

**AGH**

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE  
WYDZIAŁ ODLEWNICTWA**

Kraków 11.04.2022

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Jacek-Burek pt.: „Analiza właściwości użytkowych napoin ze stali AISI 307 i AISI 316 wykonanych na odlewach z żeliwa sferoidalnego”** wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza.

Pani mgr inż. Magdalena Jacek – Burek pracę doktorską pt. „Analiza właściwości użytkowych napoin ze stali AISI 307 i AISI 316 wykonanych na odlewach z żeliwa sferoidalnego” wykonała w Katedrze Odlewnictwa i Spawalnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Promotorem pracy doktorskiej jest Pan dr hab. inż. Marek Mróz, prof. PRz, a promotorem pomocniczym Pan dr inż. Bogdan Kupiec.

Sieci wodociągowe stanowią ogromnej wartości majątek trwały przedsiębiorstw wodociągów, nierzadko przekraczający 70, a nawet 90% wartości całego systemu. W Polsce, w 2008 roku z sieci wodociągowych w zbiorowych systemach zaopatrzenia w wodę korzystało ok. 84% mieszkańców, natomiast w roku 2015 wodociągi zaopatrywały w wodę już około 92% populacji. Wzrost odbiorców sieci wodociągowych pociąga za sobą rozbudowę infrastruktury wodociągowej. Infrastruktura wodociągowa, z uwagi na bezpośrednią realizację funkcji w stosunku do odbiorców (niezawodne dostarczanie wody pitnej), decyduje o efektywności działania całych systemów zaopatrzenia w wodę. Można zatem stwierdzić, że sprawność działania sieci jest miernikiem sprawności całego systemu. Na awaryjność sieci wodociągowych wpływa wiek sieci, warunki ich eksploatacji, w tym jakość przesyłanej wody, jakość wykonania szczególnie złączy, oraz rodzaj zastosowanych materiałów.

Ciśnienie wody oraz niestabilność przepływów wody w sieci wodociągowej są również bardzo ważnym kryterium w codziennej eksploatacji, które ma bezpośrednie przełożenie na ilość zużytej wody, straty wody, żywotność rurociągów. Bardzo niepożądane są skoki ciśnienia, wywołane między innymi brakiem prądu na przepompowni. Stąd biorą się tzw. uderzenia hydrauliczne. Podczas tych uderzeń wytwarza się nadciśnienie bądź podciśnienie, które prowadzić może do zanieczyszczenia wody, zniszczenia sieci oraz armatury wodociągowej. Niestabilność przepływu wody skutkować może wypływem wody z sieci przez powstające nieszczelności armatury wodnej, które najczęściej występują pomiędzy pierścieniem z mosiądzu ołowiowego a żeliwnym korpusem zaworu. W skrajnych przypadkach może dochodzić do wyrwania pierścienia i niekontrolowanego wypływu wody. Roczne straty wody w wyniku uszkodzeń zaworów lokują się na poziomie około 435 000 m<sup>3</sup>. Należy zwrócić uwagę, iż Polska nie jest krajem zasobnym w wodę, na jednego mieszkańca przypada ok. 1 600 m<sup>3</sup> wody, tj. trzy razy mniej niż wynosi średnia europejska. Biorąc pod uwagę politykę UE w zakresie ochrony zasobów wody słodkiej i morskiej oraz zarządzania nimi w oparciu o całościowe podejście ekosystemowe, wydaje się zasadne podjęcie tematyki związanej z poprawą niezawodności działania węzłów uszczelniająco-odwadniających armatury wodociągowej. Dlatego praca doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Jacek-Burek dotyczy zagadnienia aktualnego i bardzo ważnego, zarówno z teoretycznego jak i praktycznego punktu widzenia.

### **Zakres i cel pracy**

Głównym elementem armatury wodociągowej, narażonym na nieszczelność, są odlewane korpusy zaworów wyposażonych w elementy węzła uszczelniająco-odwadniającego. W dotychczasowych rozwiązaniach bieżnie węzłów uszczelniająco-odwadniających wykonywane są z pierścienia ze stopu CuZn39Pb2, który jest wciskany w korpus zaworu. Niestabilność przepływu wody może prowadzić do rozszczelnienia połączenia pomiędzy pierścieniem a korpusem zaworu i w efekcie niekontrolowanym wypływem wody. Z tego powodu Pani mgr inż. Magdalena Jacek-Burek zaproponowała innowacyjne rozwiązanie węzła uszczelniająco-odwadniającego armatury wodociągowej, polegające na zastąpieniu wciskanego pierścienia w korpus zaworu, napoiną wykonaną z proszków ze stali austenitycznej chromowo-niklowej. Po przeanalizowaniu literatury, sformułowano następującą tezę pracy: **Zastosowanie nowego**

