

**ZALĄCZNIK Nr 2**

**Autoreferat w języku polskim**

Dr inż. Tomasz Szymczak  
Politechnika Łódzka  
Wydział Mechaniczny  
Katedra Technologii Materiałowych  
i Systemów Produkcji  
ul. Stefanowskiego 1/15  
90-924 Łódź

## **AUTOREFERAT**

**Przedstawiający dorobek i osiągnięcia naukowe,  
określone w art. 16 ust.2 Ustawy o stopniach naukowych  
i tytule naukowym**

Łódź, 2019 r.

**SPIS TREŚCI**

<b>1. Imię i nazwisko .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych .....</b>	<b>4</b>
<b>4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art.16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789): .....</b>	<b>5</b>
a) Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego .....	5
b) Opis wyników stanowiących osiągnięcie naukowe .....	6
c) Opis wykorzystania osiągniętych wyników.....	16
<b>5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych .....</b>	<b>17</b>
Działalność dydaktyczna .....	23
Dane bibliometryczne .....	24
<b>Literatura .....</b>	<b>25</b>

### 1. Imię i nazwisko

Tomasz Szymczak

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

22.06.2007 **doktora nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa,**  
praca doktorska (z wyróżnieniem) pt. „*Model wzrostu powłoki na stopach żelaza otrzymywanej zanurzeniowo w kąpeli Al-Si i jej połączenia z siluminem wieloskładnikowym*”,  
Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny,  
promotor: prof. dr hab. inż. Stanisław Pietrowski, Politechnika Łódzka.  
recenzent: prof. dr hab. inż. Edward Guzik, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.  
recenzent: prof. dr hab. inż. Piotr Kula, Politechnika Łódzka.

22.02.2002 **magistra inżyniera**  
Praca dyplomowa pt. „*Analiza porównawcza kosztów wytwarzania odlewu tarczy hamulcowej wentylowanej różnymi technologiami odlewniczymi*”  
Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny,  
kierunek: Mechanika i Budowa Maszyn  
promotor: prof. nadzwycz. dr hab. Andrzej Jopkiewicz

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

2007 – do dziś **Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny,**  
Katedra Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji – Adiunkt.

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

a) **Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego**

Jako „osiągnięcie naukowe uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora stanowiące znaczący wkład autora w rozwój określonej dyscypliny naukowej” wskazuję **monografię oraz cykl trzech publikacji pod wspólnym tytułem:**

***Sliluminy podeutektyczne z dodatkiem Cr, Mo, V i W przeznaczone do odlewania pod ciśnieniem części maszyn o podwyższonych właściwościach mechanicznych***

- B1. **Monografia Szymczak T.:** *Wpływ Cr, Mo, V i W na proces krystalizacji i właściwości mechaniczne siluminów podeutektycznych*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2019.

**cykl publikacji:**

- B2. **Szymczak T., Szymczak J., Gumienny G.:** „Statistical methods used in the assessment of the influence of the Al-Si alloy's chemical composition on its properties”, *Archives of Foundry Engineering*. (2018) Vol. 18, Issue 1: 203-211 (MNiSW lista B<sub>2018</sub> = 15 pkt., **publikacja indeksowana w bazach Web of Science i Scopus**).
- B3. **Szymczak T., Szymczak J., Gumienny G.:** „Evaluation of the effect of the Cr, Mo, V and W content in an Al-Si alloy used for pressure casting on its proof stress”, *Archives of Foundry Engineering*. (2018) Vol. 18, Issue 2: 105-111 (MNiSW lista B<sub>2018</sub> = 15 pkt., **publikacja indeksowana w bazach Web of Science i Scopus**).
- B4. **Szymczak T., Szymczak J., Gumienny G.:** „Evaluation of the effect of Cr, Mo, V and W on the selected properties of silumins”, *Archives of Foundry Engineering*. (2018) Vol. 18, Issue 4: 78-82. (MNiSW lista B<sub>2018</sub> = 15 pkt., **publikacja indeksowana w bazach Web of Science i Scopus**).

Oświadczenia wszystkich współautorów publikacji, potwierdzające ich indywidualny wkład w powstanie dorobku zostały umieszczone w Załączniku nr 6.

**b) Opis wyników stanowiących osiągnięcie naukowe**

Aluminium jest pierwiastkiem szeroko wykorzystywanym w przemyśle odlewniczym. W odlewnictwie pierwiastek ten wykorzystuje się w charakterze tworzywa konstrukcyjnego. Ze względu na stosunkowo niskie właściwości mechaniczne czystego aluminium w przemyśle odlewniczym stosuje się głównie stopy wytworzone na jego bazie. Na przestrzeni ostatnich lat stopy aluminium są najczęściej wykorzystywaną do produkcji odlewów grupą stopów po stopach żelaza [1–8]. Widoczny jest również wzrost zainteresowania stopami Al, czego wyrazem jest zwiększająca się światowa produkcja odlewów ze stopów aluminium na przestrzeni ostatnich lat. Ilość przetworzonych w przemyśle odlewniczym stopów aluminium zwiększyła się od 10,2 mln ton w roku 2009 do 17,9 mln ton w roku 2016. W tym okresie zwiększył się również udział produkcji odlewów z tych stopów w ogólnej światowej produkcji odlewów z 12,7% do 17,1%. Wykazane duże zainteresowanie stopami Al powoduje konieczność podejmowania prób badawczych mających na celu jak największy ich rozwój oraz rozszerzenie obszaru stosowania w różnych dziedzinach przetwórstwa i przemysłu.

Jednym z najpopularniejszych odlewniczych stopów Al jest silumin. Jest to stop aluminium z krzemem, który może zawierać również dodatki stopowe. Siluminy charakteryzują się dobrą lejnością, odpornością na korozję, obrabialnością, żaroodpornością, przewodnictwem elektrycznym i cieplnym, niską gęstością ( $\rho \approx 2,7 \text{ g/cm}^3$ ) i rozszerzalnością cieplną oraz małym skurczem odlewniczym. Posiadają one również wysokie właściwości wytrzymałościowe w grupie stopów o niskiej gęstości. Dzięki tym właściwościom siluminy znalazły szerokie zastosowanie szczególnie w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym, elektromaszynowym oraz w produkcji sprzętu gospodarstwa domowego. Problematiczną cechą siluminów jest zdolność do tworzenia się w nich gruboziarnistej mikrostruktury przy stosunkowo wolnym odprowadzaniu ciepła z odlewu. W związku z tym stopów tych na ogół nie stosuje się do odlewania w formach piaskowych i ceramicznych. Z tego powodu do odlewania siluminów najlepiej jest stosować technologie, w których wykorzystuje się formy metalowe. Takimi technologiami są odlewanie kokilowe i ciśnieniowe. Ze względu na stosunkowo małą grubość ścianek odlewów ciśnieniowych ( $s \leq 6 \text{ mm}$ ) technologia charakteryzuje się bardzo intensywnym odprowadzaniem ciepła z odlewu. Z tej przyczyny siluminy po odlaniu pod ciśnieniem posiadają zdecydowanie wyższe wartości wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$  i umownej granicy plastyczności  $R_{p0,2}$  oraz nieznacznie wyższą twardość HBW w porównaniu z siluminami odlewanyymi do form piaskowych, jak również kokili.

