

Załącznik nr 2

**Autoreferat z opisem osiągnięć naukowych
związanych z postępowaniem habilitacyjnym**

Piotr Tomasz Dziugan

Załącznik 2. Autoreferat z opisem osiągnięć naukowych związanych z postępowaniem habilitacyjnym

1. Dane personalne	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe- z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
4. Wskazanie osiągnięcia stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego	4
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych	17
6. Inne osiągnięcia związane z pracą naukową	27
7. Sumaryczne zestawienie dorobku naukowego	29

1. Dane personalne

Imię i nazwisko **Piotr Tomasz Dziugan**

Miejsce pracy Politechnika Łódzka
Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności Instytut
Technologii Fermentacji i Mikrobiologii ul. Wólczańska
171/173 90-924 Łódź

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

- 16.11.1990 Politechnika Łódzka, Wydział Chemii Spożywczej, specjalność chemia i technologia spożywcza, stopień magistra inżyniera, praca magisterska pt. „Otrzymywanie i przechowywanie liofilizowanych szczepionek mieszanej populacji bakterii mlekowych” kierujący pracą: dr hab. Magdalena Włodarczyk
- 08.10.2002 Politechnika Łódzka, Wydział Chemii Spożywczej i Biotechnologii, stopień doktora nauk technicznych w zakresie technologii chemicznej, praca doktorska pt. „Optymalizacja procesu liofilizacji piekarskiej kultury starterowej” promotor: dr hab. Magdalena Włodarczyk, prof. PŁ
- 29.06.2012 Politechnika Łódzka, Wydział Organizacji i Zarządzania,
Ukończenie studiów podyplomowych w zakresie „Zarządzanie Projektem Badawczym i Komercjalizacja Wyników Badań”

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 22.01.1992 - 30.09.2003 pracownik inżynieryjno-techniczny w Instytucie Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki Łódzkiej,
- 01.10.2003 - 30.09.2006 wykładowca w Instytucie Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki Łódzkiej
- Od 01.10.2006 adiunkt w Instytucie Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki Łódzkiej

4. Wskazanie osiągnięcia stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego

Osiągnięciem naukowym wynikającym 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. nr 65, poz. 595 ze zm.) jest :

„Wykorzystanie buraków cukrowych do wytwarzania biokomponentów paliw płynnych – bio-etanolu i bio-butanolu”

Osiągnięcie naukowe jest przedstawione w sześciu publikacjach, jednym patencie i jednym zgłoszeniu patentowym :

1. **Dziugan P.**, Krosowiak K., Śmigielski K., Dziedziczak K.; Wyjaławianie i oczyszczanie podłoży fermentacyjnych przy pomocy ozonu. Przemysł Fermentacyjny i Owocowo Warzywny. 2008, nr 2, s. 30-31. MNiSW= 5

Imię Nazwisko	Wkład w pracę polegał na	wartość
Dr inż. Dziugan Piotr	<ul style="list-style-type: none"> • samodzielnym opracowaniu koncepcji pracy badawczej, • wiodącym udziale w planowaniu doświadczeń, • przeprowadzeniu badań mikrobiologicznych, • przygotowaniu manuskryptu, • autor korespondencyjny, 	70%
Dr hab. Śmigielski Krzysztof	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w prowadzeniu badań • współudziale w opracowaniu wyników eksperymentów 	15%
Dr inż. Dziedziczak Katarzyna	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w prowadzeniu badań • współudziale w opracowaniu wyników eksperymentów 	10%
Mgr inż. Krosowiak Krzysztof	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w prowadzeniu eksperymentów (obsługa techniczna) 	5%

2. **Dziugan P.**, Balcerek M., Binczarski M., Kregiel D., Kucner M., Kunicka-Styczynska A., Pielech-Przybylska K., Smigielski K., Witonska I.; Ozonation as an effective way to stabilize new kinds of fermentation media used in biotechnological production of liquid fuel additives, Biotechnology for Biofuels, 2016, nr 9:150. DOI 10.1186/s13068-016-0574-2 – IF= 7,398 (pięćioletni) MNiSW= 45

Imię Nazwisko	Wkład w pracę polegał na	wartość
Dr inż. Dziugan Piotr	<ul style="list-style-type: none"> • opracowaniu koncepcji pracy badawczej, • wiodącym udziale w planowaniu doświadczeń, • wsparciu administracyjnym, logistycznym i technicznym, • zaprojektowaniu i pozyskaniu aparatury do badań w skali laboratoryjnej, • interpretacji wyników badań, • sformułowaniu wniosków, • przygotowaniu manuskryptu • autor korespondencyjny 	60%
Dr hab. Balcerek Maria	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w prowadzeniu eksperymentów 	5%
Dr hab. Inż. Kregiel Dorota	<ul style="list-style-type: none"> • przygotowaniu materiału biologicznego 	5%
Dr hab. Inż. Kunicka-Styczynska Alina	<ul style="list-style-type: none"> • konsultacjach naukowych związanych z doбором mikroorganizmów testowych 	5%
Dr inż. Pielech-Przybylska Katarzyna	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w prowadzeniu eksperymentów – oznaczanie produktów fermentacji 	5%
Dr hab. Śmigielski Krzysztof	<ul style="list-style-type: none"> • konsultacjach naukowych związanych z doбором warunków ozonowania 	5%
Dr hab. Inż. Witońska Izabela	<ul style="list-style-type: none"> • pomoc w przygotowaniu manuskryptu 	5%
mgr inż. Binczarski Michał	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w prowadzeniu eksperymentów (obsługa techniczna) 	5%
Mgr inż. Kucner Marcin	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w prowadzeniu eksperymentów (obsługa techniczna) 	5%

3. **Dziugan P.:** Zastosowanie ozonu w procesach produkcji bioetanolu II generacji i drożdży paszowych. Przemysł Chemiczny, 2016, nr 95/7, s. 1000-1005. – **IF= 0.305 (pięćoletni), MNiSW= 15**

Imię Nazwisko	Wkład w pracę polegał na	wartość
Dr inż. Dziugan Piotr	<ul style="list-style-type: none"> • samodzielne opracowanie koncepcji pracy badawczej, • planowaniu doświadczeń i przeprowadzenie badań • przygotowaniu publikacji, autor korespondencyjny, 	100%

4. Patent RP nr 210215 (2011). **Dziugan P., Śmigielski K., Dziedziczak K.:** Sposób wyjąławiania i oczyszczania podłoży fermentacyjnych. **MNiSW= 25**

Imię Nazwisko	Wkład w pracę polegał na	wartość
Dr inż. Dziugan Piotr	<ul style="list-style-type: none"> • samodzielnym opracowaniu koncepcji pracy badawczej, • wiodącym udziale w planowaniu doświadczeń, • przeprowadzeniu badań mikrobiologicznych, • przygotowaniu dokumentacji patentowej, • sformułowaniu zastrzeżeń patentowych, 	70%
Dr hab. Śmigielski Krzysztof	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w prowadzeniu badań • współudziale w opracowaniu wyników eksperymentów 	20%
Dr inż. Dziedziczak Katarzyna	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w prowadzeniu badań • współudziale w opracowaniu wyników eksperymentów 	10%

5. **Pielech-Przybylska K., Berłowska J., Balcerek M., Patelski P., Kalinowska H., Dziugan P.:** Fermentacja alkoholowa hydrolizatów z wysłódków buraka cukrowego. W: Technologia produkcji i bezpieczeństwo żywności, red. Tarko T. i in. PTTŻ Oddział Małopolski, 2014, Wyd. MNiSW, s. 43-53 (ISBN-978-83-937001-3-4). **MNiSW= 4**

Imię Nazwisko	Wkład w pracę polegał na	wartość
Dr inż. Dziugan Piotr	<ul style="list-style-type: none"> • samodzielnym opracowaniu koncepcji pracy badawczej, • wiodącym udziale w planowaniu doświadczeń, • współudziale w prowadzeniu badań, • współudziale w opracowaniu wyników eksperymentów, • sformułowaniu wniosków, 	55%
Dr hab. Balcerek Maria	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w opracowaniu wyników eksperymentów • współudziale w przygotowaniu manuskryptu • autor korespondencyjny 	10%
Dr inż. Pielech-Przybylska Katarzyna	<ul style="list-style-type: none"> • współudział w prowadzeniu badań • współudział w przygotowaniu manuskryptu 	10%
Dr inż. Piotr Patelski	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w prowadzeniu badań • współudziale w opracowaniu wyników eksperymentów 	10%
Dr inż. Kalinowska Halina	<ul style="list-style-type: none"> • przygotowaniu enzymów do badań 	5%
Dr inż. Berłowska Joanna	<ul style="list-style-type: none"> • przygotowaniu podłoży fermentacyjnych • współudziale w przygotowaniu manuskryptu 	10%

6. **Dziugan P., Balcerek M., Pielech-Przybylska K., Patelski P.:** Evaluation of fermentation of high gravity sugar beet thick juice worts for efficient ethanol production, Biotechnology for Biofuels, 2013, nr 6, s. 158-168 – **IF= 6.221 (2013), MNiSW= 40**

