



dr inż. Stefan SATORA

AKADEMIA ROLNICZA IM. HUGONA KOŁŁĄTAJA  
W KRAKOWIE

## KONSTRUKCJE STUDNI WIERCONYCH UJMUJĄCYCH WODY PODZIEMNE Z WARSTW FLISZOWYCH

### Abstrakt

*W opracowaniu omawiane są najczęściej stosowane konstrukcje ujęć pionowych, jakimi są studnie wiercone, którymi można ujmować głębiej zalegające w obrębie Karpat fliszowych, szczelinowe wody podziemne. Najczęściej w tych warunkach stosowane są studnie składające się albo z rur przewodnikowych (konduktora) i kolumny filtrowej, która dochodzi do powierzchni terenu, lub do dolnej części rur osłonowych (filtry tracone), ewentualnie zbudowane z samej kolumny filtrowej sięgającej do powierzchni terenu. Część czynna (filtr właściwy) filtra wykonana jest w zależności od stopnia spękania ujmowanej warstwy wodonośnej w postaci filtra szkieletowego, siatkowego lub obsypkowego. Wydajności jednostkowe studni fliszowych dochodzą do  $72,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  (najczęściej  $0,1 - 0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ), a właściwe do  $8,56 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  (najczęściej  $< 0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Mają one najczęściej średnicę 225, 160 i 246 mm i długość części czynnej od 3 do 20 m. Najbardziej wydajnymi są te studnie, które w napotkanym profilu geologicznym stwierdziły występowanie przeważającego udziału warstw piaskowców w stosunku do łupkowych.*

### 1. Wprowadzenie

Wody podziemne głębszych poziomów wodonośnych zalegające wśród twardych i litych skał na głębokościach poniżej 15 – 20 m, ujmowane są najczęściej przy wykorzystaniu tak zwanych studni wierconych. Są to pionowe budowle podziemne składające się z wyrobiska górniczego o dużej głębokości i małej średnicy wykonywane techniką wiertniczą [Bauer i in. 2005, Gabryszewski, Wieczysty 1985].

Na terenie zalegania w obrębie zlewni Sanu tzw. fliszu karpackiego (pochodzenia morskiego, składającego się z naprzemianległych łupków i piaskowców) stanowiącego podłoże przypowierzchniowych, młodszych utworów wieku czwartorzędowego, stosowanymi metodami wykonywania otworów są wiercenia maszynowe, udarowe lub

obrotowe. Wiercenia udarowe polegają na kruszeniu skały na skutek uderzenia świdra, natomiast obrotowe polegają na skrawaniu skały świdrem wprawionym w ruch obrotowy. Podczas wiercenia obrotowego częściej stosuje się tzw. płuczkę wiertniczą ułatwiającą wymywanie zwiercin i powodującą chłodzenie narzędzia wiertniczego [Gawriłko 1964]. Artykuł ma za zadanie przybliżenie wykonawstwa, konstrukcji i eksploatacji studni wierconych wykonywanych w obrębie szczelinowych skał Karpat fliszowych.

## 2. Ogólne warunki konstruowania studni wierconych

Każdy otwór wiertniczy może być otworem studziennym (studnia wiercona), o ile jest zafiltrowany lub zarurowany w ten sposób, aby można było z niego pobierać wodę z warstwy wodonośnej. Zarurowanie otworu oraz jego zafiltrowanie (urządzenie do ujęcia wody) umożliwiające ujęcie wody z warstwy wodonośnej nazywamy konstrukcją studni [Przewłocki i in. 1966, Castany 1972]. Otwory wiertnicze (także studnie) mogą być *dogłębione*, gdy sięgają do stropu warstwy nieprzepuszczalnej, podścielającej lub *niedogłębione*, gdy są zawieszane w warstwie wodonośnej przy jej dużej miąższości, nie dochodząc do stropu warstwy podścielającej. Studnie mogą być *filtrkowe* lub *bezfiltrowe* (w przypadku nieosypywania się przewierconych otworem skał), *zupelne* lub *niezupelne* w zależności od tego czy część czynna ujmuje całą miąższość warstwy wodonośnej czy też jej część (rys. 1).