Rozdrobnienie mikrostruktury siluminów, co za tym idzie podwyższenie ich własności wytrzymałościowych, można uzyskać również wskutek ich modyfikacji. Szeroko pojmowane właściwości siluminów można poprawiać również poprzez wprowadzanie do nich dodatków stopowych. Powszechnie wprowadzane do siluminów dodatki umożliwiają: przeprowadzenie obróbki cieplnej zwanej utwardzeniem wydzieleniowym (np. Mg i Cu), zwiększenie odporności na korozję (np. Ni) oraz umocnienie roztworów stałych (np. Zn). Zarówno utwardzenie wydzieleniowe, umocnienie roztworów stałych, jak i modyfikacja w największym stopniu wpływają na zwiększenie własności wytrzymałościowych siluminów. Szczególną grupę dodatków, które można wprowadzić do siluminów stanowią tak zwane pierwiastki wysokotopliwe, takie jak Cr, Mo, V i W. Z układów równowagi Al-Cr [9], Al-Mo [10], Al-V [11, 12] i Al-W [11,13] wynika, że analizowane pierwiastki wysokotopliwe charakteryzują się brakiem rozpuszczalności lub znikomą rozpuszczalnością w aluminium w stanie stałym. W konsekwencji ma miejsce krystalizacja licznych faz międzymetalicznych w tych układach. Pierwiastki wysokotopliwe (Cr, Mo, V i W) tworzą liczne fazy międzymetaliczne także w podwójnych układach równowagi z krzemem [11, 14-17]. Z analizy dwuskładnikowych układów równowagi: Cr-Mo, Cr-V, Cr-W, Mo-V, Mo-W oraz V-W [11, 18-22] wynika wzajemna nieograniczona rozpuszczalność tych pierwiastków lub tworzenie roztworów stałych. Z przedstawionych powyżej danych wynika, że potencjalne fazy międzymetaliczne, jakie mogą powstać w siluminie po wprowadzeniu dodatku Cr, Mo, V i W, będą krystalizowały w układach z Al lub Si. W siluminach wieloskładnikowych należy liczyć się z możliwością utworzenia bardziej skomplikowanych faz, zawierających inne od analizowanych pierwiastki składowe. Fazy międzymetaliczne mogą znacząco zwiększyć kruchość stopów Al i obniżyć ich właściwości wytrzymałościowe oraz plastyczne. Niebezpieczeństwo wydzielenia się faz międzymetalicznych w siluminach zawierających Cr, Mo, V i W zwiększa się wraz z obniżeniem szybkości odprowadzania ciepła z krystalizującego odlewu. Duża szybkość odprowadzania ciepła z odlewu do formy ciśnieniowej daje możliwość przesylenia tymi dodatkami roztworów stałych siluminu. Powinno to prowadzić do umocnienia roztworów stałych siluminu i w konsekwencji polepszenia jego właściwości wytrzymałościowych. W związku z powyższym najbardziej korzystne wydaje się wprowadzanie dodatków Cr, Mo, V i W do siluminów przeznaczonych do odlewania pod ciśnieniem. Wprowadzaniu tych dodatków do siluminów odlewanych pod

ciśnieniem w celu zwiększenia ich właściwości mechanicznych poświęcone są prace [B1-B4] stanowiące opisywane osiągnięcie naukowe.

Z przedstawionej w monografii [B1] analizy aktualnego stanu wiedzy wynika niewielka liczba prac badawczych dotyczących stosowania dodatku Cr, Mo, V i W do siluminów. Wynikają z niej dwa główne cele wprowadzania tych dodatków do siluminu. Są nimi wzmocnienie efektu umocnienia wydzieleniowego oraz zmniejszenia szkodliwego wpływu żelaza na właściwości siluminu. Wykazano, że dodatek Cr, Mo lub V wprowadzony do siluminu odlewanych do kokili może wzmocnić efekt umocnienia wydzieleniowego powodując w konsekwencji podwyższenie właściwości mechanicznych siluminu zarówno w temperaturze otoczenia, jak i podwyższonej. Największą skutecznością w tym zakresie charakteryzują się chrom i molibden. Efektywność w zakresie zmniejszania szkodliwego wpływu żelaza na właściwości mechaniczne siluminu wykazują wszystkie badane dodatki wysokotopliwe. Żelazo powoduje powstawanie w mikrostrukturze siluminu fazy międzymetalicznej  $\beta$ -Al<sub>3</sub>FeSi o morfologii płytowej. Faza ta znacząco zwiększa kruchość stopu. Wprowadzane do siluminu Cr, Mo, V lub W powodują zmniejszenie wielkości wydzieleni tej fazy lub krystalizację zamiast fazy o morfologii płytowej innych faz charakteryzujących się morfologią uznawaną za mniej szkodliwą. Wprowadzenia do siluminu dodatku Cr, Mo, V lub W może spowodować krystalizację faz międzymetalicznych w układzie Al-Fe-Si-X, gdzie X oznacza dowolny badany dodatek wysokotopliwy. W siluminach zawierających mangan pierwiastek ten również wchodzi do opisywanej fazy. Faza ta może posiadać zróżnicowaną morfologię: „chińskiego pisma”, blokową, wieloboku, gwiazdy bądź dendrytyczną. Występujący w siluminie wariant morfologiczny opisywanej fazy uzależniony jest od rodzaju i ilości pierwiastków wysokotopliwych wprowadzonych do siluminu. Opisane zmiany morfologiczne analizowano głównie w mikrostrukturze odlewów kokilowych. Wykazano, że zmiany te mogą korzystnie wpłynąć na właściwości mechaniczne siluminu. Jednak jako główny dodatek zmniejszający szkodliwy wpływ żelaza najczęściej stosowany jest tańszy mangan. W literaturze przedmiotu brak jest prac poświęconych wpływowi molibdenu, wanadu i wolframu na mikrostrukturę i właściwości siluminów odlewanych pod ciśnieniem. Jedną pracę [23] poświęcono ciśnieniowemu odlewaniu siluminu AlSi9Cu3(Fe) zawierającego chrom w ilości nie przekraczającej 0,15%, czyli mieszczącej się w zakresie składu chemicznego ujętego w normie PN-EN 1706. W pracy tej zbadano właściwości mechaniczne siluminu o dwóch poziomach zawartości chromu



0,057 i 0,15%. Zwiększenie w tym zakresie zawartości chromu spowodowało podwyższenie twardości HV o 7% oraz jednoczesne obniżenie wydłużenia względnego. Ponieważ Cr, Mo, V i W powodują powstawanie w siluminach faz międzymetalicznych mogą tym samym wpływać na zmiany właściwości mechanicznych siluminu. Dodatkowo w przypadku siluminów podeutektycznych powstawanie faz międzymetalicznych w wyższym zakresie temperatury od zakresu temperatury krystalizacji dendrytów fazy  $\alpha(\text{Al})$  powoduje zmianę stężenia domieszek przed frontem krystalizacji dendrytu. Przy intensywnym odprowadzaniu ciepła podczas krystalizacji siluminu można więc doprowadzić do przesylenia fazy  $\alpha(\text{Al})$  różną ilością dodatków wysokotopliwych. W związku z tym właśnie w stosunku do odlewanych pod ciśnieniem, podeutektycznych siluminów zawierających Cr, Mo, V i W, należy upatrywać możliwości efektywnego podwyższenia ich właściwości mechanicznych. Siluminy o podwyższonych właściwościach wytrzymałościowych dają możliwość obniżenia masy części maszyn. Przy potencjalnej możliwości zastosowania technologii odlewania pod ciśnieniem do masowej produkcji odlewów siluminowych można uzyskać wymierne korzyści ekonomiczne i ekologiczne. Z przedstawionego w monografii [B1] aktualnego stanu wiedzy wynika brak metodycznej, opartej na dużym zbiorze danych analizy wpływu ilości i rodzaju badanych dodatków wysokotopliwych na właściwości mechaniczne siluminów odlewanych ciśnieniowo.