Imię Nazwisko	Wkład w pracę polegał na	wartość
Dr inż. Dziugan Piotr	<ul style="list-style-type: none"> • samodzielnym opracowaniu koncepcji pracy badawczej, • wiodącym udziale w planowaniu doświadczeń, • współudziale w prowadzeniu badań, • współudziale w opracowaniu wyników eksperymentów • współudziale w przygotowaniu manuskryptu 	65%
Dr hab. Balcerek Maria	<ul style="list-style-type: none"> • autor korespondencyjny • współudziale w opracowaniu wyników eksperymentów 	15%
Dr inż. Pielech-Przybylska Katarzyna	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w prowadzeniu badań • współudziale w opracowaniu wyników eksperymentów 	15%
Dr inż. Piotr Patelski	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w prowadzeniu badań 	5%

7. Dziugan P., Jastrzabek K., Witońska I., Karski S., Binczarski M., Kolesinska B., Kaminski Z.J.: Continuous catalytic coupling of raw bioethanol into butanol and higher homologues, Fuel, 2015, vol. 158C, s. 81-90 – IF= 3.611 (2015), , MNiSW= 40

Imię Nazwisko	Wkład w pracę polegał na	wartość
Dr inż. Dziugan Piotr	<ul style="list-style-type: none"> • opracowaniu koncepcji pracy badawczej, • wiodącym udziale w planowaniu doświadczeń, • wsparciu administracyjnym, logistycznym i technicznym, • zaprojektowaniu i pozyskaniu aparatury do badań w skali laboratoryjnej, • interpretacji wyników badań, • sformułowaniu wniosków, • przygotowaniu manuskryptu • autor korespondencyjny 	60%
Mgr inż. Jastrzabek Konrad	<ul style="list-style-type: none"> • współudziale w prowadzeniu eksperymentów (obsługa techniczna) 	5%
Dr hab. Inż. Witońska Izabela	<ul style="list-style-type: none"> • przygotowaniu katalizatorów • współudziale w opracowaniu wyników eksperymentów 	10%
Dr hab. Inż. Karski Stanisław	<ul style="list-style-type: none"> • konsultacjach naukowych związanych z doбором układów katalitycznych 	5%
mgr inż. Binczarski Michał	<ul style="list-style-type: none"> • przygotowaniu surowców do badań 	5%
Dr hab. Inż. Kolesińska Beata	<ul style="list-style-type: none"> • opracowaniu metodyki analiz chemicznych 	5%
Prof. dr hab. Inż. Kamiński Zbigniew	<ul style="list-style-type: none"> • konsultacji naukowych związanych z koncepcją syntezy butanolu z etanolu 	10

8. Zgłoszenie patentowe nr P-408327 (2014). **Dziugan P.**, Jastrzabek K., Witońska I., Kolesinska B., Kaminski Z.J., Karski S.: „Katalityczny sposób wytwarzania biokomponentu paliwowego z bioetanolu zawierającego od 60 do 100% alkoholu obok innych składników.” MNiSW=2

Imię Nazwisko	Wkład w pracę polegał na	wartość
Dr inż. Dziugan Piotr	<ul style="list-style-type: none"> • opracowaniu koncepcji pracy badawczej, • wiodącym udziale w planowaniu doświadczeń, • wsparciu administracyjnym, logistycznym i technicznym, • zaprojektowaniu i pozyskaniu aparatury do badań w skali laboratoryjnej, • interpretacji wyników badań, • sformułowaniu wniosków, • przygotowaniu dokumentacji patentowej, • sformułowaniu zastrzeżeń patentowych, • korekcie zgłoszenia po uwagach rzeczownika patentowego, 	60%
Mgr inż. Jastrzabek Konrad	<ul style="list-style-type: none"> • przeprowadzeniu części badań (obsługa techniczna) 	5%
Dr hab. Inż. Witońska Izabela	<ul style="list-style-type: none"> • przygotowaniu katalizatorów • współudziale w opracowaniu wyników eksperymentów 	10%
Dr hab. Inż. Karski Stanisław	<ul style="list-style-type: none"> • konsultacjach naukowych związanych z doбором układów katalitycznych 	5%
Dr hab. Inż. Kolesińska Beata	<ul style="list-style-type: none"> • opracowaniu metodyki analiz chemicznych 	5%
Prof. dr hab. Inż. Kamiński Zbigniew	<ul style="list-style-type: none"> • konsultacji naukowych związanych z koncepcją syntezy butanolu z etanolu • sformułowaniu zastrzeżeń patentowych 	15%

Sumaryczny Impact Factor wg. Web Of Science dla osiągnięcia naukowego:

IF dla roku publikacji = 17,728

Punkty MNiSW dla roku publikacji = 176

OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO PRAC WCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO STANOWIĄCEGO PODSTAWĘ POSTĘPOWANIA HABILITACYJNEGO

Badania w temacie przedstawianego osiągnięcia naukowego rozpocząłem w 2007 roku w odpowiedzi na trwającą restrukturyzację przemysłu cukrowniczego i poszukiwania alternatywnych technologii dla zamykanych cukrowni. W ramach badań własnych opracowałem technologię ozonowania podłoży fermentacyjnych, która stała się podstawą pozyskania w 2009 roku grantu badawczo-rozwojowego KBN. W wyniku jego realizacji do 2012 roku zespół biotechnologów, którym kierowałem opracował technologię produkcji bioetanolu na potrzeby Krajowej Spółki Cukrowej S.A. Prace te kontynuowaliśmy w kolejnym grantie PBS NCBiR do 2015 roku, opracowując między innymi technologię produkcji bioetanolu z hydrolizatów wysłodkowych. Pracę nad syntezą butanolu rozpocząłem w roku 2010 początkowo w ramach badań własnych a od 2011 w grantie PARP POIG. Dla realizacji tej tematyki zorganizowałem pod moim kierunkiem zespół badawczy złożony z chemików organików i specjalistów od katalizy chemicznej. Dzięki trafnemu doborowi współpracowników i zbudowania specjalistycznych zespołów badawczych udało się w pełni zrealizować postawione cele badawcze.

Cykl 6 publikacji, patentu i zgłoszenia patentowego, prezentujący osiągnięcie naukowe, obejmuje wyniki badań dotyczących przetwarzania w procesie fermentacji etanolowej soków i pulpy z buraka cukrowego oraz hydrolizatów wysłodkowych. Wobec małej atrakcyjności alkoholu etylowego, jako biokomponenta paliw płynnych, podjęto dalsze badania nad jego przekształcaniem w poszukiwany przez koncerny paliwowe butanol. Wykonawcy europejskiego projektu „Reform of the European Sugar Industry based on Polygeneration with the Use of Energy Crops” (TREN/07/FP6/EN/S07.71205/038667) zaproponowali butanol, jako perspektywiczne paliwo silnikowe oraz uniwersalny biokomponent benzyny i oleju napędowego. W projekcie tym wykazano również, że buraki cukrowe są jednym z najbardziej perspektywicznych źródeł biomasy do wytwarzania etanolu II generacji. Dotychczas, jedyną dostępną metodą produkcji butanolu na drodze biotechnologicznej była fermentacja beztlenowa przez bakterie z rodzaju *Clostridium*. Do gatunków bakterii, przy udziale których można realizować ten proces zalicza się: *Clostridium acetobutylicum*, *Clostridium beijerinckii*, *Clostridium saccharoperbutylacetonicum*. W wyniku procesów fermentacyjnych z udziałem tych drobnoustrojów powstają: aceton, butanol i etanol w stosunku 3:6:1. Jednakże, metoda fermentacyjna produkcji butanolu jest droga i ma niską wydajność - końcowe stężenie butanolu wynosi ok. 3%. Z powyższych względów, podjęto prace nad wytwarzaniem bio-butanolu poprzez katalityczną transformację bio-etanolu. W ramach realizowanych prac badawczych we współpracy z przemysłem (Krajowa Spółka Cukrowa S.A., ZBUS Combustion Sp. z o.o.) opracowano nową metodę wytwarzania bio-butanolu z biomasy buraków cukrowych.

Badania zmierzały do:

1. Opracowania składu podłoży fermentacyjnych, oraz warunków ich wyjaławiania;
2. Optymalizacji warunków fermentacji soków z buraka cukrowego, hydrolizatów wysłodkowych i soku gęstego;
3. Opracowania nowej metody transformacji uzyskanego bio-etanolu do bio-butanolu metodą katalitycznego sprzęgania.

Wynikami badań zainteresowały się koncerny krajowe działające w branży surowcowej i paliwowej, a także włoski Koncern Paliwowy ENI, który rekomendował moją kandydaturę do nagrody Eni Award w 2016 roku:

“As you know from our previous communications, Eni assigns each year the Eni Award to promote a better use of energy sources, promote research on the environment and help the new generations of researchers to emerge. With this purpose, the Scientific Secretariat spent a great effort in the last months to find worldwide researches of great relevance, able to meet the criteria of the Eni Award. We have come to know of the researches undertaken by yourself, which may possibly concern the interests of this Award.

