

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Kasztelewicz

Kraków 16.06.2020 rok

Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna w Bełchatowie

## **RECENZJA**

**rozprawy doktorskiej Pana mgr inż.**

**Krzysztofa Wojarnika pt. „Zmienność współczynnika spływu powierzchniowego w odkrywkowym wyrobisku górniczym”**

### **1. Uwagi ogólne**

Pan mgr inż. Krzysztof Wojarnik jest absolwentem Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Przewód doktorski jest prowadzony przez Radę Dyscypliny Inżyniera Środowiska Górnictwa i Energetyki Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Promotorem w przewodzie jest Prof. dr hab. inż. Mirosław Wiatkowski.

O wykonanie recenzji zostałem poproszony pismem IDDD0000.4100.34.2020 z dnia 29.05.2020 r. przez Przewodniczącą Rady Dyscypliny Inżyniera Środowiska Górnictwo i Energetyka, Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Prof. dr hab. inż. Krzysztofa Pulikowskiego.

Pracę przedłożono w formie zwartego manuskryptu liczącego 254 stron, z tym 176 stron tekstu w tym: spis treści, spis literatury, spis tabel, spis rysunków oraz załączniki.

### **2. Uzasadnienie celowości podjęcia tematu badawczego**

Metoda odkrywkowa jest najpowszechniejszym i najłatwiejszym sposobem eksploatacji złóż w Polsce i na świecie. Wśród systemów odwodnienia odkrywkowych wyrobisk górniczych można wyróżnić grawitacyjne i wymuszone za pomocą pomp. Wymuszonego odwodnienia wymagają wszystkie złoża węgla brunatnego. Rozważając zagadnienie odwodnienia odkrywkowych wyrobisk górniczych dotykamy

kilku wzajemnie powiązanych obszarów badawczych: hydrologii, hydrogeologii, gospodarki wodnej i meteorologii. Na potrzeby działalności inżynierskiej prowadzonej przy odwadnianiu odkrywkowych zakładów górniczych wykorzystuje się dostępne informacje dotyczące zjawisk i procesów meteorologicznych (najczęściej dane opadowe), hydrologicznych (dopływy wód powierzchniowych) oraz hydrogeologiczne (dopływy wód podziemnych). Powyższe procesy są badane w skali wydzielonego obszaru, który w nawiązaniu do zlewni hydrologicznej nazywa się zlewnią morfologiczną.

Podstawowym zadaniem gospodarki wodnej prowadzonej w obrębie zlewni wyrobiska górniczego jest uzyskanie oraz utrzymanie sprawności systemu odwodnienia zapewniającej prawidłowy przebieg procesu eksploatacji złoża, efektywności i bezpieczeństwa procesu wewnętrznego zwałowania nadkładu oraz ochrony jakości wód kopalnianych odprowadzanych do odbiorników zewnętrznych. Dlatego też w miarę postępów eksploatacji złoża i wewnętrznego zwałowania nadkładu, układ odwodnienia kopalni wymaga ciągłego odtwarzania, modernizacji i przebudowy oraz odpowiedniej eksploatacji i konserwacji urządzeń odwadniających.

Projektując poszczególne obiekty systemu odwodnienia odkrywkowego zakładu górniczego, tj. rowy i kanały odwadniające, przepusty, sprowadzenia skarpowe, zbiorniki retencyjno-osadowe, pompownie pomocnicze i podstawowe z rurociągami zrzutowymi, należy określić wielkość odpływu wód kopalnianych, na który składa się spływ powierzchniowy ze zlewni morfologicznej oraz odpływ wód podziemnych pochodzących z hydrogeologicznego obszaru zasilania. W odróżnieniu od odpływu podziemnego, który ma charakter ciągły, w przypadku spływu powierzchniowego należy zwrócić uwagę na jego okresowość, związaną z wystąpieniem opadów lub roztopów.