Biorąc powyższe pod uwagę celem omawianego osiągnięcia naukowego było:

**Dokonanie analizy wpływu rodzaju i ilości wprowadzanych do podeutektycznego siluminu odlewane pod ciśnieniem dodatków Cr, Mo, V i W na jego właściwości mechaniczne.**

Zakres prac obejmował:

- zbadanie wpływu pojedynczo i wspólnie wprowadzonych dodatków Cr, Mo, V i W na proces krystalizacji siluminu podeutektycznego w próbniku ATD,
- analizę mikrostruktury, zawierającego pojedynczo i wspólnie wprowadzone dodatki Cr, Mo, V i W, odlewane do formy skorupowej oraz pod ciśnieniem w warunkach produkcyjnych,
- zbadanie wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$ , umownej granicy plastyczności  $R_{p0,2}$ ; wydłużenia względnego  $A$  oraz twardości HB odlewanych pod ciśnieniem siluminów,
- dokonanie analizy statystycznej wpływu dodatków wysokotopliwych w siluminie na właściwości mechaniczne odlewów ciśnieniowych,

- określenie, na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej, właściwej zawartości dodatków wysokotopliwych w kontekście podwyższenia właściwości mechanicznych siluminu podeutektycznego.

W związku z powyższym postawiono następującą tezę osiągnięcia naukowego:

**Możliwe jest określenie, na drodze analizy statystycznej, zawartości dodatków wysokotopliwych (Cr, Mo, V i W), które spowodują wzrost właściwości mechanicznych siluminu podeutektycznego, przeznaczonego do ciśnieniowego odlewania wysoko obciążonych części maszyn.**

W monografii przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu Cr, Mo, V i W na proces krystalizacji, mikrostrukturę i właściwości mechaniczne siluminu podeutektycznego. Jako stop wyjściowy zastosowano powszechnie wykorzystywany w odlewnictwie ciśnieniowym silumin gatunku EN AC-46000. Badania metodą ATD tego siluminu wykazały trój etapowy proces jego krystalizacji w formie skorupowej (próbnik ATD10-PŁ). W pierwszym etapie, który zachodzi w najwyższej temperaturze krystalizują dendryty roztworu stałego  $\alpha(\text{Al})$ . Po uzyskaniu spójności sieci dendrytycznej następuje krystalizacja eutektyk potrójnej i poczwórnej. W eutektyce potrójnej oprócz roztworów stałych  $\alpha(\text{Al})$  i  $\beta(\text{Si})$  występuje faza międzymetaliczna  $\text{Al}_{15}(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{Si}_2$  o morfologii szkieletowej. Fazami składowymi powstającej z resztek cieczy eutektyki poczwórnej są również roztwory  $\alpha(\text{Al})$  i  $\beta(\text{Si})$ , faza międzymetaliczna  $\text{Al}_2\text{Cu}$  oraz kolejna faza międzymetaliczna. Skład chemiczny tej fazy uzależniony od zróżnicowanej, w wyniku mikrosegregacji, zawartości pierwiastków w różnych obszarach występowania cieczy resztkowej. Może być to faza  $\text{Mg}_2\text{Si}$  lub fazy krystalizujące w układach Al-Cu-Ni, Al-Fe-Mn-Si i Al-Cu-Mg-Si. Stwierdzono również wydzielanie się z cieczy resztkowej drobnych wydzielen ołowiu. Wprowadzenie do siluminu wyjściowego pojedynczych dodatków w ilości nie przekraczającej 0,1% Cr, 0,4% Mo lub W oraz 0,5% V nie spowodowało powstania na krzywych ATD nowych efektów cieplnych i nowych faz w mikrostrukturze siluminu. W tym zakresie zawartości dodatki wysokotopliwe przyłączają się do faz siluminu wyjściowego. W głównej mierze są to występujące w obu eutektykach fazy międzymetaliczne bogate w żelazo, które po wprowadzeniu dodatków wysokotopliwych przyjmują postać  $\text{Al}_{15}(\text{Fe},\text{Mn},\text{M})_3\text{Si}_2$ . Symbol M w oznaczeniu stanowi dowolny dodatek wysokotopliwy lub dowolną kombinację takich dodatków. Pojedyncze wprowadzenie do siluminu chromu w ilości 0,2% oraz molibdenu lub wolframu w ilości 0,4% doprowadza do pierwotnej, przeddendrytycznej krystalizacji fazy  $\text{Al}_{15}(\text{Fe},\text{Mn},\text{M})_3\text{Si}_2$ .

Wprowadzenie do siluminu wanadu w badanym zakresie zawartości nie spowodowało przeddendrytycznej krystalizacji tej fazy. Zwiększanie zawartości dodatków wysokotopliwych w siluminie powoduje zwiększenie ilości i wielkości wydzieleni fazy  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$  w stopie. Powstawanie faz bogatych w dodatki wysokotopliwe powoduje ubożenie w nie pozostałej cieczy. Stosunkowo duża ilość pierwotnej fazy  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$  powoduje zubożenie cieczy w dodatki wysokotopliwe prowadzące do krystalizacji w miejsce eutektyki potrójnej, klasycznej eutektyki płytkowej  $\alpha(Al) + \beta(Si)$ . Wprowadzanie do siluminu dodatków wysokotopliwych początkowo powoduje zwiększanie ich stężenia przed frontem krystalizacji fazy  $\alpha(Al)$ , a następnie jego obniżenie wskutek pierwotnej krystalizacji fazy  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$ . Stosunkowo niewielka prędkość odprowadzania ciepła podczas krystalizacji dendrytów fazy  $\alpha(Al)$  w odlewach wykonywanych w formie skorupowej, wynosząca  $0,13^\circ C/s$ , nie stwarza dużej możliwości przesylenia tej fazy dodatkami wysokotopliwymi. Zaobserwowano jednak wzrost temperatury likwidus siluminu, w zakresie stosowania dodatków wysokotopliwych, który nie powodował pierwotnej krystalizacji fazy  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$ . Świadczy to o wprowadzeniu pewnej ilości dodatków wysokotopliwych do dendrytu  $\alpha(Al)$ .

Mikrostruktura siluminu wyjściowego odlewane pod ciśnieniem składa się z dendrytów fazy  $\alpha(Al)$  oraz eutektyki. W eutektyce występują roztwory stałe  $\alpha(Al)$  i  $\beta(Si)$  oraz stosunkowo drobne wydzielania faz międzymetalicznych. Są to głównie fazy zawierające miedź i magnez, a w mniejszym stopniu fazy zawierające żelazo, mangan i nikiel. Intensywny proces odprowadzania ciepła z odlewu ciśnieniowego powoduje uzyskanie znacznie bardziej rozdrobnionej mikrostruktury w porównaniu z odlewami wykonywanymi w formie skorupowej. Rozdrobnieniu ulegają zarówno dendryty  $\alpha(Al)$ , jak i fazy składowe eutektyki. Wprowadzenie do siluminu niewielkiej ilości dodatków wysokotopliwych powoduje zmianę morfologii wydzieleni fazy  $\beta(Si)$  w obszarze eutektyki na bardziej zwartą. Większa zawartość dodatków wysokotopliwych wywołuje pierwotną krystalizację fazy międzymetalicznej  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$ . Zawartość wprowadzonych dodatków wpływa na ilość wydzielonej fazy pierwotnej oraz wielkość i morfologię jej wydzieleni. Wraz ze wzrostem zawartości dodatków wysokotopliwych w stopie zwiększa się ilość fazy pierwotnej, a jej wydzielania przyjmują morfologię zbliżoną do ścianowej. Wydzielenia te posiadają postać wieloboku lub gwiazdy. Podczas pierwotnej krystalizacji faza  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$  przyjmuje wszystkie wprowadzone do siluminu dodatki wysokotopliwe, w największym stopniu Cr, w mniejszym Mo i V, a w

