obiektów przemysłowych mogących istotnie oddziaływać na środowisko wodno-gruntowe.

Przeprowadzone analizy zoologiczne badanego terenu oraz wyniki badań jakości wody surowej z eksploatacji ujęcia pozwoliły na określenie stanu środowiska jako dobry i średni [Nikiel i in. 2015, s. 67].

### 4.3. Ocena podatności na ryzyko zanieczyszczeń z powierzchni terenu

Ryzyko zdrowotne wyraża się jako prawdopodobieństwo wystąpienia niekorzystnych skutków biologicznych u człowieka w wyniku jego narażenia na czynniki szkodliwe [Szczepaniec-Cięciak, Różańska 1999, s. 77-113]. Spożycie zanieczyszczonej wody stanowi zagrożenie zdrowotne dla ludzi i zwierząt. Ocena wielkości wskazanego zagrożenia wymaga podejścia indywidualnego, uzależnionego w szczegól-

<sup>5</sup> Zagrożenie geogeniczne wód podziemnych – zagrożenie stanu ilościowego i/lub jakościowego wód podziemnych spowodowane naturalnymi ogniskami zanieczyszczeń, jak np. wody zasolone [Dowgiałło i in. (red.) 2002, s. 316-317].

ności od rodzaju wody ujmowanej do zaopatrzenia ludzi, zastosowanej technologii uzdatniania oraz rodzaju potencjalnych ognisk zanieczyszczeń [Mulik i in. 2015, s. 58, 62].

Ocena podatności wód podziemnych na potencjalne czynniki stresowe stanowi jedną z metod umożliwiających podjęcie decyzji m.in. o potrzebie ustanowienia strefy ochronnej. Ocena ta (w skali regionalnej), obok oceny oddziaływania na środowisko (OOŚ) i miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego (MPZP, w skali lokalnej), należy do podstawowych instrumentów zarządzania i ochrony środowiska. Przed wyborem metody oceny należy przede wszystkim uwzględnić podstawy merytoryczne oraz możliwość pozyskania danych niezbędnych do przeprowadzenia obliczeń i uzyskania wiarygodnej, ilościowej oceny [Krogulec 2011, s. 337-338].

W trakcie przeprowadzonych analiz dokonano oceny podatności wód podziemnych, wykorzystując:

- obliczenie czasu przesączania pionowego przez strefę aeracji,
- ocenę podatności warstwy wodonośnej na zagrożenie za pomocą metody DRASTIC.

W założeniach obu ww. metod nie uwzględnia się procesów, jakie mogą zachodzić w trakcie drogi transportu ani charakteru potencjalnej substancji zanieczyszczającej czy procesów fizykochemicznych, jakim może podlegać w trakcie migracji (tj. sorpcji, wymianie jonowej, rozcieńczeniu, biodegradacji itp.). Czynnikiem brany pod uwagę są natomiast właściwości naturalne (właściwe) analizowanego ośrodka [Krogulec 2011, s. 340].

Ocenę zdolności ochronnych strefy aeracji wykonano w oparciu o **wzór Binde-mana**, określający model transportu pionowego:

$$t_a = \frac{m_a \cdot n_e}{\sqrt[3]{I_e^2 \cdot k}}, \quad (1)$$

gdzie:  $t_a$  – czas przesączania pionowego przez strefę aeracji [d],  $m_a$  – miąższość strefy aeracji [m],  $n_e$  – porowatość aktywna [–],  $I_e$  – infiltracja efektywna [m/d] (liczona według wzoru (2)):

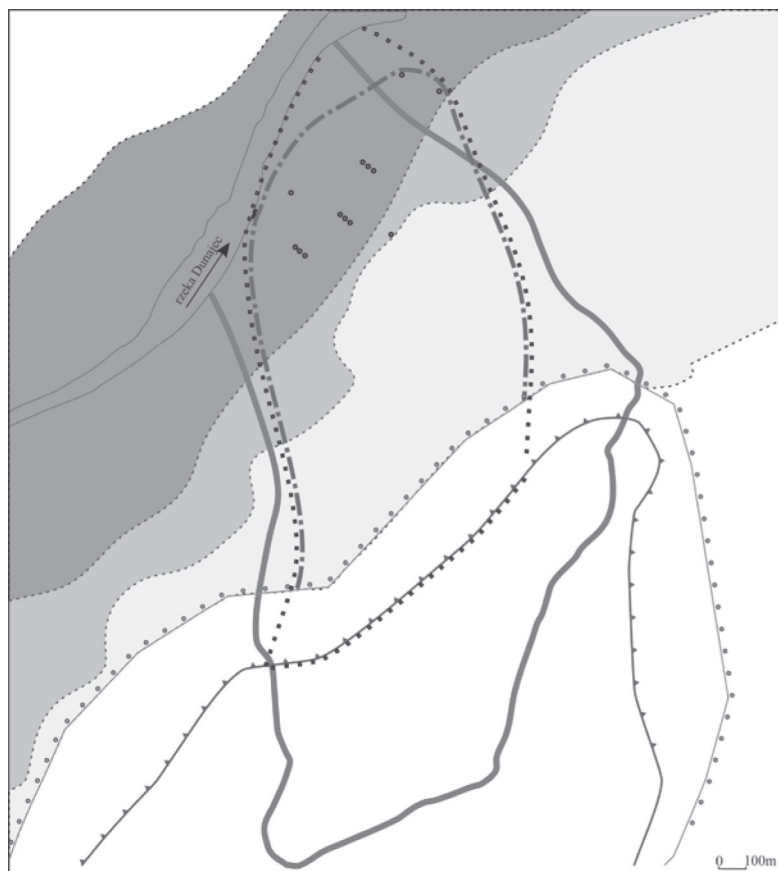
$$I_e = P \cdot \omega \text{ [m/d]}, \quad (2)$$

gdzie:  $P$  – ilość opadów atmosferycznych [m/rok],  $\omega$  – wskaźnik infiltracji efektywnej [–].

