

Autoreferat

1. Imię i nazwisko

Marek Potoczek

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Stopień doktora	Rok uzyskania: 1993 Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Dyscyplina: Inżynieria Materiałowa Tytuł pracy doktorskiej: Kinetyka i mechanizm siarkowania molibdenu w wysokich temperaturach (Rozprawa obroniona z wyróżnieniem nadanym przez Radę Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH) Promotor: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Przybylski Recenzenci: Prof. zw. dr hab. Stanisław Mrowec, Akademia Górniczo-Hutnicza Prof. dr inż. Eugeniusz Gąsior, Uniwersytet Śląski
Tytuł magistra	Rok uzyskania: 1986 Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Kierunek: Inżynieria Materiałowa Tytuł pracy magisterskiej: Kinetyka siarkowania niobu w zakresie temperatury 973 – 1373 K Promotor: Prof. dr hab. inż. Marek Danielewski, Akademia Górniczo-Hutnicza

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

1986-1987	Inżynier stażysta, Instytut Inżynierii Materiałowej, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademia Górniczo-Hutnicza.
1987	Służba wojskowa
1988-1992	Doktorant, Katedra Fizykochemii Ciała Stałego, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademia Górniczo-Hutnicza, studia doktoranckie w zakresie „Teorii i Technologii Procesów Metalurgicznych” wspólne z Wydziałem Metalurgicznym AGH.
1993-1994	Specjalista Naukowo-Techniczny, Katedra Fizykochemii Ciała Stałego, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademia Górniczo-Hutnicza.
1995 - obecnie	Adiunkt, Katedra Technologii i Materiałoznawstwa Chemicznego, Wydział Chemiczny, Politechnika Rzeszowska.

4. Wskazane osiągnięcia wynikające 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. Nr 65, poz. 595 ze zm.)

a) tytuł osiągnięcia naukowego:

Monografia pt.: „*Kształtowanie mikrostruktury piankowych materiałów korundowych*”

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

Podstawą do ubiegania się przeze mnie o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa jest monografia (100% udziału własnego):

**M. Potoczek: „Kształtowanie mikrostruktury piankowych materiałów korundowych”,
Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2012,**

ISBN 978-83-7199-756-3,

w której zebrałem i rozszerzyłem wyniki badań opublikowanych w następujących artykułach (spis prac w porządku chronologicznym):

1. M. Potoczek, J. Lechowicz: “*Polymer hydrogels in forming of ceramics by gelcasting technique*”, Ceramics, Polish Ceramic Bulletin, 2002, 71, 218-223. (Wydawnictwo: Polskie Towarzystwo Ceramiczne i Komisja Nauk Ceramicznych O/PAN, Kraków). IF = 0,0
2. M. Potoczek, H. Galina: „*Formowanie ceramiki metodą odlewania z gęstwy żelującej przy użyciu kopolimeru monometakrylanu glikolu metoksypolietylenowego i 1-winylo-2-pirolidonu*”, Przemysł Chemiczny, 2003, 82, (8-9), 948-950. (Wydawnictwo SIGMA-NOT, Warszawa). IF = 0,244
3. M. Potoczek, E. Zawadzak: “*Initiator effect on the gelcasting properties of alumina in the system involving low-toxic monomers*”, Ceramics International, 2004, 30, 793-799. (Wydawnictwo: Elsevier). IF = 1,040
4. M. Potoczek, E. Zawadzak, H. Majcherczyk: „*Zastosowanie układu metakryloamid - N,N'-metylenobisakryloamid w formowaniu ceramiki korundowej metodą odlewania z gęstwy żelującej*”, Materiały Ceramiczne, 2004 (1) 19-24. (Wydawnictwo: Polskie Towarzystwo Ceramiczne, Kraków). IF = 0,0
5. M. Potoczek: “*Ceramiczne tworzywa porowate o strukturze piany wytwarzane metodą gel-casting przy użyciu przyjaznych dla środowiska polisacharydów*” Ceramika-Ceramics, Polski Biuletyn Ceramiczny, 2005, 91/2, 1035-1042. (Wydawnictwo:

Polskie Towarzystwo Ceramiczne i Komisja Nauk Ceramicznych O/PAN, Kraków).
IF = 0,0

6. M. Potoczek: „Zastosowanie albuminy w charakterze środka spieniającego i żelującego do wytwarzania ceramiki porowatej”. Ceramika-Ceramics, Polski Biuletyn Ceramiczny 2005, 91/2, 1043-1049. (Wydawnictwo: Polskie Towarzystwo Ceramiczne i Komisja Nauk Ceramicznych O/PAN, Kraków). IF = 0,0
7. M. Potoczek: „A catalytic effect of alumina grains onto polymerization rate of methacrylamide based gelcasting system”, Ceramics International, 2006, 32, 739-744. (Wydawnictwo: Elsevier). IF = 1,128
8. M. Potoczek: „Wpływ właściwości reologicznych gęstwy na mikrostrukturę ceramiki korundowej o budowie piany”, Ceramika-Ceramics, Polski Biuletyn Ceramiczny, 2006, 96, 435-442. (Wydawnictwo: Polskie Towarzystwo Ceramiczne i Komisja Nauk Ceramicznych O/PAN, Kraków). IF = 0,0
9. M. Potoczek: „Gelcasting of alumina foams using agarose solutions”, Ceramics International, 2008, 34, 661-667. (Wydawnictwo: Elsevier). IF = 1,369
10. M. Potoczek: „Hydroxyapatite foams produced by gelcasting using agarose” Materials Letters, 2008, 62, 1055-1057. (Wydawnictwo: Elsevier). IF = 1,353
11. M. Potoczek: „Wytwarzanie wysokoporowatych hydroksyapatytów metodą „gelcasting” Ceramika-Ceramics, Polski Biuletyn Ceramiczny, 2008, 103/1, 501-508 (Wydawnictwo: Polskie Towarzystwo Ceramiczne i Komisja Nauk Ceramicznych O/PAN, Kraków). IF = 0,0
12. M. Potoczek: „Projektowanie mikrostruktury ceramiki porowatej wytwarzanej metodą spieniania i żelowania” Ceramika-Ceramics, Polski Biuletyn Ceramiczny, 2008, 103/1, 509-515. (Wydawnictwo: Polskie Towarzystwo Ceramiczne i Komisja Nauk Ceramicznych O/PAN, Kraków). IF = 0,0
13. M. Potoczek, A. Zima, Z. Paszkiewicz, A. Ślósarczyk: „Manufacturing of highly porous calcium phosphate bioceramics via gel-casting using agarose” Ceramics International, 2009 35, 2249-2254. (Wydawnictwo Elsevier). IF = 1,686
14. M. Potoczek, J. Myalski, J. Ślężiona, R.E. Śliwa: „Ceramika porowata do infiltracji metalami wytwarzana metodą żelowania spienionej zawiesiny” Inżynieria Materiałowa, 2009, 6, 536-539 (Wydawnictwo: SIGMA-NOT, Warszawa) IF = 0,0
15. M. Potoczek, R.E. Śliwa, J. Myalski, J. Ślężiona: „Kompozyty metalowo-ceramiczne wytwarzane przez infiltrację ciśnieniową metalu do ceramicznej preformy o budowie

