Załącznik 2

dr inż. Paweł Religa

# Autoreferat

1. Paweł Religa

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe.

1) Dyplom ukończenia studiów wyższych magisterskich na kierunku technologia chemiczna, specjalność: ochrona środowiska, Politechnika Radomska, Wydział Materiałoznawstwa i Technologii Obuwia, 1996. Praca dyplomowa wykonana pod kierunkiem dr hab. Ryszarda Świetlika
2) Dyplom doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, 2005; tytuł rozprawy doktorskiej: Przenoszenie jonów chromu(III) w układach z membraną ciekłą. Promotor w przewodzie doktorskim prof. nzw. dr hab. inż. Roman Gawroński

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

| Data | Jednostka | Stanowisko |
|---|---|---|
| 1996-2006 | Politechnika Radomska<br>Wydział Materiałoznawstwa i Technologii Obuwia<br>Katedra Ochrony Środowiska | technolog |
| 2000-2005 | Politechnika Warszawska<br>Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej | doktorant |
| od 2006 | Politechnika Radomska/Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu<br>Wydział Materiałoznawstwa, Technologii i Wzornictwa<br>Katedra Ochrony Środowiska | adiunkt |

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):**

Działalności człowieka nierozerwalnie towarzyszy użycie wody oraz wytwarzanie ścieków. Ze względu na właściwości, niepożądanym składnikiem ścieków, wymagającym bezwzględnego usunięcia przed wprowadzeniem ich do środowiska są metale ciężkie, w tym chrom. Istotnym źródłem chromu w ściekach jest przemysł garbarski. W Polsce, największa koncentracja zakładów garbarskich występuje w radomskim okręgu garbarskim. Stąd, problematyka wykorzystania chromu w garbarstwie i związanych z tym skutków środowiskowych jest od

Rlyz

dawna obecna w obszarze badań pracowników Uniwersytetu Technologiczno- Humanistycznego im. K. Pułaskiego w Radomiu, w tym i moim.

Specyfiką chromowych ścieków garbarskich, oprócz obecności w nich chromu, jest duże zasolenie i niskie pH. Tradycyjne metody usuwania chromu z tego rodzaju ścieków, przy wzrastających wymogach środowiskowych i ekonomicznych, stają się nieefektywne. Było to przyczyną podjęcia przeze mnie naukowych dociekań nad określeniem zakresu wykorzystania technik membranowych, szczególnie nanofiltracji, jako skutecznej metody eliminującej chrom ze ścieków garbarskich. Wybrane wyniki badań, opracowane w formie publikacji oraz objęte ochroną patentową, wskazuję jako osiągnięcie naukowe.

**a) tytuł osiągnięcia naukowego:**

Nanofiltracja – efektywna metoda regeneracji garbarskich ścieków chromowych

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

1. Religa P., Gierycz P. (2010) Układy membranowe do oczyszczania toksycznych ścieków garbarskich, Przegląd Włókienniczy, 10, 33-37
2. Religa P., Kowalik A., Gierycz P. Effect of membrane properties on chromium(III) recirculation from concentrate salt mixture solution by nanofiltration, (2011) Desalination, 274, 164-170
3. Religa P., Kowalik A., Gierycz P. Application of nanofiltration for chromium concentration in the tannery wastewater, (2011) J. Hazard. Material, 186, 288-292
4. Religa P., Kowalik A., Gierycz P. A new approach to chromium concentration from salt mixture solution using nanofiltration process, (2011) Sep. Puryf. Technol., 82, 114-120
5. Religa P., Kowalik-Klimczak A., Gierycz P. Study of the behavior of nanofiltration membranes using for chromium recovery from salt mixture solution, (2013) Desalination, 315, 115-123
6. Religa P. (2013) Zintegrowany układ membranowy do redukcji objętości chromowych ścieków garbarskich, Przegląd Włókienniczy, 5, 34-37
7. Religa P., Gierycz P. Sposób regeneracji chromowych ścieków garbarskich, (2013) Patent (decyzja z dnia 25.07.2013 w sprawie zgłoszenia patentowego No. P.390961 z dnia 12.04.2010)