W przemyśle wydobywczym problemy związane z wodą są jednymi z najważniejszych aspektów. Dla oceny kosztów działalności górniczej ważne są takie czynniki, jak tempo zużycia wody kopalnianej, technologia odwadniania oraz wpływ odwadniania kopalni na środowisko. W ostatnich dziesięcioleciach jest także często zgłaszana potrzeba badań nad wpływem kopalni węgla brunatnego na stosunki wodne i wielkości przepływów w ciekach, jednak nie ma opracowanej odpowiedniej metodyki takich badań. Od opracowań hydrologicznych oczekuje się informacji o warunkach, które

wystąpią w toku budowy obiektu hydrotechnicznego i w okresie jego eksploatacji, czyli w przyszłości. Opracowania te powinny więc być same operatami prognostycznymi albo stanowić materiał wyjściowy do prognoz. W praktyce przyjmuje się często, że opisane w opracowaniu hydrologicznym zasoby wodne i przebieg procesów naturalnych, scharakteryzowane na podstawie obserwacji w dłuższych lub krótszych okresach, nie ulegną zmianie w przyszłości, a także że możliwa jest ich ekstrapolacja na lata przyszłe. Nie ma możliwości udowodnienia, że założenie to jest słuszne, jednak nie dysponujemy innymi materiałami niż opisującymi stany i procesy minione. Z praktyki inżynierskiej wiemy, że wiedza o zmienności współczynnika spływu powierzchniowego jest bardzo przydatna na etapie projektowania systemów odwadniających, a także przy podejmowaniu decyzji dotyczących prowadzenia racjonalnej gospodarki wodnej na obszarach odkrywkowych wyrobisk górniczych, co przekłada się na poprawę bezpieczeństwa w zakresie odwodnienia i eksploatacji złoża.

**Głównym celem pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Wojarnika jest opracowanie metody optymalizacji procedury wyznaczania i oceny wartości współczynnika spływu powierzchniowego, który może mieć zastosowanie na obszarach istniejących odkrywkowych wyrobisk górniczych.**

Problematyka wodna stanowi jeden z najważniejszych aspektów prowadzenia eksploatacji kopalni, a natężenie dopływu wód do wyrobisk eksploatacyjnych i związana z tym technologia odwadniania decydują w dużej mierze o wyniku finansowym związanym z pozyskiwaniem kopalni oraz bezpieczeństwie prowadzenia robót górniczych. Do wykonania wiarygodnych prognoz niezbędne jest rozpoznanie warunków wodnych złoża oraz identyfikacja wszystkich czynników przyrodniczych i górniczo-technologicznych mających wpływ na zawodnienie kopalń

W związku z wyżej wymienionymi problemami w zakresie analizy optymalizacji procedury wyznaczania i oceny wartości współczynnika spływu powierzchniowego w kopalniach odkrywkowych a szczególnie kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego wybór obszaru badań przez Doktoranta, a tym samym tematu rozprawy należy uznać za trafny i w pełni uzasadniony dla rozwoju górnictwa odkrywkowego. Praca posiada duże znaczenie naukowe i praktyczne.

### **3. Merytoryczna ocena pracy**

Praca składa się z 11 rozdziałów, w tym: wprowadzenia, dotychczasowego stanu wiedzy, celu pracy, metod i wyników badań zmienności i ocenie wartości współczynnika spływu powierzchniowego. Autor kończy rozprawę doktorską propozycją praktycznego wykorzystania metody wyznaczania współczynnika spływu wraz podsumowaniem i wnioskami.

Praca doktorska autorstwa mgr inż. Krzysztofa Wojarnik dotyczy zmienności współczynnika spływu powierzchniowego w odkrywkowych wyrobiskach górniczych na przykładzie Kopalni Węgla Brunatnego „Turów”.

Podstawowym zadaniem gospodarki wodnej prowadzonej w obrębie zlewni wyrobiska górniczego jest uzyskanie oraz utrzymanie sprawności systemu odwodnienia zapewniającej prawidłowy przebiegu procesów: eksploatacji złoża, efektywności i bezpieczeństwa zdejmowania nadkładu, wydobycia kopaliny i wewnętrznego zwałowania nadkładu oraz ochrony jakości wód kopalnianych odprowadzanych do odbiorników zewnętrznych.