piany” Rudy i Metale Nieżelazne, 2009, 54 (11) 688-692 (Wydawnictwo: SIGMA-NOT, Warszawa). IF = 0,0

16. M. Potoczek, R.E. Śliwa, R. Pęcherski, Z. Nowak, M. Nowak: „*Modelowanie struktury geometrycznej i wytrzymałości na ściskanie pianek ceramicznych przeznaczonych do infiltracji ciekłymi metalami*” Rudy i Metale Nieżelazne, 2011, 56, 594-597. (Wydawnictwo: SIGMA NOT-Warszawa). IF = 0,0

17. M. Potoczek, R.E. Śliwa: “*Microstructure and physical properties of AlMg/Al₂O₃ interpenetrating composites fabricated by metal infiltration into ceramic foams*” Archives of Metallurgy and Materials 2011 56 1265-1269. (Wydawnictwo: Versita, Warszawa). IF = 0,262

Wyniki swoich badań wchodzących w skład monografii prezentowałem także na wielu międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych – **Załącznik 3**: Wykaz opublikowanych prac naukowo-badawczych: **pkt. II L - wykaz wystąpień konferencyjnych** [7-21, 16-32] – numeracja zgodna z **załącznikiem 3**.

c) Omówienie celu naukowego w/w prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Przedstawiona do oceny monografia „*Kształtowanie mikrostruktury piankowych materiałów korundowych*” oparta na pracach [1-17] oraz rozszerzona i uzupełniona o wyniki niepublikowanych badań dotyczy wielu oryginalnych aspektów związanych z projektowaniem i ekologicznym wytwarzaniem ceramicznych materiałów piankowych. W monografii wyjaśniono też właściwości fizyczne i mechaniczne pianek ceramicznych, a także opracowano model złożonej struktury przestrzennej tych materiałów. Element aplikacyjny monografii stanowią kompozyty metalowo-ceramiczne oraz porowate biomateriały.

Ceramiczne materiały piankowe stanowią specyficzną grupę ceramicznych materiałów porowatych. Materiały tego typu charakteryzuje wysoka porowatość, na ogół z zakresie 60-95% oraz wielkość makroporów (komórek pianki) w zakresie od około 30 do ok. 900 μm, połączonych ze sobą kanałami (tzw. oknami) stwarzającymi dobre warunki hydrodynamiczne do przepływu cieczy i gazów. Obecnie istnieje wiele różnych metod wytwarzania ceramicznych materiałów piankowych. Najważniejsze z nich to odwzorowanie porowatej matrycy [*M23] (*M – odnośnik do numeracji literatury cytowanej w monografii), a także opracowana niedawno metoda żelowania spienionej zawiesiny (ang. *gelcasting of*

foams) [M29-M30]. Szkielet utrzymujący ścianki komórek pianki wytworzonej metodą żelowania spienionej zawiesiny zbudowany jest z zagęszczonej fazy ceramicznej. Takiej budowy nie wykazują pianki ceramiczne wytwarzane dotychczas najbardziej rozpowszechnioną metodą, którą jest odwzorowanie porowatej matrycy organicznej. Cechą charakterystyczną tej ceramiki jest występowanie pustek w szkielecie utrzymującym komórki pianki spowodowane wypaleniem spienionego podłoża polimerowego. Budowa szkieletu ceramicznego sprawia, że wytrzymałość na zginanie i ściskanie ceramiki porowatej otrzymanej metodą żelowania spienionej zawiesiny jest kilkakrotnie większa w porównaniu do ceramiki wytworzonej metodą odwzorowania porowatej matrycy. Zwiększenie, nawet w niewielkim stopniu, wytrzymałości mechanicznej pianek ceramicznych poprzez zmianę sposobu wytwarzania może znacznie poszerzyć obszar zastosowania.

Jednak podstawowym problemem ograniczającym możliwość wytwarzania pianek ceramicznych jest toksyczność monomerów używanych do wytworzenia hydrożeli, które utrwalają strukturę mokrej piany. Dotychczas powszechnie stosowany w technologii żelowania spienionej zawiesiny monomer – akryloamid, jest substancją o działaniu rakotwórczym i neurotoksycznym [M33]. Obecnie wiele prac badawczych na świecie, skupionych jest na poszukiwaniu rozwiązań dotyczących zastosowania jako środków żelujących monomerów o małym stopniu toksyczności oraz biopolimerów [M34-M40]. Istotny wkład w ekologiczne aspekty wytwarzania porowatych kształtek ceramicznych wniosły prace habilitanta, który badał procesy żelowania monomerów o obniżonej toksyczności w zawiesinach ceramicznych [1-4], a także opracował proces żelowania spienionej zawiesiny przy użyciu agarozy – naturalnego poliwęglowodanu [5, 8-10].

