

## **WIELOKRYTERIALNA OCENA RÓŻNYCH WARIANTÓW LOKALIZACJI UJĘCIA WÓD PODZIEMNYCH DLA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW W CZĘSTOCHOWIE**

Łukasz Kaczmarek

Uniwersytet Warszawski

**Streszczenie.** Działalność przemysłowa wpływa bezpośrednio na środowisko. Przykładem tego jest wpływ ujęć wód podziemnych na warunki hydrogeologiczne. Kluczowym elementem tego zagadnienia jest wybór optymalnej lokalizacji projektowanego ujęcia. Przedstawiany artykuł opisuje wielokryterialną ocenę różnych wariantów lokalizacji ujęcia wód podziemnych. Woda z projektowanego ujęcia będzie dostarczana do oczyszczalni ścieków w Częstochowie do celów technologicznych. W celu zaprojektowania odpowiedniej studni głębinowej spełniającej określone wymagania przeprowadzono obliczenia analityczne m.in. promienia leja depresji i głębokości depresji, izochromy 25 lat oraz ustalono wytyczne dla projektu studni. Wykonano również wykres zwierciadła wód podziemnych podczas interakcji z ujęciem. Rezultatem wyżej wymienionych obliczeń było określenie zasięgu leja depresji oraz wybór wariantu budowy dwóch studni w ramach jednego ujęcia wód podziemnych. Dzięki wykonanej analizie zweryfikowano możliwość wspomaganie procesu podejmowania szybkich i racjonalnych decyzji dla dużych obszarów, gdzie występuje wiele czynników wpływu na wydajność studni głębinowej.

**Słowa kluczowe:** ujęcie wód podziemnych, Częstochowa, warunki hydrogeologiczne, wielokryterialna analiza

### **WSTĘP**

W przypadku potrzeby budowy ujęcia wód podziemnych należy wykonać w pierwszym kroku analizę potencjalnej lokalizacji studni głębinowej. Przy czym obszar analizy powinien być większy, niż przewidywany obszar wpływu ujęcia na środowisko gruntowo-wodne. Wielokryterialna analiza pozwala na podjęcie przez decydentów świadomego i optymalnego wyboru lokalizacji studni głębinowej, uwzględniającego

---

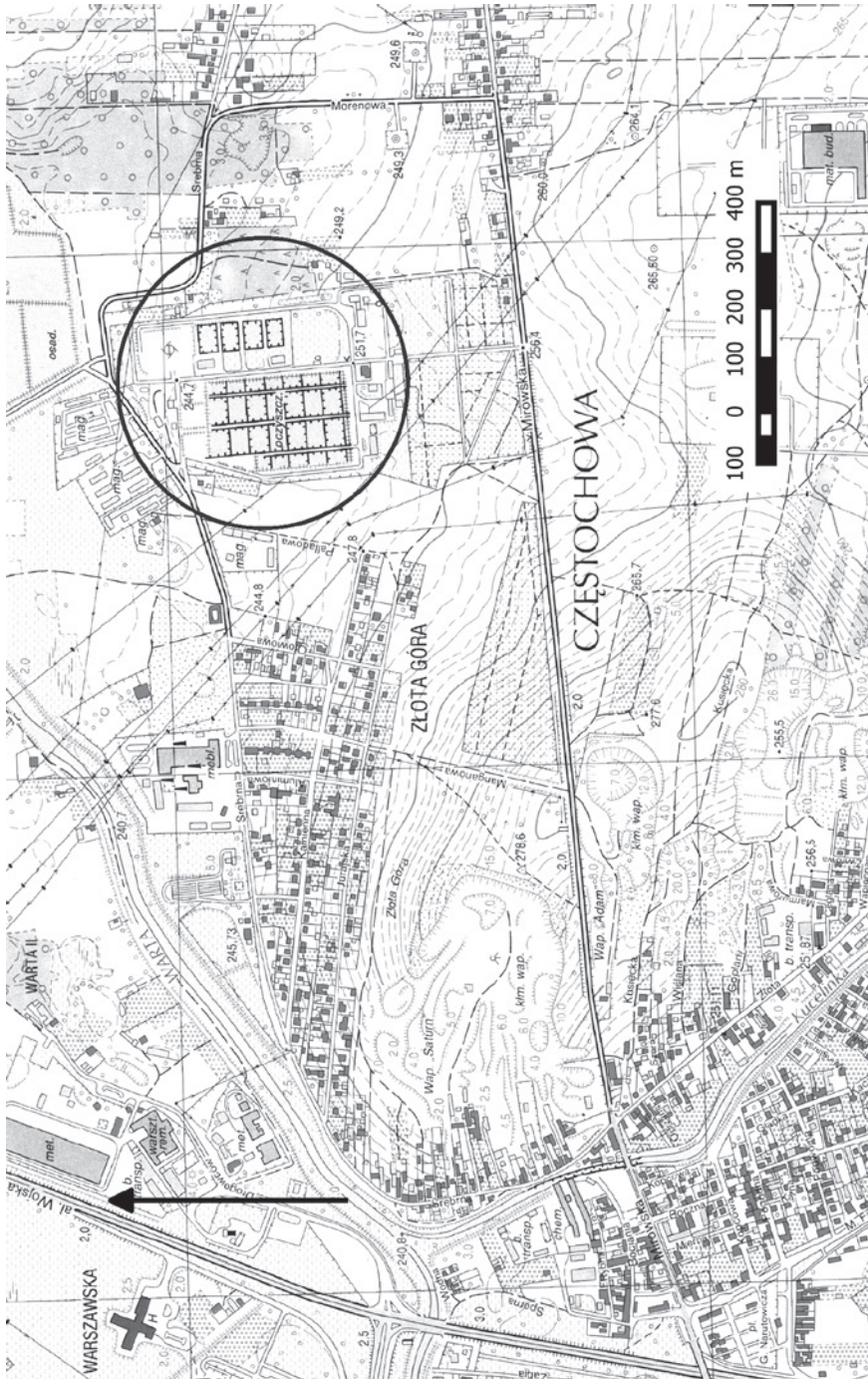
Adres do korespondencji – Corresponding author: mgr Łukasz Kaczmarek, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Krakowskie Przedmieście 26/28, 00-927 Warszawa, e-mail: [lukasz.kaczmarek@uw.edu.pl](mailto:lukasz.kaczmarek@uw.edu.pl).

wiele czynników, m.in. ekonomicznych, związanych z wydajnością hydrauliczną, oraz środowiskowych.