Wskazana metoda analityczna zakłada adwekcyjny model wypierania tłokowego, w wyniku czego czas migracji pionowej potencjalnych zanieczyszczeń konserwatywnych jest równy czasowi infiltracji wody w głąb profilu gruntowego [Duda i in. 2008, s. 30].

W związku z przestrzennym zróżnicowaniem geologicznym teren badań podzielono na rejony odpowiadające zasięgom teras doliny rzecznej, dla których prognozowano różne czasy migracji pionowej. W oparciu o Szczegółową mapę geologiczną

Polski (SPGP arkusz Nowy Sącz) wydzielono: rejon terasy zalewowej (TA), obejmującej lokalizację większości studni ujęcia, rejon terasy nadzalewowej (TN), rejon terasy erozyjno-akumulacyjnej (TA). Zasięgi teras zilustrowano na rys. 3.



OBJAŚNIENIA:

- - Otwory eksploatacyjne ujęcia
- - Ujęcie powierzchniowe
- - Zasięg zlewni powierzchniowej
- - - - - Obszar spływu wód do ujęcia
- ..... - Obszar zasobowy ujęcia (OZ)
- o-o-o - Granica GZWP 437
- ▲-▲-▲ - Granica obszaru ochronnego GZWP 437

Terasy rzeczne:

- ▨ - Terasa zalewowa (TZ)
- ▨ - Terasa nadzalewowa (TN)
- ▨ - Terasa erozyjno-akumulacyjna (TA)

Rys. 3. Rejonizacja obszaru badań

Źródło: na podstawie [Nikiel i in. 2015].

Dla tak zrejonizowanego obszaru badań wykonano obliczenia czasu przesączania. W związku z tym, iż czas ten zależy od głębokości do zwierciadła wody grunтовой, właściwości litologicznych utworów oraz wielkości infiltracji, do obliczeń

przyjęto wartości uśrednione pozyskane z rozpoznania hydrogeologicznego profilów studziennych. Dodatkowo, dla rejonu TZ, gdzie zlokalizowane jest ujęcie, wykonano obliczenia dla warunków skrajnych ( $TZ_{\min}$  oraz  $TZ_{\max}$ ), przyjmując do obliczeń wielkości krańcowe porowatości ( $n_e$ ) oraz współczynnika filtracji ( $k$ ) pozyskane w czasie rozpoznania. Wielkości te determinują warunki najbardziej sprzyjające ochronie bądź wzrostowi wielkości narażenia na wpływ zanieczyszczeń (tab. 1).

**Tabela 1.** Czas przesączania pionowego przez strefę aeracji dla ujęcia wód podziemnych w Starym Sączu

Parametr	TZ	TN	TA	$TZ_{\min}$ ochrona	$TZ_{\max}$ ochrona
Mięższość $m_a$ [m]	3,7	5	8	3,7	3,7
Porowatość $n_e$ [-]	0,35	0,45	0,45	0,2	0,5
Wysokość opadów $P$ [m/rok]	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Wskaźnik infiltracji $\omega$ [-]	0,2	0,25	0,15	0,2	0,2
Infiltracja efektywna $I_e$ [m/d]	$4,11 \cdot 10^{-4}$	$5,14 \cdot 10^{-4}$	$3,08 \cdot 10^{-4}$	$4,11 \cdot 10^{-4}$	$4,11 \cdot 10^{-4}$
Współ. filtracji $k$ [m/d]	60	30	10	186	10
<b>Czas przesączania <math>t_a</math> [d]</b>	<b>59,84</b>	<b>112,89</b>	<b>366,21</b>	<b>23,45</b>	<b>155,35</b>

Źródło: na podstawie [Nikiel i in. 2015].

Wyliczony czas przesączania wahał się od ok. 60 dób dla rejonu TZ do ponad 366 dób dla rejonu TA. Dla parametrów obrazujących najbardziej sprzyjający wzrost narażenia otrzymano wynik nieco ponad 23 doby, a dla maksymalnych warunków ochronnych dla wód podziemnych wyliczony czas przesączania wyniósł ponad 155 dób. Otrzymane wielokrotne różnice czasu przesączania pionowego świadczą o wpływie budowy geologicznej na potencjalne narażenie środowiska wodno-gruntowego. Już niewielkie przewarstwienia utworów izolujących (jak np. glin) determinują opóźnienie w migracji pionowej potencjalnych czynników zagrażających.