Studnia filtrowa może składać się z kolumny rur okładzinowych, których głównym zadaniem jest zabezpieczenie ścian otworu wiertniczego lub zamknięcie wyżej leżącego płytszego poziomu wodonośnego oraz z kolumny filtrowej. Kolumna filtrowa składa się z części czynnej filtra, rury nadfiltrowej oraz rury podfiltrowej.

*Rura nadfiltrowa* stanowi nieperforowaną rurę wiertniczą z zamontowanymi przewodnikami, łączącą część czynną filtra (filtr właściwy) z powierzchnią terenu, względnie z dolną częścią obudowy studni lub z rurami okładzinowymi.

*Rura podfiltrowa* z zamontowanymi przewodnikami znajduje się poniżej części czynnej i spełnia rolę osadnika dla drobnych cząstek skały przedostających się z warstwy wodonośnej do filtra podczas pompowania. Może być ona bez dna, wówczas mogą do niej dopływać dodatkowe ilości wody, lub z dnem stanowiąc osadnik.

Część czynna filtra może być jednoczęściowa lub wieloczęściowa składając się z kilku konstrukcji przewodzących wodę przedzielonych rurami pełnościennymi zwanymi *rurami międzyfiltrowymi*. Wieloczęściowość wynika nieraz z konieczności

ujmowania wód z kilku poziomów wodonośnych nieraz odmiennego wieku, oddzielonych skałami nieprzepuszczalnymi. Część czynna filtra jest najważniejszym elementem kolumny filtrowej. Przez nią woda z warstwy wodonośnej przedostaje się do wnętrza kolumny umożliwiając równocześnie wypłukanie z otaczających skał najdrobniejszych frakcji i poprzez urządzenie pompowe (najczęściej pompę głębinową) podawanie jej do użytkownika. Każda studnia wiercona winna mieć obudowę, którą stanowi zakończenie górnej jej części, zabezpieczającą studnię przed zanieczyszczeniami lub uszkodzeniem i umożliwiającą pomieszczenie uzbrojenia (zaworu zwrotnego, wodomierza itp.). Konstrukcję studni wierconej ustala się w „Projekcie badań hydrogeologicznych” w zależności od metody jej wiercenia, głębokości studni, warunków hydrogeologicznych, przeznaczenia studni, dysponowanych materiałów konstrukcyjnych, sposobu czerpania wody czy też wielkości zapotrzebowania wody.

Część czynna filtra stosowana w warunkach występowania skał piaskowcowo–łupkowych może być wykonana jako filtr szkieletowy, siatkowy lub obsypkowy [Gawriłko 1964].

*Filtry szkieletowe* mogą być perforowane otworami lub szczelinami. Niekiedy szczeliny mogą być wytłaczane stanowiąc tzw. filtr mostkowy. Filtry stosowane w obrębie Karpat wykonywane są albo z rur metalowych lub PCV. Ten typ filtra stosowany jest w przypadku skał litych, słabo osypujących się. Nie stanowi on urządzenia filtrującego, lecz jedynie jest osłoną urządzenia pompowego oraz konstrukcją zabezpieczającą ściany przed zawaleniem.

*Filtr siatkowy* składa się z filtra szkieletowego owiniętego drutem podkładowym oraz siatką filtracyjną o odpowiednim splocie i przepustowości dostosowanej do granulacji warstwy wodonośnej.

*Filtr obsypkowy* składa się z filtra siatkowego otoczonego jedną lub kilkoma współśrodkowo rozmieszczonymi warstwami obsypki, tj. materiału skalnego najczęściej piaszczystego lub żwirowego o uziarnieniu dostosowanym do rodzaju warstwy wodonośnej oraz do konstrukcji filtru szkieletowego. W przypadku skał szczelinowych piaskowcowo–łupkowych stanowi on warstwę filtracyjną oraz wypełnienie pomiędzy kolumną filtrową i ścianami otworu utrzymujące te ostatnie przed osypywaniem się.