Prezentowany artykuł dotyczy zagospodarowania przestrzennego, którego celem jest wybór najwłaściwszej lokalizacji projektowanej studni głębinowej. Obszarem analizy są nieruchomości Oczyszczalni Ścieków „Warta” przy ul. Srebrnej 172 w Częstochowie, będącej jednym z największych zakładów przemysłowych w regionie. Efektem budowy studni będzie pokrycie zapotrzebowania na wodę wymaganą do optymalizacji procesu oczyszczania ścieków. Wymagana ilość wody została określona poprzez konsultację z oczyszczalnią. Sumaryczne zapotrzebowanie na wodę wynosi  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , czyli  $240 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Wykonana ocena odpowiada na pytania dotyczące lokalizacji budowy studni głębinowej, wpływu eksploatacji studni na stan równowagi hydrodynamicznej oraz ustala wytyczne dla konstrukcji ujęcia wód podziemnych, tak aby eksploatacja była jak najmniej inwazyjna w stosunku do środowiska wodnego.

W celu optymalizacji zagospodarowania danego terenu pod funkcję budowlaną dla ujęcia wód podziemnych należy zapoznać się z warunkami gruntowo-wodnymi [Gerus-Gościewska 2010]. Dla tego zadania został przeprowadzony przegląd materiałów archiwalnych, wizja terenowa oraz wykonano opracowania uzupełniające, do których należą m.in. mapa hydroizohips, przekroje hydrogeologiczne oraz obliczenia hydrogeologiczne dotyczące wielkości i zasięgu leja depresji. Wykonano również wykres powierzchni zwierciadła wód podziemnych podczas eksploatacji studni. Finalnym etapem opracowania była wielokryterialna ocena uwarunkowań naturalnych i technicznych przyjętych wariantów lokalizacji studni.

Analizowany obszar został dobrze rozpoznany pod kątem hydrogeologicznym, o czym świadczą liczne analizy i opracowania archiwalne. Szczególnie cennym źródłem informacji jest dokumentacja hydrogeologiczna dla ujęcia wód podziemnych Mirów [Malina i Mizera 2010], oddalonego o ok. 300 m na południowy wschód od analizowanego obszaru oraz dokumentacja hydrogeologiczna – sprawozdanie z badań wpływu oczyszczalni ścieków na wody podziemne [Hermański i Hermański 1998]. Dodatkowym źródłem informacji do zaprojektowania studni jest Bank Danych Hydrogeologicznych HYDRO działający w strukturze Centralnego Archiwum Geologicznego, nad którym nadzór sprawuje PIG-PIB. Warto również wymienić opracowania opisujące regionalne zależności hydrogeologiczne: *Zintegrowany system gospodarowania i ochrony zasobów wodnych GZWP 326* [Malina i in. 2007], *Hydrogeologia regionalna Polski* [Paczyński i Sadurski (red.) 2007], *Wody podziemne miast Polski* [Nowicki i in. 2007] oraz *Własności hydrogeologiczne matrycy skalnej wapieni górnojurajskich Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej w świetle badań laboratoryjnych* [Rózkowski i in. 2001]. Należy także wspomnieć, że w roku 2005 na podstawie badań terenowych opracowano model hydrodynamiki i migracji zanieczyszczeń (azotany, amoniak, cyjanki) w rejonie planowanego ujęcia [Malina i in. 2007].



Ryc. 1. Mapa topograficzna w skali 1:25 000 z zaznaczonym obszarem badań  
Fig. 1. Topographic map 1:25 000 with the selected study area

## OBSZAR ANALIZY

Charakteryzowany obszar położony jest we wschodniej części miasta Częstochowa, pomiędzy ulicami Mirowską i Srebrną. Powierzchnia terenu administrowana przez Spółkę „WARTA” wynosi ok. 25,0 ha. Tereny otaczające Oczyszczalnię Ścieków to częściowo tereny zurbanizowane, przemysłowo-usługowe i wykorzystywane rolniczo. W sąsiedztwie oczyszczalni funkcjonuje ujęcie wód podziemnych Mirów, eksploatowane przez Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji Okręgu Częstochowskiego SA.

Centralna Oczyszczalnia Ścieków położona jest na Płaskowyżu Częstochowskim w dolinie rzeki Warty [Kondracki 2011], oddalonej o 500 m na północ. Rzeka Warta jest najbliższym ciekim w pobliżu analizowanego obszaru. Teren oczyszczalni jest stosunkowo płaski o łagodnym spadku w kierunku rzeki Warty. Analizowany obszar charakteryzuje się dobrze rozwiniętą siecią hydrograficzną, a także występowaniem licznych źródeł i innych cieków powierzchniowych. Hipotetyczne ujęcie położone jest w zlewni rzeki Warty. Rozpatrywany obszar stanowi część monokliny śląsko-krakowskiej [Paczyński i Sadurski (red.) 2007]. Wschodnie jurajskich skał węglanowych odsłaniają się na powierzchni pasem o szerokości od 11 do 26 km, a ich miąższość rośnie od kilkudziesięciu metrów w rejonie kuesty (analizowany obszar) do kilkuset na wschodzie, przy granicy utworów kredowych [Paczyński i Sadurski (red.) 2007].