**c) omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.**

**-omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników**

Ścieki zawierające metale ciężkie są uznawane za jedne z najbardziej uciążliwych dla środowiska. Związane jest to z toksycznymi właściwościami metali ciężkich. Wydzielanie metali ciężkich ze ścieków jest procesem złożonym. Wynika to z właściwości tych ścieków, charakteryzujących się często bardzo niskim/wysokim pH oraz dużym zasoleniem. Przykładem takich ścieków są ścieki chromowe pochodzące z garbarstwa. Do separacji chromu z kwaśnych ścieków garbarskich zaproponowałem proces nanofiltracji (NF) [pkt.I B wykazu, poz.1]. Ten ciśnieniowy proces charakteryzuje się bowiem, dzięki właściwościom membran nanofiltracyjnych, zdolnością do separacji jedno- i wielowartościowych jonów. Właściwości jonoselektywne membran nanofiltracyjnych wynikają zarówno z rozmiarów porów (kilka nanometrów), jak i obecności grup będących nośnikami ładunku elektrycznego stanowiących ładunek własny membrany, znajdujących się na lub w membranie. Dotąd szeroko zostały przebadane i opisane w literaturze właściwości membran nanofiltarcyjnych w zastosowaniach dotyczących zmiękczania i uzdatniania wód naturalnych oraz odsalania ścieków o pH neutralnym. W tych warunkach większość membran nanofiltracyjnych charakteryzuje się ujemnym ładunkiem własnym co korzystnie wpływa na efektywność procesu poprzez ograniczenie polaryzacji membrany. Niskie pH wpływa niekorzystnie na stopień dysocjacji grup będących nośnikami ładunku ujemnego zmieniając tym samym właściwości membrany. Stąd, celem naukowym ww. prac było:

1. Określenie właściwości membran nanofiltracyjnych pozwalających na efektywne i selektywne separowanie chromu z zasolonych roztworów wodnych o niskim pH.
2. Określenie wpływu składu kwaśnych ścieków chromowych na wydajność i selektywność procesu nanofiltracji.
3. Określenie warunków czyszczenia i regeneracji zapewniających stabilność mechaniczną i odtworzenie właściwości procesowych membran nanofiltracyjnch niezbędnych dla

Rlyi

wielokrotnego ich stosowania do separacji chromu z zasolonych roztworów wodnych o niskim pH.

Przeprowadzone badania nad możliwością użycia nanofiltracji do selektywnego separowania chromu z roztworów o niskim pH są zagadnieniem nowym. Uzyskane wyniki mogą posłużyć jako materiał źródłowy do dalszych prac dotyczących możliwości nowych zastosowań technik membranowych w ochronie środowiska.

Pierwszy etap prac mający na celu określenie jak niskie pH ścieków wpływa na właściwości separacyjne membrany nanofiltracyjnej oraz jakie właściwości powinna mieć membrana zapewniająca efektywne zatężanie chromu w kwaśnych roztworach o dużym zasoleniu został przeprowadzony na ściekach modelowych w laboratoryjnej instalacji z membraną płaską. Prace zrealizowałem w laboratorium membranowym, które uruchomiłem i wyposażyłem w ramach realizowanych grantów i prac badawczych. Wraz z zespołem przeprowadziłem serię badań z wykorzystaniem membran wykonanych z różnych materiałów oraz charakteryzujących się różnymi właściwościami fizyko-chemicznymi. Do śledzenia zmian właściwości membran wykorzystano analizę obrazów wykonanych metodą mikroskopii siła atomowych (AFM) oraz pomiary potencjału zeta membran. Stwierdzono, że korzystną właściwością membran jest wartość jej punktu izoelektrycznego znacznie niższa niż pH roztworu roboczego. Gwarantuje to dużą gęstość ujemnego ładunku membrany w warunkach procesu. W rezultacie zmniejsza się polaryzacja membrany, co powoduje wzrost strumienia permeatu, a tym samych stopień zatężenia jonów metalu. Membrany o wysokiej wartości punktu izoelektrycznego nie gwarantują korzystnych rezultatów unieszkodliwiania ścieków chromowych. Warunki panujące w ściekach chromowych wpływają niekorzystnie na ich właściwości transportowe, jak i selektywność. Uzyskane wyniki pozwoliły na zaproponowanie i opisanie mechanizmu tego zjawiska [pkt.I B wykazu, poz.3 i poz.5]. Pod wpływem niskiego pH ścieków chromowych na powierzchni membrany następuje protonowanie zasadowych grup powierzchniowych prowadzące do wzrostu gęstości dodatniego ładunku powierzchniowego. Powstają tym samym warunki sprzyjające adsorpcji ujemnych jonów pochodzących z roztworu. Zaadsorbowane na powierzchni membrany jony ujemne tworzą warstwę powodującą zmianę właściwości