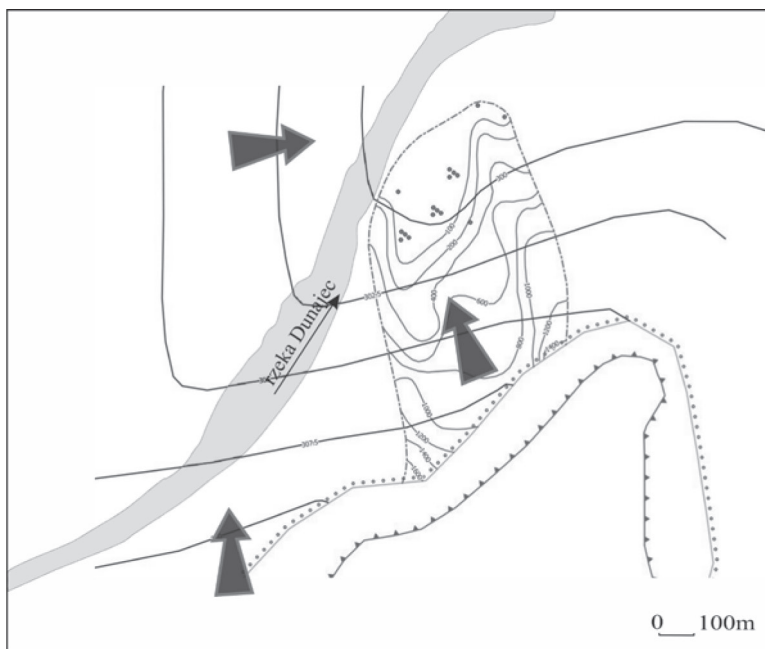
Wyniki uzyskane dla czasu migracji pionowej –  $t_a$  zsumowano z wynikami czasu dopływu wód do ujęcia –  $t_p$  (otrzymane za pomocą opisanej metody AEM), w wyniku czego otrzymano sumaryczny czas dopływu wód do ujęcia –  $t$ , wyliczony zgodnie ze wzorem:

$$t = t_a + t_p [d]. \quad (3)$$

W rezultacie zsumowania czasów migracji otrzymano izochrony sumarycznego czasu dopływu wód do analizowanego ujęcia, co przedstawiono na rys. 4.

Odpowiednio dla założonej rejonizacji terenu badań wykonano ocenę podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia z powierzchni terenu za pomocą metody **DRASTIC**. Metoda zakłada analizę 7 parametrów środowiskowych uznawanych za priorytetowe w ocenie podatności:

- D – głębokość do zwierciadła wody gruntowej (*Depth to groundwater table*).



**OBJAŚNIENIA:**

- - Ujęcie wód podziemnych
- - Granica GZWP 437
- +—+—+— - Granica obszaru ochronnego GZWP 437
- ▶▶▶ - Kierunek przepływu wód podziemnych
- +—+—+— - Obszar splywu wód do ujęcia (OSW)
- - Obszar NATURA 2000 "Środkowy Dunajec z dopływami"
- 310— - Hydroizohipsy poziomu czwartorzędowego
- 1000— -Izochrony sumarycznego dopływu wód do ujęcia [doby]

**Rys. 4.** Sumaryczny dopływ wód podziemnych do ujęcia w warunkach naturalnych

Źródło: na podstawie [Nikiel i in. 2015].

- R – zasilanie warstwy wodonośnej (*net Recharge*).
- A – utwory warstwy wodonośnej (*Aquifer media*).
- S – skład mechaniczny gleb (*Soil media*).
- T – topografia – nachylenie terenu (*Topography*).
- I – strefa aeracji (*Impact of the vadose zone*).
- C – wodoprzepuszczalność warstwy wodonośnej (*hydraulic Conductivity*).

Wskazanim parametrom zostały przez twórców metody przypisane wielkości wagowe ( $D_w$ ), określające wielkość wpływu danej cechy na potencjał zagrożenia (tab. 2). W trakcie analiz poszczególnym parametrom, na podstawie danych z rozpoznania hydrogeologicznego, przypisano wielkości współczynników (ocen)  $D_r$ . Im wyższa wartość przypisanego współczynnika, tym większy był wpływ charakteru danego parametru na wzrost potencjalnego narażenia na czynniki stresowe.

Indeks DRASTIC (IPZ) stanowi sumę iloczynów wag oraz przypisywanych współczynników zgodnie ze wzorem:

$$IPZ = \sum_{p=1}^7 (w \cdot r)_p = \sum_{p=1}^7 w_p \cdot r_p, \quad (4)$$

gdzie:  $r$  – przyjęta wartość współczynnika parametru,  $w$  – określona w metodzie waga parametru,  $p$  – numer parametru.

Na podstawie wielkości obliczonego IPZ przypisywana jest klasa podatności na zanieczyszczenia z powierzchni terenu (tab. 2).