Na podstawie *Hydrogeologii regionalnej Polski* [Paczyński i Sadurski (red.) 2007, t. I] rejon Częstochowskiego zbiornika wód podziemnych można zaklasyfikować, według różnych podziałów, do makroregionu centralnego, regionu śląsko-krakowskiego, subregionu jurajskiego (zgodnie z regionalizacją hydrogeologiczną słodkich wód podziemnych). Natomiast wg podziału z 2007 r. rejon GZWP nr 326 leży w prowincji Odry, regionie Warty, subregionie wyżynnym. Głównym poziomem użytkowym w tym regionie jest poziom górnourajski, a podrzędnie – czwartorzędowy. Górnourajskim poziomem wodonośnym są głównie wapień twarde, często skrzemieniałe. Profil budowy geologicznej omawianego terenu przedstawiono w tabeli 1. Szczelinowo-krasowy charakter wodonośca i występowanie przepuszczalnego nadkładu sprzyjają infiltracji wód z powierzchni oraz odnawialności zasobów. Podstawową rolę w ruchu wód podziemnych, a także ewentualnej migracji zanieczyszczeń, odgrywa porowatość krasowa i szczelinowa (kawernistość i szczelinowatość) [Pacholewski i Rózkowski 1990]. Kanały krasowe i strefy spękań pełnią rolę kolektorów zbierających wodę z całego masywu skalnego [Rzonca 2014]. Przepuszczalność i wynikająca z niej wodonośność utworów górnourajskich jest bardzo zróżnicowana. Użytkowany poziom wód podziemnych jury górnej ma zasoby dyspozycyjne w wielkości  $4\ 220\ \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , a z jego zasobów oprócz ujęcia Mirów czerpią ujęcia położone na terenie gminy Olsztyn [Malina i Mizera 2010].

## METODY

Dokonując kompleksowej analizy obszaru oczyszczalni ścieków „WARTA”, uwzględniono trzy typowane rozwiązania, jako najbardziej optymalne lokalizacje ujęcia wód podziemnych (ryc. 2).



Tabela 1. Charakterystyka litostratygraficzna, z zaznaczonym głównym poziomem wodonośnym [na podstawie Nowicki i in. 2007]

Table 1. Lithostratigraphic characteristics of selected main aquifer levels [based on Nowicki et al. 2007]

Kompleks strukturalny Structural complex		Stratygrafia Stratigraphy		Litologia Lithology
Kenozoiczny Cenozoic	Czwartorzęd Quaternary	Holocen Holocene	– piaski – sands – żwiry – gravels	
		Plejstocen Pleistocene	– ropy – clays – mułki – silts – gliny – sandy-clayey silts	
Młodokimerydzki Early Kimmeridgian	Jura Jurassic	Górna Upper	– wapienie margliste – marly limestones – wapienie piaszczyste z glaukonitem – sandy limestones with glauconite	
			– margle – marls – wapienie gąbkowo-tuberolitowy – spongian-tuberolite limestones – wapienie kredowate – chalky limestones – wapienie skaliste – rocky limestones	
		Środkowa Middle	– szare mułowce – gray siltstones – czarne iłowce – black claystones – piaskowce z przewarstwieniami syderytów – sandstones with siderite interbeds	
		Dolna Lower	– żwiry – gravels – piaskowce – sandstones – iłowce – claystones	

Wariant I zakładał:

- ujęcie wód podziemnych za pomocą jednej studni głębinowej położonej w środkowej części niezagospodarowanego terenu (zieleni niska), dzięki istniejącemu już podziemnemu uzbrojeniu terenu (istniejące przyłącza wodociągowe) występuje możliwość rozprowadzenia wody do obiektów, do których należy ją dostarczyć. Lokalizacja w środkowej części pozwala na zminimalizowanie wpływu azotanów, których najwyższe stężenia zostały stwierdzone na podstawie analizy materiałów archiwalnych [Malina i in. 2007] w części północnej nieruchomości oczyszczalni i na północ od projektowanych studni. Taka lokalizacja pozwoli również na odsunięcie inwestycji od istniejącego ujęcia wód podziemnych Mirów (oddalonego o 300 m na południowy wschód),
- dodatkowo lokalizacja ta zapewni dużą zasobność warstwy wodonośnej o znacznej miąższości wraz z ok. 3-metrową warstwą o słabej przepuszczalności gruntów w nadkładzie, co pozwoli na zminimalizowanie możliwości potencjalnego wpływu zanieczyszczeń na zasoby nowej studni. Dostępność terenu pod inwestycje (m.in. 10 m<sup>2</sup> dla obszaru ochrony bezpośredniej). Brak obiektów oczyszczalni w bezpośrednim sąsiedztwie, jak również możliwość swobodnego prowadzenia prac przez zespół wiertniczy podczas budowy, montażu i później eksploatacji urządzeń ujęcia.