In particular, we came across your scientific activities by the article Continuous catalytic coupling of raw bioethanol into butanol and higher homologues, which shows that your research relates to a very interesting topic. I am therefore writing to suggest you to take into consideration the possibility of proposing your Candidature to the Eni Award 2016. Accordingly, you may present a different research result accomplished during these past years, if related to energy or environment.

Lorenzo Messaggi

THE ENI AWARD SCIENTIFIC SECRETARIAT

Fondazione Eni Enrico Mattei ..

Omówienie wyników badań stanowiących podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego, pt. „Wykorzystanie buraków cukrowych do wytwarzania biokomponentów paliw płynnych – bio-etanolu i bio-butanolu”

Termiczne metody sterylizacji przemysłowych podłoży fermentacyjnych są kosztowne oraz pogarszają ich wartość technologiczną. Podjęto więc badania nad opracowaniem alternatywnej i tańszej metody sterylizacji roztworów melasy metodą ozonowania. Wykazano w testach modelowych, że po dobraniu odpowiednich warunków ozonowania można osiągnąć pełne wyjałowienie brzeczek fermentacyjnych. Procesowi ozonowania poddano także zanieczyszczony mikrobiologicznie cukrowy sok surowy. Ozonowanie soku wykonywano w reaktorze pionowym z dyskiem rozpraszającym z ciągłym doprowadzeniem mieszaniny ozonowo-tlenowej z generatora. Proces kończono po przepuszczeniu przez układ 0,15 g ozonu. Także w tym przypadku nie zaobserwowano obecności żywych mikroorganizmów po zakończeniu procesu ozonowania.

Media fermentacyjne, pod względem chemicznym, stanowią mieszaninę białek, aminokwasów, sacharydów, witamin oraz innych związków organicznych i nieorganicznych, których utlenianie prowadzi do tworzenia inhibitorów procesów fermentacyjnych. W badaniach stosując test biologiczny nie wykazano ich obecności.

W celu określenia przydatności praktycznej opracowywanej metody sterylizacji ozonem, wykonano badania przebiegu fermentacji podłoży melasowych. Sporządzono dwa roztwory - pierwszy poddano wyjaławianiu i oczyszczaniu ozonem, a drugi sterylizacji termicznej. Proces ozonowania pozwalał na inaktywację 100 % komórek drobnoustrojów zanieczyszczających roztwór melasy. Ponadto, ozonowanie spowodowało odbarwienie podłoża oraz zmniejszenie pienienia roztworu melasy, co ma duże znaczenie technologiczne. Obie próby po sterylizacji zaszczerpiono drożdżami gorzelnicznymi *Saccharomyces cerevisiae* rasy Ja. Fermentację prowadzono w temperaturze 30°C przez 8 dni. W badanych próbach stwierdzono zbliżony przebieg fermentacji, co wskazuje, że podczas ozonowania nie powstają związki chemiczne wpływające na jej przebieg. Reasumując można stwierdzić, że ozonowanie nie wpływa na przebieg procesu fermentacji.

W zakładach przewidujących wytwarzanie etanolu z buraków cukrowych produkcję można prowadzić przez cały rok. Podczas kampanii cukrowniczej należy fermentować sok surowy, a w pozostałych miesiącach roztwór z zagęszczonego koncentratu soku buraczanego, przechowywanego w zbiornikach magazynowych. W przypadku soku surowego i koncentratu można stosować ozon do sterylizacji podłoża fermentacyjnego. Proces ozonowania może być prowadzony w temperaturze otoczenia i w przepływie, co znacznie obniża koszty przygotowania medium fermentacyjnego. W porównaniu do znanych sposobów oczyszczania podłoży

fermentacyjnych metoda jest znacznie prostsza, bardziej ekonomiczna a ponadto intensyfikuje proces fermentacji i poprawia jakość produktów finalnych.

Prace były zrealizowane w ramach badań własnych, finansowanych ze środków Politechniki Łódzkiej. Wyniki powyższych badań zostały zaprezentowane w publikacji: Dziugan P., Krosowiak K., Śmigielski K., Dziedziczak K.; Wyjaławianie i oczyszczanie podłoży fermentacyjnych przy pomocy ozonu. Przemysł Fermentacyjny i Owocowo Warzywny. 2008, nr 2, s. 30-31. Nowy sposób dezynfekcji podłoży fermentacyjnych zastrzeżono patentem - Patent RP nr 210215 (2011). Dziugan P., Śmigielski K., Dziedziczak K.: Sposób wyjaławiania i oczyszczania podłoży fermentacyjnych.

Buraki cukrowe jako surowiec do przerobu dostępne są w okresie jesiennym i mogą być bezpośrednio użyte do produkcji etanolu. Obecność w nich łatwo dostępnych cukrów oraz związków azotowych powoduje, że koszty fermentacji etanolowej są stosunkowo niskie. W ramach przeprowadzonych prac zbadano efekt sterylizacji ozonem brzezki fermentacyjnej na wydajność etanolu.

W pierwszej kolejności określono czas zamierania charakterystycznej mikroflory zakażającej soki buraczane. Jako mikroorganizmy wskaźnikowe wykorzystano bakterie *Bacillus subtilis* B01644, *Leuconostoc mesenteroides* LOCK 0964, *Geobacillus stearothermophilus* LOCK 0815, drożdże *Candida vini* syn. *Candida mycoderma* LOCK 0008 i pleśń *Aspergillus brasiliensis* ATCC16404. Do wysterylizowanego termicznie soku surowego wprowadzono drobnoustroje w ilości pozwalającej uzyskać ich zawartość na poziomie 10^5 jtk/ml. Tak przygotowaną brzeczkę poddano wyjaławianiu przepuszczając 6 L/h ozonu o stężeniu 0,1 g O₃/L O₂. W efekcie ozonowania zaobserwowano zamieranie wszystkich wprowadzonych grup drobnoustrojów. Najkrótszy czas zamierania 10 min. zaobserwowano w przypadku *Leuconostoc mesenteroides*. Bakterie *Geobacillus stearothermophilus* cechowały się najdłuższym czasem zamierania ok 30 min. Czas ten był wystarczający do uzyskania sterylności brzezki fermentacyjnej.

W badaniach nad fermentacją soków cukrowniczych sprawdzono, w jaki sposób ozonowanie, jako metoda sterylizacji podłoża fermentacyjnego, wpłynie na wydajność produkcji etanolu. Próbami odniesienia były brzezki poddane pasteryzacji i sterylizacji termicznej. Mając na uwadze wdrożenie technologii produkcji bio-etanolu z buraka cukrowego, w badaniach użyto przemysłowe szczepy drożdży Ethanol Red oraz As-4 gatunku *Sacharomyces cerevisiae*. Fermentacji poddano sok surowy suplementowany (NH₄)₂HPO₄. Przeprowadzone badania dowiodły, że zastosowanie obróbki wstępnej (pasteryzacji, sterylizacji, ozonowania) brzeczek z soku surowego nie wpłynęło w istotny sposób na dynamikę i czas trwania fermentacji. Próba po ozonowaniu w przypadku drożdży As-4 odznaczała się dłuższą fazę zafermentowania w porównaniu z pozostałymi, jednak czas fermentacji wszystkich prób wynosił ok. 70 godzin. Wstępna sterylizacja termiczna soku surowego spowodowała obniżenie stężenia etanolu w brzeczkach odfermentowanych średnio o

0,9% obj. i jego wydajności średnio o ok. 10%. Najwyższą wydajność procesu fermentacji dla drożdży Ethanol Red oraz As-4 uzyskano dla ozonowanego soku surowego. Testy fermentacyjne potwierdziły moje wcześniejsze badania a uzyskane wyniki potwierdzają, że wyjaławianie brzezki do fermentacji etanolowej ozonem jest bezpieczne dla drożdży. Przeprowadzony test biologiczny (fermentacja) wykazał, że podczas tego procesu nie tworzą się inhibitory fermentacji.

Efektom ozonowania jest dwa razy wyższy poziom aldehydu octowego w destylatach (204,2 mg/dm³ spirytus 100%v/v). Natomiast zawartość 3-metylo-1butanolu obniżyła się o połowę a 2-metylo-1butanolu o blisko 2/3. Pozostałe wskaźniki jak zawartość metanolu, n-propanolu, n-butanolu, 2-metylo-1propanolu pozostawały na zbliżonym poziomie.