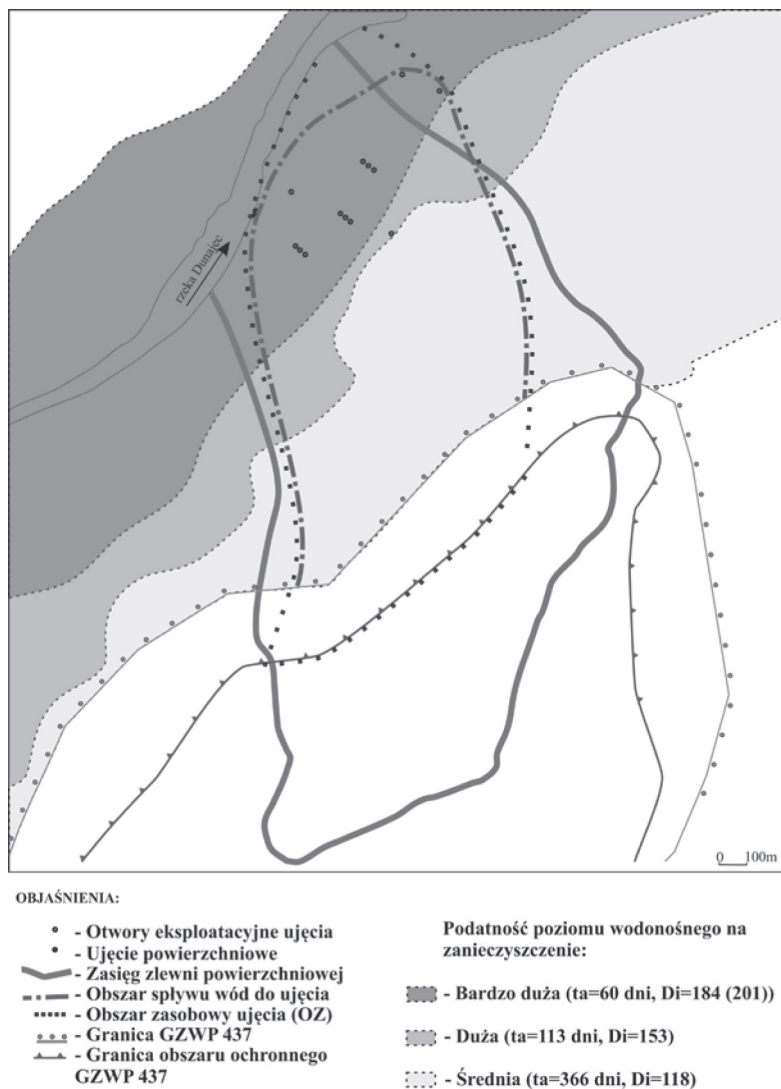
**Tabela 2.** Indeks DRASTIC

Parametr	Waga $D_w$ *	Współczynnik (ocena) $D_r$				
		TZ	TN	TA	TZ <sub>min.</sub> ochrona	TZ <sub>max.</sub> ochrona
<b>D</b>	5	9	7	7	9	9
<b>R</b>	4	6	8	6	8	6
<b>A</b>	3	8	5	4	9	4
<b>S</b>	2	9	9	9	9	9
<b>T</b>	1	9	5	3	9	5
<b>I</b>	5	8	6	4	8	4
<b>C</b>	3	8	6	2	10	2
<b>Indeks DRASTIC</b>		<b>184</b>	<b>153</b>	<b>118</b>	<b>201</b>	<b>130</b>
<b>Podatność na zanieczyszczenie</b>		<b>duża</b>	<b>duża</b>	<b>średnia</b>	<b>b. duża</b>	<b>średnia</b>

Źródło: \*wartości wagowe za [Kajewski 2000, s. 222; Aller i in. 1987; Nikiel i in. 2015, zmienione].

Uzyskane wyniki czasu przesączania pionowego oraz oceny podatności wód podziemnych posłużyły do opracowania mapy przestrzennego rozkładu potencjalnego wpływu warstwy wodonośnej na zagrożenia (rys. 5).

W ramach przeprowadzonej analizy stanu jakościowego ujmowanych wód podziemnych wykonano ocenę stanu chemicznego, charakterystykę i prognozę zmian właściwości fizycznych oraz stanu bakteriologicznego wody surowej. Ocena wyników badań wody surowej wykazała, że większość studni cechowała się dobrym stanem chemicznym (II/III klasa jakości). W ciągu eksploatacji ujęcia nie stwierdzono niekorzystnych trendów pogarszania jakości ujmowanych wód podziemnych. Uj-



Rys. 5. Mapa przestrzennego rozkładu podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie

Źródło: na podstawie [Nikiel i in. 2015].

mowana woda została zaliczona do akratopeg, a według klasyfikacji Altowskiego-Szwieca do wód typu wodorowęglanowo-wapniowego. Nie stwierdzono, aby skład chemiczny wód podziemnych był wynikiem wzmożonych oddziaływań antropogenicznych.

#### 4.4. Strategie i działania planistyczne

Dla wyznaczonego w oparciu o badania modelowe zasięgu OZ oraz OSW dokonano oceny wpływu wdrażanych działań planistycznych i strategii na ochronę wód podziemnych.