Wybór typu filtra dokonywany jest odpowiednio do litologii warstwy wodonośnej i powinien on:

- mieć odpowiednią wytrzymałość i zapewniać stateczność ścian otworu studziennego,
- umożliwiać odpiaszczenie warstwy wodonośnej podczas pompowania oczyszczającego (wyplukanie frakcji pyłowej i iłowej),
- uniemożliwiać zapiaszczenie studni podczas jej normalnej eksploatacji,
- powodować małe straty hydrauliczne przy przesączaniu się wody przez ściany filtra w czasie przepływu wody wewnątrz studni,
- mieć konstrukcję utrudniającą tworzenie się na niej osadów pochodzenia mechanicznego, chemicznego lub biochemicznego,
- mieć w przypadku wód agresywnych odpowiednią powłokę antykorozyjną lub wykonany być z materiałów nie korodujących.

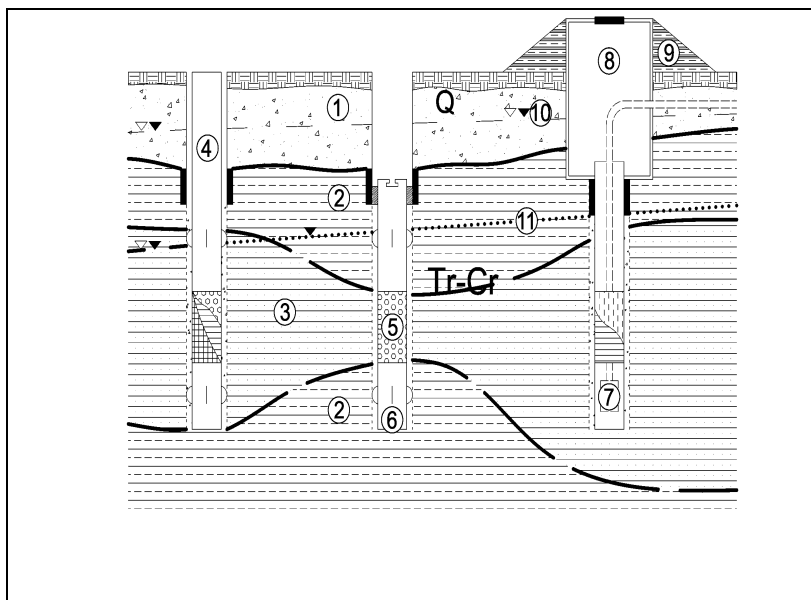
Cześć czynna filtra winna być usytuowana w warstwie wodonośnej wód wglębnych o naporowym zwierciadle w pewnym oddaleniu wynoszącym 0,2 – 0,5 m zarówno od spągu wyżej leżących nieprzepuszczalnych warstw nadkładu jak i podścielającego nieprzepuszczalnego spągu. Przy wodach gruntowych o swobodnym zwierciadle wody, górna krawędź części czynnej filtra winna znajdować się na głębokości 0,2 – 0,5 m poniżej najniższego położenia dynamicznego zwierciadła wód tak, aby nie była ona odślaniana podczas pompowania właściwego [Gabryszewski, Wiczysty 1985].

Długość części czynnej ( $l_f$ ) można dobierać albo metodą oporów filtracyjnych lub przyjmować z relacji:

$$l_f \approx (0,4 - 0,8) M \text{ lub } l_f \approx (0,4 - 0,6) H$$

gdzie:

M – miąższość warstwy wodonośnej przy napiętym zwierciadle wód, a  
H – przy swobodnym.



Rys. 1. Typy studni wierconych wykonywanych w warstwach fliszowych

1 – nadkład czwartorzędowy (Q), 2 – łupki fliszowe trzeciorzędowo–kredowe (Tr-Cr), 3 – piaskowce fliszowe, 4 – nadfiltrowa z przewodnikami, 5 – część czynna filtra, 6 – podfiltrowa z przewodnikami, 7 – pompa głębinowa, 8 – obudowa studni, 9 – nasyp uszczelniający, 10 – zwierciadło swobodne wód, 11 – zwierciadło naporowe (linia ciśnień piezometrycznych).