Oddzielnym zagadnieniem jest prognozowanie wybranych właściwości fizycznych i mechanicznych ceramicznych materiałów piankowych. Pierwszym etapem jest opracowanie modelu geometrii przestrzennej materiałów piankowych. Dotychczas, struktury piankowe wytworzone metodą żelowania spienionej zawiesiny opisywane są modelem komórki sześcienniej wyprowadzonym przez Gibsona i Ashbiego [M2, M30, M77, M100, M111]. Nie zaobserwowano dobrej zgodności pomiędzy wartościami doświadczalnymi wybranych właściwości mechanicznych (wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie, moduł Younga) a przewidzianymi przez model Gibsona i Ashbiego. Stwierdzono, że przyczyną niezgodności jest uproszczony model geometryczny komórki pianki, niezależny od gęstości względnej mechanizm deformacji pianki, a także zmniejszanie się stosunku średnicy okna w ściance komórki do średnicy komórki wraz ze wzrostem gęstości względnej materiału piankowego [M30, M100, M111].

Ze względu na coraz bardziej różnorodne zastosowania pianek ceramicznych, w tym jako porowatych biomateriałów oraz kompozytów metaliczno-ceramicznych wytwarzanych metodą infiltracji ciekłego metalu do pianki ceramicznej, istnieje zapotrzebowanie na opracowanie ekologicznej technologii wytwarzania tych materiałów, scharakteryzowania właściwości geometrycznych i mechanicznych, a także opracowania modelu odzwierciedlającego ich rzeczywistą budowę.

W związku z tym wyniki prowadzonych przeze mnie badań były podstawą opracowania warunków procesu wytwarzania pianek ceramicznych z zastosowaniem agarozy, która jest przyjaznym dla środowiska polisacharydem. W odniesieniu do sposobów wytwarzania pianek ceramicznych opartych na żelowaniu monomerów, zastosowanie agarozy – związku wielkocząsteczkowego ($M=120000$) wymagało opracowania nowych warunków prowadzenia procesu technologicznego. Stąd *podstawowym celem opisanych w monografii badań* była ocena wpływu właściwości reologicznych zawiesiny korundowej z dodatkiem agarozy oraz warunków spieniania i żelowania na mikrostrukturę pianek ceramicznych. Pozwoliło to na kształtowanie struktur piankowych o prognozowanej porowatości oraz prognozowanych średnicach makroporów i połączeń pomiędzy nimi. Ustalono także wpływ gęstości względnej pianki na przepuszczalność oraz na wybrane właściwości mechaniczne (wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie, moduł Younga, moduł Weibulla). Dla symulacji właściwości mechanicznych ceramicznego materiału piankowego opracowano i poddano weryfikacji model jego struktury przestrzennej.

W swoich badaniach skoncentrowałem się na następujących zagadnieniach:

- wyjaśnieniu procesów żelowania monomerów o obniżonej toksyczności w zawiesinie ceramicznej,
- wyjaśnieniu wpływu właściwości reologicznych zawiesiny ceramicznej z rozpuszczonymi biopolimerami oraz parametrów spieniania i żelowania na kształtowanie porowatości oraz wielkości porów i systemu ich wzajemnych połączeń w korundowych i hydroksyapatytowych materiałach piankowych,
- ustaleniu wpływu gęstości względnej pianki na przepuszczalność oraz wybrane właściwości mechaniczne (wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie, moduł Younga),
- opracowaniu modelu geometrii przestrzennej pianki ceramicznej i sprawdzeniu jego przydatności do prognozowania wybranych właściwości mechanicznych pianek ceramicznych,

- aplikacji pianek ceramicznych w wytwarzaniu kompozytów metaliczno-ceramicznych o wzajemnie przenikających się szkieletach (ang. *interpenetrating phase composites*) oraz jako porowatych biomateriałów.

Ważnym problemem ekologicznym w żelowaniu zawiesin ceramicznych przeznaczonych do wytwarzania zarówno gęstych jak i porowatych materiałów ceramiki specjalnej jest toksyczność najczęściej stosowanego monomeru – akryloamidu. W związku z tym swoje badania rozpocząłem od zastosowania do żelowania zawiesin korundowych monomerów o obniżonej toksyczności: metakryloamidu, monometakrylanu glikolu metoksy-polietylenowego i 1-winylo-2-pirolidonu [1-4, 7]. Jako monomery sieciujące zastosowałem: N,N'-metylenobisakryloamid i dimetakrylan glikolu poli(etylenowego). Powyższe badania prowadziłem w ramach kierowanego przeze mnie projektu badawczego KBN nr 4T09B 125 22 „Zastosowanie hydrożeli polimerowych w procesie formowania proszków ceramicznych metodą odlewania z gęstwy żelującej”.

Naukowy aspekt badań opisanych w pracach [1-4, 7] polegał na wyjaśnieniu procesu żelowania monomerów o obniżonej toksyczności w korundowej masie lejnej. Stwierdziłem, że monomery zawierające grupy estrowe lub eterowe wykazywały większą szybkość polimeryzacji w porównaniu z monomerami zawierającymi grupy amidowe. Ponadto wykazałem, że zawiesiny korundowe zawierające monomery o obniżonym stopniu toksyczności wykazywały dłuższy czas inicjacji niż monomery zawierające akryloamid. Różnica w czasach inicjacji szczególnie widoczna dla zawiesin zawierających akryloamid i metakryloamid spowodowana była czynnikami sterycznymi oraz stabilizacją rezonansową makrorodników metakryloamidowych [4]. Wykazałem też wpływ grup funkcyjnych monomerów sieciujących na czas inicjacji. Stwierdziłem także katalityczny wpływ ziarna korundowego na kinetykę polimeryzacji układu metakryloamid – N,N'-metylenobisakryloamid [7]. Wykazałem też wpływ usieciowania hydrożelu polimerowego na wytrzymałość na ściskanie i zginanie surowych kształtek korundowych [3, 4]. Prace [3, 7] opublikowane w czasopiśmie z listy *Journal Citation Reports* znalazły duże zainteresowanie wśród naukowej społeczności międzynarodowej:

- [3] M. Potoczek, E. Zawadzak: “Initiator effect on the gelcasting properties of alumina in the system involving low-toxic monomers”, Ceramics International, 2004, 30, 793-799, (17 cytowań, Web of Science),
- [7] M. Potoczek: “A catalytic effect of alumina grains onto polymerization rate of methacrylamide based gelcasting system”, Ceramics International, 2006, 32, 739-744, (6 cytowań, Web of Science).