Do głównych działań mających wpływ na stan jakościowy wód należą plany skanalizowania obszaru. Stwierdzono, że zakładają one w szczególności sukcesywną dalszą modernizację i rozbudowę systemu kanalizacyjnego rejonu, co przyniesie wymierne skutki w zachowaniu dobrego stanu chemicznego wód podziemnych [Kicińska 2010, s. 111-112]. Dla ochrony wód podziemnych istotne są również działania wspierające budowę przydomowych oczyszczalni ścieków, zwłaszcza dla terenów, na których budowa kanalizacji jest niemożliwa ze względów technicznych. Ważnym aspektem w działaniach ochronnych jest też wnikliwa kontrola zrzutów ścieków przemysłowych i zbiorników bezodpływowych. Szczególnie istotnym celem jest zapewnienie odpowiedniej ilości i jakości wody do picia [Kicińska 2010, s. 88-89; Nikiel i in. 2015, s. 65-66].

#### 4.5. Ograniczenia w użytkowaniu wynikające z przepisów odrębnych, chroniące wody podziemne

Analiza występowania terenów chronionych w rejonie rozpatrywanego ujęcia oraz ocena ich wpływu na ochronę wód podziemnych umożliwiła przeprowadzenie rzetelnej oceny konieczności ustanowienia danej strefy ochronnej oraz uniknięcia zdublowania ograniczeń w użytkowaniu terenów objętych propozycją strefy z już wprowadzonymi obostrzeniami.

Teren badań położony jest na obszarze ograniczeń w użytkowaniu będących następstwem ustanowienia odrębnych form ochrony [Ustawa z 16 kwietnia 2004]. W trakcie analiz wykonano identyfikację istniejących obszarów chronionych i oceniono ich wpływ na wody podziemne.

Ujęcie położone jest na terenie Południowomałopolskiego Obszaru Chronionego Krajobrazu (POChK) oraz w otulinie Popradzkiego Parku Krajobrazowego (PPK). Ponadto sąsiaduje on z następującymi obszarami chronionymi:

- Sieć Natura 2000 Środkowy Dunajec z Dopływami (kod PLH 120088),
- Popradzki Park Krajobrazowy,
- Sieć Natura 2000 Ostoja Popradzka (kod PLH 120019).

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że sąsiedztwo wskazanych form korzystnie wpływa na stan jakościowy i ilościowy wód podziemnych. Szczególnie istotny dla ochrony wód podziemnych jest zakaz realizacji przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (z wyłączeniem przedsięwzięć, dla których procedura OOS wykazała brak niekorzystnego wpływu lub dla których nie stwierdzono konieczności przeprowadzania oceny) oraz dokonywania zmian stosunków wodnych niezwiązanych z ochroną przyrody lub zrównoważoną gospodarką rolną, rybacką i wodną na terenie POChK.



Sąsiedztwo ujęcia z obszarem Sieci Natura 2000 „Środkowy Dunajec z Dopływami” wpływa korzystnie na jakość wód podziemnych mimo jej naturalnego ograniczenia do koryta rzeki. Jak wcześniej przytoczono, warstwa wodonośna w rejonie ujęcia jest sztucznie zasilana wodami powierzchniowymi. Nie ulega więc wątpliwości, iż dbałość o jakość wód rzecznych wpływa w znacznym stopniu na stan ujmowanych wód podziemnych [Kicińska 2010].

#### **4.6. Uwarunkowania ekonomiczne i społeczne**

Decyzja o utworzeniu oraz projekt strefy ochronnej terenu ochrony pośredniej powinny brać pod uwagę również aspekty ekonomiczne ustanowienia strefy, jej utrzymania oraz efekty ekologiczne, jakie chcemy osiągnąć dzięki funkcjonowaniu strefy, a także wpływ wprowadzonych działań na społeczności lokalne. Każde utworzenie strefy ochronnej ujęcia wiąże się z potencjalnymi kosztami. Zarówno dotychczas obowiązujące przepisy, jak i aktualne zmiany zakładają obowiązek poniesienia kosztów związanych z utworzeniem oraz utrzymaniem stref przez właścicieli ujęć. Koszty te związane są szczególnie z samym utworzeniem oraz oznakowaniem strefy ochronnej, a także z wypłatami ewentualnych odszkodowań za ograniczenia praw właścicieli nieruchomości.

W badaniach podjęto próbę oceny wpływu utworzenia strefy na społeczności lokalne. Na analizowanym terenie głównym źródłem wody pitnej mieszkańców są wody podziemne czwartorzędowego poziomu wodonośnego dolin rzecznych. Woda podziemna cechuje się tutaj dobrym stanem chemicznym. Alternatywnym źródłem wody jest woda powierzchniowa, determinuje ona jednak wzrost kosztów uzdatniania oraz niestabilność składu fizykochemicznego [Kicińska 2010]. W związku z tym jednym z priorytetowych zadań jest właściwa ochrona ilości i jakości wód podziemnych oraz zwiększenie świadomości mieszkańców w tym zakresie.

Teren badań cechuje się dużym rozdrobnieniem nieruchomości, często ze skomplikowanym bądź nieregulowanym ich stanem prawnym. Fakt ten może z kolei wpływać na wzrost konfliktów w wyznaczeniu strefy oraz w ewentualnych postępowaniach odszkodowawczych. W związku z tym autorzy proponują takie zaprojektowanie strefy ochronnej, by nie wprowadzała ona nadmiernych utrudnień dla społeczności lokalnych.

### **5. Podsumowanie oraz propozycja strefy ochronnej**

Ze szczegółowej analizy przedstawionego problemu wynika podsumowanie, które zestawiono w tab. 3.