### 3. Studnie wiercone w warstwach fliszowych

W obrębie zlewni rzeki San stanowiąc podłoże utworów młodszych (czwartorzędowych) występują morskie, osady kredowo–trzeciorzędowe zbudowane z piaskowców i łupków w różnych proporcjach. Tworzą one jednostki tektoniczno–facjalne o nazwach płaszczowina magurska, jednostka dukielska, płaszczowina śląska i podśląska oraz jednostka skolska. Wszystkie te jednostki wchodzą w skład wschodniej części Karpat zewnętrznych [Chowaniec 2005].

Podobne utwory zalegają też w południowej części województwa małopolskiego, w związku z powyższym wyniki badań prowadzonych na tym terenie można w analogii odnieść dla części wschodniej Karpat. Wyniki przeprowadzonych badań kilkuset studni wierconych (96 ujmujących wody kredowe oraz 236 trzeciorzędowych) na terenie zachodnich, fliszowych Karpat zewnętrznych wskazują na to, że są to studnie o głębokości od 8,3 do 150 m. Najczęściej spotykane są studnie o głębokości w zakresie 20 – 30 m (33,1% ogółu) w mniejszym stopniu 40 – 50 m (19,0%). Wydajności

jednostkowe ujęć trzeciorzędowych wynoszą od 0,0009 do 72,2  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  (najczęściej 0,1 – 0,5  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  w 46,1% studni, następnie <0,1  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  w 24,9%), a właściwe od 0,001 do 8,56  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  (najczęściej <0,2  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  w 77,5% studni, następnie 0,2 – 0,4  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  w 10,1%). Wydajności jednostkowe ujęć kredowych wynoszą natomiast od 0,0042 do 25,9  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  (najczęściej 0,1 – 0,5  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  w 36,5% studni, następnie <0,1  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$  w 26,0%), a właściwe od 0,0017 do 5,38  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  (najczęściej <0,2  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  w 74,0% studni, następnie 0,2 – 0,4  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  w 9,4%).

Elementy konstrukcyjne omawianych studni takie jak długości części czynnych, średnice filtra oraz rodzaj obsypki charakteryzują się następująco:

- długość części czynnych filtrów waha się w granicach 1,0 – 36,2 m (najczęściej występuje w zakresie 5 – 10 m w 41,6% studni, następnie 10 – 20 m i 3 – 5 m odpowiednio w 19,3 i 19,0%),
- średnice filtrów wynoszą od 110 do 299 mm (najczęściej wynoszą 225 mm w 31,3% studni, następnie 160 mm 14,2% i 246 mm w 13,3%),
- średnice obsypki wynoszą od 2 – 3 mm do 10 – 20 mm (najczęściej mają granulację 5 – 10 mm w 19,6% studni, następnie 3 – 5 mm w 14,2%). 9,6% ogółu studni nie ma wokół filtra obsypki lecz jedynie filtr szkieletowy [Satora 2006].

#### **4. Badania i eksploatacja studni wierconych**

W celu zabezpieczenia studni przed umyślnym lub przypadkowym uszkodzeniem ewentualnie jej zanieczyszczeniem, w górnej części studni winna być wykonana obudowa. Pod pojęciem obudowy studni należy rozumieć prostokątny lub kołowy w przekroju obiekt wykonany najczęściej z betonu, żelbetu lub cegły, w którym umieszcza się uzbrojenie składające się z zasuwy, wodomierza i wyłączników elektrycznych oraz mieści się zakończenie (głowica) studni [Przewłocki i in. 1966, Gabryszewski, Wieczysty 1985]. Obudowa może być podziemna lub nadziemna (pawilon).