Zgodnie z obowiązującym Rozporządzeniem Ministra Gospodarki, przy projektowaniu urządzeń odwadniających przewidywany dopływ wód powierzchniowych w obrębie zlewni wyrobiska górniczego i zwałowiska oblicza się na podstawie maksymalnego opadu dobowego o prawdopodobieństwie przewyższenia 10 %. **Oprócz wielkości opadu atmosferycznego, parametrem wpływającym na wielkość przewidywanego dopływu wód jest współczynnika spływu powierzchniowego.** Autor pracy zwraca uwagę na to, że obowiązujące regulacje prawne nie precyzują sposobu obliczania tego współczynnika, a jego wartości są przyjmowane najczęściej na podstawie literatury, zależnie od rodzaju i charakteru zagospodarowania zlewni lub zależności empirycznych.

Hipoteza badawcza wykorzystana w pracy zakłada, że współczynnik spływu powierzchniowego, wyznaczony na podstawie pomierzonych danych opadowych oraz danych o ilości odprowadzonych wód z pompowni podstawowej, jest wartością zmienną i użyteczną przy projektowaniu obiektów odwodnienia powierzchniowego na obszarach odkrywkowych wyrobisk górniczych. Dane opadowe zostały uzyskane z IMGW-PIB Oddział we Wrocławiu, natomiast dane o ilości wypompowanej wody z pompowni podstawowych (T-II/4 z lat 2000-2014, T-5 z lat 2007-2014 oraz T-6 z lat 2010-2014) pochodzą z Kopalni Węgla Brunatnego „Turów” z siedzibą w Bogatyni.

Główne cele postawione przez Autora pracy obejmują: wyodrębnienie z odpływu całkowitego do pompowni części formującej spływ powierzchniowy, określenie zależności korelacyjnych badanych zmiennych, wyznaczenie wartości współczynnika spływu powierzchniowego w zlewniach pompowni podstawowych, analizę zmienności współczynnika spływu powierzchniowego w zlewniach pompowni podstawowych, ocenę wartości współczynnika spływu powierzchniowego stosowanych w dotychczasowej praktyce inżynierskiej przy projektowaniu urządzeń odwadniających w odkrywce Kopalni Węgla Brunatnego „Turów” oraz opracowanie propozycji praktycznego wykorzystania przedstawionej metody wyznaczania współczynnika spływu powierzchniowego w aspekcie odwodnienia odkrywkowych wyrobisk górniczych.

Do zrealizowania wyżej wymienionych celów wykorzystano szereg metod badawczych obejmujących: model bilansu wodnego odkrywkowego wyrobiska górniczego (w pracy przedstawiono schemat obiegu wody w zlewni pompowni podstawowej), przyjęcie kroku czasowego dla badanych dynamicznych procesów spływu powierzchniowego i odpływu podziemnego (tzw. reflektometria czasowa), rozdział hydrogramu odpływu całkowitego do pompowni na odpływ podziemny i spływ powierzchniowy (oparty na analizie wskaźnika względnego opadu  $RPI$ ), wyznaczenie współczynnika spływu powierzchniowego oraz ocenę statystyczną zbiorów badanych zmiennych.

Obieg wody w zlewni odkrywkowego wyrobiska górniczego jest rozpatrywany w funkcji czasu, w związku z czym analiza procesu spływu powierzchniowego wymagała przyjęcia przez autora pracy odpowiedniego kroku czasowego  $\Delta t$ . Kierując się dokładnością aproksymacji i przyjętymi metodami obliczeniowymi, wartości współczynnika spływu wyznaczono dla okresu  $\Delta t = 1$  miesiąc. Z uwagi na wykonanie w zlewniach pompowni T-II/4, T-5 i T-6 licznych zbiorników retencyjno-osadowych, co spowodowało wyrównanie oraz znaczne opóźnienie spływu powierzchniowego do tych pompowni, wartości współczynnika spływu zostały określone również dla okresów  $\Delta t$  dłuższych niż jeden miesiąc: lipiec i sierpień, miesiące letnie, półrocze letnie oraz rok.

