

dr inż. Monika Walkowicz
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Metali Nieżelaznych
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Autoreferat

**przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych, w szczególności określonych
w art.16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych
i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki**

1. Imię i nazwisko

Monika Walkowicz

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

Doktor nauk technicznych (praca wyróżniona przez Radę Wydziału Metali Nieżelaznych)

Kierunek: Metalurgia
Specjalność: Przeróbka plastyczna
Tytuł pracy: „Wpływ parametrów odlewania na kształtowanie cech materiałowych miedzi beztlenowej do wysokozaawansowanych aplikacji w elektronice i elektrotechnice”
Data obrony: 26.03.2013 r.
Miejsce obrony: Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych
Promotor: prof. dr hab. inż. Tadeusz Knych
Recenzenci: prof. dr hab. inż. Ferdynand Romankiewicz (Uniwersytet Zielonogórski)
prof. dr hab. inż. Józef Zasadziński (AGH)

Magister inżynier

Kierunek: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji
Specjalność: Inżynieria produkcji i zastosowania metali nieżelaznych
Tytuł pracy: „Parametryzacja cech materiałowych miedzi w gatunku ETP z linii Contirod i OFC z linii Upcast poddanych procesom obróbki cieplnej i odkształcenia”
Data obrony: 27.06.2008 r.
Miejsce obrony: Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych
Promotor: prof. dr hab. inż. Tadeusz Knych
Recenzent: dr hab. inż. Beata Smyrak, prof. nadzw.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Adiunkt

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych, Katedra Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa Metali Nieżelaznych
01.12.2017 – obecnie

Asystent

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Metali Nieżelaznych, Katedra Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa Metali Nieżelaznych
01.06.2013 – 30.11.2017

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789):

a) tytuł osiągnięcia naukowego

Monografia pt. „Miedź przeciwdrobnoustrojowa. Materiały – Powierzchnie dotykowe – Aplikacje”

b) autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy

Autor:	Monika Walkowicz
Tytuł:	„Miedź przeciwdrobnoustrojowa. Materiały – Powierzchnie dotykowe – Aplikacje”
Rok wydania:	2018
Nazwa wydawnictwa:	Oficyna Wydawnicza „Impuls”
Recenzenci wydawniczy:	dr inż. Barbara Juszczak, Instytut Metali Nieżelaznych, Gliwice prof. dr hab. n. med. Elżbieta Anna Trafny, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

c) omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich wykorzystania

Celem naukowym pracy była eksperymentalna analiza szerokiego kontekstu zagadnień materiałowych związanych z praktyczną implementacją w miejscach użyteczności publicznej wyrobów z miedzianymi powierzchniami dotykowymi o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych. Monografia swoim zakresem objęła najbardziej newralgiczne problemy, które wraz z pojawieniem się na rynku przeciwbakteryjnej miedzi i jej stopów zostały dostrzeżone przez różne grupy jej odbiorców – zarówno zakłady metalurgiczno-przetwórcze wytwarzające materiały na osnowie miedzi, jak i producentów aparatury i wyposażenia medycznego, a także personel szpitalny jednostek opieki zdrowotnej – i wskazane jako konieczne do rozwiązania. Waga dostrzeżonych kwestii wynikających w dużej mierze z natury materiałowej miedzi i jej stopów, w stosunku do których podjęte zostały analizy źródeł literaturowych oraz badania doświadczalne, wynikała z ich bezpośredniego wpływu zarówno na społeczne postrzeganie, jak i stanowiące w ich następstwie trwałe wprowadzenie do obrotu gospodarczego miedzianych wyrobów przeciwbakteryjnych. Miała zatem na celu podjęcie studium teoretyczno-empirycznego w celu określenia możliwości spełnienia w stosunku do miedzi przeciwdrobnoustrojowej wysokich wymagań tego jakże specyficznego rynku.

Dyskutowane w pracy problemy z zakresu metalurgii i inżynierii materiałowej, w tym m.in. inżynierii powierzchni w kontekście z aspektami mikrobiologicznych testów efektywności przeciwbakteryjnej obejmowały pięć grup zagadnień odnoszących się do już zainstalowanych w miejscach użyteczności publicznej miedzianych wyrobów o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych i wynikających wprost z warunków eksploatacyjnych jakim te powierzchnie są poddawane na co dzień. Związane były także z ich bezpośrednim wpływem na skuteczność metalu w eliminacji bakterii. Po pierwsze w niniejszej dysertacji poddano analizie jedną z najbardziej alarmujących kwestii czyli utlenianie tj. korozję miedzi i jej stopów powodowaną zarówno przez kontakt z potem rąk ludzkich, jak i powietrzem atmosferycznym o zależnym od miejsca instalacji przedmiotów przeciwbakteryjnych składzie chemicznym, i jej wymierny wpływ na efektywność metalu w eliminacji drobnoustrojów. Po drugie, mając na uwadze dobór odpowiedniego stopu na miedziane powierzchnie przeciwdrobnoustrojowe, jako odpowiedź na sugestię, że taką rolę doskonale spełniałyby stopy miedzi z niklem o podwyższonej odporności na korozję, które przecież od lat są z powodzeniem stosowane na całym świecie do produkcji monet, rozważania ukierunkowano na problem alergennego uwalniania (do skóry ludzkiej) niklu ze stopów Cu zawierających ten pierwiastek. Po trzecie skoncentrowano się na zagadnieniu obróbki mechanicznej materiałów na bazie miedzi głównie pod kątem wpływu wywołanego warunkami eksploatacyjnymi rysowania powierzchni na skuteczność przeciwbakteryjną. W pracy podjęto także analizę tematu zwilżalności powierzchni miedzi i jej stopów (hydrofobowych i hydrofilowych) głównie w kontekście jej roli w mikrobiologicznych testach przeciwdrobnoustrojowych. Całość literaturowych i eksperymentalnych rozpraw dopełniła charakterystyka wpływu zróżnicowanych substancji czynnych, zawartych w stosowanych w polskich jednostkach opieki zdrowotnej preparatach do dezynfekcji powierzchni, na odporność korozyjną miedzi i jej stopów.

Pierwszy z poruszonych w pracy aspektów dotyczył utleniania, które wiąże się z naturalną podatnością miedzi i jej stopów do reakcji z otaczającym środowiskiem, naturalnym bądź sztucznym. W temperaturze otoczenia miedź, reagując z tlenem zawartym w powietrzu, w konsekwencji ciemnieje i traci swój metaliczny połysk. To wynik tworzenia się na jej powierzchni warstwy korozyjnej zawierającej w swoim składzie chemicznym m.in. tlenek miedzi(II) CuO i/lub tlenek miedzi(I) Cu₂O. Kwestia ta nabiera jeszcze większego znaczenia, jeśli dodatkowo pod uwagę zostanie wzięty fakt, że miedziane powierzchnie dotykowe przeznaczone są do bezpośredniego kontaktu z potem rąk ludzkich, który jest wysoko korozyjnym roztworem m.in. chlorku sodu. W związku z powyższym, jedno z najczęściej zadawanych pytań odnośnie do właściwości przeciwdrobnoustrojowych miedzi i jej stopów dotyczy tego, czy i w jaki sposób utlenianie powierzchni wpływa na skuteczność przeciwbakteryjną metalu. W niniejszej monografii ukazano rezultaty badań doświadczalnych nad tym zagadnieniem, przy czym analizę problemu i sposób jego rozwiązania przedstawiono dwutorowo, czyli zarówno pod kątem korozji potu rąk ludzkich, jak i korozji atmosferycznej. Rozważania rozpoczęto od przyjęcia tezy, że aby precyzyjnie określić zdolności przeciwbakteryjne warstw powierzchniowych tworzących się na miedzi i jej stopach, bądź to w wyniku ich kontaktu ze skórą ludzką, bądź z powietrzem atmosferycznym o zróżnicowanym charakterze (m.in. atmosfera morska lub specyficzne środowisko oddziału szpitalnego bogate w wysokie stężenia jonów chlorkowych), konieczne jest w pierwszej kolejności precyzyjne wyznaczenie warunków ich powstawania oraz dokonanie kompleksowej analizy ich morfologii i składu chemicznego. Dodatkowo studiowanie zagadnienia wsparto wiedzą, że w warunkach laboratoryjnych wspomniane warstwy wierzchnie, o własnościach (skład chemiczny, grubość) odpowiadających warstwom tworzącym się na powierzchniach stopów miedzi eksploatowanych w warunkach rzeczywistych, można odtworzyć na drodze kontrolowanej obróbki termicznej i/lub obróbki chemicznej. Dlatego też w ramach badań własnych nad przedmiotowym zagadnieniem korozji miedzi i jej stopów wytworzono na powierzchni zróżnicowanych materiałów na osnowie Cu warstewki symulujące warstwy powstające na stopach miedzi w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych. Następnie tak scharakteryzowane pod względem właściwości materiałowych warstw wierzchnich handlowe, komercyjne, tj. możliwe pod względem wytrzymałościowym i funkcjonalnym do zastosowania w postaci wyrobów gotowych z powierzchniami dotykowymi, stopy miedzi poddano mikrobiologicznym badaniom skuteczności przeciwdrobnoustrojowej w kontakcie ze szczepami bakterii najczęściej występującymi na powierzchniach dotykowych zarówno w miejscach użyteczności publicznej, jak i ośrodkach opieki zdrowotnej w Polsce.

Badania rozpoczęto od przeprowadzenia testów laboratoryjnych symulujących kontakt miedzianych powierzchni dotykowych z substancjami czynnymi zawartymi w pocie ludzkim. Główną przesłanką podjęcia prac była potrzeba odpowiedzi na pytanie o stan powierzchni materiałów na osnowie Cu po krótko- i długoczasowym kontakcie z tą silnie korozyjną mieszaniną. Dlatego też zaplanowana metodologia obejmowała zarówno testy prowadzone w roztworze, jak i w atmosferze syntetycznego potu imitującego – symulującego pot ludzi. W wyniku eksperymentów, prowadzonych zgodnie z normami PN-EN 1811 i PN-ISO 3160, dokonano oceny odporności korozyjnej materiałów na osnowie miedzi, a następnie tak wykształcone na powierzchni próbek wyrobów płaskich warstwy poddano analizie strukturalnej za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej. Omawiając szerzej procedurę badawczą odpowiadającą powyższym standardom, należy nadmienić, że zgodnie z pierwszą z norm (EN 1811) badania obejmowały testy zanurzeniowe stopów miedzi (oraz w celach porównawczych innych materiałów metalicznych – przede wszystkim tych stanowiących główne dodatki w stopach Cu) w roztworze składającym się z mocznika (CH₄N₂O), chlorku sodu (NaCl), kwasu mlekowego (C₃H₆O₃) i niezbędnego do uzyskania pH równego 6,5 wodorotlenku sodu (NaOH). Wedle wymagań normy test prowadzono w temperaturze 30 °C w czasie 168 h, tj. 7 dni, ale w celu uzyskania

bardziej kompleksowej wiedzy o oddziaływaniu czynników słonych i kwasowych na powierzchnię miedzi i jej stopów badania rozszerzono o krótko- i długoczasowe testy, począwszy od 15 min, a skończywszy na 336 h, tj. 14 dniach. Z kolei drugi – oparty na metodologii dokumentu ISO 3160 – test korozyjny obejmował badania tych samych materiałów, ale prowadzony był tym razem w atmosferze sztucznego potu. Roztwór do badań, nad którym zawieszono próbki materiałów metalicznych, przygotowany zgodnie z wymogami ww. standardu, składał się z chlorku sodu (NaCl), chlorku amonu (NH_4Cl), mocznika ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), kwasu octowego (CH_3COOH) i kwasu mlekowego ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$) oraz użytego w celu uzyskania pH roztworu równego 4,7 wodorotlenku sodu (NaOH). Badania, trwające zgodnie z metodyką normy ISO 3160 24 h w temperaturze 40 °C, rozszerzono o testy wykonywane w czasie od 15 minut aż do 1 roku.

Eksperymenty wykazały, że pomimo zbliżonego do siebie składem chemicznym roztworu i atmosfery syntetycznego potu na powierzchni materiałów badanych w tych dwóch różnych testach utworzone zostały zróżnicowane pod względem ogólnego wyglądu (estetyki), ale też składu chemicznego i morfologii powierzchni warstewki korozyjne. Zaobserwowano, że badania realizowane w atmosferze sztucznego potu były z uwagi na charakter wykształtowanych warstw testami dużo bardziej inwazyjnymi, tj. ingerującymi w ogólny stan powierzchni stopów miedzi, aniżeli badania, które realizowano w zanurzeniu próbek w roztworze syntetycznego potu. Niemniej jednak w wyniku obu testów stwierdzono zróżnicowaną podatność materiałów o różnej zawartości miedzi i poszczególnych dodatków stopowych na intensywność powierzchniowych ognisk korozyjnych. Przykładowo w teście prowadzonym w zanurzeniu próbek w roztworze syntetycznego potu (tj. zgodnie z normą EN 1811) stwierdzono, że największą odporność wykazał mosiądz CuZn37, na powierzchni którego ogniska korozji wystąpiły tylko w niektórych miejscach. Stop UNS C274 zachował także niezmienny połysk metaliczny przez cały czas trwania testu, tj. do 2 tygodni. Równocześnie zaobserwowano, że powierzchnia stopów wysokomiedziowych (CuSn6, CuZn15) pod kątem produktów korozji stała się wizualnie zbliżona do czystej miedzi (materiały te zareagowały zmianą swojego charakterystycznego brązowego koloru na różowy). Również stopy o wysokiej zawartości niklu (tj. CuAl10Ni5Fe4, CuNi10Fe1Mn, CuNi18Zn20, CuNi12Zn20), które dzięki swoim dodatkom (tj. Ni, ale także Al i Zn) uznawane są za bardziej odporne na korozję, po teście stały się matowe i całkowicie pokryły osadami. Analizując z kolei wyniki badań prowadzonych w atmosferze sztucznego potu (wg normy ISO 3160), można stwierdzić, że wszystkie materiały straciły połysk i stały się matowe. Obserwowane na powierzchni miedzi i jej stopów turkusowe plamy były wynikiem obecności chlorków miedzi. Mosiądz CuZn37, który w teście w zanurzeniu w roztworze syntetycznego potu wykazał największą odporność korozyjną, w badaniach w atmosferze wg normy ISO 3160 zmienił kolor swojej powierzchni na różowy i dodatkowo pokrył się różowobiałym osadem. Po roku trwania testu wszystkie wytypowane do badań materiały ściśle pokryły się produktami korozji w kolorze turkusowym i białym (UNS C274).