Mając na uwadze wszystkie argumenty „za” i „przeciw”, zaprojektowano i zaproponowano zasięg strefy ochronnej TOP obejmujący wyznaczony OSW do ujęcia dla warunków naturalnych (wariant I), wydzielony w oparciu o wyniki zastosowanego modelowania matematycznego. Teren strefy został podzielony na dwie podstrefy

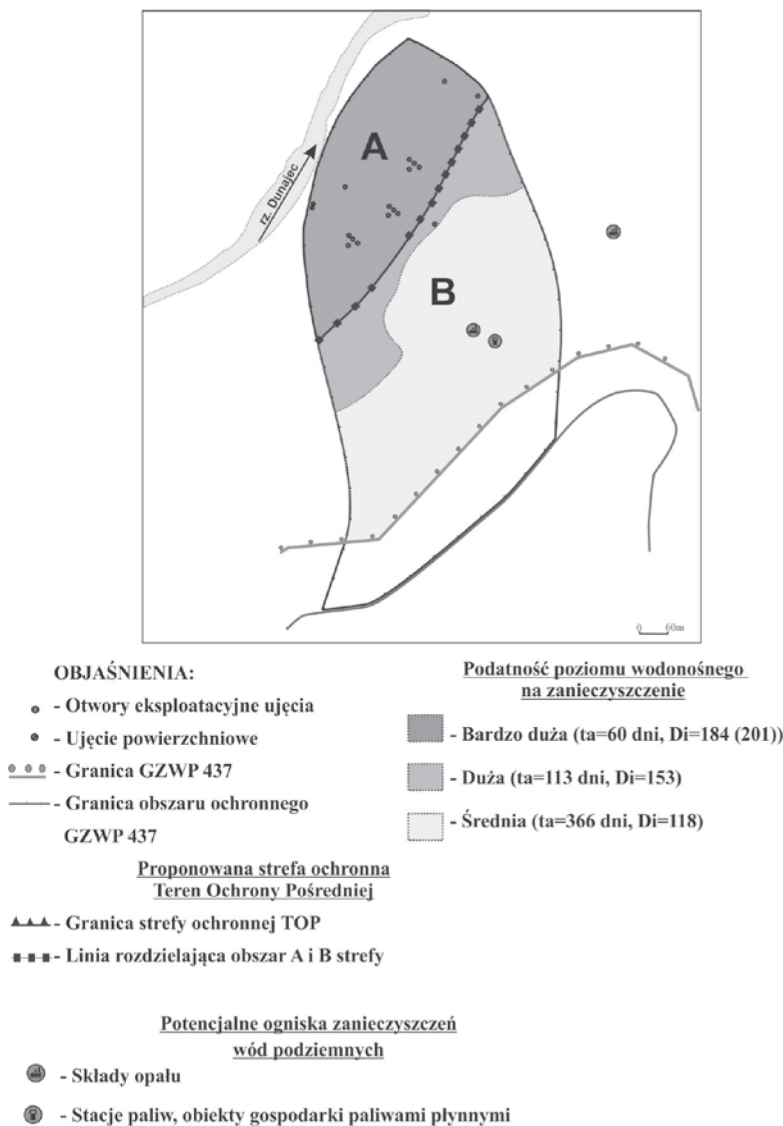
Tabela 3. Analiza potrzeby ustanowienia strefy ochronnej TOP

Czynniki wpływające na jakość wód podziemnych	
<b>pozytywnie (brak potrzeby ustanowienia strefy ochronnej)</b>	<b>negatywnie (konieczność ustanowienia strefy ochronnej)</b>
Stan środowiska w otoczeniu ujęcia oceniony jako dobry i średni. Brak zagrożeń geogenicznych	Zagrożenie ze strony zanieczyszczeń przypadkowych
Lokalnie występujące przewarstwienia utworów słaboprzepuszczalnych, opóźniających migrację potencjalnych zanieczyszczeń	Budowa geologiczna niespełniająca właściwej roli ochronnej dla ujmowanej warstwy wodonośnej
Rejon na drodze dopływu wód podziemnych do ujęcia cechujący się średnią klasą odporności – rola ochronna dla wód dopływających do ujęcia	Ujmowany system wodonośny oceniony jako podatny na potencjalne zanieczyszczenia z powierzchni terenu
OZ ujęcia położony na terenie POChK – obowiązujące ograniczenia w użytkowaniu terenu, wpływające korzystnie na stan jakościowy i ilościowy wód podziemnych. Lokalizacja w sąsiedztwie innych form ochrony przyrody w tym obszarze Sieci Natura 2000 „Środkowy Dunajec z dopływami” – korzystny wpływ na ujęcie – sztuczne zasilanie wód podziemnych	Wyłączenia w regulacjach prawnych dopuszczające pewne formy działalności (np. po pozytywnie przeprowadzonej OOS) – ograniczony wpływ na ochronę wód podziemnych. Obszar Sieci Natura 2000 „Środkowy Dunajec z dopływami” ograniczony do koryta rzeki –poza OZ ujęcia
Wieloletnie doświadczenia eksploatacji ujęcia – brak negatywnego trendu pogarszania jakości ujmowanych wód podziemnych	Nie można wykluczyć, że zagrożenie powstanie w przyszłości
Brak znaczącej urbanizacji terenów wokół ujęcia – ok. 70% OZ to tereny niezurbanizowane, z czego ok. 40% stanowią tereny zadrzewione. Dotychczasowy brak znaczących oddziaływań antropogenicznych na wody podziemne, wynikający ze zrównoważonego zagospodarowania terenu badań	Ochrona przed zainwestowaniem w przyszłości – dążenie do ograniczenia powstawania obiektów mogących zanieczyścić wody podziemne w przyszłości
Wdrażane strategie i realizowane plany na analizowanym terenie w zakresie gospodarki ściekowej – ochrona wód podziemnych	Nielegalne zrzuty nieczystości bezpośrednio do wód lub gruntu
Ujęcie na obszarze szczególnego zagrożenia powodzią – utworzenie strefy nie wpłynie na zabezpieczenie przed czynnikami naturalnymi, studnie ujęcia zabezpieczone przed wodami nadmiarowymi	