**rozwiązania konstrukcyjno-materiałowego wężła uszczelniająco-odwadniającego żeliwnego zaworu armatury wodociągowej z napawaną bieżnią ze stali austenitycznych, w miejsce dotychczas stosowanego pierścienia ze stopu miedzi, pozwoli na podniesienie jego trwałości eksploatacyjnej i właściwości użytkowych, a w szczególności na poprawę odporności na zarysowanie, odporności na erozję kawitacyjną oraz odporności na korozję.**

Celem naukowym tej pracy było określić:

- a) wpływu parametrów procesu nadtopiania plazmowego na ilość ciepła wprowadzonego do podłoża z żeliwa sferoidalnego o osnowie ferrytycznej i tworzącą się podczas chłodzenia mikrostrukturę obszaru nadtopień i strefy wpływu ciepła oraz jego podatność do tworzenia pęknięć,
- b) mikrostruktury, właściwości materiałowych, odporności na zarysowanie, odporności na kawitację oraz odporności na korozję napoin wykonanych proszkiem ze stali AISI 307 i AISI 316.

Jako cel użytkowy założono opracowanie i opisanie mikrostruktury napoin wykonanych proszkiem ze stali AISI 307 i AISI 316, a także określenie ich właściwości materiałowych, odporności na zarysowanie oraz odporności na korozję i kawitację.

Doktorantka opracowała nowe rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe wężła uszczelniająco-odwadniającego korpusów zaworów armatury wodociągowej. Autorka aby zrealizować założone cele pracy i udowodnić postawioną tezę pracy wytworzyła odlewy testowe w postaci płytek i odlewów korpusu zaworu z żeliwa sferoidalnego o osnowie ferrytycznej. Zarówno na testowych próbkach jak i odlewach korpusu zaworów, przeprowadziła badania mikrostruktury żeliwa sferoidalnego o osnowie ferrytycznej przed i po oddziaływaniu łuku plazmowego w procesie nadtopiania powierzchniowego a także wytworzonych napoin ze stali AISI 307 i AISI 316. Dodatkowo, przeprowadziła badania kinetyki przemiany przechłodzonego austenitu w warunkach izotermicznego wytrzymywania próbek z żeliwa sferoidalnego o osnowie ferrytycznej oraz badania twardości, skrawalności napoin, nanoindentacji, odporności na: zarysowanie, erozję kawitacyjną i korozję w wodzie pitnej i przemysłowej. Praca doktorska Pani mgr inż. Magdalena Jacek-Burek jest interdyscyplinarna. Doktorantka przeprowadziła systematyczne badania mikrostrukturalne, mechaniczne i korozyjne. Zastosowanie różnych technik

badawczych zwiększa możliwości oceny zachowania się materiału, a tym samym wyraźnie podnosi wartość merytoryczną tej pracy.

## **Ocena pracy**

Praca doktorska przedstawiona na 150 stronach została napisana językiem zwięzłym i zrozumiałym. W pracy wykorzystano 142 pozycje literaturowe. Strona graficzna pracy jest bardzo dobra. Praca doktorska podzielona jest na dwie części literaturową i badania własne. Część literaturowa liczy 48 stron. Obejmuje ona ogólną charakterystykę sieci wodociągowej z punktu widzenia trwałości eksploatacyjnej sieci. Doktorantka w tej części pracy omawia prawidłowe funkcjonowanie zaworów a w szczególności węzła uszczelniająco-odwadniającego, który może być przyczyną nieszczelności i w konsekwencji prowadzić do niekontrolowanego wypływu wody. Podaje również charakterystykę żeliwa sferoidalnego o osnowie ferrytycznej, stosowanego jako materiał przewodów sieci wodociągowej. Twierdzi, że żeliwo sferoidalne posiada coraz to szersze zastosowanie ze względu na właściwości mechaniczne, podając jako przykład żeliwa o osnowie ausferrytyczno-bainitycznej. Szkoda, że w rozdziale tym nie zamieszczono więcej informacji na temat żeliwa ADI, w kontekście wpływu temperatury i czasu izotermicznego wytrzymywania na strukturę i właściwości mechaniczne. W tym samym rozdziale, pod koniec strony 23, napisano „Według autorów [52] wytrzymałość żeliwa sferoidalnego maleje po jego obróbce cieplnej, co jest związane z osłabieniem połączenia grafit-osnowa.” Zdanie to wydaje mi się mało precyzyjne ze względu np. na obróbkę cieplną hartowania żeliwa sferoidalnego z przemianą izotermiczną. W rozdziale 4, Autorka opisuje zagadnienia związane z napawaniem odlewów z żeliwa sferoidalnego, szczególnie w strefie wpływu ciepła. Tę część pracy kończy rozdział poświęcony analizie stanu zagadnienia w zakresie prawidłowego funkcjonowania sieci wodociągowej oraz teza pracy.