Rlyp

permeacyjnych membrany. Zmienia się stopień retencji składników nadawy i tworzy się kolejna warstwa powodująca polaryzację membrany.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono również, że do regeneracji ścieków chromowych korzystnym wydaje się zastosowanie membran kompozytowych wykonanych z poliamidu [pkt.I B wykazu, poz.2]. Jako warstwy podporowej membrany korzystne jest zastosowanie polisulfonu, który wykazuje dużą odporność chemiczną i mechaniczną.

Celem dalszych prac badawczych było określenie wpływu składu kwaśnych ścieków chromowych na proces nanofiltracyjnego zatężania chromu. Zbadano w szerokim zakresie wpływ stężenia jonów chlorku, siarczanu oraz wzajemnego stosunku stężeń tych jonów na wydajność procesu oraz stopień zatężenia chromu. Na podstawie rezultatów przeprowadzonych badań, których wybrane wyniki przedstawiłem w pracach [pkt.I B wykazu, poz. 2,3,4] stwierdzono szczególnie duży wpływ jonów chlorkowych na efektywność procesu. Duże stężenie jonów chlorkowych sprzyja polaryzacji membrany powodując zmniejszenie strumienia permeatu oraz stopnia retencji chromu, przez co pogarsza się stopień jego zatężenia. To niekorzystne zjawisko jest częściowo ograniczane przez obecność w roztworze ujemnych, stosunkowo dużych jonów siarczanowych. Ze względu na swój rozmiar jony te są zatrzymywane przez membranę, co prowadzi do zachwiania równowagi potencjałów elektrochemicznych po obu jej stronach. W efekcie dążenia układu do zachowania elektroobojętności transport jonów chlorkowych jest ułatwiony. Wykazano, że uzyskanie wysokiego stopnia zatężenia chromu jest uwarunkowane stosunkiem stężenia jonów chlorkowych do jonów siarczanowych nie większym niż 1.

Rezultaty przeprowadzonych badań podstawowych pozwoliły na sformułowanie następującej tezy: *jonoselektywne właściwości membran NF pozwolą uzyskać zatężony roztwór chromu (jako koncentrat) oraz stężony roztwór soli (jako permeat) w procesie oczyszczania chromowych ścieków garbarskich co umożliwi ich ponowne wykorzystanie w procesie wyprawy skór surowych, jako zregenerowanych kąpieli*. W celu jej potwierdzenia przeprowadziłem badania na rzeczywistych chromowych ściekach garbarskich. W badaniach wykorzystałem pilotową instalację membranową będącą na wyposażeniu laboratorium. Instalacja została zbudowana w oparciu o mój projekt techniczny [pkt.II B wykazu, poz.1]. Rezultaty badań stały się podstawą do przygotowania zgłoszenia patentowego No. P.390961 z dnia 12.04.2010 pt.: Sposób regeneracji

Rlyg

chromowych ścieków garbarskich, na podstawie którego został przyznany patent [pkt.I B wykazu, poz.7]. Zaproponowane rozwiązanie, opierające się na procesie nanofiltracji, jest pierwszym na rynku polskim i europejskim. Istotą proponowanego rozwiązania jest możliwość recyrkulacji obu strumieni – permeatu i retentatu – jako kąpieli technologicznych. W efekcie, oprócz zmniejszenia zużycia garbnika chromowego w operacji garbowania skór, możliwe będzie również ograniczenie zużycia soli w operacji piklowania skór oraz zminimalizowanie stężenia chromu i jonów chlorkowych w ściekach. Istotnym problemem na który natrafiłem podczas prac na rzeczywistych ściekach było wstępne ich przygotowanie do procesu nanofiltracji. Zdobyte na tym etapie badań doświadczenie stało się podstawą do podjęcia prac badawczych związanych z możliwością wykorzystania w tym celu niskociśnieniowych procesów membranowych. W tym celu proponuję użycie mikro- i ultrafiltracji. Propozycja użycia tych procesów jest wynikiem wcześniejszych moich doświadczeń w tym zakresie wynikających z uczestnictwa w projekcie [pkt.II J wykazu, poz.1]. Przeprowadzone dotychczas badania na rzeczywistych ściekach garbarskich [pkt.II J wykazu, poz.6] pozwoliły opracować propozycję rozwiązania, które zostało przedstawione do ochrony patentowej [pkt.II C wykazu, poz.3].