Ozonowanie brzeczek fermentacyjnych przynosi także inne pozytywne efekty. Zaobserwowano zmniejszenie pienienia brzezki. Badania wykazały, że w trakcie tego procesu następuje podwyższenie napięcia powierzchniowego z 62·10⁻³ N/m, do 70·10⁻³ N/m dla brzezki z soku surowego, która miała największą tendencję do pienienia. Bardzo ważnym efektem jest także odbarwienie brzezki, co jest bardzo istotne w przypadku produkcji drożdży paszowych. Biomasa w tym przypadku miała kolor „drożdżowy” i była pozbawiona czarnego zabarwienia pochodzącego od soku surowego. Pozytywnym efektem, szczególnie przy produkcji drożdży jest natlenienie brzezki. Dla próbek, przed ozonowaniem stężenie tlenu rozpuszczonego wynosiło ok. 6 mg/dm³. Po zakończeniu ozonowania we wszystkich badanych brzeczkach zawartość tlenu rozpuszczonego wzrosła do 12,8 mg/dm³. Wysoki stopień nasycenia mediów tlenem sprzyja prowadzeniu procesów fermentacyjnych ponieważ w fazie adaptacyjnej drożdże intensywnie wykorzystują tlen z brzezki na budowę swojej biomasy. Efekt ten znalazł potwierdzenie podczas hodowli drożdży paszowych na badanych brzeczkach. W brzeczkach poddanych ozonowaniu zaobserwowano wzrost wydajności namnażania testowanych drożdży paszowych od 1 do 6%.

Prace nad tymi zagadnieniami prowadziłem w ramach projektów badawczo-rozwojowych NCBIR N R12 0062 06/2009 „Modyfikacja technologii produkcji bioetanolu z buraków cukrowych” 2009-2012, którego byłem autorem i kierownikiem i NCBIR PBS1/B8/0/2012 pt. „Biomasa wysłodków cukrowniczych jako nowy surowiec do wytwarzania podłoży fermentacyjnych, którego byłem współautorem i menadżerem.

Wyniki powyższych badań przedstawiono w publikacjach:

Dziugan P., Balcerek M., Binczarski M., Kregiel D., Kucner M., Kunicka-Styczynska A., Pielech-Przybylska K., Smigielski K., Witonska I.; Ozonation as an effective way to stabilize new kinds of fermentation media used in biotechnological production of liquid fuel additives, Biotechnology for Biofuels, 2016, 9:150, DOI 10.1186/s13068-016-0574-2,

Dziugan P.: Zastosowanie ozonu w procesach produkcji bioetanolu II generacji i drożdży paszowych. Przemysł Chemiczny, 2016, nr 95/7, s. 1000-1005.

Kolejnym etapem pracy było opracowanie warunków fermentacji etanolowej soków cukrowych o wysokim ekstrakcie (sok gęsty, 68-70°B_{lg}). Technologia przechowywania soku gęstego jest znana i stosowana w praktyce przemysłowej. Zatem, sok gęsty może być dobrym surowcem do produkcji bio-etanolu w okresie międzykampanijnym. Badano wpływ gęstości brzeczek fermentacyjnych, rodzaju pożywek mineralnych, dawki inokulum drożdży oraz temperatury na dynamikę i wydajność fermentacji brzeczek z soku gęstego.

Jako inokulum wykorzystano handlowe preparaty suszonych drożdży gorzelniczych Ethanol Red gatunku *Saccharomyces cerevisiae*. Fermentację prowadzono w temperaturze 29 i 35°C. Jako aktywatory wzrostu stosowano: $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ i MgSO_4 . Podczas trwania procesu kontrolowano dynamikę rozwoju drożdży na podstawie zmian ekstraktu pozornego i rzeczywistego, pH, ilości cukrów redukujących i cukrów ogółem oraz stężenia alkoholu. Sok gęsty rozcieńczono wodą do przygotowywania brzeczek o gęstości 25 i 28°B_{lg}. Wykorzystywano sok gęsty z buraka cukrowego, pochodzący z cukrowni w Dobrzelinie.

Przeprowadzone badania wykazały, że korzystniejsze wskaźniki uzyskano w przypadku fermentacji brzeczek o ekstrakcie 25°B_{lg}. Zastosowane do prowadzenia fermentacji drożdże rasy Ethanol Red nie tolerują wysokiego ciśnienia osmotycznego panującego w podłożach o gęstości 28°B_{lg}. Zwiększenie inokulum drożdży z 0,5 g/l do 2 g/l zintensyfikowało proces biosyntezy etanolu we wszystkich próbach fermentacyjnych. Najwyższe stężenie etanolu (14,2% obj.) oznaczono w brzeczce o gęstości 25°B_{lg}, fermentowanej w 35°C, z udziałem drożdży w ilości 2 g/l. Dodatek do brzeczki fermentacyjnej MgSO_4 nie przyczynił się do poprawy wydajności fermentacji w porównaniu do prób suplementowanych fosforanem ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$). Podwyższenie temperatury procesu z 29°C do 35°C wpłynęło znacząco na dynamikę fermentacji, zarówno w brzeczce 25°B_{lg}, jak i 28°B_{lg}. Fermentacja brzeczek o podwyższonej zawartości ekstraktu wymaga czasu dłuższego niż 4 doby do osiągnięcia pełnego odfermentowania. Przeprowadzone badania pokazują, że sok gęsty jest bardzo dobrym podłożem do prowadzenia fermentacji w technologii UHG (Ultra High Gravity). W przypadku aplikacji przemysłowej ma to bardzo istotne znaczenie dla ekonomiki procesu wytwarzania bio-etanolu.

Prace nad tym zagadnieniem prowadziłem w ramach projektu badawczo-rozwojowego NCBIR Nr N R12 0062 06/2009 „Modyfikacja technologii produkcji bioetanolu z buraków cukrowych” 2009-2012, którego byłem autorem i kierownikiem.

Wyniki powyższych badań przedstawiono w publikacji:

Dziugan P., Balcerek M., Pielech-Przybylska K., Patelski P.: Evaluation of fermentation of high gravity sugar beet thick juice worts for efficient ethanol production” opublikowanym w czasopiśmie *Biotechnology for Biofuels*, 2013, nr 6, s. 158-168.

Dalsze badania zmierzały do sprawdzenia możliwości wykorzystania hydrolizatów wysłodków buraczanych do produkcji etanolu. W związku ze zmianą struktury produkcji rolnej w Polsce, obserwuje się zmniejszenie zapotrzebowania na ten produkt. Koncerny cukrownicze poszukują więc alternatywnych metod zagospodarowania wysłodków. Badania obejmowały porównanie dynamiki i wskaźników fermentacji etanolowej brzeczek z hydrolizatów wysłodków buraczanych, z udziałem drożdży *Sacharomyces cerevisiae* (*Ethanol Red*). Jako surowiec do sporządzenia medium fermentacyjnego wykorzystano wysłodki świeże i suszone, oraz z dodatkiem melasy jako czynnika wiążącego. Hydrolizaty wysłodków buraka cukrowego otrzymywano, poddając mieszaninę wysłodków z wodą hydrolizie preparatami enzymatycznymi Viscozyme (pH 3,3-5,5; temp. 25-55°C) oraz Ultraflo Max (pH 4,0-6,5; temp. 45-70°C), w temperaturze 50°C. Zawartość suchej substancji w świeżych wysłodkach bez dodatku melasy, była zbliżona (8,2-8,3°Bx), natomiast w hydrolizacie wysłodków z dodatkiem melasy zawartość ekstraktu była wyższa i wynosiła ok. 10°Bx. Stężenie cukrów ogółem kształtowało się w granicach od 5,18 g/100 ml inwertu (hydrolizat z wysłodków świeżych) do 7,02 g/100 ml (hydrolizat wysłodków z dodatkiem melasy).

Skład chemiczny badanych hydrolizatów świadczy, że mogą być dobrym surowcem do fermentacji alkoholowej. Wskazana jest jedynie korekta pH i suplementacja aktywatorem wzrostu dla drożdży ((NH₄)₂HPO₄). Brzeczki fermentacyjne suplementowano aktywatorem wzrostu i szczepiono drożdżami w postaci monokultury *Saccharomyces cerevisiae Ethanol Red*. Fermentacje prowadzono w temperaturze 28-30°C, w ciągu 72 h. Wydajność etanolu w przeprowadzonych fermentacjach brzeczek z hydrolizatów wysłodków (świeżych oraz suszonych niemelasowanych i melasowanych) wyniosła od 10 do 43% wydajności teoretycznej, przy stopniu odfermentowania cukrów ogółem na poziomie 10-58%. Drożdże *Saccharomyces cerevisiae* (preparat Ethanol Red) wykorzystywane w badaniach, charakteryzuje wysoka wydajność fermentacji glukozy. Natomiast fermentacja innych cukrów obecnych w wysłodkach (np. galaktozy, mannozy, arabinozy, ksylozy) jest możliwa z udziałem np. drożdży paszowych (*Pichia stipitis*, *Pachysolen tannophilus*, i in.), ponieważ udział drożdży *S. cerevisiae* w metabolizmie tych związków jest ograniczony. Rozwiązaniem może być zatem stosowanie kultur mieszanych drożdży, np. *S. cerevisiae* z drożdżami paszowymi wykazującymi uzdolnienia do fermentacji niektórych pentoz i heksoz, co mogłoby zwiększyć stopień odfermentowania cukrów w hydrolizatach z wysłodków buraczanych i zwiększyć wydajność etanolu. Niska zawartość węglowodanów ogranicza możliwość otrzymywania dużych ilości etanolu. Niemniej, wykorzystanie mieszanych kultur drobnoustrojów, może zwiększyć wykorzystanie cukrów (heksoz i pentoz) podczas fermentacji, poprawiając jej wydajność. Ponadto wywary otrzymane po destylacji hydrolizatów wysłodków buraczanych mogą być przekazywane do zagospodarowania ich na cele produkcji biogazu.