Aby można było określić wydajność eksploatacyjną wykonanej studni, po zafiltrowaniu otworu wykonuje się próbne pompowanie prowadzone zgodnie z wytycznymi zawartymi w zatwierdzonym projekcie badań hydrogeologicznych. Składa się ono z pompowania oczyszczającego, poprzedzonego dezynfekcją studni, oraz pompowania właściwego. Dawka rozpuszczonego chloru dozowana podczas

dezynfekcji do wody studziennej powinna być tak dobrana, aby zawartość chloru w wodzie pobieranej ze studni wierconej wynosiła ok.  $50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  [Gabryszewski, Wieczysty 1985]. Pompowanie oczyszczające jest krótkotrwałym pompowaniem (zwykle 24 h) trwającym do całkowitego wyklarowania wody. Służy do usunięcia ze studni drobnych zawiesin oraz zanieczyszczeń mechanicznych. Jest poprzedzone pomiarem głębokości zalegania zwierciadła statycznego, a zakończone stabilizacją zwierciadła wody. Pompowanie właściwe trwające kilkanaście godzin (24 – 72 i więcej godzin) w zależności od wielkości ujęcia, wykonywane jest po zakończeniu stabilizacji zwierciadła po pompowaniu oczyszczającym i służy do ustalenia wielkości zasobów eksploatacyjnych ujęcia oraz niektórych parametrów hydrogeologicznych (obliczenia współczynnika filtracji, zasięgu promienia leja depresyjnego itp.). Wykonywane jest ono przy trzech ustalonych depresjach z równoczesnym pomiarem objętości w czasie pompowanej wody. Maksymalna depresja nie powinna powodować odsłonięcia części czynnej i w zasadzie nie powinna też schodzić poniżej połowy miąższości warstwy wodonośnej. Podczas próbnego pompowania należy prowadzić obserwacje zwierciadła wody w sąsiednich studniach oraz w otworach obserwacyjnych. Pod koniec każdej z depresji lub pierwszej i trzeciej należy pobrać ze studni wodę do badań fizykochemicznych i bakteriologicznych. Po pompowaniu oczyszczającym oraz właściwym należy usunąć z rury podfiltrowej zasyp składający się z drobnej frakcji. Pompowanie właściwe kończone jest również stabilizacją zwierciadła wody. Wyniki badań hydrogeologicznych uzyskane z próbnego pompowania winny być opracowane w postaci dokumentacji hydrogeologicznej zasobów wód podziemnych ze studni wierconej, która zwykle jest zatwierdzana w zależności od wielkości zasobów albo przez organ podstawowej administracji geologicznej (na szczeblu województwa), lub przez organ administracji centralnej (dla obszaru całego kraju).

Zakłada się, że wykonane studnie wiercone winny pracować przez okres przynajmniej 25 lat. Aby okres ten był jak najdłuższy należy podczas bieżącej eksploatacji prowadzić pomiary zalecane w dokumentacji hydrogeologicznej zasobów. Zwykle na obiekcie winna znajdować się tzw. książka eksploatacji studni, w której winno notować się pomiary głębokości zwierciadła tak statycznego (podczas postojów) jak i dynamicznego. W tym celu studnia winna być przystosowana do wykonywania takich pomiarów (zwiększony prześwit pomiędzy korpusem pompy i ścianami filtra, lub umieszczona poza filtrem o określonej średnicy rurka pomiarowa), które przeprowadza się przy wykorzystaniu najczęściej stosowanego przyrządu zwanego

świstawką hydrogeologiczną. Oprócz pomiarów zwierciadła wody należy mierzyć (np. wodomierzem zainstalowanym na kolektorze odprowadzającym) objętość w czasie pompowanej wody. Zwykle wykonuje się to przy zastosowaniu tzw. skrzyni przelewowej. Z częstotliwością przewidzianą w dokumentacji hydrogeologicznej pobiera się również próbki wody do analiz fizykochemicznych i bakteriologicznych. Podczas pompowania eksploatacyjnego nie powinno się przekraczać zatwierdzonej wielkości zasobów eksploatacyjnych ani obniżać zwierciadła wody poniżej przewidzianej w dokumentacji wielkości depresji eksploatacyjnej. Rejestracji podlegać winny również wszelkie odstępstwa od normalnej pracy studni oraz usterki i awarie. Przynajmniej dwa razy w roku, przed i po zimie należy dokładnie skontrolować cały obszar zasilania studni oraz jej konstrukcję. Kontrola studni polega na sprawdzeniu terenu w bezpośrednim otoczeniu studni, stanu obudowy studni od zewnątrz, pokrywy wjazdu, drabinki, stanu obudowy studni od wewnątrz, głowicy studni, rurociągów i armatury, urządzeń zasilających jak również instalacji odwadniającej. Wszelkie braki i usterki winny być zarejestrowane w celu zaplanowania wymaganych napraw [Bauer i in. 2005].