Celem dalszych prac eksperymentalnych było określenie możliwości zwiększenia stopnia odsolenia ścieków przy zachowaniu odpowiednio wysokiego stopnia zatężenia chromu(III) w procesie jednostopniowym. W tym celu użyłem, zgodnie z rezultatami dotychczasowych badań, membran NF o ujemnym potencjale zeta w warunkach procesu. Na podstawie uzyskanych wyników [pkt.I B wykazu, poz.4] stwierdziłem, że osiągnięcie założonego celu jest możliwe przy stężeniu jonów chlorkowych w nadawie w zakresie 12 – 15 $gCl^-/dm^3$ przy czym stężenie jonów siarczanowych powinno zapewnić stosunek $Cl^-/SO_4^{2-}$ nie większy niż 1. Taki skład nadawy powoduje wzrost stężenia jonów chlorkowych w permeacie, przy czym zmiana ta tylko nieznacznie wpływa na zmianę stopnia zatężenia chromu(III) oraz wydajność procesu.

Analiza uzyskanych wyników badań pozwoliła na zaproponowanie nowego podejścia do sposobu prowadzenia procesu nanofiltracji chromowych ścieków garbarskich. Zaproponowałem prowadzenie nanofiltracji chromowych ścieków garbarskich z częściową recyrkulacją permeatu (sposób został zgłoszony do ochrony patentowej [pkt.II C wykazu, poz.1]). Proponowany sposób prowadzenia procesu umożliwia wpływanie na skład ścieku poddawanego nanofiltracji,

Rlyje

szczególnie na stosunek jonów $Cl^-/SO_4^{2-}$. W rezultacie efektywne zastosowanie nanofiltracji do regeneracji chromowych ścieków garbarskich w znacznie mniejszym zakresie zależy od ich początkowego składu.

Procesom membranowym nierozerwalnie towarzyszy spadek strumienia permeatu w czasie trwania procesu. Ustalono, że w przypadku ścieków chromowych, obserwowane zjawisko jest spowodowane zmianą rodzaju i gęstości ładunku powierzchniowego membrany pod wpływem właściwości rozdzielanego roztworu, przede wszystkim pH. Konsekwencją tych zmian jest scaling membrany. Następuje podwójna dezaktywacja membran nanofiltracyjnych.

W pracy [pkt.I B wykazu, poz.3, 5] przedstawiono rezultaty badań dotyczące wpływu różnych kąpieli myjących: $HCl_{aq}$, $HCl_{aq}$ + NaOH na właściwości powierzchniowe membran nanofiltracyjnych stosowanych do separacji chromu(III). Wykazano, że użycie kwasu solnego pozwala usunąć warstwę osadu z powierzchni membrany i tym samym przywrócić jej początkową wydajność, zmienia jednak, w sposób nieodwracalny, ładunek membran. W efekcie zaobserwowano niestabilność przepuszczalności i selektywności membran podczas nanofiltracji stężonych roztworów soli i czyszczenia kwasem solnym. Przeprowadzone badania wskazują, że zastosowanie dwuetapowej procedury mycia membran opartej na kąpielach: kwaśnej ($HCl_{aq}$) i zasadowej (NaOH) może prowadzić nie tylko do przywrócenia jej początkowej wydajności, ale również do odtworzenia ujemnego ładunku powierzchniowego membran nanofiltracyjnych. Dzięki temu uzyskuje się poprawę stabilności pracy membran nanofiltracyjnych stosowanych do separacji chromu(III) ze stężonych roztworów soli o pH ≈ 4.