Wyniki jakościowe i ilościowe przedstawione w pracach [1-4, 7] mają także duże znaczenie praktyczne, ponieważ proponowane układy monomerów o obniżonej toksyczności z powodzeniem zastępują dotychczas najbardziej rozpowszechniony środek żelujący, jakim jest toksyczny akryloamid, co przyczynia się do zainteresowania przemysłu ceramicznego nad wytwarzaniem gęstej ceramiki specjalnej o złożonych kształtach metodą „gelcasting”, a tym samym minimalizuje końcową – bardzo kosztowną obróbkę mechaniczną. Ponadto niektóre z przebadanych środków żelujących spełniające warunek krótkiego czasu polimeryzacji w zawiesinie ceramicznej i dużej wytrzymałości mechanicznej kształtek w stanie surowym mogły być zastosowane do wytwarzania pianek ceramicznych (patrz monografia, rozdz. 4.2 i 5.1.3).

Inną nietoksyczną grupą środków żelujących są przyjazne dla środowiska biopolimery, które tworzą hydrożele fizyczne podczas ochładzania (np. agarozą, agar) [5, 9-10] lub podgrzewania (np. albumina, metyloceluloza) zawiesiny ceramicznej [6, 8]. Badania nad biopolimerami jako środkami utrwalającymi strukturę piany w procesie formowania pianek korundowych i hydroksyapatytowych prowadziłem w ramach kierowanego przeze mnie projektu badawczego MNiSW nr 3 T09 B 048 28 nt.: „*Ceramiczne tworzywa porowate o strukturze piany wytwarzane metodą odlewania z gęstwy żelującej*”.

Na podstawie obserwacji morfologicznych pianek korundowych wytworzonych przy użyciu ww. biopolimerów do dalszych badań wytypowałem agarozę, a to ze względu na krótki czas żelowania i związany z nim mały rozrzut średnic zastępczych komórek pianki. Wyniki prowadzonych przeze mnie badań były podstawą opracowania warunków procesu wytwarzania pianek ceramicznych z zastosowaniem agarozy jako środka utrwalającego strukturę mokrej piany. W odniesieniu do znanych sposobów wytwarzania pianek ceramicznych opartych na żelowaniu monomerów, zastosowanie agarozy – związku wielkocząsteczkowego ($M=120000$), zmieniającego właściwości reologiczne zawiesiny, wymagało opracowania nowych warunków prowadzenia procesu technologicznego. Stąd podstawowym celem naukowym prac [8-9, 12] była ocena wpływu właściwości reologicznych zawiesiny korundowej z dodatkiem agarozy oraz warunków spieniania i żelowania na mikrostrukturę pianek ceramicznych. Rezultaty opisane w pracach [8-9,12] pozwoliły na kształtowanie struktur piankowych o prognozowanej porowatości w zakresie 60-90% oraz prognozowanych średnicach makroporów od 30 do 900 μm i połączeń pomiędzy nimi w zakresie 10-130 μm . Stwierdzono, że właściwości reologiczne zawiesiny istotnie determinowały mikrostrukturę pianek ceramicznych. Pianki ceramiczne wytwarzane z

zawiesin o małej lepkości determinowanej stężeniem proszku ceramicznego i agarozy charakteryzowały się występowaniem dużej wartości porowatości i dużymi średnicami komórek o charakterze otwartym. Wzrost lepkości zawiesiny powodował zmniejszenie wartości porowatości oraz rozmiarów średnic zastępczych i stopnia otwarcia komórek pianki. Ponadto określono wpływ środków spieniających i żelujących oraz warunków spieniania i żelowania na kształtowanie mikrostruktury pianek ceramicznych [8, 9].

Ekologiczny sposób wytwarzania ceramicznych materiałów piankowych jest przedmiotem zgłoszenia patentowego (**Załącznik 3, pkt. II C**).

Swoje doświadczenia wynikające z prac dotyczących kształtowania struktury i właściwości pianek korundowych wykorzystałem do projektowania i wytwarzania wysokoporowatej bioceramiki hydroksyapatytowej, gdyż pod względem biogodności i bioaktywności bioceramika hydroksyapatytowa zajmuje szczególne miejsce wśród materiałów implantacyjnych. W pracach [10-11] szczególną uwagę zwróciłem na ekologiczny sposób wytwarzania pianek hydroksyapatytowych przy użyciu agarozy jako środka utrwalającego strukturę piany, a także na dobór warunków obróbki cieplnej spełniającej kryterium jednorodności składu fazowego tego tworzywa. Wykazałem, że – podobnie jak w piankach korundowych – parametrem determinującym porowatość całkowitą oraz rozmiar makroporów, a także połączeń między nimi jest lepkość zawiesiny określona przez stężenie proszku ceramicznego i stężenie agarozy. Właściwy dobór parametrów wytwarzania pozwolił na uzyskanie materiałów na implanty o budowie symulującej budowę naturalnej kości gąbczastej. Materiały te charakteryzowały się porowatością w zakresie 86-92%, średnicami zastępczymi makroporów w zakresie 240-380 μm i połączeń pomiędzy makroporami w zakresie 55-104 μm . Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie pianek hydroksyapatytowych wskazywały na możliwość obrabialności chirurgicznej implantu, ale jednocześnie wskazywały na możliwość zastosowania tych materiałów jako substytutów tkanki kostnej w miejscach niezbyt silnie obciążonych.

Podjąłem także współpracę z zespołem prof. dr hab. inż. Anny Ślósarczyk z Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w dziedzinie wytwarzania i charakterystyki bioceramiki fosforanowo-wapniowej [13].

Prace dotyczące pianek korundowych i hydroksyapatytowych opublikowane w czasopiśmie z listy *Journal Citation Reports* znalazły duże zainteresowanie wśród naukowej społeczności międzynarodowej:

[9] M. Potoczek: “*Gelcasting of alumina foams using agarose solutions*”, Ceramics International, 2008, 34, 661-667 (6 cytowań, WoS).