najmniejszym W. Średnie sumaryczne stężenie Cr, Mo, V i W w fazie  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$  występującej w siluminie zawierającym po 0,25% tych pierwiastków wynosi ~12,5% wag. Przyjmowanie przez fazę  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$  chromu, molibdenu, wanadu i wolframu powoduje ubożenie cieczy w te pierwiastki. Ponieważ faza  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$  krystalizuje bezpośrednio przed dendrytami  $\alpha(Al)$  w cieczy przed frontem krystalizacji dendrytów zachodzą podobne zmiany stężenia dodatków wysokotopliwych, jak miało to miejsce w przypadku siluminów odlewanych do formy skorupowej. Wprowadzanie Cr, Mo, V i W w ilości nie powodującej krystalizacji pierwotnej fazy  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$  prowadzi do zwiększenia stężenia pierwiastków wysokotopliwych przed frontem krystalizacji dendrytów  $\alpha(Al)$ . Zwiększanie zawartości dodatków wysokotopliwych w zakresie występowania pierwotnej fazy  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$  powoduje zmniejszenie stężenia Cr, Mo, V i W przed frontem krystalizacji dendrytów  $\alpha(Al)$ . Przedstawione zmiany stężenia Cr, Mo, V i W przed frontem krystalizacji dendrytów  $\alpha(Al)$  mogą mieć istotny wpływ na właściwości mechaniczne siluminów krystalizujących w warunkach odlewania pod ciśnieniem. Uzyskiwana podczas stygnięcia odlewu ciśnieniowego stosunkowo duża szybkość krystalizacji dendrytów  $\alpha(Al)$ , wynosząca ~55 °C/s, prowadzi do przesylenia dendrytu  $\alpha(Al)$  chromem, molibdenem, wanadem i wolframem. Może to spowodować podwyższenie właściwości mechanicznych siluminu. Częściowo potwierdzają to przeprowadzone badania właściwości mechanicznych siluminów o różnej zawartości dodatków wysokotopliwych w poszczególnych grupach kombinacji tych dodatków. Zdecydowanie bardziej jednoznacznie potwierdzają to wyniki przeprowadzonej analizy statystycznej. Wyniki analizy statystycznej wpływu zawartości dodatków wysokotopliwych na właściwości mechaniczne odlewanych pod ciśnieniem siluminu podeutektycznego przedstawiono w pracach [B1-B4]. Analizowanymi właściwościami siluminu były: wytrzymałość na rozciąganie  $R_m$ ; umowna granica plastyczności  $R_{p0,2}$ ; wydłużenie względne  $A$  oraz twardość Brinella.

W pracy [B2] przedstawiono tworzenie bazy danych do analizy statystycznej oraz przedstawiono wyniki wpływu zawartości Cr, Mo, V i W na ujęte łącznie właściwości mechaniczne siluminu. Wpływ zawartości badanych dodatków wysokotopliwych na umowną granicę plastyczności siluminu opisano w pracy [B3], natomiast na wytrzymałość na rozciąganie, wydłużenie względne i twardość Brinella w pracy [B4]. Pełne wyniki analizy statystycznej przedstawiono w monografii [B1]. Jako narzędzie statystyczne do oceny wpływu zawartości Cr, Mo, V i W w badanym siluminie na poziom analizowanych

właściwości mechanicznych wykorzystano analizę regresji i korelacji wielokrotnej oraz test analizy wariancji ANOVA (ANalysis Of VAriance) dla efektów głównych.

Wyniki przeprowadzonej analizy statystycznej świadczą o tym, że każdy analizowany dodatek wysokotopliwy wprowadzony do siluminu w odpowiedniej ilości powoduje podwyższenie  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$ , A oraz HB.

Dla uzyskania wysokiej wartości wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$  optymalna zawartość każdego z dodatków wysokotopliwych powinna mieścić się w przedziale 0,05–0,10%. Największy wpływ na zwiększenie  $R_m$  ma dodatek wanadu w ilości 0,05% wag. Dodatek ten powoduje uzyskanie  $R_m = 277$  MPa, co daje wzrost względny  $\sim 15\%$ .

Uzyskanie najwyższych wartości umownej granicy plastyczności powoduje dodatek pierwiastka wysokotopliwego w ilości 0,05% wag., przy czym największy wpływ na zwiększenie  $R_{p0,2}$  ma dodatek wanadu. Powoduje uzyskanie  $R_{p0,2} = 129$  MPa, co względem siluminu wyjściowego daje wzrost o  $\sim 11\%$ .

Najwyższe wartości wydłużenia względnego A powoduje wprowadzenie do siluminu 0,05% V lub 0,15% pozostałych badanych dodatków wysokotopliwych. Największy wpływ na zwiększenie A ma dodatek 0,15% Mo. Wydłużenie wynosi wówczas 5,3%, co daje istotny wzrost względem siluminu wyjściowego o 40%.

Dla uzyskania wysokiej wartości twardości HB optymalna zawartość chromu, molibdenu i wanadu powinna wynosić ok. 0,05%, a wolframu ok. 0,5%. Największy wpływ na zwiększenie HB ma dodatek wolframu w ilości 0,5%; jego zastosowanie powoduje uzyskanie twardości wynoszącej 119 jednostek HB. Przyrost względny jest stosunkowo nieduży, wynosi 5%.

Występowanie najwyższych wartości  $R_m$  i  $R_{p0,2}$  przy zawartości dodatków wysokotopliwych wynoszącej 0,05% wag. wiąże się ze stosunkowo dużym przesyleniem dendrytów roztworu stałego  $\alpha$  (Al) dodatkami wysokotopliwymi. Zjawisko to ma największy pozytywny wpływ na właściwości wytrzymałościowe w zakresie stosowania dodatków wysokotopliwych nie powodującego pierwotnej krystalizacji fazy  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$ . Efektem przesylenia dendrytów  $\alpha(Al)$  jest również podwyższenie twardości siluminu zawierającego 0,05% Cr, Mo lub V. Uzyskanie największej twardości siluminu przy zawartości 0,5% W było spowodowane krystalizacją stosunkowo dużych wydzieleni fazy  $Al_{15}(Fe,Mn,W)_3Si_2$ . Największe podwyższenie wartości wydłużenia względnego uzyskane dla zawartości 0,15% Cr, Mo lub W nastąpiło wskutek pierwotnej krystalizacji stosunkowo

drobnych i zwartych wydzieliń fazy  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$ , której następstwem było obniżenie stężenia badanych dodatków wysokotopliwych oraz Fe i Mn przed frontem krystalizacji dendrytów  $\alpha(Al)$ . Krystalizacja fazy  $Al_{15}(Fe,Mn,M)_3Si_2$  w siluminie z dodatkami wysokotopliwymi może spowodować mniejsze przesycenie dendrytu  $\alpha(Al)$  w porównaniu z siluminem nie zawierającym tych dodatków. Prowadzi to do zwiększenia plastyczności stopu.