Po zakończonych testach w zanurzeniu i w atmosferze sztucznego potu próbki metali zostały opłukane w wodzie demineralizowanej, wysuszone na powietrzu i poddane obserwacjom za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM). Po teście zanurzeniowym trwającym maksymalnie 14 dni (336 h) stwierdzono, że powierzchnia warstwy korozyjnej na miedzi Cu-ETP (UNS C110), mosiądżach CuZn15 (UNS C230) i CuZn37 (UNS C274) oraz brązie cynowym CuSn6 (UNS C519) jest gładka niż w wypadku brązu aluminiowego CuAl10Ni5Fe4 (UNS C706), miedzioniklu CuNi10Fe1Mn (UNS C706) oraz nowych sreber CuNi18Zn20 (UNS C752) i CuNi12Zn24 (UNS C757), dla których produkty korozji mają strukturę bardziej chropowatą. Główną przyczyną takiego stanu rzeczy jest utworzenie warstewek wierzchnich o nieregularnej morfologii przez tlenki i chlorki miedzi i innych dodatków stopowych, co wykazane zostało w badaniach składu chemicznego metodą EDS. Warto przy tym zauważyć, że z kolei warstwy wierzchnie, które wytworzone zostały po rocznym teście w atmosferze sztucznego potu na powierzchni wszystkich materiałów na osnowie miedzi, były dużo

bardziej nierównomierne i chropowate w porównaniu z warstewkami utworzonymi w wyniku testu zanurzeniowego próbek w roztworze sztucznego potu. Ich turkusowa kolorystyka na wszystkich materiałach, z wyjątkiem mosiądzu CuZn37, potwierdzona na podstawie analizy EDS, dowiodła, że są to chlorki, a także tlenki miedzi. Mosiądz UNS C274 pokrył się białym tlenkiem cynku (ZnO), co także potwierdzono w badaniach metodą mikroanalizy EDS.

Podsumowując wyniki wstępnych badań korozyjnych miedzi i jej stopów, a także w celach porównawczych innych materiałów metalicznych, które to testy prowadzono zarówno w roztworze, jak i atmosferze silnie inwazyjnego środowiska syntetycznego potu, stwierdzono, że dostarczyły one praktycznych informacji o odporności korozyjnej materiałów metalicznych poddanych ingerencji roztworu imitującego pot ludzki, stanowiąc tym samym nieodzowny punkt wyjścia do dalszych rozważań nad tytułowym zagadnieniem wpływu stanu powierzchni miedzi na jej właściwości przeciwdrobnoustrojowe. W świetle uzyskanych jedynie szacunkowych wyników badań składu chemicznego warstewek powierzchniowych na miedzi i jej stopach, a także w obliczu potrzeby precyzyjnej odpowiedzi na pytanie, jakimi właściwościami (skład chemiczny, grubość) charakteryzują się warstewki korozyjne powstałe na przeciwdrobnoustrojowych miedzianych powierzchniach dotykowych w wyniku ich codziennej i długoczasowej eksploatacji, podjęto dalsze prace nad analizą jakościową i ilościową miedzianych powierzchniowych warstewek tlenkowych.

W tym celu przeprowadzono badania doświadczalne, które w szczególności w pierwszym etapie eksperymentów polegały na wytworzeniu na drodze zabiegów obróbki cieplnej na powierzchni miedzi i jej stopów warstewek tlenkowych o właściwościach odwzorowujących warstwy tworzące się na wyrobach dotykowych wykonanych z Cu w rzeczywistych warunkach ich eksploatacji. Wiedzą, na której bazowano, były informacje płynące z dotychczasowych badań nad zagadnieniem korozji miedzi i jej stopów w odniesieniu do przeciwdrobnoustrojowych powierzchni dotykowych, a mianowicie fakt, że w wyniku oddziaływania potu rąk ludzkich z wyrobami z miedzi i jej stopów tworzy się na ich powierzchni warstewka tlenku miedzi(I) (Cu_2O), która po dwóch latach eksploatacji w rzeczywistych warunkach ma grubość – w zależności od składu chemicznego materiału – od około 50 nm do około 250 nm. Opierając się na tej wiedzy, w ramach badań własnych próbki wyrobów płaskich z miedzi i jej stopów zostały poddane procesowi utleniania w atmosferze powietrza z wykorzystaniem podwyższonych temperatur w zakresie od 120 °C do 900 °C i w czasie od 1 min do 24 h. W wyniku poddania miedzi ETP i jej stopów procesowi obróbki cieplnej w wyszczególnionych temperaturach i odstępach czasowych uzyskano na powierzchni materiałów niezwykle spektakularne palety barw warstewek tlenkowych, będących kombinacją kolorystyczną czerwonego tlenku miedzi(I) (Cu_2O) i/lub czarnego tlenku miedzi(II) (CuO) i/lub w przypadku stopów miedzi – tlenków stanowiących pochodną głównych składników stopowych. Przykładowo dla klasycznej miedzi utworzona na powierzchni wyrobów płaskich walcowanych kolorystyka tlenkowych warstewek wierzchnich objęła szeroką paletę barw, począwszy od pomarańczowej, różowej, żółtej i srebrnej, a skończywszy na nasyconych odcieniach szarości. Jak wspomniano powyżej, proces utleniania został przeprowadzony także dla handlowych tj. stosowanych w wielu aplikacjach technicznych stopów Cu, których powierzchnia – podobnie jak dla miedzi – w wyniku procesu utleniania w podwyższonych temperaturach pokryła się barwnymi warstewkami tlenkowymi. Tak wytworzone warstwy powierzchniowe zostały następnie poddane analizie jakościowej i ilościowej za pomocą metody katodowej redukcji (kulometrycznej). W badaniu każdy z utlenionych materiałów stanowił katodę w obwodzie prądowym elektrolizy (na katodzie zachodzi redukcja związku będącego składnikiem warstewki powstającej na powierzchni metalu lub stopu w wyniku korozji), anodę – drut platynowy, natomiast elektrolitem był 0,1 M siarczan sodu (Na_2SO_4). Katodową redukcję warstw tlenkowych w temperaturze 25 °C prowadzono przy stałej gęstości prądu z zakresu 0,1 – 1 mA/cm² (potencjostat/galwanostat Autolab). W czasie elektrolizy rejestrowano w jednosekundowych odstępach potencjał katody (utlenionej próbki z miedzi lub stopów

miedzi) względem chlorosrebrwej elektrody odniesienia. Rezultatem badań były krzywe chronopotencjometryczne uzyskane dla próbek miedzi (Cu-ETP) i jej stopów (CuSn6, CuZn37, CuNi18Zn20) utlenionych w różnych temperaturach (200 – 600 °C) i czasach (1 min – 24 h). W wyniku badań stwierdzono, że w zależności od warunków temperaturowo-czasowych obróbki cieplnej próbek wytypowanych do eksperymentów na krzywej zależności $E_K = f(t)$ występował jeden lub dwa skoki potencjału katody wynikające z obecności odpowiednio: jednego tlenku Cu₂O lub dwóch Cu₂O i CuO. W konsekwencji – w wyniku badań eksperymentalnych – zarówno dla miedzi, jak i jej stopów zaobserwowano wzrost całkowitej grubości powierzchniowych warstewek tlenkowych. Przykładowo dla miedzi: od około 135 nm – dla materiału utlenionego w temperaturze 200 °C w krótkim czasie 5 min do ponad 2400 nm – dla materiału obrobionego cieplnie w wyższej temperaturze 300 °C w czasie 30 min (dla brązu cynowego CuSn6 od około 95 nm – 200 °C/1 h do około 280 nm – 200 °C/24 h; dla mosiądzu CuZn37 od około 20 nm – 300 °C/1 h do około 800 nm – 300 °C/24 h; dla nowego srebra CuNi18Zn20 średnio na poziomie 20 – 40 nm dla materiałów utlenionych w temperaturze 300 °C w czasie 1 – 24 h). Tym samym, nawiązując do danych literaturowych, w symulowanych – laboratoryjnych warunkach uzyskane zostały warstwy o składzie chemicznym i grubości odwzorowującej warstewki tlenkowe, które tworzą się na powierzchni miedzi w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych w wyniku kontaktu materiału metalicznego z potem rąk ludzkich. Otrzymane za pomocą metody katodowej redukcji wyniki badań warstw tlenkowych zostały następnie potwierdzone w wielopunktowej analizie ilościowej (EDX multipoint) składu chemicznego przypowierzchniowych warstw w wyrobach płaskich o zróżnicowanej zawartości miedzi na kierunku normalnym do powierzchni przy użyciu wysokorozdzielczego elektronowego mikroskopu skaningowego SEM (analiza jakościowa – mapy rozmieszczenia analizowanych pierwiastków, analiza ilościowa „multipoint” wzdłuż zdefiniowanej linii pomiarowej – obraz obszaru analizy z zaznaczoną linią pomiarową oraz wykresy stężenia analizowanych pierwiastków wraz z spektrogramami z widma charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego i mikrografiami analizowanych obszarów).

Tak utlenione i w pełni scharakteryzowane pod względem właściwości warstewek wierzchnich próbki materiałów metalicznych (Cu-ETP, CuSn6, CuZn37, CuNi18Zn20) w kolejnym kroku procedury badawczej poddano mikrobiologicznym badaniom skuteczności przeciwdrobnoustrojowej w kontakcie z bakteriami gronkowca złocistego (*Staphylococcus aureus*) i pałeczki okrężnicy (*Escherichia coli*). Wyjściowa gęstość zawiesiny bakteryjnej (około 10⁷ CFU/ml), która наносzona była na powierzchnię próbek – zarówno utlenionych, jak i (w celach porównawczych) nieutlenionych, została całkowicie albo częściowo zredukowana przez wszystkie materiały, dowodząc tym samym ich właściwości bakteriobójczych lub bakteriostatycznych. Najszybszy stopień redukcji wyjściowej gęstości inokulum ziarenkowca Gram-dodatniego (*S. aureus*) i Gram-ujemnej pałeczki jelitowej (*E. coli*) dostrzeżono dla miedzi Cu-ETP i brązu cynowego CuSn6 po czasie 60 – 240 min. Także stopy miedzi, tj. mosiądz CuZn37 i nowe srebro CuNi18Zn20, charakteryzowały się wysoką efektywnością mikrobiologiczną w kontakcie z ww. drobnoustrojami. W szczególności odnotowano dla tych materiałów albo całkowitą redukcję wyjściowej gęstości inokulum SA i EC po czasie 240 min (właściwości bakteriobójcze), albo częściową redukcję o około 2 – 3 log po czasie 300 min (właściwości bakteriostatyczne). Tym samym stwierdzono, że o ile utlenienie powierzchni nie wpływa na skuteczność przeciwdrobnoustrojową miedzi i jej stopów, o tyle odnotowano wpływ zawartości Cu w materiale na jego aktywność przeciwbakteryjną. Różnica dla materiałów o zawartości 94 – 99 % Cu, w stosunku do stopów zawierających miedź na poziomie około 63 % (CuZn37, CuNi18Zn20), wyniosła około 180 – 240 min. Końcowa konkluzja z przeprowadzonych badań mikrobiologicznych zawiera się w stwierdzeniu, że zbliżony charakter przebiegu krzywych zależności spadku ilości inokulum bakteryjnego od czasu dla wszystkich badanych materiałów dowodzi, iż utlenianie nie pogarsza własności przeciwbakteryjnych miedzi ETP i jej stopów technicznych Cu-Sn, Cu-Zn i Cu-Ni-Zn. To – z uwagi na potencjał aplikacyjny

zastosowania tych materiałów jako przeciwdrobnoustrojowych powierzchni dotykowych wymiennie wpływających na obniżenie stopnia rozprzestrzeniania infekcji bakteryjnych – jest informacją wysoko korzystną.

Fundamentalny z racji użytkowania produktów z miedzi przeciwdrobnoustrojowej jest również fakt, że powierzchnie te poddawane są kontaktowi nie tylko z potem rąk ludzkich, lecz także z powietrzem atmosferycznym o zróżnicowanym składzie chemicznym, jak również oddziaływaniu różnych specyficznych środowisk, takich jak atmosfera miejska, przemysłowa, morska bądź bardzo charakterystyczna z uwagi na stężenia jonów chlorkowych Cl^- przestrzeń oddziału szpitalnego. Dlatego też, aby zasymulować tworzące się pod wpływem zróżnicowanych warunków środowiskowych na powierzchni miedzi i jej stopów warstewki związków chemicznych, w warunkach laboratoryjnych przeprowadzono eksperyment obejmujący chemiczną obróbkę wybranych do badań materiałów na bazie miedzi (wyroby płaskie walcowane z miedzi Cu-ETP, brązu cynowego CuSn6, mosiądzu CuZn37, mosiądzu wysokoniklowego, tzw. nowego srebra, CuNi12Zn24) celem wytworzenia na ich powierzchni zróżnicowanych warstw, na które składały się m.in. związki siarki czy chloru. Eksperyment miał na celu przede wszystkim zbadanie wpływu obecności powierzchniowych związków chemicznych na skuteczność przeciwbakteryjną miedzi i jej stopów.