- [10] M. Potoczek: "*Hydroxyapatite foams produced by gelcasting using agarose*" Materials Letters, 2008, 62, 1055-1057 (12 cytowań, WoS).
- [13] M. Potoczek, A. Zima, Z. Paszkiewicz, A. Ślósarczyk: "*Manufacturing of highly porous calcium phosphate bioceramics via gel-casting using agarose*" Ceramics International, 2009 35, 2249-2254 (11 cytowań, WoS).

Swoje badania w dziedzinie projektowania, wytwarzania, charakterystyki oraz modelowania struktury przestrzennej pianek ceramicznych, a także ich aplikacji do kompozytów metaliczno-ceramicznych kontynuowałem w ramach kierowanego przez prof. PRz. dr hab. inż. R. E. Śliwę projektu kluczowego „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym” Nr POIG 0101.02-00-015/08 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka. Ustaliłem wpływ gęstości względnej pianki na przepuszczalność oraz na wybrane właściwości mechaniczne (wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie, moduł Younga, moduł Weibulla) [14-15, oraz monografia rozdz. 5.2]. Odtworzyłem także strukturę przestrzenną pianki ceramicznej metodą mikrotomografii komputerowej. Dla symulacji wybranych właściwości mechanicznych ceramicznego materiału piankowego opracowałem i poddałem weryfikacji model jego struktury przestrzennej [16]. Motywacją do opracowania modelu struktury przestrzennej pianki ceramicznej wytworzonej metodą spieniania i żelowania był obserwowany w badaniach własnych, a także innych autorów [M30, M77, M100, M111] brak dobrej zgodności pomiędzy wartościami doświadczalnymi wybranych właściwości mechanicznych materiałów piankowych (wytrzymałość na zginanie, wytrzymałość na ściskanie, moduł Younga) a przewidzianymi przez znany z literatury model Gibsona-Ashbiego [M2]. Podstawą opracowania numerycznego modelu geometrii pianki były obserwacje morfologiczne ceramiki wysokoporowatej przeprowadzone metodą skaningowej mikroskopii elektronowej, a także obrazy 3-D pianek otrzymane metodą mikrotomografii komputerowej. Badania nad opracowaniem modelu struktury piankowej prowadziłem przy współpracy z zespołem prof. dr hab. inż. Ryszarda Pęcherskiego z Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie [16]. Zaletą opracowanego modelu numerycznego jest możliwość odtworzenia struktury przestrzennej pianki o dowolnej porowatości z uwzględnieniem jednoczesnego występowania komórek zarówno otwartych jak i zamkniętych, a także rozrzutu wartości średnic komórek pianki i okien w ściankach komórek. Przy ustalonej wartości porowatości oraz przy ustalonym rozkładzie średnic komórek i okien istnieje możliwość generacji serii próbek o losowym ułożeniu przestrzennym komórek i okien – tak jak w piankach rzeczywistych wytwarzanych metodą żelowania spienionej zawiesiny. Uzyskałem bardzo dobrą zgodność pomiędzy rzeczywistą budową pianki odtworzoną metodą mikrotomografii komputerowej a wygenerowaną numerycznie strukturą przestrzenną.

Ponadto otrzymałem bardzo dobrą zgodność wartości modułu Younga pianek korundowych o różnej porowatości pomiędzy doświadczeniem a symulacją numeryczną z zastosowaniem metody elementów skończonych. Niewątpliwą zaletą opracowanego modelu struktury przestrzennej pianki jest zgodność wyników symulacji numerycznej z wynikami eksperymentalnymi uzyskanymi metodą nieniszczącą w szerokim zakresie porowatości pianki (67–90%), a nie jak w znanym z literatury modelu Gibsona-Ashbiego [M2] tylko w zakresie bardzo dużych porowatości (80–90%).

Elementem aplikacyjnym moich badań było zaprojektowanie i wytworzenie pianek korundowych przeznaczonych do infiltracji ciekłymi stopami aluminium (AlMg5 i AlCu5) w celu wytworzenia kompozytów o wzajemnie przenikających się szkieletach fazy ceramicznej i metalicznej. W przypadku projektowania takich materiałów do otrzymywania kompozytów metal-ceramika metodą infiltracji ciśnieniowej ciekłego metalu do porów ceramicznego tworzywa porowatego pod ciśnieniem, wytrzymałość osnowy ceramicznej powinna zapewnić pełne wypełnienie porów ciekłym metalem, co przy znacznym zróżnicowaniu wielkości porów wymaga zastosowania niekiedy dużego ciśnienia. Z tego względu istotny jest dobry zespół właściwości mechanicznych pianek wytwarzanych metodą spieniania bezpośredniego. Infiltrację pianek korundowych ciekłym metalem przeprowadziłem przy współpracy z prof. dr hab. inż. Józefem Ślezioną i Dr hab. inż. Jerzym Myalskim z Wydziału Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Politechniki Śląskiej. Wyniki badań infiltracji pianek ceramicznych ciekłymi metalami są przedmiotem publikacji [14-15], zgłoszenia patentowego (**Zał. 3, pkt. II C**) oraz kilku wystąpień na konferencjach międzynarodowych i krajowych (**Zał. 3, pkt. II L** [7-10, 31-34]). W publikacji [17] opisałem mikrostrukturę i wybrane właściwości mechaniczne kompozytów. Stwierdziłem, że kompozyty AlMg5/Al₂O₃ charakteryzowały się równomierną mikrostrukturą w całej objętości, co jest trudne do uzyskania w dotychczas znanych kompozytach wzmacnianych cząstkami wytwarzanymi przez wprowadzenie cząstek ceramicznych do ciekłego metalu. Jest to między innymi wynikiem tego, że w procesie wprowadzania cząstek ceramicznych do ciekłego metalu może wystąpić zjawisko sedymentacji lub flotacji prowadzące do niejednorodnego rozmieszczenia cząstek ceramicznych. Ponadto kompozyty charakteryzowały się pełnym wypełnieniem komórek pianki przez metal i dobrym przyleganiem na granicy międzyfazowej metal/ceramika. Uzyskane infiltrowane metaliczno-ceramiczne kompozyty AlMg5/Al₂O₃ cechuje mała gęstość, duża twardość i dobra wytrzymałość na ściskanie. Daje to, zatem możliwość zastosowania w technice lotniczej i motoryzacji.