Analiza statystyczna nie wykazała synergicznego oddziaływania jednocześnie wprowadzanych dodatków wysokotopliwych na właściwości siluminu. Jednak przedstawione w pracy [B1] wyniki badania właściwości mechanicznych dla poszczególnych kombinacji wspólnie wprowadzanych dodatków wysokotopliwych wskazują na możliwość uzyskania znacznie wyższych wartości  $R_m$ ,  $R_{p0,2}$  i  $A$  w porównaniu z wynikami analizy statystycznej dotyczącej pojedynczego stosowania tych dodatków. Największy wzrost  $R_m$  uzyskano przy zastosowaniu dodatku wanadu i wolframu w ilości po około 0,2%. Wartość  $R_m$  wyniosła wówczas 299 MPa, co dało wzrost względem siluminu wyjściowego wynoszący ~50%. Ten sam dodatek V i W spowodował również największe, ponad dwukrotne podwyższenie wydłużenia względnego. Maksymalne zwiększenie  $R_{p0,2}$  o ~21% spowodowało zastosowanie dodatku Cr i W po 0,1%.

Na łącznie ujęte właściwości mechaniczne badanego siluminu, opisane jako Sost\_Suma, najkorzystniej wpływa zawartość od 0,05 do 0,10% badanych dodatków wysokotopliwych Cr, Mo, V i W.

W pracy wykazano możliwość uzyskania odlewanego pod ciśnieniem siluminu podeutektycznego o istotnie podwyższonych właściwościach mechanicznych wskutek przeprowadzenia modyfikacji jego składu chemicznego poprzez zastosowanie dodatków wysokotopliwych Cr, Mo, V i W.

**Moim największym osiągnięciem naukowym stanowiącym istotny wkład w dziedzinę Nauki Techniczne w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn jest: określenie na drodze analizy statystycznej zawartości Cr, Mo, V i W powodujących zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$ , umownej granicy plastyczności  $R_{p0,2}$ ; wydłużenia względnego  $A$  oraz twardość HB, otrzymanych w stanie lanym, odlewów ciśnieniowych z siluminów podeutektycznych.**

Uzyskane na drodze analizy statystycznej dane umożliwiają świadome wpływanie na zmiany właściwości mechanicznych odlewów wykonanych z badanych siluminów poprzez wprowadzenie do stopu określonej ilości badanych dodatków wysokotopliwych.

Przedstawione wyniki skłaniają do stwierdzenia, iż siluminy podeutektyczne z dodatkiem Cr, Mo, V i W stanowią tworzywo, które można zastosować na odlewane pod ciśnieniem części maszyn o podwyższonych właściwościach mechanicznych, względem siluminu o zgodnym z normą składzie chemicznym. Wysokie parametry wytrzymałościowe siluminów stwarzają możliwość zmniejszenia grubości ścianki odlewu, a przez to obniżenie masy elementu konstrukcyjnego przy zachowaniu jego wyjściowych cech użytkowych. Przykładami możliwego zastosowania badanych siluminów są: krzyżak do mocowania bębna pralki oraz elementy samochodowe, takie jak obudowy amortyzatorów, wsporniki silników lub skrzyni biegów.

Do innych istotnych osiągnięć pracy należy zaliczyć:

1. Opisanie zmian procesów krystalizacji siluminów na skutek powstawania nowych faz pochodzących od wprowadzonych do znormalizowanego siluminu dodatków Cr, Mo, V i W.
2. Przedstawienie zmian zachodzących w mikrostrukturze siluminów odlewanych do formy skorupowej oraz pod ciśnieniem wywołanych zwiększaniem zawartości badanych dodatków wysokotopliwych w stopie.

**c) Opis wykorzystania osiągniętych wyników**

Prace badawcze, które wykonałem były realizowane w ramach projektu pt. *„Stworzenie innowacyjnego procesu produkcyjnego i technologii wytwarzania nowych gatunków wysokojakościowych siluminów do odlewania ciśnieniowego”* nr umowy UDA-POIG.01.04.00-10-079/12 [II.J.11]. W wyniku prowadzonych przeze mnie prac dokonano aplikacji siluminu wieloskładnikowego zawierającego dodatki wysokotopliwe do wykonania 15 partii produkcyjnych odlewu pokrywy obudowy rolet w Przedsiębiorstwie Innowacyjno-Wdrożeniowym WIFAMA-PREXER Sp z o. o. [II.B.1]. Uzyskane przeze mnie wyniki były również podstawą do opracowania zgłoszenia patentowego o zasięgu międzynarodowym pt. *„Silumin for pressure die casting with additive of wolfram and vanadium”*, numer zgłoszenia EP20150003706.



## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Szczegółowy wykaz opisanych poniżej osiągnięć naukowo-badawczych zawarto w Załączniku 3 zatytułowanym „Wykaz opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki”.

Pięcioletnie studia dzienne w Politechnice Łódzkiej na Wydziale Mechanicznym na specjalizacji „Technika i handel” ukończyłem w 2002 r. z oceną celującą uzyskując tytuł magistra inżyniera. Napisana przeze mnie praca magisterska pt. „Analiza porównawcza kosztów wytwarzania tarczy hamulcowej-wentylowanej różnymi technologiami odlewniczymi” uzyskała wyróżnienie w konkursie Łódzkiego oddziału NOT na najlepszą pracę magisterską w Politechnice Łódzkiej [III.D.8]. Z tematyki pracy magisterskiej wynika również moja pierwsza publikacja naukowa [II.E.1]. W roku 2002 rozpocząłem studia doktoranckie również na Wydziale Mechanicznym PŁ na specjalizacji Budowa i Eksploatacja Maszyn. Od czasu rozpoczęcia studiów doktoranckich uczestniczyłem w pracach badawczych realizowanych w Katedrze Systemów Produkcji PŁ (obecnie Katedra Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji PŁ). Prace te wykonywałem pod opieką naukową prof. dr hab. inż. Stanisława Pietrowskiego, a dotyczyły one w głównej mierze zanurzeniowego wytwarzania powłok ze stopów Al na elementach ze stopów Fe oraz wytwarzania wyrobów warstwowych w układzie *stop Al-stop Fe*, w których połączenie uzyskiwano poprzez wcześniej wykonaną powłokę zanurzeniową. W tym okresie uczestniczyłem w charakterze wykonawcy w realizacji dwóch projektów związanych z tą tematyką [II.J.1 i II.J.2]. Efektem pracy nad tymi projektami było opracowanie technologii wykonania wieloelementowych odlewów korpusów sprężarek ze stopów aluminium z wtapianymi elementami żeliwnymi pracujących w warunkach wysokiego ciśnienia powietrza, helu i oleju oraz opracowanie teoretycznych i technologicznych wytycznych do zanurzeniowego wytwarzania powłok siluminowych oraz połączenia w elementach warstwowych. Z tą tematyką związana była również moja praca doktorska pt. „Model wzrostu powłoki na stopach żelaza otrzymanej zanurzeniowo w kąpeli Al-Si i jej połączenia z siluminem wieloskładnikowym”, którą realizowałem pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Stanisława Pietrowskiego. Celem pracy doktorskiej było zbadanie wpływu czynników technologicznych na krystalizację i budowę powłoki alfinowanej zanurzeniowo w siluminach niestopowych i stopowych z dodatkami magnezu, niklu i miedzi na żelazie „armco”, stali „C45”, żeliwie szarym i sferoidalnym oraz

połączenia poprzez nią odlewu warstwowego z siluminu. Moja rozprawa doktorska została wyróżniona przez Wydziałową Komisję Nagród i Odznaczeń Wydziału Mechanicznego PŁ [III.D.9]. Wyniki badań związane z dysertacją referowałem na konferencjach [II.L.1-II.L.4] oraz publikowałem w pracach [II.E.2-II.E.8].