● 9a lokalizacja i nazwa otworu hydrogeologicznego  
location and name of the groundwater well

● w3 lokalizacja i nazwa wariantu budowy studni głębinowej  
location and name of the variant of proposed groundwater wells

IV / IV lokalizacja i nazwa przekroju hydrogeologicznego  
location and name of the hydrogeological section

■ lokalizacja obiektów, do których planowane jest dostarczenie wody  
location of objects to which it is planned to provide water

—230— hydroizohipsa  
hydroisohypse

Ryc. 2. Obszar badań

Fig. 2. Location of the field of research

Wariant drugi zakładał lokalizację jednej studni głębinowej w środku północnej części oczyszczalni ze względu na możliwość rozprowadzenia wody do obiektów, w których jest potrzeba dostarczenia wody (podobnie jak w wariantcie pierwszym), dzięki istniejącym już podziemnym przyłączom wodociągowym, ale również dzięki bezpośredniemu sąsiedztwu z jednym z obiektów docelowych. Lokalizacja w tej części terenu pozwoli na jeszcze większe oddalenie inwestycji od istniejącego ujęcia wód podziemnych Mirów. W tym obszarze warstwa wodonośna jest o dużej miąższości ze swobodnym płytko położonym zwierciadłem wód podziemnych, wraz z ok. 3-metrową warstwą o słabej przepuszczalności gruntów w nadkładzie, co pozwoli na zminimalizowanie ewentualnego bezpośredniego dopływu zanieczyszczeń do ujęcia. Dostępność terenu dla rozstawienia sprzętu wiertniczego podczas budowy studni, montażu urządzeń i ustanowienia (odgrodzienia) strefy ochrony bezpośredniej ujęcia.

Wariant trzeci zakłada budowę ujęcia, w skład którego wejdą dwie studnie, każda w bezpośrednim sąsiedztwie obiektów – docelowych odbiorców ujętej wody podziemnej. Wariant ten został wskazany ze względu na:

- minimalizację prac terenowych oraz kosztów związanych z tymi pracami pod kątem rozprowadzenia wody. Dzięki dwóm niezależnym studniom zwiększa się odporność ujęcia na jakiegokolwiek awarie: techniczne, kolmatację filtrów, skażenie gruntów, oraz pozwala w przyszłości w przypadku wzrostu zapotrzebowania na wodę zwiększyć wydajność studni przy niskokosztowej przebudowie,
- bardzo zasobną warstwę wodonośną o dużej miąższości, przy występujących słabo przepuszczalnych gruntach w górnej części górotworu, co pozwoli na zminimalizowanie ewentualnego bezpośredniego wpływu zanieczyszczeń na zasoby wody ujęcia,
- dostępność terenu pod inwestycje (minimum 10 m<sup>2</sup> dla obszaru ochrony bezpośredniej); brak jakichkolwiek obiektów gabarytowych. Dostępność dla zespołu wiertniczego podczas budowy ujęcia, montażu urządzeń i ogrodzenia strefy ochrony bezpośredniej.

W celu określenia parametrów hydrogeologicznych warstwy wodonośnej oraz zdefiniowania parametrów studni głębinowej, została przeprowadzona schematyzacja warunków hydrogeologicznych, co w konsekwencji pozwala na stworzenie modelu hydrogeologicznego analizowanego obszaru [Dąbrowski i in. 2011].

Interakcja studni głębinowej i warstwy wodonośnej oraz wytyczne do projektu studni zostały opisane parametrami obliczonymi na podstawie wzorów zalecanych przez Macioszczyk [2006]. Parametry te to:

- prędkość dopuszczalna wody podczas eksploatacji studni wg wzoru empirycznego Sichardta,
- jednostkowa zdolność przepustowa filtru,
- długość filtru,
- wielkość leja depresji (obliczona przy wykorzystaniu wydatku jednostkowego studni),
- wydajność studni zupełnej zafiltrowanej w identycznych warunkach hydrogeologicznych,
- promień leja depresji wg wzoru Kusakina dla zwierciadła swobodnego,
- izochrona 25 lat wyznaczona metodą Sauty'ego (gdyż zwierciadło wody nie ma bardzo dużego spadku hydraulicznego).

Wykres zwierciadła wód podziemnych został sporządzony w arkuszu kalkulacyjnym Excel, z wykorzystaniem I i II rodzaju warunków brzegowych [Rózkowski 2002]. Warunek brzegowy pierwszego rodzaju (Dirichleta) został wykorzystany dla wprowadzenia wysokości hydraulicznej na brzegu modelu, natomiast wewnętrzny warunek brzegowy drugiego rodzaju (Neumana) pozwolił na opis interakcji studni głębinowej z ujmowaną warstwą wód podziemnych. Do wykonania tego modelu wykorzystano przekroje hydrogeologiczne, mapę hydroizohips, wyniki obliczeń oraz zaimplementowano części parametrów z sąsiadującego ujęcia wód podziemnych Mirów.

Chcąc uwzględnić wiele czynników wpływających na wydajność studni oraz duży obszar analizy, wykorzystano wielokryterialną ocenę poszczególnych wariantów. Ta analiza oparta jest na metodzie eksperckiej wyznaczania wielkości wpływu poszczególnych czynników na eksploatację studni głębinowej. Jako kryteria główne przyjęto zasobność warstwy wodonośnej, jakość wody oraz koszty budowy studni (kryterium ekonomiczne). Jako kryteria uzupełniające wybrano dwie grupy. Pierwszą o większej wadze wpływu. Do tej grupy przyporządkowano możliwość późniejszej rozbudowy oraz podatność na awarię i zatrzymanie pracy ujęcia wód podziemnych z tego powodu. Do drugiej grupy przyporządkowano wpływ zanieczyszczeń, sąsiedztwo innych ujęć, wielkość obszaru inwestycji zajętej pod bezpośrednią budowę, możliwość dojazdu oraz morfologię terenu. Do drugiej grupy przypisano mniejszą wagę, z powodu bardziej jednorodnych i również korzystnych warunków dla całego obszaru analizy. Poszczególne wyniki dla różnych wariantów są sumą iloczynów oceny wartości wpływu i ich odpowiednich wag.