Ponieważ dane o ilości wypompowanej wody z poszczególnych pompowni obejmują łączny odpływ wód powierzchniowych i podziemnych, koniecznym stało się wyodrębnienie tych dwóch składowych odpływu. W celu wydzielenia części odpływu formującej spływ powierzchniowy dokonano szczegółowej analizy wykresów

całkowitej ilości wypompowanej wody w poszczególnych miesiącach na tle opadów miesięcznych, wyrażonych jako wskaźnik względny opadu *RPI*, czyli iloraz sumy opadów dla każdego miesiąca do średniej wieloletniej. Miesiące, w których wskaźnik *RPI* był mniejszy lub równy 0,8 zostały sklasyfikowane jako suche. Założono, że w miesiącach tych cała ilość pompowanej wody pochodzi z zasilania podziemnego.

Po dokonaniu genetycznego rozdziału hydrogramu odpływu całkowitego, z różnicy między odpływem całkowitym a wydzielonym odpływem podziemnym została określona ilość wody pochodząca ze spływu powierzchniowego. Znając miesięczne ilości wody formującej spływ powierzchniowy oraz ilości wody pochodzącej z opadów atmosferycznych, obliczono wartości współczynnika spływu powierzchniowego w poszczególnych zlewniach pompowni podstawowych.

W pracy dokonano analizy zmienności maksymalnych wartości współczynników spływu powierzchniowego uzyskanych w poszczególnych zlewniach pompowni podstawowych: T-II/4 w okresie 2000-2014, T-5 w okresie 2007-2014 oraz T-6 w okresie 2010-2014. Analiza zmienności współczynnika spływu została wykonana w odniesieniu do opadów ze stacji Bogatynia i Sieniawka, ponieważ na podstawie obserwacji opadów na dwóch posterunkach, nie można było wyznaczyć ich rozkładu na obszarze wyrobiska odkrywkowego KWB „Turów”.

Z dokonanej w pracy analizy zmienności współczynnika spływu powierzchniowego w zlewniach pompowni podstawowych wynika, że dla półroczia letniego zakres jego zmienności wynosi 0,26 - 0,48 w odniesieniu do opadów ze stacji Bogatynia oraz 0,29 - 0,50 dla danych opadowych ze stacji Sieniawka. Z porównania maksymalnych wartości współczynnika spływu uzyskanych dla pompowni podstawowych zlokalizowanych w odkrywce KWB „Turów” ze współczynnikami stosowanymi w kopalniach odkrywkowych na terenie Niemiec wynika, że są one najbardziej zbliżone do zakresów zmienności przyjmowanych dla dwóch rodzajów powierzchni: margiel, muł i glina (0,3 - 0,5) oraz węgiel brunatny (0,2 - 0,4).

Wartości współczynnika spływu uzyskane dla pompowni T-5, z uwagi na najmniejszą zmienność powierzchni zlewni autor pracy uznał za najbardziej miarodajne do zastosowań inżynierskich przy określaniu przewidywanego dopływu wód powierzchniowych w obrębie zlewni wyrobiska górniczego. Maksymalne wartości współczynnika spływu dla tej pompowni uzyskano w zakresie 0,33 - 0,42 dla opadów ze stacji Bogatynia oraz 0,37 - 0,49 w odniesieniu do danych opadowych ze stacji Sieniawka.

Dokonana w pracy ocena wartości współczynnika spływu, stosowanych dotychczas przy określaniu przewidywanego dopływu wód powierzchniowych w obrębie wyrobiska odkrywkowego KWB „Turów” (0,40 i 0,35), wykazała, że mieszczą się one w zakresie uzyskanym dla miarodajnej pompowni T-5, wynoszącym 0,33 - 0,42. Autor pracy zwraca uwagę na to, że przy weryfikacji współczynnika spływu porównanie powinno dotyczyć wartości wyznaczonych na podstawie danych z tej samej stacji opadowej.

