

Dr hab. inż. Marek Lefik, prof. PŁ
Politechnika Łódzka
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
Katedra Geotechniki i Budowli Inżynierskich
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź.

Łódź, 8 maja 2016 roku.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty Ludyni
„Modelowanie empiryczne właściwości filtracyjnych gruntów słabo przepuszczalnych”**

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest Uchwała Rady Wydziału Wydziału Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej z dnia 9 marca 2016 r.

2. Przedmiot oceny

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska napisana przez mgr inż. Agatę Ludynię z Wydziału Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej. Promotorem pracy jest dr hab. inż. Tomasz Kozłowski, profesor Politechniki Świętokrzyskiej. Praca liczy 159 stron, jest podzielona na 7 rozdziałów, ilustruje ją 74 rysunki i wykresy oraz 48 tabel. Spis literatury zawiera 220 pozycji, cytuje się 9 map oraz 23 normy i inne dokumenty. Wybierając formę publikacji książkowej, jak się wydaje, zrezygnowano z zamieszczenia streszczeń.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy, ocena trafności doboru jej tematu i tytułu, sformułowania tezy, jej układu i doboru źródeł

Model empiryczny, jakościowy i parametryczny, pozwalający ocenić właściwości filtracyjne gruntów słabo przepuszczalnych jest punktem centralnym rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Agaty Ludyni. Autorka rozprawy przedstawia kilka modeli teoretycznych tłumaczących i kwantyfikujących zjawiska filtracji w gruntach słabo przepuszczalnych. Następnie Doktorantka proponuje zbiór modeli empirycznych opartych w całości na własnych badaniach laboratoryjnych. Temat doktoratu jest istotny z praktycznego, inżynierskiego punktu widzenia i ciekawy jako temat badawczy. Wybór tytułu pracy wydaje się trafny. Podmiotem jest tu główne osiągnięcie Doktorantki, czyli fenomenologiczny model filtracji w

gruntach słabo przepuszczalnych. Komentarz dotyczący sformułowania tezy znajduje się w punkcie 4.2. Literatura cytowana w rozprawie jest bardzo bogata i wybrana starannie.

4. Szczegółowa analiza treści rozprawy i jej ocena merytoryczna

4.1. Rozdział pierwszy to bardzo krótki rozdział wstępny. W rozdziale tym Doktorantka przedstawia ważne zastosowania inżynierskie gruntów spoistych w inżynierii środowiska. Zwraca uwagę na zastosowania takich gruntów nie tylko do konstrukcji barier szczelnych ale także do tworzenia obszarów gruntowych w których rozwija się sorpcja zanieczyszczeń oraz procesy związane z ewolucją właściwości izolacyjnych tych gruntów. Podkreślone są tu liczne zastosowania techniczne, które uzasadniają trafnie duże znaczenie praktyczne badań podjętych w pracy doktorskiej. Wobec częstego ograniczania analizy przydatności technicznej takich gruntów do pomiaru ich przepuszczalności, szczególnie ciekawie brzmi zapowiedź analizy innych aspektów technicznych gruntów słabo przepuszczalnych, takich jak ocena ich zdolność do samuszczelniania i postulowana dla niektórych zastosowań, wysoka kationowa pojemność wymienna. We wstępie, Doktorantka zauważa konieczność poznania takich parametrów geotechnicznych jak skład granulometryczny, granice konsystencji, powierzchnia właściwa i parametry opisujące bezpośrednio właściwości filtracyjne gruntu, aby móc właściwie ocenić i sklasyfikować grunt z punktu widzenia jego przydatności do budowy struktur skutecznie zmieniających przepływy cieczy w gruntach. Autorka podkreśla tu, słusznie, użyteczne i praktyczne cele podjętej pracy, nie zapowiada jednak próby zrozumienia natury badanych procesów i zamknięcia ich opisu serią autorskich wzorów empirycznych, co jest przecież ważnym elementem Jej rozprawy doktorskiej.

4.2. Rozdział drugi jest również rozdziałem wprowadzającym, ma charakter wstępu merytorycznego. Omówiono w nim teorie przepływu wody w gruncie w sposób właściwy dla tego rodzaju wprowadzenia do tematyki pracy.