Uzyskane w toku prac doświadczalnych i analiz źródeł literaturowych wyniki dowiodły możliwości wykształcenia na powierzchni czystej miedzi i jej stopów, na drodze procesów chemicznej oksydacji, realizowanych zarówno w podwyższonych temperaturach, jak i w temperaturze otoczenia, warstewek korozyjnych. Tego typu warstwy wierzchnie stosowane są standardowo w celach barwienia dekoracyjnego (nadania sztucznej patyny), czy też ochrony antykorozyjnej przed wpływem niekorzystnych warunków atmosferycznych. Syntetyczne ujęcie w pracy receptur do chemicznej obróbki powierzchni materiałów na osnowie miedzi na bazie zróżnicowanych odczynników chemicznych pozwoliło na dobór parametrów procesu (temperatura kąpieli, skład chemiczny i proporcje użytych odczynników, czas trwania chemicznej oksydacji), umożliwiając tym samym uzyskanie trwale przylegających do miedzianej osnowy warstewek o zwartej budowie. W szczególności powierzchnia wyrobów płaskich z czystej miedzi poddawana była ingerencji roztworów: azotanu(V) żelaza(III) ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$), w wyniku czego pokryła się warstewką w kolorze brązowym; chlorku amonu (NH_4Cl) i siarczanu(VI) miedzi(II) (CuSO_4), na skutek czego rozwinęła się zwarta warstwa w odcieniu żółtym; czy też octanu ołowiu(II) ($(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$) i tiosiarczanu sodu ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), które to odczynniki spowodowały zmianę kolorystyki warstwy wierzchniej próbek miedzi Cu-ETP z charakterystycznej pomarańczowej na zielononiebieską. Również w wyniku zabiegów chemicznej oksydacji prowadzonych w podwyższonych temperaturach, z zakresu 60 – 80 °C, i czasie 5 – 30 min w roztworach azotanu bizmutu(III) ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$), a także azotanu(V) miedzi(II) ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) i kwasu octowego (CH_3COOH), czy też chlorku amonu (NH_4Cl), octanu amonu ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) i octanu miedzi(II) ($\text{C}_4\text{H}_6\text{CuO}_4$) powierzchnia miedzi Cu-ETP została pokryta warstewkami w odcieniu – odpowiednio białym, mętnym różowym, czy też brązowym. W toku prac eksperymentalnych stwierdzono ponadto, że próbki płaskie z miedzi ETP ulegają zabiegom chemicznego barwienia także w temperaturze otoczenia, czego przykładem jest uzyskanie w procesie z wykorzystaniem roztworu chlorku potasu (KCl), nadmanganianu(VII) potasu (KMnO_4) i siarczanu(VI) miedzi(II) (CuSO_4), w czasie około 20 min, zwartej warstewki powierzchniowej o niezwykle atrakcyjnej seledynowej barwie. Tak otrzymane na powierzchni miedzi warstwy wierzchnie poddano następnie obserwacjom strukturalnym za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej. Charakterystykę warstewek wsparto również mikroanalizą EDS pozwalającą na identyfikację składu chemicznego warstwy w danym mikroobszarze. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że powierzchniowe warstewki wytworzone na miedzi Cu-ETP składają się m.in. z siarczków, chlorków, tlenków miedzi, potasu, manganu, siarki oraz innych pierwiastków wchodzących w skład użytych odczynników chemicznych. W toku prac prowadzono

także eksperymenty nad doborem odpowiednich parametrów procesu chemicznej oksydacji w celu uzyskania powierzchniowych warstw korozyjnych dla stopów CuSn6, CuZn37 i CuNi12Zn24. Wynikiem badań była konkluzja, że w zakresie temperatur 50 – 80°C i czasie od 5 min do 30 min można uzyskać dla analizowanych materiałów zwarte warstwy powierzchniowe o różnorodnych odcieniach, w szczególności: brązowych – jako wynik procesu barwienia w roztworze nadmanganianu(VII) potasu (KMnO₄) i siarczanu(VI) miedzi(II) (CuSO₄); fioletowozłoty – w rezultacie chemicznej oksydacji z wykorzystaniem azotanu(V) miedzi(II) (Cu(NO₃)₂) i kwasu szczawiowego (C₂H₂O₄); żółtych – jako wynik utleniania w mieszaninie nadmanganianu(VII) potasu (KMnO₄), siarczanu(VI) cynku (ZnSO₄), siarczanu(VI) miedzi(II) (CuSO₄) i siarczanu(VI) żelaza(III) (Fe₂(SO₄)₂); brunatnych – jako ingerencja roztworu azotanu(V) miedzi(II) (Cu(NO₃)₂) i kwasu azotowego(V) (HNO₃); czarnych i popielatych – w wyniku badań prowadzonych z odczynnikami azotanu(V) żelaza(III) (Fe(NO₃)₃) i tiosiarczanu sodu (Na₂S₂O₃); pomarańczowych – po chemicznej oksydacji w dwuchromianie potasu (K₂Cr₂O₇), chloranie(V) potasu (KClO₃), nadmanganianie(VII) potasu (KMnO₄) i siarczanie(VI) miedzi(II) (CuSO₄); czy też czekoladowych – jako ingerencja mieszaniny octanu miedzi(II) (Cu(CH₃COO)₂), siarczanu glinowo-potasowego (KAl(SO₄)₂) i siarczanu(VI) miedzi(II) (CuSO₄). Ponadto analiza stanu strukturalnego i składu chemicznego powstałych na powierzchni analizowanych stopów miedzi Cu-Sn, Cu-Zn, Cu-Ni-Zn warstewek dowiodła o ich jednorodnej i zwartej budowie oraz obecności wydzielań chloru, siarki, sodu, potasu, manganu oraz innych zawartych w wykorzystanych mieszaninach pierwiastków.

W kolejnym kroku procedury badawczej tak zmodyfikowane w procesach chemicznej oksydacji powierzchni materiały na osnowie miedzi poddano badaniom ich skuteczności przeciwdrobnoustrojowej w kontakcie ze szczepami bakterii, które występują na powierzchniach dotykowych w różnych miejscach użyteczności publicznej, w tym w ośrodkach opieki zdrowotnej. Testy mikrobiologiczne dla wytypowanych materiałów, tj. miedzi Cu-ETP, brązu CuSn6, mosiądzu CuZn37 i nowego srebra CuNi12Zn24, prowadzono w kontakcie z gronkowcem złocistym opornym na metycylinę (*methicillin-resistant Staphylococcus aureus*, MRSA) oraz pałeczką okrężnicy (*Escherichia coli*). Uzyskane rezultaty badań jednoznacznie wskazują, że chemiczne zabiegi obróbki powierzchni miedzi i jej stopów nie wpływają na obniżenie – pogorszenie działania przeciwdrobnoustrojowego lub bakteriostatycznego analizowanych materiałów. W szczególności pozytywną konkluzją płynącą z analizy wyników zaobserwowanych dla próbek miedzi Cu-ETP o chemicznie zmodyfikowanych powierzchniach jest odnotowana całkowita redukcja wyjściowej gęstości zawiesiny bakteryjnej po czasie 120 – 300 min dla antybiotykoopornego gronkowca (MRSA) i po czasie 60 – 300 min dla pałeczki okrężnicy (*Escherichia coli*). Tym samym rezultaty te dowodzą bakteriobójczego działania miedzi pomimo chemicznej ingerencji w powierzchnię materiału. Podobne wnioski płyną z analizy wyników testów mikrobiologicznych dla badanych stopów miedzi, tj. brązu cynowego CuSn6 i mosiądzu CuZn37, które to materiały po zabiegach utleniania w zróżnicowanych roztworach chemicznych charakteryzują się redukcją szczepu bakteryjnego MRSA i *E. coli* po upływie 180 – 300 min. Równocześnie na podstawie obserwacji doświadczalnych stwierdza się, że mosiądz wysokoniklowy CuNi12Zn24 pomimo obecności powierzchniowych warstw korozyjnych także wykazuje redukcję inokulum bakteryjnego czy to gronkowca, czy to pałeczki okrężnicy w czasie 240 – 300 min. Można zatem wysnuć wniosek o zachowaniu przez badane stopy miedzi właściwości przeciwdrobnoustrojowych oraz bakteriobójczych.

Należy także nadmienić, że dla stopów miedzi, których powierzchnię poddano ingerencji związków chemicznych na bazie metali ciężkich, w szczególności chromu (jony Cr³⁺), została utworzona warstewka korozyjna, która zahamowała działanie bakteriobójcze materiałów Cu-Sn, Cu-Zn, Cu-Ni-Zn. Ponadto odnotowano, że potas, zawarty m.in. w związkach dwuchromianu potasu (K₂Cr₂O₇), chloranu(V) potasu (KClO₃), czy też nadmanganianu(VII) potasu (KMnO₄), także wpływa

na osłabienie redukcji wyjściowej gęstości zawiesiny bakteryjnej MRSA i *E. coli* (około 10^7 CFU/ml) o około 0,5 – 1 log. Prawdopodobnie tendencję tę należy tłumaczyć obecnością na powierzchni materiałów metalicznych warstewek korozyjnych bogatych w wysokie stężenia jonów K^+ , odpowiedzialnych za osłabienie wrażliwości mikrobiologicznej inokulum na działanie przeciwbakteryjne jonów Cu^{2+} , o czym w swoich pracach raportowali inni badawcze. Niemniej jednak dla przeważającej większości badanych stopów miedzi, na powierzchni których wykształcone zostały w procesie z wykorzystaniem zróżnicowanych związków chemicznych powierzchniowe warstewki korozyjne, odnotowano preferencyjne zachowanie w kontakcie z bakteriami, polegające na całkowitej lub częściowej ich eliminacji, co dowodzi prozdrowotnego działania materiałów na osnowie Cu w kontakcie z wytypowanymi Gram-dodatnimi i Gram-ujemnymi przedstawicielami szczepów bakterii.

Kolejna przybliżona w niniejszej monografii tematyka badawcza ukierunkowana była na problem alergennego uwalniania niklu ze stopów miedzi zawierających ten pierwiastek. Zagadnienie to z uwagi na praktyczne zastosowanie wyrobów z przeciwdrobnoustrojowymi powierzchniami dotykowymi w miejscach użyteczności publicznej ma istotne znaczenie. Jest tak dlatego, że od powierzchni przeciwbakteryjnych, które wprowadzane są coraz powszechniej – przede wszystkim z uwagi na skalę i niebezpieczeństwo problemu zakażeń wewnątrzszpitalnych – głównie do jednostek opieki zdrowotnej, wymaga się, oprócz, rzecz jasna, efektywności w eliminacji szkodliwych drobnoustrojów stanowiącej niewątpliwie o ich wysokich walorach użytkowych, także, a może przede wszystkim prozdrowotnego charakteru, rozumianego jako pozytywny wpływ na ochronę zdrowia pacjentów, a tym samym pełną przyjazność dla ludzi. Dlatego też w obliczu światowych doniesień raportowanych w środkach masowego przekazu, że nikiel stanowi obecnie najpowszechniej uczulający na świecie alergen kontaktowy, który w zetknięciu z ludzką skórą, uwalniając swoje jony Ni^{2+} , powoduje u 20 % globalnej populacji nadwrażliwość typu opóźnionego, problem ten w przypadku zastosowania stopów Cu-Ni na przeciwdrobnoustrojowe powierzchnie dotykowe rzuca cień na potencjał aplikacyjny tego typu – leczniczych przecież – wyrobów. Zresztą obserwowaną od kilku lat niewątpliwą konsekwencją dostrzeżoną przez międzynarodowych producentów różnych wyrobów, czy to codziennego użytku (m.in. oprawki okularów, elementy biżuterii, klamry pasków, suwaki i guziki do spodni, sztucce), czy to elementów architektury wewnątrz (m.in. klamki drzwiowe, gwinty przyłączeniowe, elementy zaworów), rangi problemu jest dynamiczny rozwój nowej gamy wyrobów oznaczonych logiem *nickel free* niosącym ze sobą informację, że produkt w trosce o zdrowie jego użytkowników wolny jest od zawartości uczuleniowego alergenu. Jest to zatem tendencja do pełnego odchodzenia od stosowania materiałów zawierających nikiel w aplikacjach przeznaczonych do bezpośredniego kontaktu z ludzką skórą.

Dokonując kompleksowego przeglądu gatunków miedzi i jej stopów, które zgodnie z wynikami badań laboratoryjnych i klinicznych charakteryzują się skutecznością przeciwdrobnoustrojową, pod kątem doboru najbardziej optymalnego materiału na powierzchnie dotykowe, wówczas uwagę zwracają stopy Cu-Ni. Nikiel bowiem jako dodatek stopowy podwyższa istotnie ich odporność antykorozyjną na działanie wielu inwazyjnych środowisk, zarówno naturalnych, jak i sztucznych. Zresztą fakt ten, w połączeniu z ich niezaprzeczalną aktywnością przeciwbakteryjną wpływającą na ograniczanie rozprzestrzeniania się chorób zakaźnych, spowodował, że materiały te od lat na całym świecie stosowane są powszechnie do produkcji monet obiegowych. *Notabene*, u osób mających z nimi bezpośredni i długotrwały kontakt rozwijają stany zapalne rąk, stanowiąc tym samym jedno z najbardziej powszechnych źródeł zawodowych chorób skórnych u różnych grup pracowniczych (m.in. sprzedawcy, taksówkarze).

W nawiązaniu do powyższego również niektóre z wyrobów dotykowych wykonanych ze stopów miedzi zawierających w sobie nikiel mogą być uznane za źródła alergii skórnych (m.in. klamki, poręcze schodowe, włączniki oświetlenia, uchwyty meblowe). Problem staje się poważny, gdy wyobrazimy

sobie dziecko, które w wyniku kilkugodzinnego (codziennego) kontaktu ze szkolną ławką wykonaną ze stopu miedzi zawierającego w sobie nikiel dostaje wysypki będącej konsekwencją alergii skórnej, bądź pasażera podróżującego codziennie do pracy środkami komunikacji i trzymającego poręcz wykonaną ze stopów Cu-Ni, albo pacjenta oddziału szpitalnego korzystającego ze stojaka na kroplówki na bazie miedzionikli lub nowych sreber. Tego typu przykłady można mnożyć... Dlatego też w niniejszej pracy tak mocno podkreśla się problem uczuleń skórnych będących wynikiem kontaktu z wyrobami zawierającymi w swoim składzie chemicznym nikiel, gdyż – jak może to nastąpić w przypadku miedzianych wyrobów przeciwbakteryjnych – bardzo szybko, zamiast podkreślania ich prozdrowotnego, pozytywnego działania, mogą się okryć złą sławą alergenów kontaktowych.