Praktyka inżynierska nabyta przy opracowywaniu projektów odwodnienia odkrywki „Turów” skłoniła Doktoranta do przeprowadzenia w pracy analizy polegającej na określeniu, ile razy w badanych wieloleciach wartości współczynnika spływu powierzchniowego przekroczyły wartość obecnie stosowaną przy projektowaniu urządzeń odwadniających w KWB „Turów”. Informacja o częstości wystąpienia wartości współczynnika spływu, przewyższającej aktualnie stosowaną w praktyce inżynierskiej przy projektowaniu urządzeń odwadniających, pozwala na podjęcie decyzji optymalnej, czyli minimalizującej występujące ryzyko zalania najniższych poziomów eksploatacyjnych kopalni. **Dokonanie takiej oceny poziomu ryzyka przekłada się na poprawę bezpieczeństwa w zakresie eksploatacji złoża w odkrywkowym wyrobisku górniczym.**

W pracy zostały opracowane propozycje praktycznego wykorzystania przedstawionej metody wyznaczania współczynnika spływu powierzchniowego. Pierwsza z propozycji to wyszczególnienie etapów postępowania przy wyznaczaniu i ocenie wartości współczynnika spływu w odkrywkowym wyrobisku górniczym. Przedstawiona procedura wyznaczania i oceny wartości współczynnika spływu powierzchniowego może być stosowana na obszarach istniejących odkrywkowych wyrobisk górniczych, odwadnianych systemem wymuszonym za pomocą pomp zainstalowanych w pompowni podstawowej. Warunkiem praktycznego jej wykorzystania jest posiadanie odpowiedniej bazy danych pomiarowych, na którą składają się dane opadowe oraz dane o ilości wypompowywanej wody z pompowni głównej.

Druga propozycja sprowadza się do zastosowania przedstawionej w pracy metody wyznaczania współczynnika spływu powierzchniowego do szacowania (estymowania) wartości współczynnika spływu w obrębie odkrywkowego wyrobiska górniczego na podstawie dostępnych danych opadowych oraz danych o ilości wypompowanej wody z pompowni podstawowej. Pozwala to na bieżące monitorowanie jaka część opadu

formuje spływ powierzchniowy, co może być bardzo przydatne przy podejmowaniu decyzji związanych z odwodnieniem odkrywkowego zakładu górniczego.

Dokonana w pracy analiza związków korelacyjnych badanych zmiennych wykazała, że istnieje znaczny stopień współzależności pomiędzy opadem atmosferycznym ze stacji Bogatynia i Sieniawka a odpływem całkowitym i wydzielonym spływem powierzchniowym do pompowni podstawowych T-II/4, T-5 i T-6. Najwyższy stopień współzależności uzyskano pomiędzy opadem ze stacji Sieniawka a spływem powierzchniowym do pompowni T-5 w półroczu letnim.

#### **4. Podsumowanie i wniosek końcowy**

Rozprawa doktorska jest podsumowaniem nie tylko wyników badań własnych, ale także dorobku innych autorów. Doktorant umiejętnie łączy wiele dziedzin naukowych. Wykazał, że posiada wiedzę teoretyczną i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy w tym zakresie. Cała praca jest poświęcona tematyce strategicznego projektowania prowadzenia prac związanych z odwodnieniem złoża i bezpiecznego wydobycia kopaliny.

Struktura pracy jest poprawna. Strona formalna właściwa. Praca napisana jest dobrym językiem naukowo-technicznym, zrozumiałym dla Czytelnika. Trzeba stwierdzić, na tej podstawie, że Doktorant wykazał się umiejętnością pisania prac o charakterze naukowym.

W rozprawie prawidłowo sformułowano cel pracy, który został zrealizowany w sposób bardzo dobry. Nowe rozważania dotyczą opracowania metody wyznaczania i oceny wartości współczynnika spływu powierzchniowego w obrębie odkrywkowych wyrobisk górniczych.