Przedstawia się tu kolejno:

- szkicowy opis różnych form obecności wody w ośrodku rozdrobnionym,
- przegląd podstawowych opisów matematycznych wiążących pola prędkości i pola ciśnień cieczy w ośrodku porowatym, klasyczne definicje stosowanych w tej dziedzinie pojęć, prawidłowe interpretacje fizyczne podstawowych stałych fizycznych używanych powszechnie do opisu zjawiska filtracji, analizę rodzajów przepływów i warunków determinujących jakościowo różne obrazy ruchu cieczy.
- Klasyczny i historyzujący opis praw filtracji zawierający elementy przeglądu literatury w tej dziedzinie,
- Cechy charakterystyczne przepływów w ośrodkach słabo przepuszczalnych i właściwą dla nich specyfikację opisów parametrów takich przepływów, przede wszystkim wyrażonych formułami empirycznymi.

Opisy te są merytorycznie poprawne, można znaleźć jedynie drobne niezręczności, jak na przykład zbyt pobieżna prezentacja równań przepływu, które Autorka cytuje (używając rzadko stosowanego symbolu różniczkowania cząstkowego). Równania te są przecież superpozycją równań bilansu lub ciągłości przepływu i związku konstytutywnego, jakim jest prawo Darcy, będące przedmiotem szeroko rozumianej weryfikacji empirycznej w dalszej części pracy. Powinno to, zdaniem recenzenta, znaleźć odbicie na tym etapie prezentacji teorii, w formie komentarza przy prezentacji tych równań bądź przez inne ich przedstawienie, z wyraźnym wyróżnieniem założeń, także tych, które są w dalszej części pracy weryfikowane. Nie jest jasne, czy pole oznaczone symbolem h w tych równaniach to pole ciśnienia (jak to jest napisane na str. 9., linia 7 od dołu) czy pole naporu hydraulicznego.

Najważniejszym elementem tego rozdziału jest przedstawienie, na tle teorii klasycznej, problemów które będą przedmiotem badań w dalszej części rozprawy.

W podrozdziale 2.4 wyliczone są cele i hipotezy pracy. Wymieniono pięć celów naukowych, które powinny zostać zrealizowane na podstawie badań własnych Autorki przepływu wody przez starannie opisane fizycznie próbki gruntów. Te cele polegają na eksperymentalnym zbadaniu stosowalności prawa Darcy i sprawdzeniu występowania gradientu początkowego w przepływie przez grunty spoiste. Kolejne zadania, jakie Doktorantka zamierza zrealizować to znalezienie związków pomiędzy właściwościami fizycznymi i mikrostrukturalnymi a opisem przebiegu filtracji, przedstawienie możliwości szacowania właściwości filtracyjnych na podstawie właściwości fizycznych i mikrostrukturalnych, bez potrzeby przeprowadzania badań bezpośrednich współczynnika filtracji. Celem pracy jest też zaproponowanie autorskiego systemu klasyfikacji gruntów słabo przepuszczalnych. Wymienione jest tu sześć zadań szczegółowych prowadzących do realizacji celów naukowych, których nie powtarzam w recenzji, z uwagi na ich liczbę. W omówieniu kolejnych rozdziałów, w sposób naturalny zadania te zostaną wymienione i skomentowane.

W ostatnim akapicie omawianego rozdziału Autorka deklaruje sprawdzenie hipotez badawczych o ograniczoności stosowania prawa Darcy oraz o istnieniu relacji wiążących współczynnik filtracji i spadek początkowy z właściwościami fizycznymi i mikrostrukturalnymi gruntu.

Komentując ten rozdział należy stwierdzić, że w jego dwóch końcowych akapitach sformułowano formalną tezę pracy zaś wcześniejszy spis wypunktowanych celów naukowych i szczegółowych działań badawczych oraz interpretacyjnych definiuje metodę naukową, jaką Doktorantka posłuży się, aby zweryfikować przyjęte hipotezy. Zapisanej *explicite* tezy pracy trudno doszukać się zarówno w tym rozdziale jak i w dalszej części rozprawy jednak zapis celów szczegółowych oraz lista przedsięwzięć eksperymentalnych i interpretacyjnych skutecznie i czytelnie zastępuje ten element formalny dysertacji. Formułowanie celu pracy zamiast tezy pracy jest ogólniejsze i bardziej naturalne we współczesnej nauce, zwłaszcza w dyscyplinach technicznych. Uczynienie zadość formalnemu wymaganiu sformułowania tezy prowadzi czasem do karkołomnych figur stylistycznych. Dlatego wybrany przez Doktorantkę sposób przedstawienia tezy pracy jest, moim zdaniem, właściwy, usprawiedliwiony i w pełni czytelny.