Problem niekorzystnego uwalniania się niklu z wyrobów przeznaczonych do bezpośredniego kontaktu z ludzką skórą został dostrzeżony na poziomie legislacyjnym Unii Europejskiej, której „dyrektywa niklowa” 94/27/EC w 2006 roku stała się częścią regulacji REACH (dotyczącej „rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów”) i wraz ze standardem EN 1811 stanowią obecnie obowiązujące dokumenty prawno-normalizacyjne dotyczące kwestii uwalniania niklu z wyrobów zawierających ten pierwiastek. Wspomniany standard zaleca, aby badany pod kątem wydzielania jonów Ni^{2+} przedmiot zanurzyć na czas jednego tygodnia w roztworze syntetycznego potu o ściśle określonym składzie chemicznym i odczynie pH, a następnie poddać badaniom stężenie rozpuszczonego w nim niklu za pomocą atomowej spektrometrii absorpcyjnej, spektrometrii ze wzbudzeniem w plazmie sprzężonej indukcyjnie lub innej stosowanej metody analitycznej. Na tej podstawie dokonuje się oceny, czy otrzymana wartość przekracza ustanowioną przez Parlament Europejski i Radę Europejską wartość progową „bezpiecznego” (tj. niepowodującego wystąpienie alergii na nikiel) wskaźnika wydzielania się niklu, wynoszącą $0,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{tydzień}$. Jeżeli jest od niego wyższa, to wynik testu immersyjnego w roztworze sztucznego potu odwzorowującego pot ludzki niesie ze sobą informację, że badany wyrób z dużą dozą prawdopodobieństwa stanowić będzie w kontakcie ze skórą osób, u których stwierdzono nadwrażliwość na metale, źródło alergii i stanów zapalnych. Wyżej opisana procedura, bazująca na badaniu chemicznym *in vitro* korelującym możliwie w jak najbardziej zbliżony sposób ze zmiennymi ludzkimi reakcjami biologicznymi występującymi w chwili kontaktu wyrobów metalowych zawierających nikiel z ludzką skórą, ujmuje jako jedyną metodologię ilościowych testów sensytyzacji na alergen niklu. W tym miejscu warto także wspomnieć o innym stosowanym sposobie wykrywania jonów Ni^{2+} w materiałach metalicznych. Otóż mowa o reakcji barwnej niklu ze związkiem chemicznym dimetyloglioksymu, zwanym także – od nazwiska swojego twórcy – odczynnikiem Czugaiewa. Test polega na pocieraniu przez okres kilkunastu sekund powierzchni przedmiotu analizowanego pod kątem prawdopodobieństwa uwalniania niklu za pomocą bawełnianego aplikatora nasączonego zawiesiną dwóch roztworów, tj. 1 % DMG w 96 % alkoholu etylowym oraz 10 % wodorotlenek amonu w wodzie, a następnie ocenie okiem nieuzbrojonym, czy wytrącony został różowy osad dimetyloglioksymianu niklu(II) świadczący o podatności danego materiału do niekorzystnego wydzielania alergenu. Metoda ta stosowana jest w przypadku konieczności uzyskania natychmiastowej informacji, czy istnieje niebezpieczeństwo wywołania uczulenia przez dany przedmiot zawierający nikiel, jednak należy pamiętać, że jest to jedynie analiza jakościowa, niedająca – w przeciwieństwie do metodologii normy EN 1811 – pełnej, tj. ilościowej, charakterystyki stężenia wydzielonych jonów Ni^{2+} .

Bazując na powyższej metodologii obu testów, przeprowadzono badania uwalniania niklu z wybranych przeciwdrobnoustrojowych stopów miedzi. Część materiałów wytworzona została w postaci płaskich półwyrobów hutniczych tj. taśm, blach, płyt i płaskowników w polskich zakładach metalurgiczno-przetwórczych z branży metali nieżelaznych. W szczególności były to: brąz aluminiowy CuAl10Ni5Fe4, miedzionikiel CuNi10Fe1Mn oraz dwa gatunki mosiądźów wysokoniklowych, tzw. nowych sreber, CuNi12Zn24 i CuNi18Zn20. Jeszcze inne materiały, stanowiące rezultat własnych

analiz nad potrzebą uzyskania stopów o ściśle sprecyzowanych kompozycjach chemicznych, otrzymane zostały w laboratoryjnym procesie odlewania na stanowisku wyposażonym w piec tyglowy z grzaniem indukcyjnym (efekt „mieszania” polem elektromagnetycznym). W ten sposób wytworzono 5 miedzionikli o zawartości Ni – 2 – 30 % (tj. CuNi2, CuNi5, CuNi10, CuNi20, CuNi30) oraz 11 stopów spinodalnych o zmiennej zawartości Ni – 2 – 30 % i stałej zawartości Sn – 4 % (tj. CuNi2Sn4, CuNi5Sn4, CuNi10Sn4, CuNi20Sn4, CuNi30Sn4) oraz 8 % (CuNi2Sn8, CuNi5Sn8, CuNi10Sn8, CuNi15Sn8, CuNi20Sn8, CuNi30Sn8). Pożądany skład chemiczny każdego z wytworzonych w warunkach laboratoryjnych materiałów został potwierdzony analizą spektrometryczną. Następnie próbki materiałów umieszczono w zanurzeniu w roztworze syntetycznego potu (skład chemiczny: chlorek sodu (NaCl), mocznik (CH₄N₂O), kwas mlekowy (C₃H₆O₃), 1M i 0,1M wodorotlenek sodu (NaOH); pH = 6,5) w temperaturze 30 °C na zalecany – zapisami normy EN 1811 – czas 168 h (7 dni), przy czym testy realizowano także w dłuższym okresie (nawet do 6 miesięcy), po którym za pomocą optycznego spektrometru emisyjnego ze wzbudzeniem w plazmie sprzężonej indukcyjnie oznaczono nikiel w roztworze. Otrzymane wyniki zostały bezpośrednio odniesione do rezultatów reakcji barwnej z dwumetylogliksymem (DMG) tworzącym z wolnymi jonami niklu sól o purpurowej barwie.

W wyniku przeprowadzonych doświadczeń dla wszystkich analizowanych przeciwbakteryjnych stopów odnotowana została negatywna tendencja do uwalniania niklu, przewyższającego wielokrotnie (nawet o 70 razy) dopuszczony w normie i europejskiej dyrektywie limit (potwierdzenie stanowiły także rezultaty testu z dimetylogliksymem). Dlatego też wobec powyższego kontynuację prac stanowiły badania wpływu wybranych dodatków stopowych na ograniczenie uwalniania Ni. Bazując na doniesieniach literaturowych, dotyczących wpływu dodatku cyny i zaawansowanych metod obróbki cieplnej spinodalnych stopów Cu-Ni-Sn, przeprowadzono badania wpływu wyżarzania tego typu materiałów pod kątem zachodzących przemian fazowych na ich podatność do uwalniania niklu. Chociaż w wyniku przeprowadzonych eksperymentów ujawniona została możliwość kształtowania ponadprzeciętnych własności materiałowych (m.in. wzrost twardości ze 130 HV10 do 260 HV10 oraz przewodności elektrycznej z 3,7 MS/m na 4,8 MS/m) tychże stopów w wyniku zachodzącego pod wpływem obróbki cieplnej umocnienia rozpadem spinodalnym, to nie stwierdzono jego wpływu na zjawisko uwalniania niklu, pomimo wielu prac badawczych raportujących wpływ tego typu obróbki cieplnej na podwyższenie odporności korozyjnej stopów spinodalnych. Warto w tym miejscu nadmienić, że w ramach analizy zagadnień oddziaływania rozmaitych czynników na uwalnianie niklu ze stopów Cu zawierających ten dodatek przeprowadzono również badania nad określeniem wpływu stanu powierzchni przeciwbakteryjnych materiałów na osnowie miedzi na odnotowane stężenie jonów niklu rozpuszczonych w roztworze syntetycznego potu. Zaobserwowano, że im większa jest dla danego materiału różnica współczynników chropowatości Ra [μm], tym bardziej widoczne są znaczne rozbieżności w odnotowanych wartościach stężeń niklu w mieszaninie sztucznego potu: większe obserwowane są dla próbek poddanych (przed właściwym testem immersyjnym) obróbce mechanicznej w procesie polerowania niż dla materiałów niepoddanych takiej powierzchniowej ingerencji. Zarejestrowano także bezpośrednią zależność ilości uwolnionego niklu od czasu trwania testu zanurzeniowego materiału w roztworze syntetycznego potu (wyniki zbieżne z rezultatami prezentowanymi w pracach innych autorów). W szczególności w wyniku zrealizowanych eksperymentów badawczych trwających przez okres 6 miesięcy stwierdzono, że wraz z upływem czasu trwania testu korozyjnego według normy EN 1811 ilość wydzielonego alergenu w jednostce czasu maleje wraz z wydłużeniem interwału, przy czym największa ilość Ni wydziela się ze stopów miedzi w ciągu pierwszych 168 h poddawania ingerencji składników syntetycznej mieszaniny. Rezultat ten tłumaczy, dlaczego zgodnie z wymaganiami normy EN 1811 test immersyjny symulujący uwalnianie się niklu z wyrobów przeznaczonych do bezpośredniego i długotrwałego kontaktu ze skórą w celu

oznaczenia, czy wskaźnik uwalniania się Ni^{2+} z takich wyrobów jest wyższy niż $0,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, odnosi się właśnie do czasu jednego tygodnia (7 dni, 168 h).

Konkluzją z własnych badań doświadczalnych ukierunkowanych na analizę zagadnienia uwalniania niklu z przeciwdrobnoustrojowych materiałów na osnowie miedzi, które wsparte zostały studiami pozycji piśmienniczych z danej tematyki, jest stwierdzenie, że stopy miedzi z niklem nie powinny być rekomendowane na przeciwdrobnoustrojowe powierzchnie dotykowe.

W trakcie prac doświadczalnych nad wieloma zagadnieniami natury materiałowej, związanymi z zastosowaniem miedzi i jej stopów na przeciwdrobnoustrojowe powierzchnie dotykowe, kolejną poddaną pod rozważenie kwestią było rozstrzygnięcie, czy codzienna eksploatacja tych wyrobów ma wpływ na skuteczność ich działania przeciwbakteryjnego. Pod hasłem „codzienna eksploatacja” rozumiano zarysowania powierzchni miedzi i jej stopów na skutek urazów mechanicznych, nieodłącznie towarzyszących praktycznemu użytkowaniu wielu różnorodnych materiałów, nie tylko metalicznych. Dlatego też w toku rozważań postawiono pytanie: czy zmiana stopnia rozbudowania powierzchni czynnej stopu na drodze jego obróbki mechanicznej – a konkretnie większa chropowatość utożsamiana ze współczynnikiem Ra (średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej) – ma wpływ na efektywność miedzi i jej stopów w eliminacji szkodliwych mikroorganizmów?

Przesłanką dla studiów eksperymentalnych na ten temat stały się stojące względem siebie w opozycji dwie teorie przynoszące odpowiedź na powyższą kwestię. Pierwsza z nich, bazująca na aspekcie materiału metalicznego, który wraz ze wzrostem chropowatości wykazuje większą powierzchnię czynną mającą bezpośredni kontakt z bakteriami, wskazuje, że takie stopy powinny charakteryzować się lepszą efektywnością w eliminacji drobnoustrojów. Druga, o podłożu mikrobiologicznym, dowodzi, że bakterie mają tendencję do zasiedlania się w zagłębieniach powierzchni i dodatkowo wytwarzania chroniącej je przed działaniem czynników zewnętrznych błony biologicznej (warstewki biofilmu). Na tej podstawie można przypuszczać, że im bardziej chropowata powierzchnia, tym jej efektywność w eliminacji bakterii – z powodu stwarzania dla mikroorganizmów bardziej optymalnych (dogodnych) warunków do przeżycia – będzie gorsza. Ponieważ brakuje prac naukowych, które na podstawie wyników badań doświadczalnych rozstrzygałyby tę kwestię w odniesieniu *stricto* do przeciwbakteryjnych miedzianych powierzchni dotykowych (zdecydowana większość pozycji piśmienniczych ukierunkowana jest na zagadnienia kolonizacji implantów chirurgicznych i cewników przez biofilmy, zasiedlania przez mikroorganizmy sieci wodociągowych, wzmagającego korozję mikrobiologiczną, jak również na analizę podłoży chropowatych na bazie stali, krzemu, dwutlenku tytanu, szkieł metalicznych itp.), zaplanowana do realizacji w oparciu o autorskie eksperymenty procedura miała na celu uzyskanie odpowiedzi na tę kwestię.

Dlatego motywem przewodnim niniejszego zagadnienia był wpływ obróbki mechanicznej powierzchni miedzi i jej stopów na skuteczność przeciwbakteryjną. W ramach badań przeprowadzono eksperyment obejmujący przygotowanie powierzchni miedzi Cu-ETP, mosiądzu CuZn37 i nowego srebra CuNi12Zn24 w procesie mechanicznej obróbki z wykorzystaniem materiałów ściernych o zróżnicowanych sposobach oddziaływania z materiałem obrabianym i zróżnicowanej gradacji (ziarnistość materiałów ściernych zgodnie ze skalą P według FEPA), dające w efekcie fakturę na powierzchni materiałów na osnowie miedzi o różnym współczynniku chropowatości (Ra na poziomie $0,1 - 7,0 \mu\text{m}$). Następnie tak przygotowane próbki miedzi i jej stopów Cu-Zn, Cu-Ni-Zn poddano testom mikrobiologicznym w kontakcie z wzorcowymi szczepami gronkowca złocistego opornego na metycylinę (*methicillin-resistant Staphylococcus aureus*, MRSA) i pałeczki okrężnicy (*Escherichia coli*, EC). Otrzymane wyniki, ukazujące zależność redukcji gęstości zawiesiny bakteryjnej MRSA i EC od czasu dla materiałów po procesie mechanicznej obróbki powierzchni (o zróżnicowanym współczynniku chropowatości Ra), dowiodły, że wyższą skuteczność wykazały materiały bardziej chropowate, co tłumaczyć można ich bardziej rozbudowaną powierzchnią. Konkluzja ta, dotycząca

zarówno miedzi Cu-ETP, mosiądzu CuZn37, jak i nowego srebra CuNi12Zn24, niesie ze sobą pozytywną informację, że rysowanie powierzchni przeciwbakteryjnych nie wpływa negatywnie (nie pogarsza) na ich efektywność w eliminacji drobnoustrojów.