**-omówienie wykorzystania osiągniętych wyników**

Z zainicjonowanych przeze mnie badań ankietowych przeprowadzonych wśród polskich garbarzy wynika, że rozwiązanie problemu obecności nadmiernych ilości chromu w ściekach jest zagadnieniem priorytetowym [pkt.II E wykazu, poz.b12]. Obecnie ścieki chromowe z przemysłu garbarskiego oczyszczane są chemicznie - metodą strąceniową. Niestety ta tradycyjna metoda jest nieefektywna, energochłonna i czasochłonna. Dodatkowo, w efekcie jej stosowania powstają toksyczne, trudne do unieszkodliwienia osady chromowe.

Rel

dr inż. Paweł Religa

Uzyskane przeze mnie wyniki badań pozwalają założyć, że jest możliwe efektywne zastosowanie ciśnieniowych procesów membranowych do regeneracji ścieków chromowych.

Ponieważ procesy membranowe nie są znane w środowisku garbarskim, od kilku lat cyklicznie prezentuję wyniki własne i rozwiązania innych autorów dotyczące wykorzystania procesów membranowych w oczyszczaniu ścieków garbarskich między innymi za pośrednictwem ogólnopolskich czasopism [pkt.II E wykazu, poz.b5,b9,b10, b11, b12] oraz poprzez uczestnictwo w tematycznych konferencjach [pkt.II L wykazu, poz.1a,2a,3a]

W ramach projektu: Stworzenie powiązań kooperacyjnych między sferą badawczą a przedsiębiorcami w celu poprawy konkurencyjności regionu i zwiększenia spójności gospodarczej i społecznej (2007-2013) [pkt.II B wykazu, poz.1] realizowanego przez Uniwersytet Technologiczno- Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu, głównie w oparciu o wiedzę i doświadczenie zdobyte przy realizacji dotychczasowych zadań badawczych, przygotowałem założenia do projektu technicznego pilotowych, mobilnych instalacji do mikro- i ultrafiltracji oraz do nanofiltracji ścieków garbarskich. Instalacje te zostały wykonane i uruchomione. Przeprowadzone wstępne badania pozwoliły usprawnić działanie instalacji oraz zaplanować koncepcję dalszych prac badawczo-rozwojowych. W lutym 2013 roku zostałem powołany do pełnienia funkcji odpowiedzialnego za grupę tematyczną: *Recykling odpadów przemysłu garbarskiego* [pkt.III E wykazu, poz.1 ] realizującą zadania wynikające z ww. projektu. Na bazie posiadanych instalacji zostało utworzone Laboratorium odzysku chromu gdzie realizowane są badania przemysłowe na rzeczywistych ściekach garbarskich. Wybrane rezultaty dotychczasowych prac pozwoliły na przygotowanie i zgłoszenie wniosku o patent [pkt.II C wykazu, poz.3] oraz stworzenie konsorcjum naukowo-przemysłowego. Obecnie prowadzone są dalsze prace badawczo-rozwojowe przy współpracy z konsorcjantami, którymi są również zakłady garbarskie. Liczę, że dotychczasowa wiedza, zdobyte doświadczenie i życzliwość środowisk naukowych, samorządowych i biznesowych pozwolą na dalszą owocną pracę, której rezultatem będą wdrożenia do praktyki przemysłowej.

Relige

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

Poza głównym kierunkiem badań zagadnienia, którymi się zajmuję dotyczą selektywnego zatężania i frakcjonowania metali w ściekach z wykorzystaniem membran ciekłych.