Uwaga redakcyjna: „statystycznie istotne związki empiryczne” – jest to rodzaj żargonu, myśl tu zawarta powinna zostać wyrażona precyzyjniej...

4.3. W rozdziale trzecim przedstawiony został materiał badawczy. Jest to opis ponumerowanych ośmiu gruntów, których próbki pobrano do analizy. Jakościowo ważną decyzją jest losowy wybór lokalizacji miejsc pozyskania próbek. Decyzja ta jest zgodna z celem pracy, jakim jest wykazanie wymienionych wyżej tez dla gruntów słabo przepuszczalnych, nie zaś dla gruntów związanych z rejonem geograficznym lub kopalnią. W rozdziale tym analizowane są (kolejno) następujące elementy opisu pobranych próbek:

- pochodzenie geologiczne badanych gruntów,
- skład chemiczny badanych gruntów,
- skład granulometryczny badanych gruntów,
- granice konsystencji,
- właściwości sorpcyjne i powierzchnia właściwa,
- cechy strukturalne,
- parametry przestrzeni porowej.

Ponadto ustalono wartości normowych miar gęstości, wilgotności, porowatości, zawartość części organicznych, aktywność koloidalną oraz odczyn pH.

Pochodzenie geologiczne gruntów charakteryzowane jest przez opis geologiczny wskazanego szczegółowo (za pośrednictwem współrzędnych geograficznych) miejsca pobrania próbek. Opisano też szczegółowo geomorfologię warstw, z których pobrano próbki. Opis ten jest prawidłowy i kompetentny. Nie jest jasne jedynie sformułowanie mówiące z jednej strony o losowości miejsca pozyskania gruntu, z drugiej zaś o wyselekcjonowaniu gruntów spoistych podlegających badaniom (str. 24) i, prawdopodobnie, wyborze głębokości. Jakie były kryteria tej selekcji i tego wyboru?

Skład chemiczny gruntów został zbadany przy pomocy Mikroanalizy EDS. Wyniki analizy zostały prawidłowo zinterpretowane jakościowo i ilościowo. Ustalono przybliżoną zawartość pierwiastków w badanych próbkach. Skład mineralogiczny ustalono dzięki interpretacji dyfraktogramów rentgenowskich. Oba te badania zilustrowano przykładami widm EDS oraz zinterpretowanymi dyfraktogramami rentgenowskimi dla wszystkich gruntów. Przedstawiono również podsumowujące wnioski jakościowe zarówno dotyczące zawartości pierwiastków jak i minerałów.

Skład granulometryczny ustalony został przy użyciu metody areometrycznej i dwóch metod optycznych: metody dyfrakcji laserowej i metody dynamicznej analizy obrazu. Przedstawiono i skomentowano wyniki trzech analiz dla wszystkich ośmiu gruntów. Autorka kompetentnie tłumaczy różnice występujące w wynikach tych jakościowo różnych badań. Zestawienie wyników jest bardzo ciekawe i powinno być źródłem oddzielnej publikacji. Zwraca uwagę przykład gruntu nr osiem, gdzie wyniki obu metod optycznych są jakościowo różne od wyników granulometrii tradycyjnej. Nie wpływa to, oczywiście, na identyfikację gruntów i na wyniki dalszych analiz, stąd dyskusja tych rozbieżności, jaką przedstawia Doktorantka jest wystarczająca z punktu widzenia realizacji celów pracy doktorskiej.

Granice konsystencji ustalone zostały również trzema metodami, również w tym przypadku wyniki, a nawet klasyfikacja gruntu, zależały od przyjętej metody badawczej. Z podobną, patologiczną zależnością wartości mierzonych od metody pomiaru Autorka spotkała się ponownie badając miary powierzchni właściwej metodami optycznymi i przy pomocy testu sorpcyjnego. W tym wypadku, jako wielkości miarodajne Doktorantka wybrała wyniki klasycznego testu sorpcyjnego. Argumentacja wspierająca taki wybór jest całkowicie przekonująca, pozostaje jedynie niejasność dotycząca podobnego wyboru w przypadku wartości granic konsystencji. Należy jednocześnie zauważyć, że podjęte próby badania pewnych wielkości różnymi metodami pozwoliły Doktorantce poszerzyć zasób wiedzy i umiejętności eksperymentatora. Z drugiej jednak strony wszystkie metody, które zostały użyte dają informację prawdziwą, jednak jej treść pozostaje trudna do zinterpretowania. Nie jest to tematem rozprawy, jednak powinno stać się tematem pogłębionej refleksji.