W monografii analizowano także problematykę kształtowania zwilżalności powierzchni miedzianych wyrobów przeciwdrobnoustrojowych na drodze procesów termiczno-chemicznej obróbki podłoża, głównie pod kątem jej roli w mikrobiologicznych testach przeciwdrobnoustrojowych. Właściwy dobór materiałów do omawianych aplikacji jest podyktowany ich wymierną efektywnością w eliminacji drobnoustrojów, którą w stosunku do powierzchni dotykowych określa się na podstawie testów mikrobiologicznych. Polegają one na nanoszeniu na płaską próbkę kropli inokulum bakteryjnego o określonej objętości, a następnie, w zależności od przyjętej metodologii, przykryciu jej sterylną folią polietylenową, w celu zmniejszenia energii swobodnej powierzchniowej, tj. zapewnienia lepszego przylegania bakterii do materiału metalicznego (zgodnie z wymaganiami normy JIS Z 2801), bądź też pozostawieniu kropli do całkowitego wyschnięcia (projekty nowych norm, w tym polskiej) i dopiero po wymienionych etapach inkubacji mikroorganizmów – ich wysiewaniu na podłoża po uprzednim rozcieńczeniu i zliczaniu jednostek tworzących kolonie. W odniesieniu do wspomnianej metodyki ważną rolę odgrywa zwilżalność podłoża materiału przeciwdrobnoustrojowego, którą definiuje się wartością kąta zwilżania utworzonego pomiędzy powierzchnią ciała stałego (podłoże metalu) a styczną do powierzchni kropli (inokulum bakteryjnego) poprowadzoną z punktu kontaktu trzech faz: ciało stałe – ciecz – powietrze. W zależności od jego wartości materiały inżynierskie klasyfikuje się jako hydrofobowe, tj. niezwilżalne, lub hydrofilowe, tj. zwilżalne przez ciecze. Celowo porusza się niniejsze zagadnienie, aby poddać pod rozwagę wpływ wartości kąta zwilżania dla parującej z powierzchni metalu pojedynczej mikrokropli o danej objętości (w warunkach jednostek opieki zdrowotnej kropla inokulum bakteryjnego przenoszona jest na powierzchnie wyrobów najczęściej drogą kropelkową lub kontaktową) na wielkość pola powierzchni jej kontaktu z analizowanym podłożem, a także, czas parowania kropli o danej objętości.

Dlatego też, aby odpowiedzieć na pytanie o wpływ zwilżalności powierzchni miedzi i jej stopów na ich skuteczność przeciwbakteryjną, przeprowadzono badania eksperymentalne polegające na poddaniu materiałów obróbce chemicznej w celu uzyskania warstw wierzchnich o różnych wartościach kątów zwilżania. W wyniku utleniania materiałów na osnowie miedzi w roztworze wodorotlenku sodu (NaOH) i nadsiarczanu amonu ((NH₄)₂S₂O₈) nadano im właściwości hydrofilne, a poprzez modyfikację kwasem stearynowym (C₁₇H₃₅COOH) – hydrofobowe (niezwilżalne). Zmianę swobodnej energii powierzchniowej miedzi i jej stopów uzyskano na drodze kształtowania morfologii warstwy wierzchniej utworzonej przez wydzielenia zwilżalnego wodorotlenku miedzi(II) (Cu(OH)₂) oraz niezwilżalnego tlenku miedzi(II) (CuO) wypełnionego stearyną. Zarejestrowane wartości kątów zwilżania dla miedzi i jej stopów o właściwościach hydrofilowych wynosiły zaledwie kilka stopni (< 5 °), podczas gdy dla próbek hydrofobowych obejmowały zakres około 110 – 130 °.

Prawdziwość hipotezy wpływu zwilżalności podłoża na jego skuteczność przeciwbakteryjną poddano weryfikacji w praktyce za pomocą badań efektywności miedzianych (Cu-ETP, CuZn37, CuSn6, CuNi12Zn24) materiałów hydrofilowych i hydrofobowych w eliminacji zawiesiny inokulum bakteryjnego metycyloopornego gronkowca złocistego (MRSA) oraz pałeczki okrężnicy (*Escherichia coli*). W ich wyniku stwierdzono, że wartość kąta zwilżania przekłada się na wielkość obszaru kontaktu kropli inokulum bakteryjnego z powierzchnią, a w konsekwencji na czas parowania kropli z podłoża (krótszy jest czas parowania kropli z podłoża o właściwościach hydrofilowych względem czasu parowania kropli z materiału hydrofobowego; w badaniach własnych różnica wyniosła nawet 1 h!), i tym samym bezsprzecznie wpływa na wynik testu skuteczności przeciwbakteryjnej. To powierzchnie hydrofilowe na osnowie miedzi i jej stopów wykazały w porównaniu z podłożami hydrofobowymi lepsze właściwości przeciwbakteryjne, co utożsamia się z większymi obszarami kontaktu zawiesiny

mikroorganizmów z badanym materiałem, jak również wpływem kwasu stearynowego na ruchliwość jonów miedzi.

Kolejny podjęty w monografii problem badawczy dotyczył zastosowania produktów z miedzi przeciwdrobnoustrojowej w jednostkach opieki zdrowotnej i związanych z tym ścisłych procedur czystości, które tam obowiązują. Wszystkie powierzchnie w szpitalach są nie tylko regularnie myte, ale przede wszystkim dezynfekowane silnymi środkami chemicznymi, które mogą wchodzić w reakcje korozyjne z miedzią lub jej stopami, dlatego na etapie badań eksperymentalnych pojawiło się pytanie: jak materiały metaliczne na osnowie Cu zareagują z substancjami czynnymi zawartymi w tych środkach chemicznych? W celu poznania odpowiedzi na tę kwestię przeprowadzono badania oddziaływania atmosfery 18 zróżnicowanych pod względem substancji aktywnych (m.in. alkohol, chlor, związki fenolowe, czwartorzędowe związki amoniowe, utleniacze, glukoprotamina) środków dezynfekcyjnych na powierzchnie miedzi i jej stopów pod kątem odporności korozyjnej i ogólnego stanu wizualnego materiałów metalicznych. Tym samym idea tak zaplanowanych eksperymentów zawierała się w potrzebie rekomendacji preparatu o sprecyzowanych rodzajowo i ilościowo substancjach czynnych niepowodujących w bezpośrednim kontakcie z miedzią i jej stopami pogorszenia walorów estetycznych metalu.

Dlatego też metodyka uwzględniała umieszczenie każdej z próbek czterech materiałów (Cu-ETP, CuZn37, CuSn6, CuNi12Zn24) w szczelnie zamkniętych pojemnikach nad roztworem wytypowanego preparatu dezynfekcyjnego o stężeniu i składzie chemicznym dostosowanym do odkażania wyrobów o powierzchniach dotykowych (m.in. klamki, uchwyty, blaty, powierzchnie stolików przyłóżkowych, stojaki na kroplówki) na określony czas (15 min – 24 h), po upływie którego dokonywano okiem nieuzbrojonym analizy stanu powierzchni materiałów. Pozytywny wydźwięk zrealizowanych badań zawierał się w możliwości wskazania preparatów dezynfekcyjnych, które charakteryzują się z jednej strony wysokimi zdolnościami bójcymi, odkażającymi, z drugiej zaś nie powodują korozji miedzi i jej stopów, tj. nie wpływają na pogorszenie walorów estetycznych materiałów. Tym samym środki na bazie substancji czynnych, takich jak czwartorzędowe związki amoniowe, glukoprotamina, fenole (z wyjątkiem brązu cynowego CuSn6) oraz kombinacje alkoholi (m.in. n-propanol i etanol – za wyjątkiem stopu CuSn6), stanowią bezpieczny kompromis pomiędzy skutecznością dezynfekcyjną w eliminacji mikroorganizmów a brakiem wpływu aktywatorów na niekorzystną z aplikacyjnego punktu widzenia miedzi i jej stopów korozję, w szczególności w kontekście zastosowań materiałów na wyroby dotykowe.

Wnioski płynące z przeprowadzonych badań stoją w awangardzie do zarzutów, jakie często pojawiają się względem wyrobów przeciwbakteryjnych z miedzi, że w miarę ich utleniania, korozji czy rysowania powierzchni tracą one swoje prozdrowotne zdolności do eliminacji chorobotwórczych mikroorganizmów. Zaprezentowane w niniejszej monografii rezultaty badań wskazują jednoznacznie, że jest wręcz odwrotnie, a miedź i jej stopy są skutecznymi narzędziami w eliminacji groźnych dla zdrowia drobnoustrojów, z którymi nie potrafią sobie dziś poradzić najbardziej zaawansowane metody farmakologiczne.

Przedstawiona w niniejszej monografii interdyscyplinarna problematyka badawcza ukierunkowana została w głównej mierze na aspekty materiałowe w zakresie doboru optymalnego pod względem właściwości użytkowych stopu miedzi (m.in. odpornego na korozję potu rąk ludzkich, o wysokich właściwościach przeciwdrobnoustrojowych), ale także mikrobiologiczne pod kątem skuteczności materiałów na osnowie Cu w eliminacji drobnoustrojów, w szczególności tych typowych dla polskich jednostek opieki zdrowotnej oraz społeczne z uwagi na ogólnokrajowy problem zakażeń szpitalnych i infekcji bakteryjnych nabywanych przez ludzi w miejscach użyteczności publicznej. Ponieważ główny nurt badań nad zagadnieniami miedzi przeciwdrobnoustrojowej związany był z najbardziej nurtującymi problemami dotyczącymi doboru i eksploatacji tego typu materiałów w kontekście ich skuteczności

przeciwdrobnoustrojowej to uzyskane wyniki mają wysoką wartość poznawczą i aplikacyjną i mogą zostać w pełni wykorzystane do produkcji wyrobów gotowych z miedzianymi powierzchniami przeciwbakteryjnymi jako gotowe *know-how*. W szczególności interesujące z punktu widzenia krajowych producentów półwyrobów hutniczych są rezultaty badań nad różnymi gatunkami miedzi i jej stopami z punktu widzenia ich właściwości technologicznych i możliwości przetwórstwa w procesach realizowanych zarówno na gorąco, jak i na zimno. Z kolei dla grupy producentów wyrobów gotowych – wyniki badań w zakresie odporności antykorozyjnej różnych stopów miedzi pod wpływem ekspozycji potu rąk ludzkich, a także obróbki powierzchni tych materiałów na drodze procesów termicznych, mechanicznych i chemicznych, które dodatkowo wsparte zostały kompleksową analizą właściwości przeciwdrobnoustrojowych tych materiałów w kontakcie z bakteriami typowymi dla krajowych miejsc użyteczności publicznej. Tym samym należy stwierdzić, że osiągnięte wyniki prac eksperymentalnych stwarzają potencjał ich praktycznego wykorzystania jako wytyczne konkretnych technologii produkcji wyrobów z powierzchniami dotykowymi dedykowanymi dla krajowych jednostek opieki zdrowotnej i miejsc użyteczności publicznej.

Należy wyraźnie podkreślić, że wynikiem przedstawionych w monografii użytecznych prac nad doбором optymalnego pod względem funkcjonalnym i wytrzymałościowym materiału, a także wyrazem opracowanej technologii wytwarzania półwyrobów hutniczych, ich przeróbki plastycznej, a także technologii łączenia stał się zainstalowany na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH demonstracyjny system w postaci balustrady i poręczy schodowych wykonanych z przeciwdrobnoustrojowego stopu miedzi. Tym samym ta prozdrowotna instalacja spotkała się z bardzo pozytywnym przyjęciem ze strony całej społeczności akademickiej, a całe wydarzenie dzięki szerokiej akcji promocyjnej w środkach masowego przekazu sprawiło, że tematem miedzi przeciwdrobnoustrojowej pod kątem wyrobów gotowych zainteresowali się czołowi polscy producenci armatury sanitarnej, wyposażenia medycznego i elementów architektury wnętrz. Wysoko zatem należy ocenić potencjał wyników uzyskanych w ramach pracy, które z uwagi na ich szerokie rozpropagowanie nie tylko w naukowych, ale także branżowych czasopismach sprawiły, że tematem miedzi przeciwdrobnoustrojowej żywo zainteresował się polski przemysł.

Ideą niniejszego opracowania było przedstawienie stanu badań literaturowych i eksperymentalnych nad problemami związanymi z użytkowaniem wyrobów przeciwbakteryjnych z miedzi i jej stopów. Zasadnicza uwaga skoncentrowana została na kwestii odporności korozyjnej metalu w kontakcie z potem rąk ludzkich, powietrzem atmosferycznym oraz preparatami do dezynfekcji powierzchni stosowanymi w krajowych jednostkach opieki zdrowotnej, a także na zagadnieniach z zakresu inżynierii powierzchni dotyczących obróbki mechanicznej i zwilżalności oraz problemie uwalniania alergennego niklu ze stopów Cu-Ni, gdyż te tematy w największym stopniu wpływają na powszechne postrzeganie przeciwdrobnoustrojowych miedzianych powierzchni dotykowych. Niniejsza monografia nie wyczerpuje, rzecz jasna, wszystkich aspektów tak zdefiniowanej problematyki, a stanowi jedynie próbę ich kompleksowego, interdyscyplinarnego przedstawienia. Literatura poświęcona zagadnieniom aktywności przeciwbakteryjnej miedzi i jej stopów oraz procesom kształtowania właściwości wynikających z natury materiałowej metalu jest bardzo wszechstronna i z roku na rok obejmuje wciąż wzrastającą liczbę naukowych i branżowych publikacji poświęconych tym kwestiom. Obserwowane, zwłaszcza w ostatnich latach, rosnące zainteresowanie powierzchniami dotykowymi wykonanymi z materiałów o immanentnych właściwościach przeciwdrobnoustrojowych, stanowiących odpowiedź na rosnącą rokrocznie liczbę zakażeń nabywanych przez ludzi w miejscach użyteczności publicznej, to z punktu widzenia społecznej gospodarki rynkowej temat szczególnie i warty najwyższej uwagi.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

5.1. Informacje ogólne

Jestem absolwentką Wydziału Metali Nieżelaznych na kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji (czerwiec 2008 r.). Pracę magisterską pt. „Parametryzacja cech materiałowych miedzi w gatunku ETP z linii Contirod i OFC z linii Upcast poddanych procesom obróbki cieplnej i odkształcenia” realizowałam pod opieką naukową prof. dr hab. inż. Tadeusza Knycha, a recenzentem dysertacji była prof. nadzw. dr hab. inż. Beata Smyrak. Tematyka pracy dotyczyła badań nad kształtowaniem stanu strukturalnego oraz własności mechanicznych i elektrycznych walcówek i prętów wytwarzanych w zakładzie KGHM Polska Miedź S.A. Rozprawa nawiązywała bezpośrednio do zagadnień materiałoznawczo-technologicznych, z którymi zapoznałam się w trakcie miesięcznej praktyki zawodowej (sierpień 2007 r.) w Hucie Miedzi Cedynia w Orsku. Tematyka zawarta w pracy została zaprezentowana m.in. na VI seminarium naukowym „Zintegrowane Studia Podstaw Deformacji Plastycznej Metali” w Łąncucie oraz III Międzynarodowej Konferencji Ciągarskiej w Zakopanem.