Bezpośrednio po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych zostałem zatrudniony w kierowanej przez Prof. Stanisława Pietrowskiego Katedrze Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji PŁ na stanowisku adiunkta. W ramach wypełniania obowiązków naukowych kontynuowałem pracę w tematyce nanoszenia powłok zanurzeniowych i wykonywania elementów warstwowych. Z tą tematyką związany był projekt [II.J.6] zatytułowany „Model krystalizacji i technologia wytwarzania wyrobów warstwowych wykonywanych ze stopów żelaza i aluminium poprzez powłokę alfinowaną” finansowany przez Narodowe Centrum Nauki (NCN). W projekcie tym byłem początkowo głównym wykonawcą, a po śmierci prof. Stanisława Pietrowskiego (data śmierci: 2 lipca 2012 roku) przejąłem rolę kierownika projektu. W ramach projektu opracowano teoretyczne i technologiczne podstawy wykonywania siluminowych powłok zanurzeniowych na stopowych stalach, staliwach i żeliwach oraz ich połączenia z siluminami wieloskładnikowymi zawierającymi również dodatki wysokotopliwe. Byłem głównym autorem sprawozdania końcowego z tego projektu [II.F.2]. Wyniki prac związanych z tą tematyką prezentowałem na następujących międzynarodowych konferencjach naukowych [II.L.5-II.L.9, III.B.5] oraz opublikowałem w pracach [II.E.9, II.E.10, II.E.17, II.E.19-II.E.23]. Jestem samodzielnym autorem czterech z wymienionych publikacji. Z tematyką powłok zanurzeniowych oraz wykorzystywaniem ich do wytwarzania połączeń w odlewach warstwowych związane były cztery projekty [II.J.13] realizowane w latach 2011-14, w ramach badań statutowych na Wydziale Mechanicznym PŁ, których byłem kierownikiem. Od roku 2008 kolejnym moim ważnym obszarem badań naukowych stały się siluminy. W latach 2008-2010 byłem wykonawcą w projekcie nr: O R00 0052 05, pt. „Nowe materiały kompozytowe o małej histerezie i wysokich parametrach funkcjonalnych na tłoki silników spalinowych do zastosowań wojskowych” [II.J.5], finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR). Projekt był realizowany w konsorcjum [III.E.1], w którego skład wchodziły: Instytut Lotnictwa w Warszawie, Politechnika Łódzka, Wojskowa Akademia Techniczna oraz Zakłady Mechaniczne PZL Wola-Siedlce. W ramach projektu wykonywałem wycopy w warunkach laboratoryjnych wieloskładnikowego siluminu z dodatkami wysokotopliwymi,

przewodziłem badania procesu krystalizacji metodą ATD tych siluminów oraz ich modyfikacji, wykonywałem badania twardości oraz prowadziłem badania parametrów ich obróbki cieplnej. W ramach tego projektu powstały następujące prace naukowe [II.E.12-II.E.16], których byłem współautorem. Efektem prac nad tym projektem było opracowanie siluminu wieloskładnikowego na tłoki silników spalinowych do czołgu. Z obszarem badania siluminów związane były dwa kolejne projekty [II.J.8 i II.J.9] finansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW). Projekty te związane były z ciśnieniowym odlewaniem siluminów wieloskładnikowych. W ramach ich realizacji opracowano technologie wytapiania i odlewania pod ciśnieniem siluminów wieloskładnikowych oraz system ich kontroli metodą ATD. Metodę Analizy Termicznej i Derywacyjnej w odniesieniu do badania procesu krystalizacji stopów Al-Si szeroko wykorzystywałem w moich pracach naukowych czego efektem było współautorstwo rozdziałów w dwóch monografiach naukowych [II.E.11 i II.E.18].

W latach 2008-2017 brałem udział również w badaniach związanych z technologią odlewania Lost Foam oraz opracowaniem nowych gatunków stopów odlewniczych (brązów, stopów magnezu, żeliwa), technologii ich uzyskiwania i technologii wytwarzania z nich wysokojakościowych odlewów. W ramach tego ogólnie nakreślonego obszaru badawczego brałem udział w realizacji czterech projektów naukowych [II.J.3-4, II.J.7 i II.J.10] w charakterze wykonawcy. Podczas realizacji tych projektów mogłem rozwijać swoją wiedzę szerokim zakresie tematycznym. Projekt [II.J.3] finansowany przez NCN, poświęcony był opracowaniu teoretycznych i technologicznych podstaw procesu wytwarzania odlewów metodą Lost Foam. W projekcie [II.J.4] finansowanym przez NCBiR uczestniczyłem w opracowywaniu nowych odlewniczych brązów aluminiowych z dodatkami Mo, W, Cr, Si oraz C. Kolejny projekt [II.J.7] finansowany przez NCN poświęcony był opracowaniu modelu krystalizacji i technologii wytwarzania metodą Inmold żeliwa sferoidalnego o dużej odporności na zużycie. Uczestniczyłem również w opracowywaniu nowych stopów magnezu oraz technologii ich wytwarzania. W głównej mierze tej tematyce poświęcony był finansowany przez NCBiR projekt [II.J.10] pt. „Opracowanie innowacyjnych technologii wytwarzania złożonych konstrukcyjnie, wysokojakościowych odlewów precyzyjnych ze stopów metali lekkich”. Projekt ten realizowany był w ramach Programu Badań Stosowanych, w konsorcjum [III.E.2] utworzonym pomiędzy Instytutem Odlewnictwa, Politechniką Łódzką, Spółdzielnią Pracy Armatura, Specodlewem, Instytutem Metali Nieżelaznych, Instytutem

Ciężkiej Syntezy Organicznej „Blachownia”. W ramach realizacji tego projektu brałem udział w laboratoryjnych próbach odlewania stopów magnezu z dodatkiem Cr i V. Efektem tych prac badawczych było moje współautorstwo zgłoszenia patentowego [II.C.1] o zasięgu krajowym pt. „*Sposób wytwarzania stopów magnezu z dodatkami stopowymi pierwiastków o temperaturze topnienia wyższej od 650 °C i gęstości większej od 1,737 g/cm<sup>3</sup>*”. W szerszym obszarze tematycznym tego projektu znajdowało się również odlewanie siluminów wieloskładnikowych z dodatkami wysokotopliwymi do form ceramicznych. Również w tym obszarze prowadziłem badania w warunkach laboratoryjnych, a uzyskane wyniki zostały opublikowane w artykule naukowym [II.E.33]. W tym okresie uczestniczyłem również w badaniach wpływu wielokrotnego przetapiania na przemiany w stopie protetycznym Co-Cr-Mo oraz wpływu niklu na proces krystalizacji, mikrostrukturę i właściwości żeliwa wermikularnego o osnowie austenitycznej. W badaniach tych zajmowałem się głównie analizą ATD stopów. Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań opublikowano odpowiednio w pracach [II.E.24] i [II.A.2]. Praca dotycząca stopu protetycznego Co-Cr-Mo była również referowana przeze mnie na konferencji naukowej [II.L.10].