Cechy strukturalne opisane zostały przez podanie trzech parametrów: sferyczności cząstek, wypukłości oraz współczynników proporcjonalności kształtu. Opis ten został ustalony omawianymi poprzednio metodami optycznymi.

Parametry opisujące właściwości przestrzeni porowej ustalono metodą porozymetrii rtęciowej oraz, dodatkowo, autorską metodą numerycznej analizy obrazu. Tak jak poprzednio, wyniki otrzymane różnymi metodami są różne. W pracy przedstawiono wyniki otrzymane metodą porozymetrii rtęciowej: krzywe dystrybucji porów oraz rozkład objętości porów. Wyniki przedstawione w omawianym rozdziale uzupełniają standardowe badania laboratoryjne normowych miar gęstości, wilgotności, porowatości, zawartość części organicznych, aktywność koloidalną, oraz odczyn pH.

4.4. W rozdziale czwartym opisano teorię i praktykę pomiarów współczynnika filtracji.

Przedstawiono podział metod określania współczynnika filtracji, omówiono niemal wszystkie ważniejsze metody pomiaru. Doktorantka przedstawiła swoje opinie dotyczące zalet i wad

tych metod. W większości przypadków opinie te są wyważone i kompetentne jednak z niektórymi stwierdzeniami trudno się zgodzić. Na przykład, na stronie 73 Doktorantka pisze, że metody polowe dają najlepsze wyniki. Jak się wydaje, dla celów jakie Autorka sobie postawiła w rozprawie doktorskiej metody polowe są całkowicie bezużyteczne, gdyż ich wyniki uśredniają wartości współczynnika filtracji po obszarze obejmującym zasięg testu. Nadają się najlepiej do zastosowania w równaniach (2.1), (2.2), (2.3) jednak nie można wnioskować na ich podstawie o zależności współczynnika filtracji od opisu gruntu sformułowanego przez Autorkę. Można było oczekiwać, że wybór metody użytej w badaniach własnych będzie uzasadniony wyraźniej celem pracy, na przykład potrzebą oceny wpływu wielkości gradientu na wodoprzepuszczalność, możliwością łatwej obserwacji występowania i oceny wartości spadku początkowego. Również omówienia tych kilku metod pomiarów współczynnika filtracji można było prawdopodobnie podporządkować temu celowi. Chciałbym, aby w dyskusji doktorantka przedstawiła ocenę cytowanych w pracy metod z tego właśnie punktu widzenia. Oczywiście, te rodzaje badań laboratoryjnych, których opisy szczegółowe przytoczone są w treści rozdziału są adekwatne do sformułowanych celów pracy zaś ich omówienia są merytorycznie poprawne. Trudno jednak uchwycić myśl porządkującą ten niewątpliwie wartościowy przegląd metod doświadczalnych.

Do przeprowadzenia badań własnych współczynnika filtracji Autorka wybrała aparat trójosiowego ściskania zaś badanie wykonano metodą dwóch ciśnień wyrównawczych. Łatwo zgodzić się, że ten wybór jest słuszny, podzielam pogląd, że pomiar taki jest bardzo precyzyjny.

W dalszym ciągu rozdziału przedstawiona została zasada pomiaru zgodnego z metodą Heada, opis stanowiska badawczego, przebieg i wyniki badań. Przeprowadzono również interesującą dyskusję procesu nasączenia gruntu. Analiza wyników przeprowadzona została w dalszej części pracy, w rozdziale szóstym.

4.5. Rozdział piąty zawiera szczegółowe informacje dotyczące zastosowania elektronowej mikroskopii skaningowej do analizy parametrów mikrostrukturalnych. Rozdział ten zawiera zarówno opis szczegółowy tej metody, sposób postępowania przy realizacji pomiarów jak i szczegółowe dane dotyczące właściwości mikrostrukturalnych badanych gruntów. Jak się wydaje (strona 102 i 103), zagadnienie predykcji właściwości filtracyjnych na podstawie badania mikrostruktury pozostaje otwarte. Przedstawiona przez Doktorantkę metoda jest ciekawa, dowodzi jej szczególnych i wysokich kompetencji. Dyskusja związana z interpretacją pomiarów z punktu widzenia korelacji z danymi dotyczącymi przepływu strumienia filtracji jest interesująca, Recenzent nie jest zaskoczony przedstawionymi wynikami i konkluzjami teoretycznymi.