W listopadzie 2012 r. rozpocząłem współpracę z zespołem prof. Paolo Colombo z Department of Industrial Engineering University of Padova we Włoszech nad wytwarzaniem metodą spieniania i żelowania oraz charakterystyką materiałów piankowych z Ti_2AlC i Ti_3AlC_2 (ang. *Max Phases*). Materiały te łączą w sobie cechy metali i ceramiki. Wstępne wyniki badań nad wytwarzaniem i właściwościami mechanicznymi pianek z Ti_2AlC i Ti_3AlC_2 zostały przyjęte na konferencję międzynarodową organizowaną przez *American Ceramic Society* - **Zał. 3, pkt. II L** [13].

Uzyskane i zaprezentowane w monografii wyniki prac własnych o charakterze teoretycznym, technologicznym i metodycznym pozwalają sformułować uwagi końcowe. Dotyczą one zarówno możliwości kształtowania struktury i właściwości pianek ceramicznych z zastosowaniem żelowania spienionej zawiesiny, jak i ich aplikacji, ze szczególnym uwzględnieniem kompozytów metal–ceramika.

1. Opracowano ekologiczny proces wytwarzania ceramicznych materiałów piankowych przy zastosowaniu agarozy jako środka utrwalającego strukturę piany. Stwierdzono, że właściwy dobór czynników warunkujących przebieg procesów spieniania i żelowania zawiesiny ceramicznej, do których należą: stężenie proszku ceramicznego i agarozy w zawiesinie, rodzaj i stężenie środka spieniającego, temperatura spieniania i żelowania, pozwala na kontrolę porowatości całkowitej w zakresie 60–90% oraz średnic komórek w zakresie 30–900 μm i okien w zakresie 10–130 μm .
2. Stwierdzono, że przy ustalonym stężeniu surfaktanta i szybkości dyspergowania gazu najważniejszym czynnikiem kształtującym mikrostrukturę pianki ceramicznej jest lepkość zawiesiny przeznaczonej do spieniania. Pianki ceramiczne wytwarzane z zawiesin o małej lepkości determinowanej stężeniem proszku ceramicznego i agarozy charakteryzowały się występowaniem dużej wartości porowatości i dużymi średnicami komórek o charakterze otwartym. Wzrost lepkości zawiesiny powodował zmniejszenie wartości porowatości oraz rozmiarów i stopnia otwarcia komórek pianki – aż do pojawienia się komórek zamkniętych. Obserwowane zmiany morfologiczne komórek i okien wynikały z wpływu lepkości zawiesiny na stabilność piany.
3. Opracowany model numeryczny geometrii przestrzennej pianki ceramicznej pozwala na odtworzenie struktury pianki o dowolnej porowatości z uwzględnieniem występowania komórek zarówno otwartych jak i zamkniętych, a także rozrzutu wartości średnic komórek i okien. Przy ustalonej wartości porowatości oraz rozkładu wartości średnic

komórek i okien istnieje możliwość generacji serii próbek o losowej geometrii przestrzennej – tak jak w wytwarzaniu pianek rzeczywistych. Stwierdzono dobrą zgodność między budową przestrzenną pianki wygenerowaną w procesie symulacji numerycznej a uzyskaną eksperymentalnie metodą mikrotomografii komputerowej. Ponadto otrzymano dobrą zgodność modułu Younga pianki korundowej pomiędzy doświadczeniem a symulacją numeryczną z zastosowaniem metody elementów skończonych.

4. Otrzymane pianki korundowe charakteryzował bardzo dobry zespół właściwości mechanicznych. Wytrzymałość na ściskanie pianek o porowatości w zakresie 90–67% zawarta była w granicach 4–91 MPa, a wytrzymałość na zginanie zmieniała się od 2 do 36 MPa. Wartość modułu Younga zmieniała się od 0,2 do 24,6 GPa. Duże, jak na materiały wysokoporowate, wartości parametrów mechanicznych wynikają z dobrze zagęszczonego szkieletu ceramicznego wytworzonego z zawiesin korundowych z rozpuszczoną agarozą.
5. Zależność przepuszczalności wytworzonych ceramicznych materiałów piankowych od prędkości przepływu gazu może być opisana równaniem Forchheimer'a, co oznacza występowanie przepływu turbulentnego przy dużych prędkościach przepływu gazu. Stwierdzono także, że wartości przepuszczalności wyznaczone doświadczalnie i przewidziane przez znany z literatury model Erguna dla materiału porowatego o prostej geometrii wykazywały zgodność tylko dla porowatości większej od 80%. Brak zgodności dla porowatości mniejszej od 80% spowodowany był przede wszystkim złożoną budową przestrzenną pianki ceramicznej.
6. Kompozyty metaliczno–ceramiczne $\text{AlMg5}/(10\% \text{ obj.})\text{Al}_2\text{O}_3$ wytworzone metodą infiltracji ciśnieniowej pianki korundowej ciekłym metalem charakteryzowało pełne wypełnienie komórek pianki przez metal i dobre przyleganie na granicy międzyfazowej metal/ceramika.
7. Twardość kompozytów $\text{AlMg5}/(10\% \text{ obj.})\text{Al}_2\text{O}_3$ o wzajemnie przenikających się szkieletach była o 83% większa od odlewniczego stopu AlMg5 . W konwencjonalnych kompozytach $\text{AlMg5}/(10\% \text{ obj.})\text{Al}_2\text{O}_3$ wzmacnianych cząstkami wzrost twardości wynosi do 20%. Wskazuje to na nowe możliwości projektowania wybranych właściwości mechanicznych w kompozytach o wzajemnie przenikających się szkieletach do zastosowań lotniczych.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Tematyka moich pozostałych prac naukowo – badawczych obejmuje zagadnienia, z których można wyróżnić:

- a) spoiwa organiczne do obróbki kształtującej surowych półfabrykatów ceramicznych,
- b) konstrukcja diagramu defektów punktowych oraz badania właściwości elektrycznych dwusiarczku molibdenu,
- c) wybrane właściwości fizyczne, mechaniczne i elektryczne porcelany cyrkonowej,
- d) inne prace naukowo – badawcze, które nie są związane tematycznie z materiałami ceramicznymi.