## WYNIKI

### Przekroje hydrogeologiczne

Dla przedstawienia budowy hydrogeologicznej analizowanego obszaru wykonano przekroje hydrogeologiczne, wzdłuż linii zaznaczonych na ryc. 2, wykorzystując interpolację między otworami archiwalnymi. Poniżej przedstawiono najważniejszy i najbardziej miarodajny przekrój.

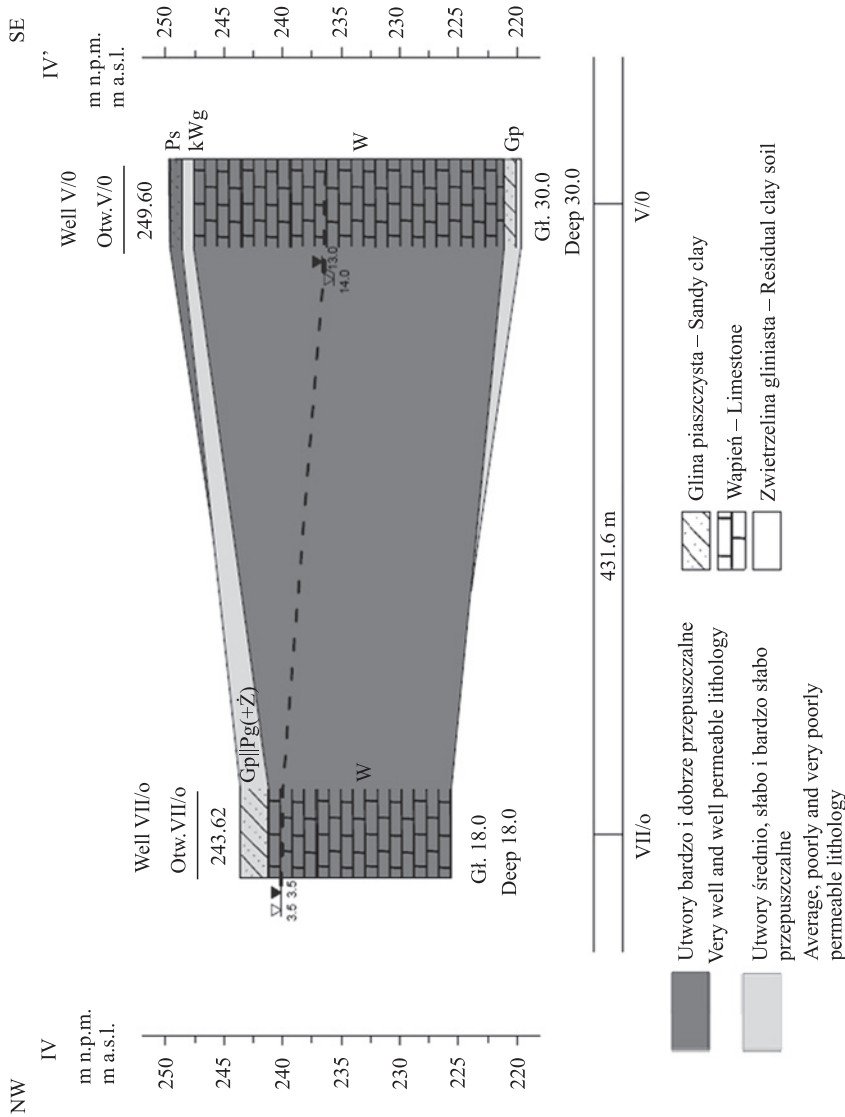
Po wykonaniu przekrojów hydrogeologicznych i modelu warunków hydrogeologicznych przeprowadzono obliczenia.

### Obliczenia

Wyniki obliczeń filtracji przedstawione poniżej uznano za miarodajne dla poszczególnych wariantów, ze względu na podobne warunki hydrogeologiczne. Przyjęto do obliczeń następujące parametry:

- projektowany wydatek studni,  $Q = 240 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  ( $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ),
- miąższość warstwy wodonośnej (na podstawie wykonanych przekrojów),  $m = 10 \text{ m}$ ,
- współczynnik filtracji (na podstawie archiwalnych badań polowych z sąsiednich ujęć [Malina i Mizera 2010]),  $k_a = 0,0002 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,
- wydatek jednostkowy (na podstawie archiwalnych badań polowych z sąsiednich ujęć [Malina i Mizera 2010]),  $q_a = 31,67 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,
- średnia filtru,  $\varphi = 14 \text{ cali} = 0,3556 \text{ m}$ ,
- porowatość efektywna [Macioszczyk 2006],  $n_e = 7,5\%$ ,
- czas, dla którego liczy się wartość przepływu,  $t = 25 \text{ lat}$ .





Ryc. 3. Przekrój hydrogeologiczny wzdłuż linii IV-IV'  
Fig. 3. Hydrogeological cross-section along IV-IV' line

a) Prędkość dopuszczalna wody podczas eksploatacji studni:

$$v_{dop} = \sqrt{\frac{k}{15}} = \sqrt{\frac{0,0002}{15}} \approx 0,00365 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

b) Jednostkowa zdolność przepustowa filtru:

$$\rho = 2 \pi \frac{\varphi}{2} v_{dop} = 2 \pi \frac{0,3556}{2} 0,00365 \approx 0,00408 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

c) Długość filtru:

$$L = \frac{Q}{\rho} = \frac{0,00278}{0,00408} \approx 0,7 \approx 1,00 \text{ m}$$

gdzie:  $Q = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} = 0,00278 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

d) Wielkość depresji w studni została obliczona, wykorzystując wydatek jednostkowy studni:

$$s = \frac{Q}{q} = \frac{10}{31,67} = 0,3158 \text{ m}$$

e) Promień lejki depresji dla zwierciadła swobodnego:

$$R = 575s \sqrt{kH_\alpha} = 575 \cdot 0,3158 \sqrt{0,0002 \cdot 2,442} = 4 \text{ m}$$

gdzie:

$H_\alpha$  – współczynnik miąższość strefy aktywnego dopływu wody do studni niedogłębionej [określony wg Turek 1971]

f) Izochrona 25 lat:

$$r_{25} = 2,764 \sqrt{\frac{Q \cdot t}{m \cdot n_e}} = 964 \text{ m}$$

### Wytyczne dla budowy studni głębinowej oraz projektu budowlanego

Poniżej wymieniono najważniejsze elementy dla hipotetycznej studni wraz z przedstawieniem jej schematu technicznego:

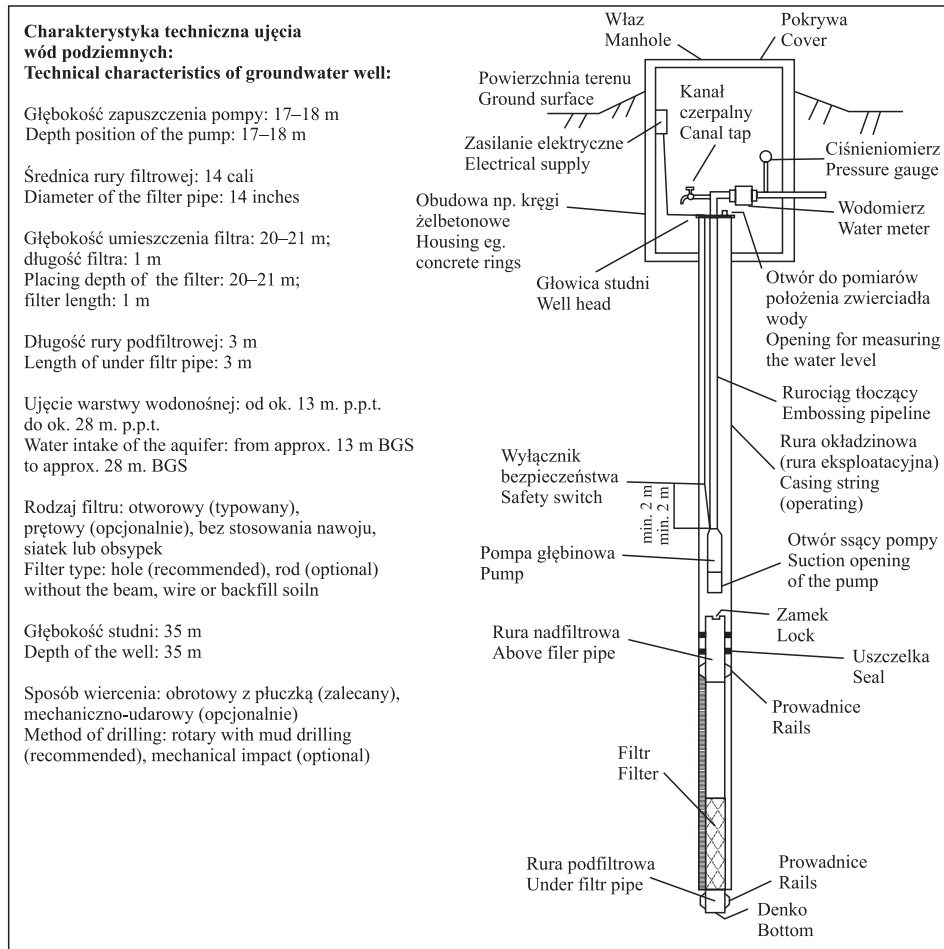
#### Zwierciadło wód podziemnych

Model zwierciadła wód podziemnych pozwolił na wizualizację każdego wariantu oraz informację dotyczącą nakładania się lejów depresji w przypadku rozwiązania III. Ryc. 5

przedstawia przykład statycznego i dynamicznego kształtu zwierciadła wód podziemnych w wariantcie III.

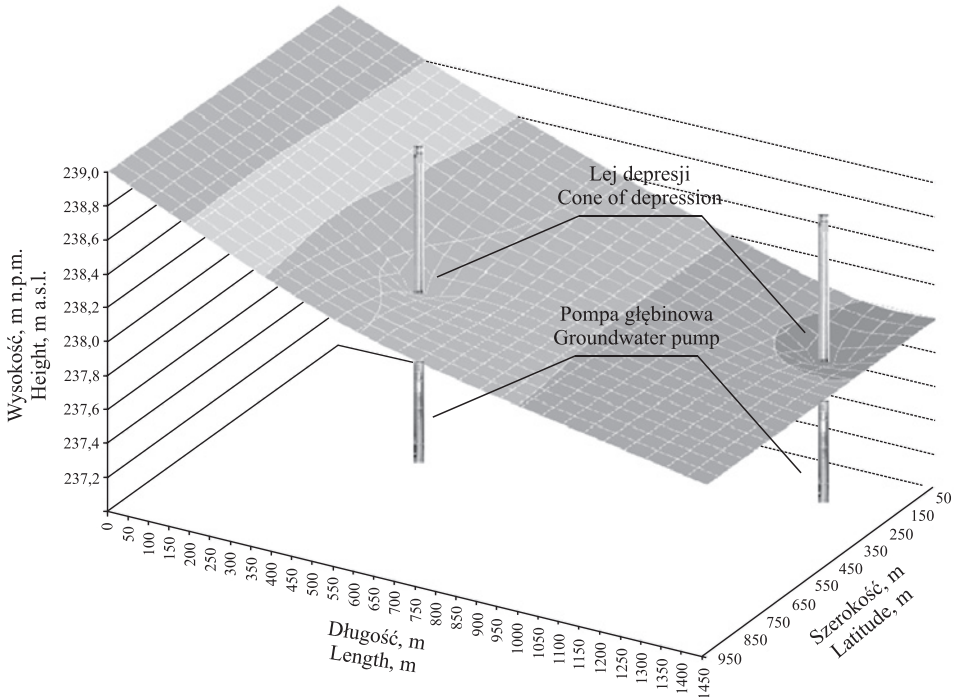
### Wybór koncepcji budowy ujęcia wód podziemnych

Do oceny możliwości realizacji koncepcji budowy studni głębinowej, wykorzystano wielokryterialną kompleksową analizę wariantów, podczas której zdefiniowano kryteria oraz zakres ocen i ich wag (tabela 2).