4.6. Szósty rozdział jest merytorycznym podsumowaniem pracy, zawiera uzasadnienia i dyskusje wniosków, które wynikają z przeprowadzonych analiz.

Szczegółowa analiza i komentowanie wszystkich wniosków i wszystkich rezultatów pracy interpretacyjnej zmierzającej do dobrania prawidłowego opisu fenomenologicznego praw wiążących gradienty ciśnienia i prędkości przepływu strumienia filtracji zaobserwowane w eksperymencie nie jest możliwe. W takim wypadku recenzja ta miałaby objętość kilkunastu stron. Można się jednak ograniczyć do ogólnych konkluzji podsumowującej te poszukiwania. Uważam, że wyprowadzone zależności empiryczne we wszystkich tych przypadkach, gdy są to aproksymacje dobrze skorelowane, są cennym osiągnięciem naukowym Doktorantki. Dotyczy to większości zapisów zawartych w podrozdziałach od 6.3 do 6.6. Oryginalnym osiągnięciem naukowym Doktorantki są również nomogramy na stronach 134-137.

Aby dokładniej scharakteryzować przedstawione rezultaty analizy statystycznej, przytoczony zostanie tu jeden przynajmniej wniosek, który jest dyskusyjny i inny, w którym formalna

analiza jest ewidentnie zgodna z intuicją inżynierską. Przykład wniosku dyskusyjnego zapisany został na stronie 112 i dotyczy aproksymacji zilustrowanych na stronach 108-111. Czy nie jest tak, że aproksymacja z trzema stopniami swobody będzie zawsze lepiej skorelowana z czterema niewspółliniowymi wynikami doświadczalnymi niż aproksymacja liniowa? Czy nie jest tak, że dla liczby pomiarów większej niż cztery stwierdzenie to przestaje być prawdziwe? Czy nie świadczy to o tym, że baza doświadczalna dla tego właśnie wnioskowania jest bardzo skromna? Czy można obronić wniosek o prawidłowości tej aproksymacji podkreślając, że obowiązuje on w granicach bliskich obserwowanym wartościom ekstremalnym? Wątpię, czy zapis aproksymacji kwadratowej z członem wiodącym o kilka rzędów mniejszym niż kolejny uzasadnia odrzucenie modelu filtracji Darcy. Tym bardziej, że zarówno Darcy jak i inni autorzy wyprowadzający ten model mieli zawsze świadomość, że jest to efekt linearyzacji rzeczywistości obserwowanej i modelu teoretycznego.

Inny przykład, to wniosek uzasadniony analizą statystyczną, mówiący o tym, że parametry strukturalne są gorszym predyktorem współczynnika filtracji niż parametry fizyczne, wśród nich granice konsystencji (strona 117). Oczywiście, w pomierzonych wartościach granic konsystencji zawarta jest ogromna ilość informacji fizycznej o naturze interakcji pomiędzy cieczą a szkieletem gruntowym. Tej informacji nie ma zupełnie w opisie mikrostruktury samego tylko szkieletu gruntowego. Stąd wynik analizy statystycznej nie może dziwić w tym przypadku. Stąd też łatwo się zgodzić z wnioskami ogólnymi na stronie 126. Niektóre wyniki nie są jasno skomentowane. Czy (na przykład) dane w tabeli 6.23 nie są sprzeczne z wnioskami ogólnymi zapisanymi na stronie 126?