Badania nad tym zagadnieniem prowadziłem w ramach projektu badawczo- rozwojowego NCBIRNr PBS1/B8/0/2012 pt. „Biomasa wyśtoków cukrowniczych jako nowy surowiec do wytwarzania podłoży fermentacyjnych” 2012-2015, którego byłem współautorem i managerem.

Wyniki powyższych badań przedstawiono w publikacji:

Pielech-Przybylska K., Berłowska J., Balcerek M., Patelski P., Kalinowska H., Dziugan P.: Fermentacja alkoholowa hydrolizatów z wyśtoków buraka cukrowego. W: Technologia produkcji i bezpieczeństwo żywności, red. Tarko T. i in. PTTŻ Oddział Małopolski, 2014, Wyd. MNISW, s. 43-53 (ISBN-978-83-937001-3-4).

Wyniki badań przedstawione w artykule zatytułowanym "**Continuous catalytic coupling of raw bioethanol into butanol and higher homologues**" dowodzą możliwości zastosowania katalitycznej transformacji etanolu do butanolu. Odmienność tematyki badawczej spowodowała, że w celu zrealizowania swojego pomysłu zaprosiłem do zespołu badawczego specjalistów od chemii organicznej i katalizy, którzy pomogli w opracowaniu i realizacji syntezy butanolu. W badaniach wykorzystano bio-etanol otrzymany z buraków cukrowych. Nowy sposób postępowania, przedstawiony w artykule ma duży potencjał techniczny, ponieważ nawet stosunkowo niewielka objętość reaktora będzie wystarczająca, aby na dużą skalę produkować biokomponenty paliw samochodowych. Główną zaletą prezentowanego rozwiązania technologicznego jest to, że stosowany jako substrat alkohol etylowy z gorzelnii, w postaci surówki, nie wymaga rektyfikacji, odwodnienia i może być stosowany bezpośrednio w procesie on-line wytwarzania butanolu na skalę przemysłową.

Za najbardziej obiecujący z przebadanych katalizatorów uznano układ 20% wagowych niklu na nośniku z Al_2O_3 ($20\%\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$), dla którego wydajność butanolu wynosiła prawie 13%. Taką wydajność uzyskano po jednorazowym przejściu etanolu przez złożę katalizatora w temperaturze 330°C i pod ciśnieniem 12 MPa. Wydajność butanolu w mieszaninie reakcyjnej zwiększono do 31,4% (v/v), przez destylację mieszaniny poreakcyjnej i zawracanie frakcji o niskiej temperaturze wrzenia do reaktora katalitycznego. Co jest istotne, katalizatory $8\%\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ i $20\%\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ wykazały stabilność w badanej reakcji, co jest bardzo ważną cechą dla systemów stosowanych w praktyce przemysłowej. W celu zoptymalizowania warunków katalitycznego procesu sprzęgania bioetanolu pod kątem polepszenia wydajności butanolu, wykonano serię eksperymentów dla surówki gorzelniczej, rektyfikatu i alkoholu odwodnionego. Przez reaktor przepływowy wypełniony 23,3 g katalizatora $20\%\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ przepuszczano substraty przez 2 h w temp. 290°C i pod ciśnieniem 8,11 MPa. Produkty ciekłe zbierano i zawracano do reaktora. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że recyrkulacja mieszaniny poreakcyjnej przez złożę katalizatora nie prowadzi do znacznego wzrostu stężenia butanolu. Zatem, w zastosowanych

warunkach uzyskano pewną stabilność termodynamiczną układu i niemożliwe jest dalsze zwiększanie stężenia butanolu w układzie reakcyjnym.

W następnym etapie, rektyfikat (96% etanol) przepompowano przez reaktor katalityczny, wypełniony katalizatorem 20%Ni/Al₂O₃, w takich samych warunkach ciśnienia i temperatury. Produkty reakcji poddano destylacji i wydzielono dwie frakcje, pierwszą - wrzącą w temperaturze poniżej 81,5 °C i drugą powyżej 81,5 °C. Frakcję wrzącą poniżej 81,5°C (zawierającą głównie etanol) zawracano na złożę katalizatora, co prowadziło do powstawania nowej porcji produktu. W ten sposób, dzięki międzystopniowemu frakcjonowaniu produktów, udało się uzyskać wyższe wydajności butanolu w przeliczeniu na początkową ilość użytego surowca.

W celu podniesienia wydajności procesu sprzęgania etanolu zbadano zastosowanie reaktora dwustrefowego, wypełnionego różnymi układami katalitycznymi. W badaniach wykorzystano układ, w którym pierwsza strefa reaktora wypełniona była układem 8%Ni/Al₂O₃, a druga katalizatorem 5%Pd-8%Fe/Al₂O₃. Bimetaliczny katalizator palladowo-żelazowy wybrano ze względu na jego szczególnie wysoką aktywność w reakcjach przenoszenia wodoru. Proces kondensacji w tym przypadku prowadzono dla rektyfikatu (96% etanol) w temperaturze 290 °C i pod ciśnieniem 8,11 MPa przez 8 godzin. Głównym składnikiem ciekłej mieszaniny poreakcyjnej był etanol (85,9% v/v), ale zawartość butanolu wzrosła do 12,55% v/v. Co więcej, praca w takich warunkach polepszyła selektywność reakcji, ponieważ ilość innych produktów – głównie alkoholi wyższych: heksanolu i oktanolu była niewielka i wynosiła ok 10% w stosunku do butanolu. Należy zaznaczyć, że zarówno heksanol jak i oktanol są związkami, które są pożądane, jako składniki paliw ciekłych. Wykorzystanie reaktora dwustrefowego przyczynia się do poprawy stosunku wodoru do węgla w otrzymanym produkcie. Uzyskana mieszanina butanolu i alkoholi wyższych jest lepszym biokomponentem paliwowym niż sam, czysty butanol.

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że reakcję sprzęgania etanolu do butanolu (biokomponentu paliwowego), można prowadzić w systemie ciągłym, przy zastosowaniu dodatkowego etapu destylacji i zawracania frakcji o niskiej temperaturze wrzenia do reaktora katalitycznego.

Instalacja do produkcji bio-butanolu z bio-etanolu, w skali pilotażowej według powyżej opisanego sposobu będzie wybudowana w latach 2017-2019 w biorafinerii w Piaszczyne (Zachodniopomorskie) (przyznane dofinansowanie na budowę instalacji). Wynikami badań zainteresowały się włoskie i polskie koncerny paliwowe traktując budowaną instalację w Piaszczyne jako demonstrator technologii.

Badania nad opracowaniem syntezy butanolu z etanolu były wykonane w ramach projektu pt. „Badanie instalacji do syntezy biopaliw oraz sposobu spalania mieszanin paliw” POIG Działanie 4.1 Wsparcie na prace badawcze i rozwojowe oraz wdrożenie wyników tych prac, WND-POIG.01.04.00-10-023/10. Zadanie pt. „Opracowanie koncepcji i modelu,

przemysłowego reaktora chemicznego na wytworzenie biodiesla z etanolu.” (byłem kierownikiem zadania).

Wyniki powyższych badań przedstawiłem w publikacji:

Dziugan P., Jastrzabek K., Witońska I., Karski S., Binczarski M., Kolesinska B., Kaminski Z.J.: Continuous catalytic coupling of raw bioethanol into butanol and higher homologues, Fuel, 2015, vol. 158C, s. 81-90.