Ryc. 4. Charakterystyka techniczna ujęcia wód podziemnych i schemat projektowanej studni głębinowej [Macioszczyk 2006]

Fig. 4. Technical characterization of groundwater well and diagram of conceptual groundwater well [Macioszczyk 2006]



Ryc. 5. Wykres zwierciadła wód podziemnych podczas eksploatacji pomp głębinowych, w wariantcie III

Fig. 5. Diagram of groundwater surface during interaction with groundwater well in the variant III

Tabela 2. Wartości ocen i wag dla wielokryterialnej analizy różnych wariantów lokalizacji budowy ujęcia wód podziemnych

Table 2. The evaluations and weights for multi-criteria analysis of the various variants of the location of underground well

Lp. Ordinal	Kryterium Criteria	Ocena Evaluation	Waga Weight
<b>Kryteria główne – Main criteria</b>			
1	Zasobności warstwy wodonośnej Abundance aquifer		
2	Jakościowe – Water qualitative	1–5	10
3	Ekonomiczne – Cost		
<b>Kryteria uzupełniające – Supportive criteria</b>			
4	Możliwość rozbudowy Expandability	1–5	8
5	Awaria – Failure		



Tabela 2. cd.  
Table 2. cont.

Lp. Ordinal	Kryterium Criteria	Ocena Evaluation	Waga Weight
6	Zanieczyszczenia Pollution		
7	Sąsiedztwo innych ujęć Water intakes in the neighborhood		
8	Wielkość obszaru inwestycji Size of the investment area	1–5	5
9	Dojazd Access		
10	Morfologia terenu Terrain morphology		

W wyniku dokonanej analizy poszczególnych wariantów otrzymano wyniki przedstawione w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki wielokryterialnej analizy wariantów lokalizacji budowy ujęcia wód podziemnych  
Table 3. Results of multi-criteria analysis of variants of location underground well

Wariant Variant	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Suma Sum
I	5 · 10	5 · 10	5 · 10	3 · 8	2 · 8	5 · 5	5 · 5	4 · 5	5 · 5	5 · 5	310
II	5 · 10	3 · 10	5 · 10	3 · 8	2 · 8	3 · 5	5 · 5	3 · 5	5 · 5	5 · 5	275
III	5 · 10	4 · 10	4 · 10	5 · 8	5 · 8	4 · 5	4 · 5	5 · 5	5 · 5	5 · 5	325

## DYSKUSJA

Podstawowe obliczenia analityczne dotyczące parametrów wynikających z interakcji studni ze środowiskiem hydrogeologicznym zostały obliczone przy wykorzystaniu powszechnie stosowanych wzorów dla projektowania prac hydrogeologicznych.

Ewaluację opisanych scenariuszy budowy ujęcia wód podziemnych wykonano za pomocą wielokryterialnej analizy. Metoda ta umożliwiła wykonanie porównania poprzez gradację wskaźników mierzących efektywność funkcjonowania modeli ujęcia. Na podstawie wyników tej metody, możliwy był wybór optymalnego wariantu zagospodarowania przestrzennego. Na podstawie rezultatów (analizy wielokryterialnej) można stwierdzić, że najkorzystniejszym jest wariant III – ujęcia złożonego z dwóch studni głębinowych, z których każda położona jest w bezpośrednim sąsiedztwie obiektów będących odbiorcami dostarczanej wody, z pełnym zachowaniem warunków technicznych dotyczących lokalizacji ujęć wód podziemnych. Wykorzystując omówioną metodykę, w następnej kolejności zaproponowano lokalizację ujęcia jednootworowego, zlokalizowanego w środkowej części analizowanego terenu badań (wariant I), który w nieco

mniejszym stopniu spełnia wymogi narzucone do rozwiązania tego zadania, ale stanowi również rozwiązanie korzystne. Najmniej korzystny okazał się wariant II, którego wynik końcowy wyraźnie odróżnia się od dwóch poprzednich.

Wybór wariantu III jako najbardziej korzystnego jest podyktowany następującymi argumentami:

- prawdopodobieństwem uzyskania zbliżonych parametrów hydrogeologicznych i eksploatacyjnych projektowanych otworów do stwierdzonych w istniejących otworach studziennych ujęć wód podziemnych CzPWik SA Mirów i Srocko,
- ekonomicznymi warunkami zagospodarowania projektowanych otworów wynikającymi z jego usytuowania względem istniejącej infrastruktury i innych obiektów oczyszczalni ścieków,
- usytuowaniem projektowanych otworów w obrębie nieruchomości (gruntów) będących własnością inwestora, z korzystnym położeniem względem układu komunikacyjnego zakładu oczyszczalni ścieków,
- dobrymi warunkami sanitarnymi w otoczeniu projektowanych otworów wynikającymi z naturalnych geologicznych warunków izolacji projektowanych do ujęcia wód podziemnych (warstwy wodonośnej) przez wyżej ujęte słabo przepuszczalne utwory gliniasto-pylaste.

Należy zaznaczyć, że część wyników uzyskano na podstawie badań archiwalnych, dlatego powinny być zaktualizowane, zweryfikowane i uszczegółowione na dalszym etapie inwestycyjnym.