Należy podkreślić, że poszukiwanie zbioru parametrów, które niosą najważniejszą informację o wartościach współczynnika Darcy (podsumowane przez Doktorantkę na stronie 126) jest szczególnie ciekawe i wartościowe. W tym miejscu narzuca się spostrzeżenie, że zastosowany aparat analizy statystycznej nie jest wygodnym narzędziem takich poszukiwań. Zapis obserwacji z użyciem sztucznych sieci neuronowych i zastosowanie narzędzia PCA (principal component analysis) pozwoliłoby automatycznie znaleźć taki zbiór parametrów. Recenzent w tym miejscu rekomenduje Autorce zapoznanie się z tą techniką analizy danych w dalszych pracach rozwijających tę tematykę. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych pozwoliłoby na wpisanie do parametrów wejściowych dla obliczenia współczynnika filtracji szeregu danych dotyczących składu mineralnego gruntu. Dane te zostały zebrane przez doktorantkę, jednak ich rola w zrozumieniu i wyjaśnieniu właściwości filtracyjnych nie jest jasna, można mieć wrażenie, że pomiary te nie zostały nigdzie wykorzystane. Zastosowanie jedynie klasycznych narzędzi analizy statystycznej nie jest zarzutem jednak w perspektywie dalszych badań znacznie więcej zebranych informacji będzie można wziąć pod uwagę w wyniku zastosowania uniwersalnego aproksymatora (jakim są sztuczne sieci neuronowe) do interpretacji zebranych danych doświadczalnych.

4.7. Rozdział siódmy zawiera zbiór wniosków podsumowań i konkluzji. Jest ich zbyt wiele, aby komentować je wszystkie, z większością można się zgodzić, kilka zostało skomentowane powyżej w tej recenzji.

5. Uwagi szczegółowe, edytorskie i inne.

W trakcie merytorycznej analizy kolejnych rozdziałów przedstawiłem kilka uwag, które są, moim zdaniem, najważniejsze, łatwo znaleźć je w tekście opinii, nie zostaną więc powtórzone w tym punkcie. Również pytania, które padły w punkcie 4.6 mają charakter uwag merytorycznych.

Stwierdzam, że praca jest prawidłowo skomponowana, błędy edytorskie i stylistyczne są nieliczne, nie wymagają dalszego wymieniania w recenzji. Oprócz, być może, terminu „darcowość przepływu”, który wydaje mi się rażący oraz liczne niepotrzebne anglicyzmy takie jak np. „metoda dedykowana ...” (pojawia się kilkakrotnie w pracy).

Strona graficzna pracy jest opracowana estetycznie i czytelnie. Rysunki są czytelne i dobrze ilustrują wyniki pracy doświadczalnej i interpretacyjnej Autorki.

6. Podsumowanie i wnioski końcowe

Oryginalnym osiągnięciem naukowym mgr inż. Agaty Ludyni jest przedstawienie formuł empirycznych pozwalających na obliczanie współczynników filtracji. We wszystkich tych przypadkach, w których aproksymacje są dobrze skorelowane, wyprowadzone przez Doktorantkę zależności empiryczne mogą mieć znaczenie praktyczne i są cennym osiągnięciem naukowym. Dotyczy to większości zapisów zawartych w podrozdziałach 6.3 do 6.6. Oryginalnym osiągnięciem naukowym Doktorantki są również nomogramy na stronach 134-137. Zgadzam się z większością stwierdzeń sformułowanych przez Doktorantkę w treści rozprawy. Uważam, że świadczą one o jej dużej dojrzałości naukowej i umiejętności dokonania krytycznej i porównawczej analizy teorii naukowych, w tym tych, które sama tworzy. Jest to warunek rozwoju opracowywanego modelu fenomenologicznego, stanowi też bardzo istotny przyczynek do praktyki modelowania empirycznego zjawisk związanych z ruchem płynów w ośrodkach porowatych. Nie ulega wątpliwości bardzo wysoki poziom opanowania przez Doktorantkę nowoczesnych technik wykonywania pomiarów laboratoryjnych, w szczególności technik optycznych i związanych z analizą obrazu.

Uwagi krytyczne i wątpliwości, jakie sformułowałem powyżej, nie obniżają wartości pracy, przeciwnie, dowodzą, że praca jest interesująca i może być źródłem dyskusji naukowej.

Stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dokonane przez Doktorantki, a także wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez jej Autorkę.

Autorka wykazała się dobrą znajomością najważniejszych prac naukowych i inżynierskich związanych z tematem rozprawy doktorskiej, ogólną wiedzą teoretyczną z zakresu objętego tematem rozprawy oraz ogólną wiedzą teoretyczną związaną z wymienioną wyżej dyscypliną naukową.

W związku z tym stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Ludyni spełnia wymagania „ustawy z dnia 14 marca 2003 r o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” oraz wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Marek Lefik



dr hab. inż. prof. nadzwyczajny PŁ