Jednak od roku 2013, w którym kierownictwo Katedrą objął prof. dr hab. inż. Tadeusz Pacyniak, głównym obszarem moich działań naukowych jest ciśnieniowe odlewanie siluminów wieloskładnikowych. W tym obszarze tematycznym umiejscowiony był realizowany w latach 2013-2015 projekt [II.J.11] zatytułowany „*Stworzenie innowacyjnego procesu produkcyjnego i technologii wytwarzania nowych gatunków wysokojakościowych siluminów do odlewania ciśnieniowego*”. Projekt finansowany był przez NCBiR w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Pełniłem w nim rolę głównego wykonawcy oraz kierownika poszczególnych zadań badawczych. Głównym celem projektu było opracowanie siluminów wieloskładnikowych zawierających dodatki wysokotopliwe Cr, Mo, V i W na odlewy ciśnieniowe o podwyższonych właściwościach mechanicznych oraz opracowanie technologii ich wytapiania i odlewania. Uzyskane w ramach realizacji projektu wyniki badań dotyczące podeutektycznych siluminów z dodatkami wysokotopliwymi opublikowałem w monografii [I.B.1] oraz pracach naukowych [I.B.2-I.B.4], które stanowią osiągnięcie naukowe opisane w autoreferacie, jak również recenzowanych czasopismach nie zaliczających się do osiągnięcia naukowego [II.A.3 i II.A.4, II.E.25-II.E.33, II.E.35, II.E.36 i II.E.38]. Otrzymane wyniki badań były wielokrotnie prezentowane na międzynarodowych konferencjach naukowych [II.L.11-II.L.21, III.B.5-III.B.10]. Jeden z opracowanych w

ramach realizacji projektu składów siluminu został objęty zastrzeżeniem patentowym [II.C.2] o zasięgu międzynarodowym. Patent został zgłoszony przez lidera projektu Wifamę-Prexer Sp. z o. o. Jestem współautorem badań, których efektem było omawiane zgłoszenie patentowe, opracowałem również skład chemiczny siluminu będącego przedmiotem patentu oraz jestem autorem opisu wynalazku w zgłoszeniu patentowym. W ramach zadania projektowego pt. „Badanie wpływu: Cr, Mo, V i W pojedynczo i wspólnie w różnych kombinacjach na porowatość, mikrostrukturę i własności mechaniczne odlewów oraz krzywe ATD” dokonano aplikacji badanego siluminu wieloskładnikowego [II.B.1] do wykonania w warunkach przemysłowych 15 partii produkcyjnych odlewu bocznej pokrywy obudowy rolet w warunkach produkcyjnych przedsiębiorstwa Wifama-Prexer Sp. z o. o. Jestem również głównym autorem raportu końcowego z tego projektu [II.F.1]. Z siluminami z dodatkiem Cr, Mo, V i W przeznaczonymi do odlewania pod ciśnieniem związane były również, kierowane przeze mnie projekty [II.J.13] realizowane w latach 2015-2018 w ramach badań statutowych na Wydziale Mechanicznym PŁ. Od roku 2017 zajmuję się również statystyczną i systemową oceną wyników badań uzyskanych dla siluminów wieloskładnikowych, umożliwiającą przewidywanie efektów wprowadzania do nich dodatków wysokotopliwych. Jestem współautorem prac naukowych z tego zakresu tematycznego. Oprócz prac [I.B.2-I.B.4] stanowiących część osiągnięcia naukowego, w tym zakresie tematycznym znajdują się prace [II.A.1 i II.E.37] nie będące częścią tego osiągnięcia. W przeprowadzaniu analizy statystycznej bardzo pomocnym było odbycie szkolenia „Podstawowe zasady użytkowania programu STATISTICA – wybrane zagadnienia analizy danych z uwzględnieniem metod statystycznych” [III.Q.2].

Aktualnie wykorzystuję oraz nadal rozwijam swoją wiedzę i umiejętności w zakresie odlewania pod ciśnieniem siluminów wieloskładnikowych. Dobrym polem tej działalności jest realizacja projektu [II.J.12] pt. „Innowacyjna linia produkcyjna do wytwarzania odlewów ciśnieniowych o znacząco obniżonej porowatości”, w którym pełnię rolę wykonawcy. Projekt realizowany jest w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój w konsorcjum [III.E.3] utworzonym pomiędzy Instytutem Odlewnictwa, Politechniką Łódzką, Odlewnią SILUM Sp. z o. o., Fabryką Narzędzi „SIL-Tool” Sp. z o. o., Zakładami Mechanicznymi „SIL-BIKE” Sp. z o. o.

Od roku 2018 pełnię funkcję promotora pomocniczego rozprawy doktorskiej mgr inż. Barbary Kacprzyk pt. „Żeliwo wermikularne ausferrytyczne otrzymywane bez obróbki

*cieplnej odlewów*”, której promotorem głównym jest dr hab. inż. Grzegorz Gumienny – prof. PŁ [III.K.1].

Od roku 2003 brałem udział w realizacji w sumie 12 projektów finansowanych ze środków krajowych i przez Unię Europejską [II.J.1-II.J12]. Byłem współkierownikiem jednego z nich [II.J.6] a w kolejnym [II.J.11] głównym wykonawcą i kierownikiem zadań badawczych. Byłem również kierownikiem 8 projektów realizowanych w ramach funduszy Politechniki Łódzkiej [II.J.13]. Uzyskane w ramach mojej pracy naukowej wyniki badań były systematycznie prezentowane na krajowych i zagranicznych konferencjach w postaci referatów lub posterów [II.L.1-II.L.21, III.B.1-III.B.10]. W przypadku 21 referatów dokonywałem prezentacji osobiście. Nieprzerwanie od 2003 roku jestem aktywnym członkiem komitetu organizacyjnego Międzynarodowej Konferencji Naukowej: „Optymalizacja Systemów Produkcyjnych w Odlewniach” [III.C.1-III.C.16].

Do szeroko pojmowanych prac organizacyjnych na rzecz Politechniki Łódzkiej zaliczyć należy pełnienie w latach 2014-2019 funkcji Sekretarza Komisji Egzaminu Dyplomowego na kierunkach Inżynieria Produkcji oraz Zarządzanie i Inżynieria Produkcji prowadzonych na Wydziale Mechanicznym PŁ [III.I.31] oraz w latach 2010-2016 członkostwo w zarządzie Klubu Żeglarskiego PŁ [III.Q.14]. Jestem również opiekunem Laboratorium Topienia Metali KTMiSP PŁ. Funkcję tą sprawuję od 2013 roku.

W roku 2011 na zlecenie Łódzkiej Agencji Rozwoju Regionalnego zostałem członkiem zespołu eksperckiego [III.N.1] powołanego w celu opracowania „Regionalnego raportu na temat innowacyjności” w ramach projektu „Gildia Aniołów Biznesu” finansowanego z Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. W ramach pracy zawodowej byłem wykonawcą 7 ekspertyz [III.M.1-III.M.7] na zamówienie przedsiębiorstw produkcyjnych i handlowych. Ponadto jestem autorem 2 recenzji artykułów [III.P.1 i III.P.2] w czasopiśmie: Journal of Materials Engineering and Performance oraz Materials znajdujących na tzw. liście filadelfijskiej oraz 6 artykułów [III.P.3] w czasopiśmie Archives of Foundry Engineering z listy B MNiSW, które jest indeksowane serwisach Web of Science oraz Scopus [III.P.3]. Od roku 2011 jestem członkiem Komisji Odlewnictwa PAN [III.H.2] oraz od 2018 r. Łódzkiego Oddziału Stowarzyszenia Technicznego Odlewników Polskich [III.H.1].