Zainteresowanie problematyką badawczą miedzi stosowanej w aplikacjach technicznych ukształtowane w toku studiów oraz w ramach uczestnictwa w kolejnych czterotygodniowych praktykach studenckich (m.in. w zakładach Hutmen S.A. we Wrocławiu – lipiec 2007 r. oraz Tele-Fonika Kable S.A. w Krakowie – lipiec 2008 r.) spowodowało, że w październiku 2008 roku rozpoczęłam studia doktoranckie na macierzystym wydziale. Ukończyłam je planowo w 2012 roku przedkładając Radzie Wydziału Metali Nieżelaznych rozprawę doktorską pt. „Wpływ parametrów odlewania na kształtowanie cech materiałowych miedzi beztlenujonej do wysokozaawansowanych aplikacji w elektronice i elektrotechnice”, za którą w 2013 roku uzyskałam z wyróżnieniem stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie metalurgia. Promotorem dysertacji był prof. dr hab. inż. Tadeusz Knych, a recenzentami prof. dr hab. inż. Ferdynand Romankiewicz (Uniwersytet Zielonogórski) i prof. dr hab. inż. Józef Zasadziński (AGH). Wyniki uzyskane w trakcie realizacji pracy doktorskiej zostały opublikowane w 29 artykułach naukowych, w tym 4 w czasopismach z listy JCR (zgodnie z wykazem Biblioteki Głównej AGH: <https://bpp.agh.edu.pl/autor/walkowicz-monika-06155>) i zaprezentowane na 38 konferencjach naukowych, w tym 18 międzynarodowych i 20 krajowych (zgodnie z danymi BG AGH). W tym czasie zostałam nagrodzona dwoma nagrodami: Marshall V. Yokelson Memorial Medal Award (za pracę pt. „*Research on the influence of the structural state of Cu-ETP wire rod on the annealing susceptibility of wires*” wygłoszoną na International Technical Conference w Monterrey, Meksyku, 2010 r.) i Silver Certificate Award (za pracę pt. „*Dynamic recrystallization of continuous cast copper wire rod and the rapid tensile test*” wygłoszoną na konferencji Interwire w Atlancie, USA, 2012 r.) oraz otrzymałam dwa stypendia finansowane ze środków Unii Europejskiej tj. „Małopolskie Stypendium Doktoranckie” (2009 r.) oraz „Doctus – Małopolski fundusz stypendialny dla doktorantów” (2010 r., 12 miejsce spośród 273 uczestników). W 2012 roku uzyskałam wyróżnienie Marszałka Województwa Małopolskiego za dorobek naukowy. W trakcie studiów doktoranckich brałam aktywny udział w 20 projektach badawczych, w tym własnym grantie promotorskim przyznany przez Narodowe Centrum Nauki (2011-2013 r.). Moje zainteresowania badawcze od początku współpracy z Profesorem Tadeuszem Knychem skupione były wokół zagadnień materiałowych związanych z technologiami wytwarzania i przetwarzania metali nieżelaznych, ich własnościami i aplikacjami. W szczególności koncentrowały się wokół prac użytkowych nad wybranymi gatunkami miedzi wysokiej czystości chemicznej dotyczącymi m.in. wpływu zawartości tlenu na kruchość wodorową kabli ognioodpornych (współpraca z Tele-Foniką Kable S.A.), wpływu składu chemicznego katod na kształtowanie własności walcówek ze szczególnym uwzględnieniem podatności do wyżarzania (współpraca z Hutą Miedzi „Legnica”), wpływu sposobów profilowania podkładek katodowych na ich płaskość i sztywność (współpraca w Hutą Miedzi „Głogów I”) oraz określenia przyczyn i mechanizmów zużycia bloczków zaporowych w procesie odlewania na maszynie Hazelett (współpraca z Hutą Miedzi „Cedynia”). W 2013 roku zostałam zatrudniona na

stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego w Katedrze Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa Metali Nieżelaznych, a od 2017 roku pracuję na stanowisku adiunkta w macierzystej jednostce.

5.2. Działalność naukowo-badawcza i ekspercka

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, moja działalność naukowo-badawcza nadal pozostaje związana z metalurgią, przetwórstwem i inżynierią materiałową metali nieżelaznych. Dominującymi kierunkami są:

- Zastosowanie stopów miedzi na powierzchnie dotykowe o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych – zainteresowanie tą tematyką datuję na 2012/2013 rok, kiedy pod auspicjami Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości powstało konsorcjum badawcze „Cu+” skupiające 11 polskich wiodących zakładów przemysłowych oraz 2 jednostki naukowe, którego wspólnym celem było opracowanie ogólnokrajowej strategii na rzecz upowszechniania produktów z miedzi przeciwbakteryjnej. Cel ten realizowany był poprzez stworzenie szerokiego forum wymiany wiedzy i doświadczeń dla kadry kierowniczej, technologów i inżynierów oraz handlowców z zakładów metalurgiczno-przetwórczych miedzi i jej stopów, wytwórców produktów z branży medycznej i budowlanej oraz ośrodków naukowych. Realizowano go na drodze zamawianych autorskich warsztatów materiałoznawczo-technologicznych poświęconych miedzi o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych, których byłam współautorem i współprowadzącym (por. zał. 4 – III A1). W ich następstwie oraz w ślad za sprecyzowanym, uzasadnionym w warunkach rynkowych asortymentem wyrobów i stawianym im wymaganiom oraz w wyniku inwentaryzacji parku maszynowego krajowych zakładów produkcyjnych opracowane zostały założenia technologii wytwarzania nowych stopów miedzi oraz wyrobów i uruchomiona została w kraju ich produkcja (por. zał. 4 – II B4, B5). Niemniej jednak niezależnie od rozwiązanych aspektów technicznych, wiele zagadnień – zwłaszcza o charakterze naukowym – związanych bezpośrednio ze specyfiką miedzi jako materiału metalicznego oraz charakterystyką zagrożeń bakteriologicznych w polskich miejscach użyteczności publicznej, pozostało bez rozwiązania.

Potrzeba uzyskania odpowiedzi na kolejne kwestie spowodowała, że kontynuacją rozwoju omawianej tematyki stał się projekt badawczo-rozwojowy pt. „*Badania nad przeciwdrobnoustrojowymi właściwościami miedzi i jej stopów na wyroby o powierzchniach dotykowych do zastosowań w jednostkach opieki zdrowotnej*” finansowany ze środków NCBiR w ramach III Programu Badań Stosowanych. Pełniąc w latach 2015-2018 funkcję jego kierownika koordynowałam prace utworzonego przez Wydział Metali Nieżelaznych AGH, Katedrę Mikrobiologii Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum oraz Europejski Instytut Miedzi konsorcjum „Antybakter”. Uzyskane w toku projektu wyniki przedstawiono w szeregu publikacji naukowych traktujących m.in. o zagadnieniach korozji stopów miedzi („*Impact of oxidation of copper and its alloys in laboratory-simulated conditions on their antimicrobial efficiency*”), czy też będących jej bezpośrednim następstwem skuteczności przeciwbakteryjnej metalu („*Antimicrobial properties of selected copper alloys on Staphylococcus aureus and Escherichia coli in different simulations of environmental conditions: with vs. without organic contamination*”). Rezultaty jeszcze innych badań – przykładowo – warstw tlenkowych na powierzchni miedzi metodą katodowej redukcji, uwalniania niklu ze stopów Cu o różnych kompozycjach chemicznych i stanach umocnienia, pomiarów kąta zwilżania powierzchni po zabiegach obróbki termiczno-chemicznej, prezentowałam na licznych konferencjach w kraju i za granicą, czego wyrazem były m.in. wyróżnienia za referaty bądź to o charakterze naukowym, bądź popularyzatorskim (por. zał. 4 – III D1).

Równoległe do prac projektowych rozwijając wciąż tematykę miedzi przeciwdrobnoustrojowej pełniłam w latach 2016-2018 funkcję kierownika prac o charakterze eksperckim (por. zał. 4 – III M5, M6, M8). Dotyczyły one zarówno badań ukierunkowanych na optymalizację własności materiałowych stopów miedzi przeznaczonych na przeciwbakteryjne powierzchnie dotykowe, jak również prowadzone były pod kątem oceny możliwości zastosowania wybranych technologii z grupy przetwórstwa plastycznego, odlewnictwa i technik obróbki skrawaniem do produkcji konkretnych wyrobów. Prace te miały także typowo naukowy charakter, gdyż przykładowo w ich wyniku powstał pod moim kierownictwem projekt nowej polskiej normy pt. *„Przeciwdrobnoustrojowe powierzchnie dotykowe -- Ilościowa metoda określania działania przeciwdrobnoustrojowego nieporowatych powierzchni dotykowych”* dotyczący metodyki badań mikrobiologicznych nad właściwościami przeciwdrobnoustrojowymi miedzi i jej stopów jako nowy temat PKN zgodnie z procedurą R2-P3. Wyniki tych badań stały się inspiracją do ubiegania o grant dziekański pt. *„Kształtowanie i badania zwilżalności powierzchni miedzi i jej stopów”*, który finansowany przez MNiSW na badania naukowe i prace rozwojowe młodych naukowców został mi przyznany w 2018 roku. Rezultaty tych prac eksperymentalnych zostały zawarte w przedłożonej monografii stanowiącej podstawę głównego osiągnięcia naukowo-badawczego. Tym samym merytorycznie uzupełniały i kontynuowały zagadnienia realizowane przeze mnie w ramach działalności statutowej WMN AGH finansowanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Mowa w tym przypadku o kierowanych przeze mnie zadaniach pt. *„Badania zwilżalności powierzchni materiałów metalicznych w aspekcie poprawy jakości wyrobów gotowych”* (2017 r.) i *„Badania materiałowe miedzi i stopów miedzi o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych”* (2018 r.).

Z omawianą tematyką przeciwdrobnoustrojowych stopów miedzi związane były także moje staże podoktorskie w krajowych ośrodkach o charakterze bądź to akademickim (Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum: 2015-2018 r.), bądź naukowo-badawczym (Europejski Instytut Miedzi: 2014 r.).

Warto nadmienić, że w najbliższym czasie w kraju należy upatrywać dynamicznej implementacji wyrobów z miedzianymi przeciwdrobnoustrojowymi powierzchniami dotykowymi do jednostek opieki zdrowotnej, co stanowić będzie wynik procedowanego aktualnie w NCBR nowego projektu badawczo-rozwojowego realizowanego przez Wydział Metali Nieżelaznych AGH w kooperacji z przedsiębiorstwami produkcyjnymi z sektora budowlanego i medycznego.

- Przetwórstwo miedzi wysokiej czystości na druty i mikrodruty – tematykę zapoczątkowaną w rozprawie doktorskiej kontynuuję w ramach działalności badawczej, publikacyjnej i seminaryjnej. Dotyczy ona głównie wpływu składu chemicznego materiałów wsadowych w gatunku Cu-OFE i Cu-ETP na ich podatność do ciągnięcia oraz analizy parametrów siłowych i umacniania się drutów. Badania koncentrują się także nad określeniem wydatku wody chłodzącej krystalizator oraz prędkości odlewania prętów z miedzi beztlenowej na kształtowanie własności mechaniczno-elektrycznych i stanu strukturalnego materiału po procesie przetwórstwa plastycznego na zimno. Z jednej strony mają charakter prac laboratoryjnych prowadzonych w ramach projektów badawczych i prac statutowych (por. zał. 4 – II J1, J2, J11, J12, J14), których wynikiem są m.in. rozwiązania patentowe (por. zał. 4 – II C1, C2), dokumentacja prac eksperymentalnych (por. zał. 4 – II F2, F5) i eksperckich (por. zał. 4 – III M7). Z drugiej zaś ukierunkowane są na bezpośrednią współpracę z kadrą inżynierską z krajowych zakładów produkcyjnych (por. zał. 4 – II B1, B13, B14) przybierając często postać konsorcjów badawczych (por. zał. 4 – III E1, E6, E8), ale także mając charakter przedsięwzięć gospodarczych realizowanych w kooperacji ze specjalistami/technologami spoza Polski.

Wyrazem ostatniego ze wspomnianych współdziałań jest moje uczestnictwo w programie międzynarodowym „Leonardo Energy” finansowanym przez European Copper Institute w Brukseli w ramach projektu „Copper Academy” polegające na współautorstwie referatu (pt. „*Processing high conductivity materials*”) wygłoszonego na webinarium dla ponad 20 przedsiębiorstw członkowskich ECI (por. zał. 4 – III A2).