## PODSUMOWANIE

Po wykonaniu analiz oraz niezbędnych obliczeń, najbardziej korzystnym rozwiązaniem okazał się wariant III. Wariant ten związany jest z budową dwóch studni, przy czym każda z nich jest zlokalizowana w bezpośrednim sąsiedztwie obiektu, któremu należy dostarczyć wodę. Takie rozwiązanie umożliwia racjonalne zagospodarowanie analizowanego obszaru. Wpływ wybranego wariantu na warstwę wodonośną jest bardzo mały w porównaniu z jej zasobnością, dzięki czemu ingerencja w środowisko została zminimalizowana. W wyniku interakcji dwóch studni z warstwą wodonośną nie dojdzie do nałożenia się lejów depresji. Najważniejszymi parametrami konstrukcyjnymi studni głębinowej będzie głębokość zapuszczenia pompy: 17–18 m, średnica rury filtrowej: 14 cali, głębokość umieszczenia filtra: 20–21 m, ujęcie warstwy wodonośnej: zalegające w zakresie głębokości 13–28 m p.p.t. oraz głębokość studni: 35 m.

Wielokryterialna analiza wariantów rozwiązania zdefiniowanego zadania jest bardzo dobrym narzędziem dla procesu decyzyjnego, pozwalającego na ewaluację poszczególnych rozwiązań oraz uwzględnienie ważnych elementów środowiska naturalnego. Dzięki skwantyfikowaniu oceny, możliwy jest efektywny, szybki i świadomy wybór optymalnego rozwiązania.

## PODZIĘKOWANIA

Autor pragnie wyrazić podziękowania firmie Oczyszczalnia Ścieków „WARTA” Spółka Akcyjna za udostępnienie materiałów.

## PIŚMIENNICTWO

- Dąbrowski, S., Kapuściński, J., Nowicki, K., Przybyłek, J., Szczepański, A. (2011). Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych – poradnik. Ministerstwo Środowiska, Poznań.
- Gerus-Gościewska, M. (2010). Lokalizacja w gospodarce przestrzennej na podstawie atraktora funkcji budowlanej. *Acta Sci.Pol., Administratio Locorum*, 9(4), 29–38.
- Hermański, P., Hermański, S. (1998). Dokumentacja hydrogeologiczna – sprawozdanie z badań wpływu Oczyszczalni Ścieków na wody podziemne. GEOBIOS, Częstochowa.
- Kondracki, J. (2011). Geografia regionalna Polski. PWN, Warszawa.
- Macioszczyk, A. (red.) (2006). Podstawy hydrogeologii stosowanej. PWN, Warszawa.
- Malina, G., Kaczorowski, Z., Mizera, J. (2007). Zintegrowany system gospodarowania i ochrony zasobów wodnych GZWP 326. PWiKOC S.A., Częstochowa.
- Malina, G., Mizera, J. (2010). Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych z utworów jury górnej Mirów Wodociągów Częstochowskich SA.PWiKOC S.A., Częstochowa.
- Nowicki, Z., Pacholewski, A., Wantuch, A., Zembal, M. (2007). Wody podziemne miast Polski. Częstochowa. PIG, Warszawa.
- Paczyński, B., Sadurski, A. (red.) (2007). Hydrogeologia regionalna Polski. T. I–II. PIG, Warszawa.
- Pacholewski, A., Rózkowski, A. (1990). Szczelinowo-krasowe zbiorniki wód podziemnych monokliny śląsko-krakowskiej i problemy ich ochrony. SGGW, Warszawa.
- Rózkowski, A. (red.) (2002). Słownik hydrogeologiczny. PIG, Warszawa.
- Rózkowski, J., Motyka, J., Borczak, St., Rózkowski, K. (2001). Własności hydrogeologiczne matrycy skalnej wapieni górnouralskich Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej w świetle badań laboratoryjnych. [W:] X Sympozjum „Współczesne problemy hydrologii”, Wrocław – Krzyżowa.
- Rzonca, B. (2014). Właściwości zbiornikowe przestrzeni porowej mezozoicznych skał węglanowych północno-wschodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Wydawnictwo UJ, Kraków.
- Turek, S. (1971). Poradnik Hydrogeologa. WG, Warszawa.

## MULTICRITERIAL EVALUATION OF DIFFERENT LOCATION VARIANTS OF GROUNDWATER WELL FOR SEWAGE TREATMENT PLANT IN CZĘSTOCHOWA

**Abstract.** Industrial activity has a direct impact on the environment. Such example is the influence of groundwater well on the hydrogeological conditions. The aim of this paper is description of multi-criteria evaluation of different variants of underground well location. Water from the proposed well will supply sewage treatment plants in Częstochowa, for technological purposes. For the design of appropriate water well-analytical calculations were conducted, among others; radius and depth of the depression cone, isochromatic lines-25 years and guidelines for the design of the well. Subsequently charts of groundwater

surface during the interaction with the well were made. The result of the above mentioned calculations was to determine the size of the depression cone for approx. 4 m with depth of 0.32 m. An important result was the selection of the option to build two groundwater wells in the immediate vicinity of the target buildings to provide water. Performed analysis confirms the possibility of using multi-criteria analysis in the process of making quick and optimal decisions for large areas where there are many factors affecting the performance of a groundwater well.

**Key words:** groundwater well, Częstochowa, hydrogeological conditions, multi-criteria analysis

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 12.03.2015*

Do cytowań – For citation: Kaczmarek, Ł. (2015). Wielokryterialna ocena różnych wariantów lokalizacji ujęcia wód podziemnych dla oczyszczalni ścieków w Częstochowie. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 14(1), 99–114.