Spoiwa organiczne do obróbki kształtującej surowych półfabrykatów ceramicznych

Ze względu na dużą twardość materiałów ceramiki specjalnej koszty obróbki mechanicznej tych tworzyw w przypadku wytwarzania złożonych kształtów stanowią nawet 80% ogólnych kosztów wytwarzania. Wysokie koszty wytwarzania ceramiki specjalnej o złożonych kształtach powodują, że dąży się do opracowania nowych metod formowania umożliwiających otrzymywanie złożonych kształtów (np. *gelcasting*), a także do opracowania nowych spoiw organicznych umożliwiających obróbkę kształtującą surowych półfabrykatów uformowanych w procesie prasowania – najczęstszym sposobem formowania w przemyśle ceramicznym.

W związku z tym podjąłem badania nad nowymi spoiwami akrylowymi i poliuretanowymi przeznaczonymi do obróbki kształtującej surowych półfabrykatów z tlenku glinu. Wyniki tych badań opisałem w publikacjach [19, 25, 30] – numeracja zgodna z **załącznikiem 3, pkt.**

II A i II E.

[19] M. Potoczek, M. Heneczkowski, M. Oleksy: „*A new polyurethane binder providing high green strength of dry pressed alumina*”, *Ceramics International*, 2003, 29, 3, 259-264.

[25] M. Potoczek: „Spoiwo akrylowe do obróbki kształtującej surowych wyrobów z tlenku glinu” *Szkło i Ceramika*, 1997, 48, 1, 31-34.

[30] M. Potoczek: „Zastosowanie emulsji poliuretanowych w prasowaniu proszków ceramicznych”, *Szkło i Ceramika*, 2001, 52 (2) 12-15.

Przy doborze spoiw organicznych kierowałem się następującymi czynnikami: dużą wytrzymałością mechaniczną (na zginanie i na rozciąganie) uformowanych w procesie prasowania kształtek ceramicznych, możliwością uzyskiwania kształtek o wysokiej gęstości

w stanie surowym i po procesie spiekania, odpowiednią temperaturą zeszklenia spoiwa i łatwością procesu dekompozycji termicznej spoiwa.

Naukowy aspekt prac [19, 25, 30] polegał na określeniu wpływu spoiw akrylowych i poliuretanowych na wytrzymałość na zginanie i rozciąganie kształtek korundowych uformowanych w procesie prasowania oraz na wyjaśnieniu dużej wytrzymałości mechanicznej tych kształtek na podstawie badań oddziaływań międzycząsteczkowych wykonanych metodą spektroskopii w podczerwieni. Stwierdziłem, że za dużą wytrzymałość mechaniczną kształtek korundowych z dodatkiem polimeru akrylowego odpowiadają wiązania wodorowe między grupą hydroksylową polimeru akrylowego a atomami tlenu pochodzącymi z tlenku glinu [25]. Natomiast za dużą wytrzymałość mechaniczną kształtek korundowych z dodatkiem polimeru poliuretanowego odpowiadają wiązania wodorowe między grupą poliuretanową z polimeru a atomami tlenu pochodzącymi z tlenku glinu [19].

Praktyczny aspekt wyników opisanych w pracach [19, 25, 30] polegał na opracowaniu spoiw, które zapewniają uformowanym w procesie prasowania kształtkom korundowym dużą wytrzymałość na zginanie i na rozciąganie, co umożliwi obróbkę mechaniczną surowych półfabrykatów, a tym samym ogranicza kosztowną obróbkę mechaniczną po procesie spiekania. Opracowanie spoiw do obróbki mechanicznej surowych kształtek ceramicznych przyczynia się do obniżenia kosztów wytwarzania ceramiki specjalnej o złożonych kształtach. Praca dotycząca spoiwa poliuretanowego opublikowana w czasopiśmie z listy *Journal Citation Reports* [19] znalazła duże zainteresowanie wśród naukowej społeczności międzynarodowej – 12 cytowań wg *Web of Science*.

Konstrukcja diagramu defektów punktowych oraz badania właściwości elektrycznych dwusiarczku molibdenu

Prace [22, 23] – numeracja zgodna z **załącznikiem 3, pkt. II A** – stanowią uzupełnienie o nowe aspekty moich badań wykonywanych w ramach pracy doktorskiej „Kinetyka i mechanizm siarkowania molibdenu w wysokich temperaturach”, w której wyjaśniłem istniejące w literaturze rozbieżności dotyczące mechanizmu siarkowania molibdenu, dominującego typu zdefektowania sieci krystalicznej MoS₂ i struktury defektów punktowych w dwusiarczku molibdenu.

[22] M. Potoczek, K. Przybylski, M. Rękas: “*Defect structure and electrical properties of molybdenum disulphide*”, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2006, **67**, 2528-2535.

[23] M. Potoczek, K. Przybylski, M. Rękas: “*Chemical diffusion in molybdenum disulphide*”, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2007, **68**, 564-569.

Badania opisane w pracach [22-23] prowadziłem w ramach współpracy z prof. dr hab. inż. Kazimierzem Przybylskim i prof. dr hab. Mieczysławem Rękasem z Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Naukowym celem pracy [22] i jednocześnie elementem nowości w odniesieniu do rozprawy doktorskiej było skonstruowanie diagramu defektów punktowych sieci krystalicznej dwusiarczku molibdenu, MoS_2 , w zakresie temperatury 1073 – 1273 K i ciśnienia parcyjnego par siarki 10 – 6600 Pa. Chemię defektów punktowych w MoS_{2+x} (x – odstępstwo od stechiometrii) opisano w zależności od stężenia dziur elektronowych, które stanowiły większościowe defekty elektronowe, stężenia elektronów jako mniejszościowych defektów elektronowych, stężenia międzywęzłowych jonów siarki i stężenia jonów pierwiastków obcych stanowiących centra akceptorowe lub donorowe w sieci krystalicznej. Stwierdzono, że w zakresie niskiego ciśnienia parcyjnego siarki w atmosferze gazowej przeważało samoistne zdefektowanie elektronowe, a dla ciśnienia większego od 1000 Pa na strukturę defektów punktowych sieci krystalicznej dwusiarczku molibdenu istotny wpływ miało odstępstwo od stechiometrii wynikające z obecności międzywęzłowych jonów siarki.