Obserwowane w ostatnich latach nowe trendy w produkcji i przetwórstwie metali nieżelaznych na cele elektryczne spowodowały moją wzmożoną aktywność zawodową w realizacji prac zleconych ze strony czołowej krajowej jednostki promującej praktyczne zastosowania miedzi w Polsce – Europejskiego Instytutu Miedzi z Wrocławia. Moja blisko 10-letnia współpraca z EIM, po uzyskaniu stopnia naukowego doktora – w omawianym obszarze – zwróciła się w stronę współautorstwa analiz ukierunkowanych bądź to na symulacje opłacalności ekonomicznej zamiany żył miedzianych na aluminiowe na przykładzie kabli i przewodów elektroenergetycznych (por. zał. 4 – III M2), bądź też stanowiących ich uzupełnienie opracowań traktujących o narastającym problemie substytucji Cu przez Al w przemyśle elektrotechnicznym (por. zał. 4 – III M3, M4). Wymienione prace stanowią superpozycją analiz literaturowych i eksperymentalnych badań własnych zespołu z Laboratorium Technologii Przetwórstwa Metali Nieżelaznych pod kierownictwem Profesora Tadeusza Knycha. Ich kompilację wieńczy unikalna, elektroniczna baza danych przewodowych stopów miedzi pt. „*Copper Alloys Knowledge Base*” (dostępna pod adresem: <http://www.conductivity-app.org>) stanowiąca nieodzowne źródło informacji zarówno dla studentów uczelni technicznych, jak i inżynierów i technologów oraz wszystkich osób związanych z branżą metalową (por. zał. 4 – II F1). Pracę tą wsparłam merytorycznie jako autor rozdziałów pt. „*Cu-Overview*”, „*Cu-ETP*” i „*Cu-OFC*”.

Oprócz dominujących kierunków badań naukowych związanych z miedzią – przeciwdrobnoustrojową i wysokoprzewodzącą – prowadzę prace eksperymentalne i eksperckie dotyczące wykorzystania stopów Cu w architekturze (por. zał. 4 – III M9). Analizy dotyczą wpływu stanu powierzchni półwyrobów hutniczych po zabiegach obróbki termicznej, mechanicznej i chemicznej (w tym sztucznej oksydacji) na odporność korozyjną w różnych warunkach atmosferycznych. Odnoszą się także do sposobów przygotowania i zabezpieczenia powierzchni miedzianych elewacji i dachów, sposobów obróbki dekarskiej oraz technologii spawania i lutowania.

- Kształtowanie własności przewodowych stopów aluminium przeznaczonych dla elektroenergetyki – prace realizowane były w ramach projektów badawczych finansowanych przez NCBR i NCN, których celem było opracowanie technologii wytwarzania i przetwarzania wybranych gatunków Al (głównie serii 1xxx, 3xxx, 5xxx, 6xxx i 8xxx) oraz badań struktury i właściwości tak uzyskanych wlewków, walcówek i drutów. Przykładowo dotyczyły wpływu metody obróbki cieplnej na mikrostrukturę stopu Al-Mg-Si, w szczególności na morfologię, rozmiary i stężenie objętościowe głównej fazy umacniającej, a ponadto na właściwości wytrzymałościowe i elektryczne materiału („*Różne drogi zarodkowania metastabilnej fazy „beta bis” w utwardzalnych wydzieleniowo stopach AlMgSi oraz ich wpływ na strukturę i własności*”), jak również wpływu parametrów procesu odlewania, przetwórstwa plastycznego na gorąco i na zimno na odporność cieplną i zespół innych właściwości użytkowych stopów aluminium z cyrkonem („*Opracowanie parametrów technologicznych produkcji drutów przeznaczonych na cele elektryczne ze stopu Al-Zr*”). Ostatnia z przywołanych prac realizowana jest we współpracy międzynarodowej z zakładami przemysłowymi. Uzyskane wyniki opublikowane zostały w szeregu artykułów traktujących ogólnie rzecz ujmując o ewolucji struktury i właściwości stopów aluminium w linii Continuos-Properti. Zainteresowaniem innych

autorów cieszy się praca dotycząca wpływu przesycania i starzenia sztucznego na utwardzanie wydzieleniowe stopów serii 6xxx (por. zał. 4 – II A4) oraz rozwiązanie patentowe dotyczące układu krystalizacji w procesie ciągłego odlewania Al (por. zał. 4 – II C3).

- Parametryzacja cech materiałowych blach ze stopów Zn-Cu-Ti otrzymywanych z taśm odlewanych metodą Huntera – rozwój tematyki spowodowany jest współpracą z Zakładami Metalurgicznymi Silesia (Katowice) w zakresie opracowania nowego produktu rynkowego w postaci blach i taśm ze stopu cynk-tytan (Zn-Cu-Ti), a także technologii ich produkcji. Wyroby te znajdują zastosowanie na pokrycia dachowe, jako zabezpieczenia elementów budynków (gzymsy, parapety okienne, elewacje, balkony, kominy) oraz do wyrobu rynien i rur spustowych. Oryginalność opracowanego w ramach projektu badawczo-rozwojowego („*Opracowanie nowej technologii produkcji blach ze stopów ZnCuTi z taśm odlewanych metodą Huntera*”) wyrobu przejawia się faktem, że ZM Silesia wykorzystująca od 2015 roku nowy produkt w swojej działalności gospodarczej jest jego jedynym producentem w Polsce i jednym z dziewięciu w skali świata. Możliwa dzięki zrealizowaniu tego oryginalnego osiągnięcia projektowo-technicznego (por. zał. 4 – II B9, B10) twórcza zmiana w działalności gospodarczej zakładu polegała na tym, że dotychczasowa produkcja typoszeregu blach i taśm obejmująca energochłonną obróbkę cieplną wsadu do procesu walcowania blach została wyeliminowana, a w jej miejsce zastosowano kombinację wyższej temperatury nagrzewania materiału przed procesem walcowania, większą prędkość jego walcowania, a także większe gnioły jednostkowe w poszczególnych przepustach procesu walcowania. W konsekwencji uzyskano wyrób gotowy o własnościach użytkowych znacznie przewyższających właściwości uzyskiwane przez dotychczas wytwarzane w ZM Silesia blachy. Okres wykorzystania uzyskanych w ramach projektu wyników badań i ich stosowania w praktyce przemysłowej jest rzecz jasna nieograniczony w czasie. Niezależnie od tego rezultaty badań nad przedmiotowym zagadnieniem stały się podstawą dwóch będących w toku procedowania w Europejskim Urzędzie Patentowym (Monachium) zgłoszeń międzynarodowych („*Fabrication method of flat-rolled products made of zinc-base alloys intended for use in building engineering*”, „*Fabrication method of strips and sheets made of Zn-Cu-Ti alloys designed for building industry*”). Zagadnienia wpływu grubości materiału wsadowego, schematu gniołów i temperatury w procesie walcowania nawrotnego na strukturę i własności wyrobów płaskich ze stopu cynk-tytan są także przedmiotem artykułów naukowych opublikowanych w krajowych i zagranicznych czasopismach naukowych (por. zał. 4 – II E17, E21).
- Badania nad opracowaniem technologii i wdrożeniem do produkcji pełnej gamy asortymentowej drutów ze stopów Zn-Al przeznaczonych do ochrony korozyjnej metodą metalizacji natryskowej – realizacja prac badawczych w warunkach przemysłowych ZM Silesia S.A. i laboratoryjnych AGH WMN realizowana jest w ramach nowo uruchomionego w 2018 roku projektu badawczego z konkursu „Szybka Ścieżka” współfinansowanego przez NCBiR. Całość wykonanych do tej pory prac eksperymentalnych pozwoliła na zaprojektowanie procedur syntezy metalurgicznej stopów ZnAl₂, ZnAl₄, ZnAl₁₅ i ZnAl₂₂ pod kątem uzyskania pożądanych parametrów jakościowych ciekłego metalu, a także na opracowanie technologii odlewania, przeróbki plastycznej na gorąco w procesie walcowania, przeróbki plastycznej na zimno w procesie ciągnięcia oraz obróbki cieplnej walcówki i drutów z przedmiotowych stopów pod kątem uzyskania materiału o właściwej kompozycji chemicznej, strukturze i własnościach (por. zał. 4 – II B28-B32). Tym samym uzyskana wiedza know-how stworzyła podstawy do badań materiałowych odlewów Zn-Al, które wytwarzane będą w oparciu o wypracowane parametry techniczno-technologiczne na nowej linii demonstracyjnej COiW metodą Continuos-

Properzi. Wyniki prac zrealizowanych w ramach omawianego projektu zostały już częściowo zaprezentowane na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych (zał. 4 – III B16, B17, B18) i są przedmiotem publikacji naukowej w trakcie procesu recenzowania w czasopiśmie z listy JCR – *Archives of Metallurgy and Materials* („*Impact of the heat treatment parameters on microstructure, mechanical properties and workability of ZnAl15 alloy wire rod*”).

Reasumując – przedstawiony dorobek naukowy w dużej mierze jest rezultatem realizacji prac zleconych i projektów badawczych, w których pełniłam rolę kierownika, głównego wykonawcy lub wykonawcy. Dotychczas brałam aktywny udział w 9 ekspertyzach (por. zał. 4 – III M) dla podmiotów gospodarczych, kierując sześcioma z tych prac oraz w 19 projektach (por. zał. 4 – II J, III F), z czego w 2 pełniłam rolę kierownika, natomiast w 4 – kierownika zadania. Prace te były realizowane w ramach 10 konsorcjów badawczych (por. zał. 4 – III E), które koncentrowały krajowe jednostki naukowe i producentów z branży metalurgiczno-przetwórczej.

Wyniki uzyskane w prowadzonych przeze mnie badaniach, często o charakterze interdyscyplinarnym wniosły wiele istotnych wartości do teorii i praktyki nauk technicznych, ale także medycznych i humanistycznych. Mogą być wykorzystane w wielu dziedzinach metalurgii, przeróbki plastycznej i metaloznawstwa, a także inżynierii materiałowej, w tym inżynierii powierzchni, a nawet mikrobiologii lekarskiej. Z tego powodu prezentowane były zarówno na typowo naukowych seminariach, jak i konferencjach o charakterze popularyzatorskim. W szczególności spośród 30 wygłoszonych przeze mnie w latach 2013-2019 referatów (por. zał. 4 – II L) 16 zaprezentowanych zostało na sympozjach międzynarodowych, takich jak m.in. EMC: European Metallurgical Conference (2013, 2017), TMS: Annual Meeting & Exhibition (2017, 2018), EUROMAT: European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes (2017), czy MS&T: Materials Science & Technology Conference and Exhibition (2017), a 14 wystąpień miało miejsce na krajowych seminariach takich jak m.in. SIM: Szkoła Inżynierii Materiałowej (2013), OMIS: Odształcalność Metali i Stopów (2013, 2015, 2017) oraz PLASTMET: Zintegrowane Studia Podstaw Deformacji Plastycznej Metali (2016).

W związku z powyższym, wyniki zrealizowanych przeze mnie prac eksperymentalnych i przeglądowych opublikowane zostały w czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym i krajowym (23 publikacje + 4 w czasopismach z listy JCR), monografiach (5 rozdziałów) oraz w materiałach konferencyjnych (50). Spośród ww. 32 prac oryginalnych 24 opublikowałam jako pierwszy autor. Jestem także współautorką 3 patentów krajowych i dwóch zgłoszeń patentów europejskich. Analiza bibliometryczna (stan z dn. 16.04.2019 r.) wskazuje, że po uzyskaniu stopnia naukowego doktora sumaryczny Impact Factor publikacji wynosi 13,042 (zgodnie z rokiem opublikowania), a łączna punktacja MNiSW = 288. Poniżej w tabeli 1 zestawiono dane dotyczące liczby cytowań i indeks Hirscha według różnych baz danych.

Tabela 1. Wskaźniki bibliometryczne

Stan z dn. 16.04.2019 r.			
	Scopus	Web of Science	Publish or Perish / Google Scholar
Liczba cytowań	11	6	56
Liczba cytowań bez autocytowań	6	5	22
Indeks Hirscha	2	2	5
	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora	Razem
Liczba publikacji	29	32	61
Sumaryczny IF	1,335	13,042	14,377
Sumaryczna punktacja MNiSW	147	288	435

Całość moich dokonań naukowych dopełnia członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych: Międzynarodowym Stowarzyszeniu Ciągarskim w Polsce (The Wire Association International – Poland Chapter), TMS: The Minerals, Metals & Materials Society oraz Stowarzyszeniu Inżynierów i Techników Metali Nieżelaznych – SITMN.

5.3. Działalność organizacyjna i popularyzatorska

Poza działalnością naukowo-badawczą od początku pracy w Katedrze Przeróbki Plastycznej i Metaloznawstwa Metali Nieżelaznych zajmuję się działaniami organizacyjnymi na rzecz Wydziału Metali Nieżelaznych.

Od 2016 roku jestem opiekunem studentów I roku studiów stacjonarnych pierwszego stopnia na kierunku „Zarządzanie i Inżynieria Produkcji”. W tym celu zapewniam stałą i wszechstronną pomoc w studiowaniu i rozwoju studentów, na bieżąco rozwiązuję i pilotuję indywidualne i grupowe problemy zgłaszane przez młodzież oraz służę pomocą we wdrażaniu do toku studiów i życia w Uczelni.

W roku akademickim 2016/2017 byłem członkiem Wydziałowej Komisji ds. Egzaminów Kierunkowych i Egzaminów Dyplomowych Inżynierskich dla kierunku dyplomowania studentów „Zarządzanie i Inżynieria Produkcji”. Do moich obowiązków należało przeprowadzanie dyplomowych i kierunkowych egzaminów inżynierskich oraz kwalifikacji na studia II stopnia. W 2016 roku decyzją Dziekana WMN AGH zostałam powołana na funkcję sekretarza i członka Wydziałowej Komisji ds. Egzaminów Kierunkowych i Egzaminów Dyplomowych Inżynierskich dla kierunku dyplomowania studentów „Metalurgia” (specjalność: Przeróbka Plastyczna oraz Metalurgia Metali Nieżelaznych) na czteroletnią kadencję. Charakter mojej pracy – oprócz wymienionych wyżej zadań – obejmuje także przygotowywanie i prowadzenie pełnej dokumentacji sprawozdawczej z prac Komisji.