Źródło: opracowanie własne.

A i B, na których zasugerowano odmienne podejście do ograniczeń w użytkowaniu terenu, co przedstawiono na rys. 6.

Strefa A obejmuje część OSW do ujęcia odpowiadającemu terenowi lokalizacji studni ujęcia. W związku z tym, iż jest to teren zalewowy, w większości niezagospo-



**Rys. 6.** Propozycja zasięgu strefy ochronnej – strefy ochrony pośredniej

Źródło: na podstawie [Nikiel i in. 2015].

darowany, zaproponowano, aby jako granicę dla wskazanej podstrefy przyjąć naturalną linię biegnącą wzdłuż granicy terenów roślinności doliny rzecznej. Natomiast obszar strefy B stanowi dalszą część OSW, idąc w górę strumienia do granicy OSW.

Strefa A, obejmująca teren w najbliższym sąsiedztwie studni, powinna zapewnić maksymalną możliwą ochronę ujęcia. Natomiast strefa B TOP powinna mieć za

zadanie ochronę jakości wód podziemnych pod kątem przyszłościowej rozbudowy i zagospodarowania terenów na kierunku spływu wód do ujęcia. W związku z tym propozycja ograniczeń w użytkowaniu tej strefy powinna obejmować wyniki analizy środowiskowej, ale także ekonomiczno-społecznej, zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju.

## 6. Wnioski

Rezultaty wykonanych badań dają podstawy do wykorzystania wskazanej metodyki postępowania podczas wykonywania analiz ryzyka oraz projektów stref ochronnych ujęć wód podziemnych – terenów ochrony pośredniej (TOP).

Przeprowadzone analizy wykazały:

1) przydatność metody DRASTIC oraz czasu przesączenia pionowego, jako wstępnego etapu oceny ryzyka, dla analizy konieczności ustanowienia stref ochrony pośredniej,

2) korelację wyników badań uzyskanych za pomocą metody DRASTIC oraz oceny czasu migracji pionowej,

3) złożoność analiz niezbędnych do prawidłowego rozpoznania potrzeby i ustanowienia strefy ochronnej ujęcia TOP,

4) konieczność indywidualnego podejścia do analizowanego obszaru w celu zrównoważonego wyznaczenia i zaopiniowania strefy ochronnej,

5) konieczność analizy przyszłościowej czynników, które mogą się pojawić i negatywnie oddziaływać na wody podziemne.

Autorzy podkreślają, iż strefy ochronne stanowią realizację „zasady przezorności” dla ochrony zasobów wód podziemnych. Priorytetową rolą każdej strefy ochronnej jest ochrona przed wzrostem emisji potencjalnych zanieczyszczeń. W związku z wprowadzanymi zmianami prawnymi, obejmującymi aspekt ustanawiania stref ochronnych ujęć, temat badań wymaga poszerzenia.

## Literatura

- Aller L., Lehr J.H., Petty R, 1987, *DRASTIC – A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Setting*, Ada, Oklahoma, s. 17-20, <https://nepis.epa.gov/> (23.08.2017).
- Dąbrowski S., Górski A., Kapuściński J., Przybyłek J., Szczepański A., 2004, *Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych. Poradnik metodyczny*, Warszawa, s. 15, 38, 166, [https://archiwum.mos.gov.pl/kategoria/298\\_metodyka\\_okreslania\\_zasobow\\_eksploatacyjnych\\_ujec\\_zwyklych\\_wod\\_podziemnych\\_poradnik\\_metodyczny/](https://archiwum.mos.gov.pl/kategoria/298_metodyka_okreslania_zasobow_eksploatacyjnych_ujec_zwyklych_wod_podziemnych_poradnik_metodyczny/) (17.08.2017).
- Dowgiałło J., Kleczkowski A.S., Macioszczyk T., Rózkowski A. (red.), 2002, *Słownik hydrogeologiczny*, Państwowy Instytut Geologiczny, s. 144, 316-317, [https://archiwum.mos.gov.pl/g2/kategoria-Pliki/2009\\_04/d6e1baf4ccc946e5c1f7cac62c532e96.pdf](https://archiwum.mos.gov.pl/g2/kategoria-Pliki/2009_04/d6e1baf4ccc946e5c1f7cac62c532e96.pdf) (17.08.2017).