## 5. Podsumowanie

Do ujmowania głębszych poziomów wód podziemnych, szczególnie alimentowanych przez szczelinowe warstwy fliszowe składające się z litych i twardych warstw piaskowcowych przewarstwionych łupkami stosuje się najczęściej studnie wiercone, będące budowlami górniczymi o dużej głębokości i niewielkiej średnicy. Budowle te wraz z urządzeniami pomocniczymi ujmują najczęściej w obrębie Karpat wody podziemne zalegające na głębokości 20 – 50 m ppt. Potwierdzają to wyniki badań hydrogeologicznych stwierdzające do głębokości 60 m wzrost średniej wydajności studni uwarunkowanej strefą zwiększonych spękań umożliwiającą krążenie i wymianę wód [Chowaniec 2005]. Wydajności jednostkowe ujęć fliszowych kształtują się w zakresie od 0,004 do 72,2 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup> (najczęściej 0,1 – 0,5 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup> w 43,4% studni, następnie <0,1 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup> w 25,0%), a właściwe od 0,001 do 8,56 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup> (najczęściej <0,2 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup> w 79,5% studni, następnie 0,2 – 0,4 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>·m<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup> w 9,9%). Wykonywane we fliszu pionowe ujęcia wód podziemnych mają najczęściej średnicę 225, 160 i 246 mm i długość części czynnej od 3 do 20 m. W 90% przypadków filtry ich są żwirowe o uziarnieniu 3 – 5 i 5 – 10 mm. W 10% przypadków stosowane są filtry siatkowe bez obsypki. W niewielkim stopniu stosuje się



filtry szkieletowe, co jest spowodowane prawdopodobnie dużą osypywalnością ujętych warstw skalnych. Pod względem chemicznym ujęte wody są najczęściej wodami bardzo słodkimi i normalnie słodkimi o suchej pozostałości 200 – 500 mg-dm<sup>-3</sup>. Pod względem hydrogeochemicznym należą do wód wodorowęglanowo-wapniowych, wodorowęglanowo-wapniowo-sodowych i wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowych [Chowaniec 2005].

## Literatura

1. Bauer A., i in. 2005 – *Poradnik eksploatatora systemów zaopatrzenia w wodę*. Wydawnictwo „Seidel – Przywecki”. Warszawa.
2. Chowaniec J. 2005 – *Wody podziemne południowo-wschodniej części województwa podkarpackiego*. Drukowane materiały II Konferencji Naukowo-Technicznej „Błękitny San”. Dynów s. 95 – 107.
3. Castany G., 1972 – *Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych*. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa s. 437 – 471.
4. Gabryszewski T. Wiczysty A. 1985 – *Ujęcia wód podziemnych*. Arkady Warszawa s. 47 – 86.
5. Gawriłko W. M. 1964 – *Filtry studzien ujęciowych, odwodnieniowych i hydrogeologicznych*. Wydawnictwo Geologiczne. Warszawa.
6. Marchacz W. 1960 – *Hydrogeologia*. Wydawnictwa Geologiczne. Warszawa s. 240 – 244.
7. Przewłocki O., Tkaczenko A., Czarnocki K. 1966 – *Studnie*. Wyd. II Arkady. Warszawa, s. 190 – 396.
8. Satora S. 2006 – *Zmienność konstrukcji studni wierconych i jakości ujmowanych wód podziemnych na terenie fliszowych Karpat zachodnich*. AR Kraków ( w opracowaniu).