Pełnię również funkcję przedstawiciela kierunku dyplomowania „Metalurgia” w Wydziałowym Zespole ds. Jakości Kształcenia (kadencja 2016-2020). W ramach prac mających na celu poprawę szeroko rozumianego procesu dydaktycznego w środowisku akademickim uczestniczę w badaniach ankietowych przeprowadzanych wśród studentów macierzystej jednostki oraz współtworzę Roczny Raport Samooceny Wydziału.

Jestem autorem i prelegentem zamawianego przez Dziekana Wydziału Metali Nieżelaznych referatu pt. „*Nieodkryte obszary możliwości miedzi*”, który poprowadziłam dwukrotnie: na uroczystej Inauguracji Roku Akademickiego 2018/2019 na WMN AGH (12.10.2018) oraz na uroczystym wręczeniu dyplomów absolwentom studiów II stopnia na WMN AGH (14.12.2018). Obie uroczystości odbyły się w Auli Głównej Akademii Górniczo-Hutniczej z udziałem zaproszonych gości.

W 2014 r. byłem członkiem komitetu naukowego, a także organizatorem i prowadzącym sesje tematyczne pt. „*Nauki inżynierskie*” na konferencji „*Wpływ młodych naukowców na osiągnięcia polskiej nauki – V edycja*” w Krakowie. Charakter mojego udziału obejmował także organizację konkursu na najlepszy referat i poster przedstawiony na seminarium i sprawowanie funkcji przewodniczącego zespołu konkursowego.

Także w 2014 roku pełniłam funkcję redaktora naczelnego monografii naukowej pt. „*Metodologia badań wykorzystywanych przez młodych naukowców*” (ISBN 978-83-63058-41-8), która nakładem wydawnictwa Creativetime zawiera 33 recenzowane rozdziały obejmujące swoją tematyką badawczą przekrojowość i różnorodność autorskich rozwiązań metodycznych w dziedzinie nauk technicznych.

Oprócz działań o charakterze organizacyjnym angażuję się w prace, których celem jest popularyzacja nauki, a w konsekwencji promocja Wydziału Metali Nieżelaznych i całej Akademii Górniczo-Hutniczej (por. zał. 4 – III I6-I11). Z dużym powodzeniem ze strony mediów spotkało się kierowane przeze mnie w I półroczu 2018 roku wydarzenie instalacji na WMN AGH przeciwdrobnoustrojowego systemu w postaci balustrady i poręczy schodowych (zagadnienie stanowi temat przewodni rozdziału ósmego monografii „*Miedź przeciwdrobnoustrojowa. Materiały –*

Powierzchnie dotykowe – Aplikacje”). System oddany oficjalnie do użytku całej społeczności akademickiej w dniu 16 kwietnia 2018 roku przez Prorektor AGH ds. Współpracy – Profesora Jerzego Lisa i zaproszonych gości dopełniło (w tym samym dniu) seminarium popularnonaukowe w Auli Głównej AGH, podczas którego wygłosiłam prelekcję pt. „*Miedź i stopy miedzi w zastosowaniach na przeciwdrobnoustrojowe powierzchnie dotykowe*”. Całość tematyki miedzi przeciwdrobnoustrojowej oraz powyższego wydarzenia została w oparciu o udzielone przeze mnie wywiady szeroko rozpropagowana w środkach masowego przekazu za pośrednictwem:

- audycji w telewizji:
 - Teleexpress (główne wydanie, 19.04.2018), TVN24 (audycje „*Polska i świat*” – 24.04.2018 i „*Wstajesz i weekend*” – 29.04.2018), Platon TV – Platforma naukowej interaktywnej telewizji w sieci Pionier (audycja „*Czas nauki*” – reportaż „*Bakteriostatyczne poręcze*”, 24.10.2018),
- materiału filmowego w serwisie internetowym You Tube:
 - reportaż „*Akademii miedzi*” pt. „*Badania stopów miedzi*” (19.12.2017),
- audycji w radiu:
 - Radio Kraków (audycja „*Pracują na nobla*” pod red. E. Szkurłat, 21.04.2018), Radio Eska (audycja „*Antybakteryjna poręcz na AGH*” pod red. J. Paducha, 22.04.2018), Radio Plus (reportaż „*Są gładkie, koloru złotego i antybakteryjne...*”, 20.04.2018) oraz w: Anty Radio, Melo Radio, Polskie Radio Białystok, Radio Chillizet, Radio Zet, Radio RMF FM, Radio Tok Fm, Radio Vox Fm (kwiecień – maj 2018),
- publikacji w prasie:
 - Rzeczpospolita (artykuł „*Miedź i jej stopy jako narzędzia wspomagające ograniczenie zakażeń związanych z opieką zdrowotną*”, seria wydawnicza „*Nauka-Technologie-Gospodarka. Rozwój Badań w Medycynie i Biotechnologii*”, 29.09.2017), Magazyn Hutniczy (artykuł „*Pierwsze w Polsce poręcze z przeciwdrobnoustrojowego stopu miedzi. Wydział Metali Nieżelaznych AGH w Krakowie*”, 8-15.05.2018), Biuletyn AGH (artykuł „*Poręcz która zabija bakterie*”, maj 2018),
- publikacji w internecie:
 - kwiecień 2018 – strony internetowe: AGH, AGH WMN, Antimicrobial Copper, Biuletyn Informacyjny Studentów AGH, Copper Alliance, Dziennik Polski 24, Gazeta Krakowska, Gazeta Wyborcza, Kraków-Nasze Miasto, Laboratoria Net, Metale-Informator Przemysłu Metali, Mieć Miedź, Nauka Online, Nauka w Polsce-Polska Agencja Prasowa, Oddech Życia, Polish Science, Portal Gospodarka i Ludzie, Puls Biznesu, Rzeczpospolita, Rynek Zdrowia, Świat OZE, Twoje Zdrowie RMF24, Wirtualna Polska Tech, Wykop, Wyposażenie Medyczne,

przyczyniając się tym samym do promocji mojej Alma Mater. Za wyżej opisaną działalność naukową i upowszechnianie wiedzy otrzymałam w kwietniu 2019 roku Zespołową Nagrodę Rektora AGH (por. zał. 4 – II K2).

5.4. Działalność dydaktyczna

Moja praca w AGH ma w bardzo dużej mierze charakter działań dydaktycznych ukierunkowanych na edukację, szerzenie wiedzy i świadomości w zakresie zagadnień związanych z szeroko rozumianą metalurgią i przetwórstwem plastycznym metali nieżelaznych oraz inżynierią produkcji wśród przyszłych inżynierów (por. zał. 4 – III II-15).

Na co dzień realizuję autorski program nauczania w ramach przedmiotów: „Dobór metali do różnych zastosowań” (wykład i ćwiczenia projektowe), „Ergonomia” (ćwiczenia audytoryjne), „Organizacja systemów produkcyjnych” (wykład), „Procesy i techniki produkcyjne I” (ćwiczenia

audytoryjne), „Procesy i techniki produkcyjne II” (ćwiczenia audytoryjne), „Technologie informacyjne” (ćwiczenia laboratoryjne), „Technologie w przemyśle kablowym” (ćwiczenia projektowe), „Technologie wytwarzanie kompozytów metalowych” (ćwiczenia projektowe), „Technologie wytwarzania wyrobów z metali nieżelaznych” (ćwiczenia projektowe), „Teoria procesów przeróbki plastycznej” (ćwiczenia audytoryjne i projektowe), „Wdrożenia i patenty” (wykład i ćwiczenia projektowe) oraz „Zarządzanie jakością i bezpieczeństwem” (ćwiczenia audytoryjne). Zajęcia prowadzone są dla studentów Wydziału Metali Nieżelaznych na kierunkach „Metalurgia” oraz „Zarządzanie i Inżynieria Produkcji” w oparciu o opracowane przeze mnie programy kształcenia w formie sylabusów. W wyniku ukończonego w 2017 roku szkolenia certyfikującego „*E-learning akademicki*” wdrażam stopniowo udostępnianie studentom materiałów do zajęć w formie cyfrowej oraz wymieniam z nimi opinie na temat treści i jakości prowadzonych przeze mnie zajęć dydaktycznych m.in. za pomocą platformy elektronicznej „*Mentimeter*”. Działania te mają na celu ciągle doskonalenie i uatrakcyjnianie zakresu merytorycznego wykładów i ćwiczeń, a także zachęcenie młodzieży do twórczego i samodzielnego myślenia.

Od 2013 roku jestem współautorem i współkoordynatorem przedmiotu „Technologie informacyjne” dla kierunku studiów I stopnia „Zarządzanie i Inżynieria Produkcji” na Wydziale Metali Nieżelaznych. W tym celu w oparciu o autorski plan zajęć opracowałam kompendium komputerowych ćwiczeń laboratoryjnych oraz stworzyłam elektroniczną wersję materiałów i pomocy dydaktycznych zawierających najważniejsze elementy ćwiczeń, a także udostępniłam je studentom w formacie plików pdf (Walkowicz M., Osuch P.: „*Technologie informacyjne. Ćwiczenia laboratoryjne dla studentów I roku na kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH*”, Kraków).

Jestem członkiem wydziałowego zespołu odpowiedzialnego za opracowanie nowego programu kształcenia studentów na studiach I i II stopnia na kierunku „Inżynieria produkcji i zarządzanie jakością”. Do zakresu moich obowiązków należy: współautorstwo listy przedmiotów (tytuły i programy studiów) podstawowych kierunkowych oraz bloków specjalizacji na poszczególnych latach oraz poziomach studiów stacjonarnych na WMN AGH, które wdrożone zostaną od października 2019 r., opracowanie sylabusów oraz materiałów prezentacyjnych do przedmiotów obowiązujących na nowym kierunku.

W ramach działalności o charakterze edukacyjnym, począwszy od 2012 roku do dziś organizuję wycieczki dydaktyczne dla studentów studiów I i II stopnia na Wydziale Metali Nieżelaznych do zakładów metalurgiczno-przetwórczych z branży metali nieżelaznych (Eltrim Kable, KGHM Polska Miedź S.A. - Huta Miedzi Cedynia, NPA Skawina, Tele-Fonika Kable, ZM Silesia). Moje działania ukierunkowane są na zaplanowanie i zorganizowanie zwiedzania zakładów przemysłowych podczas których studenci mają cenną możliwość uzupełnienia wiedzy teoretycznej nabytej na AGH poprzez zapoznanie się z praktycznymi aspektami technologii produkcji półwyrobów i wyrobów metalowych (z punktu widzenia procesów i urządzeń), ich własnościami i aplikacjami.

W toku prac na Uczelni angażuję się w opiekę naukową nad studentami studiów stacjonarnych – zarówno I, jak i II stopnia – na macierzystym wydziale. Do tej pory pełniłam funkcję promotora 55 prac naukowych, z których 20 ma status rozpraw magisterskich, a 35 inżynierskich (por. zał. 4 – III J1, J2). Zrealizowane dysertacje dotyczą zagadnień materiałowych związanych z szeroko rozumianym kształtowaniem własności użytkowych metali nieżelaznych otrzymywanych metodami odlewania i przeróbki plastycznej.

Pełnię funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr inż. Małgorzaty Zasadzińskiej. Problematyka pracy pt. „*Badanie przyczyn i mechanizmów ograniczających odkształcalność miedzi w rzeczywistych warunkach technologicznych*” stanowi bezpośrednie nawiązanie i kontynuację tematyki podjętej w mojej rozprawie doktorskiej zarówno w aspekcie podatności do przetwórstwa, jak i odporności cieplnej drutów z miedzi najwyższej czystości chemicznej.

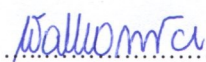
5.5. Podsumowanie

Reasumując, na całość moich osiągnięć naukowo-badawczych, dydaktycznych i organizacyjno-popularyzatorskich po uzyskaniu stopnia naukowego doktora składa się:

- monografia: 1,
- publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports: 4 o łącznej wartości bibliometrycznej: Impact Factor = 13,042, MNiSW = 130,
- publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych i krajowych innych niż znajdujące się w bazie JCR oraz rozdziały w monografiach: 28,
- wygłoszenie referatów na konferencjach naukowych: 30 (w tym 16 międzynarodowych i 14 krajowych),
- współautorstwo referatów wygłoszonych na konferencjach naukowych: 18 (w tym 11 międzynarodowych i 7 krajowych),
- zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne: 33,
- patenty: 3 krajowe i 2 zgłoszenia międzynarodowe,
- opracowanie zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych: 5,
- udział w projektach badawczo-rozwojowych jako główny wykonawca i wykonawca: 13,
- kierowanie projektami badawczo-rozwojowymi: 2,
- kierowanie zadaniami w projektach realizowanych w ramach działalności statutowej: 4,
- kierowanie pracami zleconymi i eksperckimi: 6,
- nagrody za działalność naukową: 2,
- nagrody za działalność popularyzatorską: 1,
- uczestnictwo w programach międzynarodowych i krajowych: 2,
- udział w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych: 1,
- udział w konsorcjach badawczych: 10,
- udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism: 1,
- udział w zespołach eksperckich i konkursowych: 2,
- członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych: 3,
- osiągnięcia dydaktyczne: 5,
- osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki: 6,
- opieka naukowa nad studentami: 55 (w tym promotorstwo 20 prac magisterskich i 35 inżynierskich),
- opieka naukowa nad doktorantami w charakterze promotora pomocniczego: 1,
- staże w ośrodkach naukowych lub akademickich: 2,
- inne osiągnięcia, nie wymienione wyżej: 8.

Moje plany rozwoju naukowego na przyszłość koncentrują się na realizacji prac użytecznych, których tematyka nawiązuje do szeroko rozumianego rozwoju krajowej metalurgii, technologii przetwórstwa i inżynierii materiałowej metali nieżelaznych. W pracy zawodowej będę kontynuowała badania nad kształtowaniem własności materiałowych miedzi, aluminium, cynku i innych materiałów inżynierskich dla potrzeb polskiej gospodarki przyczyniając się tym samym do rozwoju nowatorskich rozwiązań technologicznych i myśli technicznej.

Szczegółowy wykaz opublikowanych przeze mnie prac naukowych wraz z informacją o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki stanowi odrębny załącznik (nr 4) do Wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego.


.....
dr inż. Monika Walkowicz