- Duda R., Paszkiewicz M., Zdechlik R., 2008, *Regionalne modelowanie migracji azotanów w zlewni rzeki karpackiej*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, nr 431, s. 27-34, <https://biuletynpig.publisherspanel.com/resources/html/article/details?id=45305> (17.08.2017).
- Duda R., Winid B., Zdechlik R., 2015, *Wyznaczanie terenu ochrony pośredniej ujęcia wód podziemnych. Porównanie wyników uzyskanych metodami analitycznymi z modelowaniem numerycznym*, Przegląd Geologiczny, vol. 63, nr 10/1, s. 694-699, <http://www.pgi.gov.pl/oferta-inst/wydawnictwa/czasopisma/przeglad-geologiczny/6642-przeglad-geologiczny-2015-10-1-tom-63.html> (17.08.2017).
- Duda R., Winid B., Zdechlik R., Stępień M., 2013, *Metodyka wyboru optymalnej metody wyznaczania zasięgu stref ochronnych ujęć zwykłych wód podziemnych z uwzględnieniem warunków hydrogeologicznych obszaru RZGW w Krakowie*, AGH Kraków (poradnik metodyczny RZGW), Kraków, s. 40-42, 47-49, 63-69 oraz 94-110, [http://www.krakow.rzgw.gov.pl/download/wytyczne\\_strefy\\_ochronne.pdf](http://www.krakow.rzgw.gov.pl/download/wytyczne_strefy_ochronne.pdf) (17.08.2017).
- Dyrektywa Rady 98/83/WE z dnia 3 listopada 1998 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, DzU UE, nr 31998L0083, <http://eur-lex.europa.eu> (17.08.2017).
- GUS, 2016, *Statystyczne vademecum samorządowca*, <http://krakow.stat.gov.pl> (12.08.2017).
- Kajewski I., 2000, *Metoda oceny zagrożenia wód podziemnych przy pomocy systemu DRASTIC*, Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu. Inżynieria Środowiska XI, nr 385, s. 217-223, <http://karnet.up.wroc.pl/~kajewski/prace/prace.html> (17.08.2017).
- Kicińska A., 2010, *Uwarunkowania jakości wód powierzchniowych Beskidu Sądeckiego*, Wydawnictwa AGH, Kraków, s. 16-17, 88-89, 107-112.
- Krogulec E., 2011, *Podatność naturalna i specyficzna wód podziemnych na zanieczyszczenie w dolinie rzecznej*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, nr 445, s. 337-338, 340, <https://biuletynpig.publisherspanel.com/resources/html/article/details?id=45858> (17.08.2017).
- Mikołajków J., Sadurski A. (red.), 2017, *Informator Głównych Zbiorników Wód Podziemnych w Polsce*, PIG PIB, Warszawa, s. 327-328, <https://www.pgi.gov.pl/psh/materialy-informacyjne-psh/informatory-psh/4719-informator-psh-2017-gzwp.html> (17.08.2017).
- Mulik B., Parafińska K., Zimnoch I., Marcinkowski J.T., 2015, *Zagrożenia zdrowotne związane z wodą przeznaczoną do spożycia w krajach o wysokim stopniu rozwoju. Część 2. Europa*, Technologia wody, Rok VII Zeszyt 3(41), s. 58,62, [https://www.pth.pl/userfiles/image/pdf/TW3\\_15Mulik.pdf](https://www.pth.pl/userfiles/image/pdf/TW3_15Mulik.pdf) (17.08.2017).
- Nikiel G., Hermańska-Nikiel D., Wysowska E., Stobiecki Z., 2015, *Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wielootworowego ujęcia wód podziemnych w miejscowości Stary Sącz*, Archiwum „Sądeckich Wodociągów” Sp. z o.o., Częstochowa.
- Paczyński B., Sadurski A. (red.), 2007, *Hydrogeologia regionalna Polski. Tom I. Wody słodkie*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, s. 108, [https://archiwum.mos.gov.pl/kategoria/314\\_hydrogeologia\\_regionalna\\_polski](https://archiwum.mos.gov.pl/kategoria/314_hydrogeologia_regionalna_polski) (17.08.2017).
- Szczepaniec-Cięciak E., Różańska A., 1999, *Podstawy oceny ryzyka zdrowotnego w następstwie narażenia na substancje chemiczne*, Wydawnictwo UJ, Kraków, s. 77-113.
- Ustawa z 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody, DzU, nr 92, poz. 880 ze zm., <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20040920880> (28.08.2017).
- Ustawa z 18 lipca 2001 r. Prawo wodne, DzU, nr 115 poz. 1229 ze zm., <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20011151229> (17.08.2017).
- Ustawa z 20 lipca 2017 r. Prawo wodne, [http://orka.sejm.gov.pl/proc8.nsf/ustawy/1529\\_u.htm](http://orka.sejm.gov.pl/proc8.nsf/ustawy/1529_u.htm) (7.08.2017).
- Zdechlik R., Kulma R., 2009, *Kilka uwag o modelowaniu filtracji wód podziemnych*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, nr 436, s. 569-574, <https://biuletynpig.publisherspanel.com/resources/html/article/details?id=46353> (17.08.2017).