Druga część pracy – badania własne - rozpoczyna się od sformułowania celów pracy i podania planu badawczego. Następnie opisano: proces wykonania w warunkach produkcyjnych odlewni JAFAR SA testowych płytek i odlewów korpusu zaworów z żeliwa sferoidalnego, dobór proszków do wykonania napoin oraz parametry napawania plazmowego. Zdaniem Recenzenta, umieszczone rysunki 28 i 29 powinny znajdować się w podrozdziale 6.1.2 dotyczącym doboru proszków do wykonania napoin. W podrozdziale 6.2 doktorantka omawia techniki badawcze,

które stosowała do badań, a w podrozdziale 6.3 przedstawiła wyniki badań wraz z ich analizą. Następnie w rozdziale 7 Autorka pracy sformułowała wnioski końcowe.

Analiza mikrostruktury wykazała obecność twardych i kruchych produktów, między innymi wydzielenie martenzytu, w strefie częściowego nadtopienia i przylegającej do niej części strefy wpływu ciepła. Obecność tych składników mikrostruktury w tych strefach wywoływać może pękanie odlewów żeliwnych. Dlatego w celu eliminacji tych składników struktury, Doktorntka opracowała zabieg obróbki cieplnej polegającej na izotermicznym wygrzewaniu w temperaturze 300°C przez okres dwóch godzin. Zdaniem Recenzenta jest to ważny element pracy, pozwalający rozwiązać problem podatności na pękanie żeliwa po zabiegu napawania.

W podrozdziale „Badania odporności na korozję” pokazano morfologię powierzchni badanych stopów po ekspozycji w wodzie pitnej i przemysłowej. Obserwacje morfologii powierzchni stopów po ich ekspozycji w środowisku korozyjnym nie są właściwą metodą wyznaczenia ich odporności na korozję. Na rysunku 101 przedstawiono mikrostrukturę powierzchni próbki ze stopu CuZn39Pb2 po ekspozycji w wodzie pitnej i przemysłowej z widocznymi produktami korozji. Nasuwa się więc pytanie jaki jest skład chemiczny produktów korozji ? Zdjęcia SEM zostały wykonane w zbyt małym powiększeniu (rys. 103), co utrudnia jednoznaczne stwierdzenie obecności wżerów. Na stronie 125 i 126 napisano „Na powierzchni próbki ze stopu CuZn39Pb2 stwierdzono liczne, duże obszary występowania ognisk korozji, powstających w efekcie degradacji (roztrawiania się) wydzielenia roztworu  $\beta'$ . Przypuszczać można, że są one efektem wystąpienia korozji wżerowej.” W tym zdaniu słowo „roztrawiania się” lepiej zastąpić słowem „roztwarzania” albo „trawienia strukturalnego”. Dodatkowo, również nasuwa się pytanie dotyczące mechanizmu powstawania korozji wżerowej. Na rysunku 105 przedstawiono schemat korozji wżerowej ale nie opisano etapów korozji wżerowej. Jakie są etapy korozji wżerowej oraz jakie są reakcje chemiczne zachodzące wewnątrz wżeru. W rozdziale tym Autorka podaje równanie na wskaźnik PREN, dobrze by było obliczyć ten wskaźnik dla badanych stali. Należy pamiętać, że do wyznaczenia odporności materiału na korozję należy wykonać testy korozyjne, z których wyznaczyć można potencjał korozyjny oraz prąd korozji. Z potencjo-dynamicznych krzywych polaryzacyjnych można wyznaczyć potencjał korozji, prąd korozji, potencjał pasywacji, potencjał przebicia, prąd pasywacji i krytyczny prąd pikowy anodowego roztwarzania. Istotnym parametrem

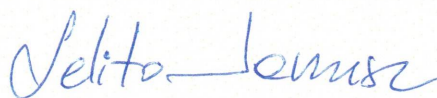
pozwalającym oszacować odporność na korozję jest wyznaczenie oporu polaryzacji. W przypadku korozji jednorodnej można obliczyć szybkość korozji materiału na podstawie pomiarów grawimetrycznych.

Podsumowując należy stwierdzić, że zaprezentowane w pracy rozwiązanie konstrukcyjno-materiałowe węzła uszczelniająco-odwadniającego posiada charakter aplikacyjny, czego dowodem jest uzyskany w roku 2019 Patent RP.

### **Podsumowanie i wniosek końcowy**

Przedstawioną do recenzji pracę doktorską mgr inż. Magdaleny Jacek-Burek uważam za bardzo wartościową. Materiał eksperymentalny jest bardzo bogaty, a wyniki wartościowe i oryginalne. Doktorantka wykazała, że jest dobrym, wytrwałym eksperymentatorem i potrafi posługiwać się licznymi technikami badawczymi. Dobrze uporządkowała się z połączeniem wszystkich wyników w logiczną całość. Założone cele pracy zostały osiągnięte, a teza pracy została udowodniona. Uwagi i pytania, które zamieściłem w recenzji mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają wysokiej wartości merytorycznej pracy doktorskiej Pani mgr inż. Magdaleny Jacek-Burek.

Stwierdzam, że recenzowana praca doktorska spełnia wymogi Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wnoszę o dopuszczenie Pani mgr inż. Magdaleny Jacek-Burek do publicznej obrony pracy doktorskiej.



dr hab. inż. Janusz Lelito, prof. uczelni