Istotnym problemem wydzielania metali ze ścieków jest często ich bardzo mała ilość. Problemem jest również obecność w ściekach innych jonów metali lub różnych form tego samego metalu. Prowadzone przeze mnie prace w ramach projektów badawczych [pkt.II J wykazu, poz.2,4,5] wskazują na możliwość wykorzystania w tym celu membran ciekłych, szczególnie immobilizowanych membran ciekłych (SLM). Ten typ membrany poprzez obecność przenośnika – substancji reagującej w sposób odwracalny z określonym medium – stwarza możliwość bardzo selektywnego rozdziału mieszanin. Realizacja prac badawczych również w tym zakresie wymagała ode mnie przygotowania zaplecza laboratoryjnego [pkt.III E wykazu, poz.1; pkt.III I wykazu, poz.1a]. W dotychczasowych pracach skupiłem się na badaniach kinetycznych transportu chromu(III) w membranie ciekłej [pkt.II A wykazy, poz.1,2,3; pkt.II E wykazu, poz.5b,7b, 13c, 15c] oraz na opisie mechanizmu transportu w takim układzie [pkt.II A wykazu, poz.3]. Już wstępna analiza wyników literaturowych zwróciła moją uwagę na szczególną rolę przenośnika na wydajność, szybkość i stabilność membrany ciekłej. Dzięki badaniom kinetycznym przeprowadzonym na zbudowanym według własnej koncepcji stanowisku laboratoryjnym ustaliłem, że istnieje zależność pomiędzy początkowym stężeniem jonu transportowanego, a stężeniem przenośnika w membranie. Wykazałem, że dla określonego początkowego stężenia metalu istnieje stężenie przenośnika w membranie, dla którego proces przebiega najefektywniej [pkt.II E wykazu, poz.6c, 12c]. Zaproponowałem opis mechanizmu transportu w tych warunkach. Zakłada on uporządkowanie molekuł wewnątrz membrany w ten sposób, iż możliwe jest przekazywanie pomiędzy nimi transportowanego jonu.

Zjawiskiem towarzyszącym transportowi jonów chromu(III) w membranie ciekłej jest spadek pH ścieku spowodowany przeciwnie skierowanym transportem jonów $H^+$. Zmiana pH ścieku obniża stopień zhydrolizowania chromu. Zmienia się tym samym powinowactwo przenośnika do transportowanego jonu, co w konsekwencji prowadzi do spadku wydajności i szybkości procesu. Uczestnictwo i realizacja zadań projektu badawczego [pkt.II J wykazu, poz.5] umożliwiła

Rely

uzyskanie wyników, które pozwoliły na zaproponowanie nowego rozwiązania - układu dwuprzenośnikowego do efektywnego i selektywnego wydzielania jonów chromu(III) z roztworów wodnych. Rezultaty tych prac zostały opublikowane [pkt.II E wykazu, poz.4c] i zgłoszone do ochrony patentowej [pkt.II C wykazu, poz.2]. Podjęcie nowego kierunku badań związanego z zastosowaniem membran z dwoma przenośnikami do selektywnej separacji jonów metali z roztworów wodnych czyni je innowacyjnymi.

Kolejnym kierunkiem prowadzonych przeze mnie badań w obszarze membran ciekłych jest możliwość wykorzystania inkluzyjnych membran ciekłych (PIM). Rezultaty dotychczasowych badań zostały opublikowane jako rozdziały w monografiach [pkt.II E wykazu, poz.6c,10c,11c]. Stwierdziłem, że w przypadku selektywnego transportu chromu(III) membrany inkluzyjne wykazują poprawę stabilności w stosunku do membran immobilizowanych. Niestety niekorzystną cechą PIM jest wyraźnie niższa szybkość procesu niż w SLM. Zaobserwowałem również, że szybkość transportu w PIM zależy od stężenia przenośnika w membranie. Inaczej jednak niż w SLM, istnieje bowiem pewien przedział stężenia przenośnika, dla którego obserwuje się korzystne warunki dla transportu chromu [pkt.II E wykazu, poz.6c].

Przeprowadzenie wszystkich opisanych badań podstawowych, rozwojowych, jak i przemysłowych, na co chciałbym zwrócić szczególną uwagę, było możliwe dzięki stworzeniu przeze mnie zaplecza laboratoryjnego [pkt.III E wykazu, poz.2; pkt.III I wykazu, poz.1a] oraz zespołu badawczego. Rezultaty tych badań zaowocowały szeregiem publikacji, w tym publikacji w czasopismach o wysokim IF, patentem i licznymi zgłoszeniami patentowymi, referatami na konferencjach zagranicznych i krajowych, rozdziałami w monografiach, zrealizowanymi projektami. Osiągnięcia zespołu były wielokrotnie i przez różne gremia dostrzegane i nagradzane [pkt.II K wykazu, poz.1,2; pkt.III J wykazu, poz.1; pkt.III J wykazu, poz.1]. Dzięki pracy zespołu możliwe było również zdobycie zaufania przedsiębiorców branży garbarskiej i nawiązana współpraca.

Paweł Religa