Praca [23] stanowi kontynuację badań opisanych w publikacji [22]. Aspektem naukowym badań opisanych w pracy [23] było określenie współczynnika dyfuzji chemicznej siarki w dwusiarczku molibdenu na podstawie zmian przewodnictwa elektrycznego układu siarczek – siarka podczas przechodzenia z jednego ustalonego stanu równowagi termodynamicznej w drugi. Użyteczność metody wyznaczania współczynnika dyfuzji chemicznej na podstawie zmiany wartości przewodnictwa elektrycznego przedyskutowano w odniesieniu do diagramu defektów punktowych wyznaczonego w pracy [22]. Stwierdzono zadowalającą zgodność pomiędzy współczynnikiem dyfuzji chemicznej wyznaczonym eksperymentalnie na podstawie zmian przewodnictwa elektrycznego a obliczonym na podstawie znajomości współczynnika dyfuzji własnej siarki.

Wyniki prezentowane w pracach [22-23] mają duże znaczenie praktyczne gdyż MoS_2 jest ważnym materiałem półprzewodnikowym mającym zastosowanie w ogniwach słonecznych. W związku z tym konieczne było wyjaśnienie struktury defektów punktowych, które determinują właściwości elektryczne tego materiału. Ponadto w korozji gazowej metali, MoS_2 jest głównym produktem reakcji siarkowania molibdenu w atmosferze gazowej siarki, której szybkość jest bardzo mała i porównywalna z szybkością wzrostu ochronnej warstwy Cr_2O_3 podczas utleniania chromu.

Badania wybranych właściwości fizycznych, mechanicznych i elektrycznych porcelany cyrkonowej

W ramach współpracy z Instytutem Energetyki, Oddział Ceramiki „CEREL” w Boguchwale podjąłem badania nad opracowaniem składu surowcowego i warunków wypalania porcelany cyrkonowej jako materiału na izolatory przepustowo – wsporcze do elektrofiltrów [28, 29] – numeracja publikacji zgodna z **załącznikiem 3, pkt. II E**.

- [28] M. Potoczek: *"The Effect of Zircon Content and Firing Temperature on some Physicochemical Properties of Technical Porcelain"*, Ceramics, Polish Ceramic Bulletin, 2000, 60, 189-193.
- [29] M. Potoczek, M. Krauz: *„Mechaniczne i elektryczne właściwości porcelany cyrkonowej”* Szkło i Ceramika, 2000, 51 (4), 18-21.

Naukowy aspekt pracy [28] polegał na wyjaśnieniu wpływu wypełniacza z krzemianu cyrkonu w porcelanie na odporność na nagłe zmiany temperatury. Stwierdzono, że za dobrą odporność porcelany na nagłe zmiany temperatury odpowiada dopasowanie wartości współczynnika rozszerzalności cieplnej krzemianu cyrkonu i osnowy szklistej, termodynamiczna stabilność krzemianu cyrkonu, a także jego dobra zwilżalność przez pozostałe składniki porcelany. Kolejnym etapem badań było określenie właściwości elektrycznych porcelany cyrkonowej [29]. Stwierdzono, że materiał ten charakteryzował się bardzo dobrym zespołem właściwości elektrycznych (wytrzymałość dielektryczna, współczynnik stratności dielektrycznej, rezystywność właściwa skrośna, względna przenikalność dielektryczna) wymaganych dla izolatorów przepustowo – wsporczych [29].

Inne prace naukowo-badawcze, które nie są związane tematycznie z materiałami ceramicznymi

Uczestniczyłem także jako wykonawca w realizacji kilku projektów badawczych, które nie były związane tematycznie z materiałami ceramicznymi. Wyniki mojego wkładu do tych badań [20, 21] – numeracja publikacji zgodna z **załącznikiem 3, pkt. IIA** – zostały opublikowane w następujących czasopismach z listy Journal Citation Reports:

- [20] H. Galina, M. Potoczek: *“Metody oznaczania par styrenu w warunkach przemysłowych”* Polimery 1999, 44, 11-12, 730-734.
- [21] H. Galina, J.B. Lechowicz, M. Potoczek: *“Percolation model of hyperbranched polymerization”*, Macromolecular Symposia, 2003, 200, 169-179.

**PODSUMOWANIE TABELARYCZNE OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH
PO DOKTORACIE**

Publikacje naukowe

Rodzaj publikacji	Samodzielny autor	Główny autor	Współautor	Razem
Monografie	1	0	0	1
Publikacje w czasopismach z bazy Journal Citation Reports	3	7	3	13
Publikacje w czasopismach zagranicznych nieznajdujących się w bazie Journal Citation Reports	0	0	1	1
Publikacje w ogólnokrajowych czasopismach naukowych	10	8	3	21
Publikacje w materiałach konferencyjnych	1	1	1	3
Zgłoszenia patentowe	1	1	0	2
Razem	25	28	12	41

Sumaryczny impact factor, liczba cytowań i indeks Hirsha publikacji naukowych

Sumaryczny IF dla artykułów w bazie Journal Citation Reports zgodnie z rokiem opublikowania	11,248
Sumaryczna liczba cytowań opublikowanych artykułów wg bazy Web of Science	87
Liczba cytowań bez autocytowań i cytowań współautorów wg. bazy Web of Science	76
Indeks Hirsha wg bazy Web of Science	6

Udział w krajowych projektach badawczych

Rodzaj projektu	Kierownik	Wykonawca	Razem
Projekty badawcze	2	5	7
Projekty kluczowe	0	1	1
Projekty celowe	0	1	1
Razem	2	7	9

Wystąpienia konferencyjne:

Konferencje międzynarodowe za granicą	7
Konferencje międzynarodowe w kraju	7
Konferencje krajowe	13
Razem	27

Wykaz wszystkich opublikowanych prac habilitanta znajduje się w Załączniku 3.

M. Potoczek