#### **Do szczególnie ważnych i oryginalnych aspektów pracy należy zaliczyć:**

- pionierski charakter badań, jest to pierwsza kompleksowa praca dotycząca optymalizacji metody wyznaczania wartości współczynnika spływu powierzchniowego w obrębie odkrywkowych wyrobisk górniczych,
- stanowi systemowe, interdyscyplinarne podejście do problemu,
- badania przeprowadzono poprawnie stosując właściwe metodyki badawcze.



Do nowości dla nauki i praktyki górniczej należy zaliczyć:

1. W zastosowanej metodzie wyznaczania współczynnika spływu powierzchniowego dokonano wydzielenia z hydrogramu odpływu całkowitego części formującej spływ powierzchniowy na podstawie szczegółowej analizy odpływu na tle opadów miesięcznych, wyrażonych jako wskaźnik względny opadu RPI.
2. Analiza zmienności współczynnika spływu powierzchniowego w zlewniach pompowni podstawowych KWB "Turów", ze względu na odmienną dynamikę procesów spływu powierzchniowego i odpływu podziemnego w wyrobisku górniczym, została wykonana dla kroku czasowego miesięcznego oraz dla okresów dłuższych: lipca i sierpnia (miesiące charakteryzujących się największymi opadami), miesiące letnich, półrocza letniego i całego roku. Na podstawie sporządzonych krzywych sumowych objętości opadu i odpływu powierzchniowego została określona również średnia wartość współczynnika spływu w badanych wieloleciach, z których pochodziły dane pomiarowe (ilość wypompowanej wody i opad).
3. W pracy dokonano analizy polegającej na określeniu, ile razy w badanych wieloleciach wartości współczynnika spływu powierzchniowego przekroczyły wartość obecnie stosowaną przy projektowaniu urządzeń odwadniających w KWB "Turów". Dysponowanie taką informacją pozwala na minimalizowanie ryzyka zalania najniższych poziomów eksploatacyjnych kopalni, co przekłada się na poprawę bezpieczeństwa w zakresie eksploatacji złoża.
4. W pracy przedstawiono dwie propozycje praktycznego wykorzystania przedstawionej metody wyznaczania współczynnika spływu powierzchniowego. Pierwsza to procedura (etapy postępowania) wyznaczania i oceny wartości współczynnika spływu powierzchniowego w odkrywkowym wyrobisku górniczym. Warunkiem jej zastosowania jest posiadanie odpowiedniej bazy danych pomiarowych, na którą składają się dane opadowe oraz dane o ilości wypompowanej wody z pompowni głównej (bezpośredniego tłoczenia). Druga propozycja sprowadza się do zastosowania przedstawionej metody wyznaczania współczynnika spływu powierzchniowego do estymowania wartości współczynnika spływu na podstawie dostępnych danych opadowych oraz danych o ilości wypompowanej wody z pompowni podstawowej. Pozwala to na bieżąco monitorować jaka część opadu formuje spływ

powierzchniowy, co może być bardzo przydatne przy podejmowaniu decyzji związanych z odwodnieniem odkrywkowego wyrobiska górniczego.

**Reasumując stwierdzam, że wymieniony na wstępie cel pracy został zrealizowany. Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemów naukowych i praktycznych w zakresie dyscypliny Inżyniera Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Doktorant wykazał odpowiednią wiedzę w tej dyscyplinie, jak również umiejętnościami prowadzenia pracy badawczej i naukowej.**

**Na tej podstawie wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr Krzysztofa Wojarnika pt. „Zmienność współczynnika spływu powierzchniowego w odkrywkowym wyrobisku górniczym”.**

#### **Wniosek końcowy**

W świetle przedstawionej opinii stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr Krzysztofa Wojarnika pt. „Zmienność współczynnika spływu powierzchniowego w odkrywkowym wyrobisku górniczym” dzięki dużej wartości poznawczej oraz aplikacyjnej odpowiada wymaganiom, jakie ustawowo stawia się rozprawą doktorskim i przedkładam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony, po przyjęciu przez Radę Dyscypliny Inżyniera Środowiska, Górnictwo i Energetyka na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, zgodnie z Ustawą o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z dnia 2003r. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami).



Zbigniew Kasztelewicz