### **Działalność dydaktyczna**

W ramach obowiązków wynikających z podjęcia studiów doktoranckich od 2003 r., a następnie od 2007 r. w ramach pracy na stanowisku adiunkta w Politechnice Łódzkiej, realizowałem lub realizuję zajęcia dydaktyczne [III.I.1-III.I.26] na następujących kierunkach studiów dziennych lub zaocznych, I i II stopnia: Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, Inżynieria Produkcji, Mechanika i Budowa Maszyn, Inżynieria Materiałowa, Mechatronika, Transport, Organizacja i Zarządzanie oraz Automatyka i Robotyka.

Jestem kierownikiem jednego przedmiotu Urządzenia technologiczne I prowadzonego na kierunku Inżynieria produkcji Wydziału Mechanicznego PŁ.

Byłem opiekunem naukowym 8 prac dyplomowych inżynierskich [III.J.1] i 13 magisterskich [III.J.2] oraz konsultantem naukowym w 4 pracach dyplomowych [III.J.3 i III.J.4]. Jedną z prowadzonych przeze mnie prac dyplomowych została wyróżniona w Konkursie im. Prof. Wacława Sakwy na najlepszą pracę magisterską z zakresu odlewnictwa w roku akademickim 2015/16 [III.D.12]. Od 2012 roku jestem członkiem Komisji Dydaktycznej ds. kierunku Inżynieria Produkcji na Wydziale Mechanicznym PŁ [III.I.32]. Moja praca w charakterze nauczyciela akademickiego jest doceniana przez studentów, czego wyrazem są nominacja w plebiscycie Najlepszy Nauczyciel Roku 2015/16 na Wydziale Mechanicznym PŁ [III.D.11] oraz nagroda dla Najlepszego Nauczyciela Roku Akademickiego 2016/17 na kierunku Inżynieria Produkcji Wydziału Mechanicznego PŁ przyznana przez Wydziałową Radę Studentów [III.D.10]. Moje zaangażowanie w pracę dydaktyczną oraz naukową doceniane jest również przez Władze Uczelni. Odzwierciedleniem tego są nagrody JM Rektora Politechniki Łódzkiej [III.D.1-III.D.7] przyznawane mi nieprzerwanie w latach 2011-2017.

Stale podnoszę swoje kwalifikacje zarówno dydaktyczne, jak i naukowe poprzez udział w różnego rodzaju kursach i szkoleniach. W 2007 roku odbyłem roczny „Kurs Doskonalenia Pedagogicznego dla asystentów Politechniki Łódzkiej” [III.Q.1]. Uczestniczyłem w szkoleniach z obsługi programów komputerowych przeznaczonych do wykonywania analiz statystycznych oraz przeprowadzania symulacji krzepnięcia odlewów w formie. Były to. odbyły w 2010 r. kurs z obsługi programu STATISTICA [III.Q.2], oraz odbyły w 2014 r. kurs w zakresie obsługi programu MAGMA wersji 5.2. [III.Q.4- III.Q.11]. Odbyłem również kursy z zarządzania własnością intelektualną oraz zarządzania informacją.

Kurs „Zarządzanie własnością intelektualną – klucz do sukcesu w relacjach nauki z biznesem” [III.Q.3] w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki odbyłem 2013 r. Natomiast szkolenie „Zarządzanie Informacją” [III.Q.13], które realizowane było w ramach Projektu „Dydaktyka 2.0” odbyłem w roku 2018. Dodatkowo w 2017 r. przeszedłem szkolenie z obsługi Skanera 3D [III.Q.12].

### Dane bibliometryczne

Artykuły naukowe, których byłem autorem lub współautorem były 28 razy cytowane według serwisie Web of Science (WoS), 47 razy według bazy Scopus oraz 217 razy według Google Scholar. Obliczony dla mnie indeks Hirsha według bazy WoS h-index wynosi 3, według Scopus’a h-index wynosi 3, natomiast wyliczony według Google Scholar h-index wynosi 7.

	Wg bazy Web of Science	Wg bazy Scopus	Wg bazy Google Scholar
Liczba publikacji w bazie	13	19	49
Indeks Hirscha wg bazy	3	3	7
Liczba cytowań	28	47	217

Sumaryczny Impact Factor ze wszystkich moich prac wynosi **IF= 4,584**; a sumaryczna liczba punktów MNiSW wynosi **267**.

*Tomasz Szymczak*



## Literatura

1. 44th Census of World Casting Production. *Modern Casting*, December 2010, 23-27.
2. 45th Census of World Casting Production. *Modern Casting*, December 2011, 16-19.
3. 46th Census of World Casting Production. *Modern Casting*, December 2012, 25-29.
4. 47th Census of World Casting Production. *Modern Casting*, December 2013, 18-23.
5. 48th Census of World Casting Production. *Modern Casting*, December 2014, 17-21.
6. 49th Census of World Casting Production. *Modern Casting*, December 2015, 26-31.
7. 50th Census of World Casting Production. *Modern Casting*, December 2016, 25-29.
8. Census of World Casting Production. *Modern Casting*, December 2017, 24-28.
9. Okamoto H. (2008). Al-Cr (Aluminum-Chromium). *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*. 29(1), 111-112. DOI: 10.1007/s11669-007-9225-4.
10. Okamoto H. (2010). Al-Mo (Aluminum-Molybdenum). *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*. 31(5), 492-493.
11. Alloy Phase Diagrams. ASM Handbook Vol. 3. 1992.
12. Szymczak T., Gumienny G., Pacyniak T. Effect of Vanadium and Molybdenum on the Crystallization, Microstructure and Properties of Hypoeutectic Silumin. *Archives of Foundry Engineering*, Vol. 15, Issue 4 (2015), 81-86.
13. Szymczak T., Gumienny G., Pacyniak T., Walas K. Effect of Tungsten and Molybdenum on the Crystallization, Microstructure and Properties of Silumin 226. *Archives of Foundry Engineering*, Vol. 15, Issue 3 (2015), 61-66.
14. Okamoto H. Mo-Si (Molybdenum-Silicon). *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, Vol. 32, No. 2 (2011), 176.
15. Smith J.F. The Si-V (Silicon-Vanadium) System: Addendum. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*. Vol. 6, No. 3 (1985), 266-271.
16. Luo Q., Li K., Li Q. Thermodynamic investigation of phase equilibria in Al-Si-V system. *Journal of Materials Science & Technology*, Vol. 34 (2018), 1592-1601.
17. Guo Z., Yuan W., Sun Y., Cai Z., Qiao Z. Thermodynamic Assessment of the Si-Ta and Si-W Systems. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, Vol. 30, No. 5 (2009), 564-570.
18. Venkataraman M. & Neumann J.P. (1987). The Cr-Mo (Chromium-Molybdenum) System. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*. 8(3), 216-220.
19. Smith, J.F., Bailey, D.M. & Carlson, O.N. (1982). The Cr-V (Chromium-Vanadium) System. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*. 2(4), 469-473.
20. Nagender Naidu S.V., Sriramamurthy A.M., Rama Rao P. The Cr-W (Chromium-Tungsten) System. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*, Vol. 5, No. 3 (1984), 289-292.
21. Zheng, F., Argent, B.B. & Smith, J.F. (1999). Thermodynamic Computation of the Mo-V Binary Phase Diagram. *Journal of Phase Equilibria*. 20(4), 370-372.
22. Okamoto H. V-W (Vanadium-Tungsten). *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, Vol. 31, No. 3 (2010), 324.
23. Timelli G., Bonollo F. The influence of Cr content on the microstructure and mechanical properties of AlSi9Cu3(Fe) die-casting alloys. *Materials Science and Engineering A*, Vol. 528 (2010), 273-282.