Nowy, oryginalny sposób transformacji etanolu w butanol zgłoszono do opatentowania. W dokumentacji załączyłem zgłoszenie patentowe wraz z badaniem czystości patentowej wykonanym przez ekspertów Urzędu Patentowego. Do końca 2016 r nie wydano jeszcze decyzji patentowej. **Piotr Dziugan, Konrad G. Jastrzabek , Izabela Witońska, Beata Kolesinska, Zbigniew J Kaminski, Stanisław Karski. „Katalityczny sposób wytwarzania biokomponentu paliwowego z bioetanolu zawierającego od 60 do 100% alkoholu obok innych składników.” zgłoszenie patentowe nr P-408327 (2014)**

Uzyskane rezultaty opracowanej technologii mają duże znaczenie praktyczne dla rynku paliw ciekłych i producentów alkoholu. Za najważniejsze osiągnięcia opisanych badań uważam:

- **Opracowanie sposobu wyjąławiania podłoży fermentacyjnych ozonem (patent)**
- **Optymalizację fermentacji etanolowej soków cukrowniczych o wysokim ekstrakcie**
- **Wykazanie przydatności hydrolizatów wysłodkowych do produkcji bio-etanolu**
- **Potwierdzenie aktywności nośnikowych katalizatorów niklowych i palladowo - żelazowych w procesach sprzęgania bio-etanolu**
- **Optymalizację warunków syntezy butanolu, pozwalającą uzyskać wysoką selektywność produktu**
- **Zastosowanie w procesie sprzęgania etanolu dwustrefowego reaktora katalitycznego**
- **Opracowanie metody recyrkulacji etanolu z jednoczesnym frakcjonowaniem międzystopniowym, co pozwala na uzyskanie 90% wydajności butanolu**

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych

Prowadzone przeze mnie prace badawcze mieszczą się w następujących obszarach tematycznych:

1. Opracowanie kultury starterowej dla przemysłu piekarskiego i jej zastosowanie do wytwarzania pieczywa (badania wykonywane przed doktoratem i będące jego kontynuacją);
2. Otrzymywanie syropów cukrowych i ich aplikacje w przemyśle spożywczym;
3. Wykorzystanie bakterii fermentacji mlekowej w wybranych aplikacjach;
4. Przekształcanie bioodpadów z przemysłu cukrowniczego, spirytusowego i browarniczego w procesach wytwarzania *green chemicals* i dodatków paliwowych;
5. Przetwarzanie biomasy do celów energetycznych;
6. Otrzymywanie cennych biopreparatów z drożdży poprodukcyjnych;
7. Technologia wytwarzania napoju typu Kwas Chlebowy w oparciu o procesy fermentacyjne.

5.1. Opracowanie kultury starterowej dla przemysłu piekarskiego i jej zastosowanie do wytwarzania pieczywa (badania wykonywane przed pracą doktorską i będące jej kontynuacją).

W latach 1988-1990, tzn. w czasie realizowania pracy magisterskiej, a później pracy zawodowej, aktywnie uczestniczyłem w pracach zespołu kierowanego przez dr hab. Magdalenę Włodarczyk, prof. PŁ nad optymalizacją warunków utrwalania kultur starterowych mieszanej populacji bakterii fermentacji mlekowej i drożdży stosowanych w przemyśle piekarskim. **Uczestniczyłem jako wykonawca w realizacji Projektu Badawczego KBN nr PB 988/5/91 „Badania nad aktywnością skojarzonych populacji bakterii mlekowych i drożdży jako kultur „starterowych” w zakwasach piekarskich”**. Etap ten był zakończony patentem, którego jestem współautorem [1].

Uzyskanie patentu pozwoliło na wdrożenie produkcji liofilizowanej piekarskiej kultury starterowej w przemyśle. Przeniesienie skali wytwarzania kultur starterowych wymagało dalszych badań nad sposobem ich utrwalania w warunkach przemysłowych. Rezultatem tych prac badawczych była moja rozprawa doktorska, której przedmiotem było opracowanie technologii produkcji piekarskiej kultury starterowej, ze szczególnym uwzględnieniem zamrażania i suszenia sublimacyjnego. Sposób prowadzenia operacji technologicznych miał ponadto gwarantować zachowanie symbiotycznego współbywania skojarzonej populacji bakterii i drożdży w naturalnym środowisku zakwasów piekarskich. Na kulturę starterową składały się szczepy bakterii fermentacji mlekowej *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus sanfranciscensis* i drożdży *Saccharomyces cerevisiae*. Jako środowisko fermentacyjne do namnożenia biomasy wykorzystano mieszaninę mąki żytniej i wody w proporcji 100 : 120. Proces prowadzono metodą trzykrotnego

pasażowania, co pozwoliło zwiększyć liczbę bakterii fermentacji mlekowej o 94%, a drożdży o 42%. Jednym z efektów fermentacji było obniżenie temperatury krioskopowej z $-1,8^{\circ}\text{C}$ do $-3,9^{\circ}\text{C}$. Optymalną substancją zabezpieczającą bakterie fermentacji mlekowej i drożdże przed letalnym skutkiem zamrażania była mieszanina 8% sacharozy i 0,5% CaCO_3 . Zapewniała ona 91% przeżywalności pałeczek mlekowych i 19% drożdży przy szybkości zamrażania równej 1,1 deg/min. W poszukiwaniu innych możliwości zabezpieczenia materiału biologicznego przed destrukcyjnym działaniem procesu zamrażania sprawdzono skuteczność niskotemperaturowej indukcji wewnątrzkomórkowych mechanizmów krioprotekcyjnych. Zimny szok (temperatura $+10^{\circ}\text{C}$, 14 godzin) przyczyniał się do wzrostu przeżywalności zamrażania obu grup drobnoustrojów o około 20%. W kolejnym etapie badań skupiono się na określeniu optymalnej, możliwej do zastosowania w warunkach przemysłowych szybkości zamrażania. Najwyższe przeżywalności bakterii fermentacji mlekowej uzyskano dla prób zamrażanych z szybkościami 1-2 deg/min i wyższymi od 10 deg/min. Dla komórek drożdży optymalna szybkość zamrażania mieściła się w tym przedziale i wynosiła 1,6 deg/min. Optymalne warunki suszenia sublimacyjnego piekarskiej kultury starterowej uzyskano przy temperaturze płyt grzejnych 30°C , grubości warstwy preparatu 10 mm i ciśnieniu 2 Pa. Proces przeżywało wówczas 35% bakterii fermentacji mlekowej i 21% drożdży. Wydajność suszenia w tych warunkach wyniosła $0,296\text{ kg/m}^2\text{h}$. Wykazano, że uszkodzenia letalne komórek drobnoustrojów należy wiązać z obniżającym się frontem sublimującego lodu. Drożdże wykazywały ponadto wrażliwość na zmianę wilgotności środowiska podczas próżniowego dosuszania. Optymalną temperaturą przechowywania utrwalonej na drodze sublimacji kultury starterowej była -20°C . Zapewniła ona 94,5% przeżywalności pałeczek mlekowych i 75% drożdży po 126 dniach próżniowego przechowywania.

W celu komercjalizacji opatentowanej i dopracowanej technologii utworzono spółkę Biostar Plus Sp. z o.o. w Łodzi ul. Jaracza 41, która pozyskała grant z programu INCOM Fundacji Na Rzecz Nauki Polskiej. Po uzyskaniu dofinansowania utworzono nowoczesny zakład produkcji liofilizatów w oparciu o innowacyjną, niemiecką suszarnię sublimacyjną zasilaną ciekłym azotem (ZIRBUS). W oparciu o rezultaty pracy doktorskiej uruchomiłem produkcję liofilizowanej kultury starterowej w firmie BIOSTAR (<http://biostarplus.pl/zaczatki/>).

W latach 1993-1994 byłem głównym inżynierem wdrażającym do produkcji fermentowane pieczywo bezglutenowe w przedsiębiorstwie PPW Witold Krusz, Maków, ul. Brzosty 3. Było to pierwsze w świecie wdrożenie pieczywa bezglutenowego – skrobiowego i kukurydzianego poddanej kierowanej fermentacji mlekowo-etanolowej. Otrzymane w tej technologii pieczywo spełniało najwyższe wymagania stawiane produktom bezglutenowym. Jego cechą szczególną było zachowanie smaku i zapachu tradycyjnego chleba pszenno-żytniego. Technologię opracował zespół naukowców pod kierunkiem dr hab. inż. Magdaleny Włodarczyk, w składzie mgr inż. Anna Diowks, mgr inż. Piotr Dziugan, mgr inż. Maria Adamów-Piaszczyńska.

W początkowych latach po uzyskaniu stopnia doktora dużą uwagę przywiązywałem do doradztwa technicznego i pomocy naukowej licznym zakładom piekarskim. Zorganizowałem w 2001 roku kurs „Nowoczesne metody fermentacji w piekarstwie”. Opracowałem innowacyjną metodę zagospodarowania pieczywa ze zwrotów metodą fermentacji w zakwasie, oraz technologię produkcji pieczywa wzbogaconego błonnikiem pokarmowym. Jednocześnie wdrożyłem **kierowaną fermentację zakwasów piekarskich w piekarni Chriss Bakery w Chicago, podczas mojego stażu przemysłowego w USA (2005 rok)**. Biorąc pod uwagę dostępne surowce, zaproponowałem wypiek chlebów - wiejskiego, pytlowego i praskiego. Jako metodę produkcji pieczywa wybrałem najbardziej tradycyjną i o wieloletniej tradycji technologię trójfazową. Zakwas (żurek) przygotowałem zgodnie z klasycznym schematem fermentacyjnym. Dalszy sposób postępowania z fazą kwasu i ciasta był dostosowany do rodzaju pieczywa. Doświadczenia zdobyte podczas próbnych wypieków potwierdzają tezę, że można uzyskać nasze „polskie” pieczywo dobrej jakości w innych krajach, jeżeli użyjemy dobrych surowców i odpowiednich kultur starterowych. Doświadczenia zdobyte podczas konsultingu w piekarni Criss Bakery Inc. w Chicago w bardzo istotny sposób poszerzyły moją wiedzę zawodową. Badania nad starterami i technologiami piekarskimi podsumowują wymienione poniżej publikacje:

Ważniejsze publikacje:

1. Patent RP nr 176077 (1998). Włodarczyk M., Włodarczyk A., Grzelak T., Krusz W., Diowksz A., Jeżyńska B., Adamów-Piaszczyńska M., Dziugan P.: Szczepionka do fermentacji zakwasów piekarskich oraz sposób jej wytwarzania. MNiSW= 25
2. Dziugan P., Dziomdziora M., Bojanowska R.: Wpływ warunków środowiskowych na przeżywalność bakterii fermentacji mlekowej i drożdży podczas zamrażania. Chłodnictwo. 2006, nr 8, s. 54-56. MNiSW= 4
3. Dziugan P., Dziomdziora M.: Wpływ szybkości zamrażania na przeżywalność skojarzonych populacji bakterii fermentacji mlekowej i drożdży. Chłodnictwo. 2006, nr 10, s. 44-46. MNiSW= 4
4. Dziugan P., Dziomdziora M.: Wpływ wybranych krioprotektantów na przeżywalność bakterii fermentacji mlekowej i drożdży podczas zamrażania. Chłodnictwo. 2006, nr 9, s. 48-50. MNiSW= 4
5. Dziugan P.: Adaptacja niskotemperaturowa mikroorganizmów. Chłodnictwo. 2006, nr 11, s. 54-59. MNiSW= 4
6. Dziugan P.: Kinetyka suszenia sublimacyjnego piekarskiej kultury starterowej. Chłodnictwo. 2009, nr 4, s. 46-48. MNiSW= 4
7. Dziugan P.: Liofilizacja piekarskiej kultury starterowej. Chłodnictwo. 2009, nr 5, s 48-52 MNiSW= 4
8. Dziugan P.:Przeżywalność suszenia sublimacyjnego przez bakterie fermentacji mlekowej i drożdże. Chłodnictwo, 2009, nr 1, s. 54-57. MNiSW= 4
9. Dziugan P.: Technologiczne aspekty produkcji chleba na zakwasach. Cukiernictwo i Piekarstwo. 2006, nr 6,s. 34-37.
10. Dziugan P.: Zagospodarowanie pieczywa ze zwrotów metodą fermentacji w zakwasie. Przegląd Piekarski i Cukierniczy. 2009, nr 3, s 12-15.
11. Dziugan P.:Zastosowanie tac z kratownicą w procesie liofilizacji biopreparatu zawierającego bakterie *Lactobacillus plantarum*. Zeszyty Naukowe PŁ. Chemia i Biotechnologia. Łódź, 2006, nr 984, z.70, s. 37-42.
12. Dziugan P.: Zimny szok jako czynnik indukujący krioprotekcję drobnoustrojów. Chłodnictwo. 2006, nr 12, s. 46-48. MNiSW= 4
13. Dziugan P.: Producenci pieczywa w Polsce. Przegląd Piekarski i Cukierniczy. 2008, nr 7, s 20-23.
14. Dziugan P.: Jakość i warunki produkcji pieczywa w Polsce. Przegląd Piekarski i Cukierniczy. 2006, nr 12, s 6-9.

5.2. Otrzymywanie syropów cukrowych i ich aplikacje w przemyśle spożywczym

Przemysłowe zastosowania sacharozy niejednokrotnie nie wymagają wysokiej czystości cukru jak i jego sypkiej, krystalicznej postaci. Przemysłowi odbiorcy wręcz preferują postać ciekłą ułatwiającą transport, przechowywanie i technologiczne stosowanie. Wspólnie z Krajową Spółką Cukrową SA przystąpiliśmy do opracowania technologii produkcji koncentratu z buraka cukrowego dla wybranych zastosowań przemysłowych. Rezygnacja z kosztownego procesu warzenia i krystalizacji znacząco obniża koszt wytwarzania. Dotychczas, cukrowniczy sok gęsty jest wykorzystywany wyłącznie do produkcji cukru spożywczego. W trakcie jego produkcji zostają usunięte naturalne mikroelementy, aminokwasy, biotyna, kwas pantotenowy, cukry proste. Cukrowniczy sok gęsty, zawierający te ważne dla diety człowieka związki, może stanowić cenny surowiec dla przemysłu fermentacyjnego i spożywczego, ale jego zastosowanie uniemożliwia nieprzyjemny zapach. Zapach ten pochodzi od pirazyn powstających w wyniku reakcji Maillarda zachodzącej podczas wytwarzania soku gęstego.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że poddanie cukrowniczego soku gęstego o nieprzyjemnym zapachu, działaniu spożywczego kwasu karboksylowego w czasie od 0,5 do 2 godzin w temperaturze od 50 do 90°C, powoduje znaczną redukcję nieprzyjemnego zapachu. Kwas karboksylowy powoduje przekształcenie pirazyn w nietotne sole. Obniżenie pH soku gęstego w wyniku wprowadzenia kwasu karboksylowego powoduje hydrolizę sacharozy, co jest korzystne, ponieważ w wyniku rozpadu wiązania glikozydowego do glukozy i fruktozy przyłączana jest cząsteczka wody. W efekcie tego procesu wzrasta zawartość suchej substancji o ok 5%. W celu pełnego oczyszczenia soku gęstego należy w drugim etapie przeprowadzić adsorpcję resztkowych saponin, pozostałych po procesie defekacji soku buraczanego oraz związków barwnych. Adsorpcję należy przeprowadzić przy użyciu węgla aktywnego (do celów spożywczych).

Zastosowanie powyższych procesów umożliwia otrzymanie koncentratu bezpośrednio z cukrowniczego soku gęstego, przy czym właściwości fizykochemiczne i organoleptyczne powstałego produktu spełniają normę dla cukru brązowego, umożliwiając bezpośrednie zastosowanie w przemyśle spożywczym. Koncentrat został przebadany pod kątem zastosowania w przemyśle fermentacyjnym jako surowiec niesłodowany do produkcji piwa, jako substancja słodząca przy produkcji cukierniczej, soków owocowych, napojów i win owocowych oraz jako odrębny produkt spożywczy. Konsorcjant projektu – Krajowa Spółka Cukrowa S.A. aktywnie uczestniczyła w prowadzonych badaniach, zapewniając niezbędne surowce i prowadząc badania w skali przemysłowej. W cukrowni Dobrzelin wybudowano ciąg technologiczny do oczyszczania soku gęstego. Przeprowadzono oczyszczanie ok. 20 ton soku i przekazano próbki do wybranych zakładów celem sprawdzenia przydatności syropu do wytwarzania wybranych produktów. Wyniki badań przekazano zarządowi KSC S.A. celem podjęcia dalszych działań zmierzających do uruchomienia produkcji syropu w zaproponowanej technologii

Badania były prowadzone w ramach projektu badawczo-rozwojowego pt. „Opracowanie technologii wytwarzania syropów cukrowych z buraka cukrowego jako substytutu cukru białego dla wybranych zastosowań w przemyśle spożywczym” [NCBiR INNOTECH -K1/IN1/61/150409/NCBR/12, 2012-2015], Projekt był realizowany we współpracy z Krajową Spółką Cukrową S.A. Byłem autorem projektu, jego kierownikiem i kierownikiem konsorcjum realizującego badania.

Ważniejsze publikacje i doniesienia z tego zakresu:

1. Berłowska J., Binczarski M., Lesiak M., Dziugan P., Karski S., Witońska I.: Optymalizacja warunków ekstrakcji saponin z cukrowniczego soku gęstego otrzymanego z buraka cukrowego, III Krajowa Konferencja „Naturalne substancje roślinne – aspekty strukturalne i aplikacyjne”, Puławy, 2013, ISBN-978-83-7562-140-2, str. 88-89
2. Binczarski M., Karski S., Berłowska J., Dziugan P., Kregiel D., Witońska I.: Optimization the Parameters of the Process of Thermal Desorption of Saponins from Active Carbon, 3rd International Conference Sustainable Postharvest and Food Technologies -INOPTTEP 2013 and 25th National Conference Processing and Energy in Agriculture – PTEP 2013, Vrnjačka Banja, Serbia, 21-26.04.2013; ISBN: 978-86-7520-267-7, s.264
3. Binczarski M., Lesiak M., Berłowska J., Dziugan P., Karski S., Witońska I.: Syrop z buraka cukrowego jako naturalna substancja dosładzająca produkty spożywcze. Adsorpcyjna metoda eliminacji wybranych związków chemicznych z syropów buraczanych i jej chromatograficzna weryfikacja, VI KONFERENCJA CHROMATOGRAFICZNA Zastosowanie technik chromatograficznych w analizie środowiskowej i klinicznej, 2013, Łódź ISBN 978-83-85399-28-5, s. 29.
4. Binczarski M., Lesiak M., Berłowska J., Dziugan P., Karski S., Witońska I.: Odzyskiwanie saponin z procesów oczyszczania syropu z buraka cukrowego. Ilościowe oznaczenie saponin w produkcie za pomocą techniki HPLC, VI KONFERENCJA CHROMATOGRAFICZNA Zastosowanie technik chromatograficznych w analizie środowiskowej i klinicznej, 2013, Łódź ISBN 978-83-85399-28-5, s. 30
5. Czyżowska A., Dziugan P., Binkiewicz D., Wilkowska A., The use of sugar syrup as sugar substitute in the production of red fruit wines. 2014 Annual Conference & Exhibition Functional Foods., Nutraceuticals, Natural Health Products, and Dietary Supplements, 2014, Turcja, s. 261
6. Dziugan P., Berłowska J., Kregiel D.: “The thick juice from sugar beet as valuable source In yeast fermentation processes” IBS 2012 15-th International Biotechnology Symposium and Exhibition, 2012, Daegu, Korea. W: YEAST a Newsletter for Persons Interested in Yeast, Vol. LXI, Nr II, s.277
7. Dziugan P., Berłowska J.: Use of the thick juice from sugar beet as brewing adjunct. 40-th Annual Conference on Yeasts, Smolenice, Slovakia, P1.W: YEAST a Newsletter for Persons Interested in Yeast, 2012, Vol. LXI, Nr I, s. 11,
8. Kordialik-Bogacka E, Dziugan P. Sugar beet juice as a partial substitute of Malt In beer production. 3 rd International ISEKI Food Conference “Food Science and Technology Excellence for a Sustainable Bioeconomy”, 2014, Ateny, s. 119.
9. Kucner M, Grabka J., Dziugan P.: Alternatywne sposoby uzyskiwania cukrowniczego soku rzadkiego, III Sesja Magistantów i Doktorantów Łódzkiego Środowiska Chemików, Łódź (12.06.12), Materiały pokonferencyjne nr ISBN 978-83-924145-4-4, str. 130.
10. Lesiak, M. Binczarski, S. Karski, J. Berłowska, Dziugan P., Witońska,; An analysis of reduction of saponin concentration in sugar beets (*Beta vulgaris*) during storage, 19th Conference of Young Researchers Section of Polish Society of Food Technologists 3th International Conference, 2014, Warszawa, Polska, s. 44.
11. Lesiak M., Berłowska J., Binczarski M., Dziugan P., Karski S., Witońska I.: Chromatograficzne oznaczenie kwasu oleanowego w ekstraktach buraka cukrowego i soków buraczanych, VI KONFERENCJA CHROMATOGRAFICZNA Zastosowanie technik chromatograficznych w analizie środowiskowej i klinicznej, Łódź 15-17. 05. 2013 ISBN 978-83-85399-28-5, s. 54-55
12. Rosicka-Kaczmarek J., Nebesny E., Dziugan P., Miskiewicz K.: Wpływ syropu cukrowego na zawartość akrylamidu w wybranym pieczywie cukierniczym. XI Konferencja Naukowa z cyklu Żywność XXI w., Żywność a Bezpieczeństwo Zdrowotne, 2014. Kraków, s. 109.

13. Witonska I., Binczarski M., Karski S., Berłowska J, Dziugan P., Kregiel D.: HPLC Analysis For Quantitative Determination of Oleanolic Acid in the Extracts of Sugar Beet (*Beta Vulgaris*) and Sugar Juices from Sugar Beet Processing, 3rd International Conference Sustainable Postharvest and Food Technologies -INOPTeP 2013 and 25th National Conference Processing and Energy in Agriculture – PTEP 2013, Vrnjačka Banja, Serbia, 21-26.04.2013; ISBN: 978-86-7520-267-7, s.365

5.3. Wykorzystanie bakterii fermentacji mlekowej w wybranych aplikacjach

Od roku 2010 współpracuję z zespołem badawczym prof. Zhanga Bolina z Department of Food Science, School of Biological Science and Biotechnology, Beijing Forestry University. Nasze zainteresowania naukowe koncentrują się wokół różnorodnych zastosowań bakterii fermentacji mlekowej. Wraz z naukowcami chińskimi uczestniczyłem w badaniach nad możliwością detoksyfikacji środowisk wodnych przy pomocy bakterii z rodzaju *Lactobacillus*. Spośród analizowanych 15 szczepów, wybrano *L. plantarum* CICC 22135 i *L. pentosus* CICC 23163, które wykazywały wysoką skuteczność w usuwaniu kancerogennego benzo(a)pirenu (BaP) ze środowiska. W badaniach wykazano, że mechanizm wiązania BaP przez komórki bakterii polega na jego sorpcji do peptydoglikanu obecnego w komórkach bakterii. Metoda może być skutecznym sposobem detoksyfikacji środowiska, przy separacji biomasy bakteryjnej i jej unieszkodliwianiu. Innym możliwym zastosowaniem bakterii jest odkwaszanie win jabłkowych i cydrów. Zastosowanie bakterii *Leuconostoc mesenteroides* pozwala odfermentować, obecny w winie i cydrach, kwas jabłkowy do mlekowego, co znacznie podnosi ich jakość organoleptyczną. Szczep *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *Mesenteroides* Z25 wykazał się wysoką aktywnością odkwaszającą, redukując zawartość kwasu jabłkowego z 4,0 g/l do 0,25 g/l, jednocześnie zawartość kwasu mlekowego wzrosła z 0,99 g/l do 3,50 g/l co znacznie poprawiło smak wina. Przeprowadzona jabłkowo-mlekowa fermentacja przyczyniła się także do zmiany zawartości wielu związków lotnych, które jednak nie miały większego wpływu na aromat wina. W ramach wspólnych badań wyizolowano z chińskich marynat 119 rodzajów bakterii fermentacji mlekowej. Wśród nich korzystnie wyróżnił się szczep *Lactobacillus plantarum* C8 wykazujący silne działanie hamujące wzrost patogenów *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 i *Escherichia coli* ATCC 8739. Przeprowadzone badania wykazały, że wyizolowany szczep produkuje bakteriocynę o masie 16,5 kDa, inhibitującą wzrost bakterii Gramujemnych. Podczas procesów fermentacyjnych produktów mlecznych prowadzonych z udziałem *Lactobacillus helveticus* CICC 22171, z kazeiny uwalniane są biologicznie aktywne peptydy. Badania *in vitro* prowadzone z liniami komórkowymi Caco-2 wykazały, że peptyd β -Casobapt-ZW może indukować apoptozę komórek nowotworowych. Stwierdzono, że stosowanie bakterii *Lactobacillus helveticus* CICC 22171 może być sposobem do otrzymywania bioaktywnych peptydów z kazeiny. Badania były finansowane z grantów chińskich - 12th Five-year Plan, The Ministry of Science and Technology of The People's Republic of China (Nos.2011AA100902, 2011BAD23B04, 2012AA022108). Mój udział w realizacji tych projektów polegał na konsultacji naukowej i udziale w pracach laboratoryjnych podczas pobytu na stażach naukowych w Chinach.

Ważniejsze publikacje:

1. Zhao Hongfei, Zhou Fang, Qi Yeqiong, **Dziugan P.**, Bai Fengling, Walczak P., Zhang Bolin: Screening of *Lactobacillus strains* for their ability to bind Benzo(a)pyrene and the mechanism of the process. Food and Chemical Toxicology, 2013, nr 59, s. 67-71 – IF= 2.61 (2013), IF= 3.210 (pięcioletni), MNiSW= 35
2. Zhao Hongfei, Zhou Fang, **Dziugan P.**, Yao Yonghong, Zhang Jiatao, Lv Zhaolin, Zhang Bolin: Development of organic acids and volatile compounds of cider during malolactic fermentation. Czech Journal of Food Science, 2014, vol. 32, nr 1, s. 69-76 - IF=0.675 (2014), IF=0,881 (pięcioletni), MNiSW= 20
3. Fang Z., Hongfei Z., Fengling B., **Dziugan P.**, Yuen L., Bolin Z. Purification and characterisation of the bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum*, isolated from Chinese pickle Czech Journal of Food Science, 2014, vol.32, nr 5, s. 430-436 - IF= 0.675 (2014), IF=0,881 (pięcioletni), MNiSW= 20
4. Zhao Hongfei, Zhou Fang, Wang Liping, Bai Fengling, **Dziugan P.**, Walczak P., Zhang Bolin: Characterization of a bioactive peptide with cytomodulatory effect released from casein. European Food Research and Technology, 2014, nr 238, s. 315-322 - IF= 1.559 (2014), IF= 1.802 (pięcioletni), MNiSW= 30

5.4. Przekształcanie bioodpadów z przemysłu cukrowniczego, spirytusowego i browarniczego w procesach wytwarzania *green chemicals* i dodatków paliwowych;

Przemysł cukrowniczy, spirytusowy i browarniczy generuje duże ilości odpadowej biomasy (liście buraczane, ogonki i szyjki buraczane, wysłodki, wyciągi, młóto browarniane, słoma, itp.), które poddane działaniu czynników fizycznych lub chemicznych, stanowią cenny surowiec do dalszej konwersji. Jednym z produktów, który może być w prosty sposób otrzymywany na drodze hydrolizy kwasowej z biomasy zawierającej lignocelulozę, jest furfural. Związek ten, ze względu na swoje chemiczne właściwości (obecność grupy karbonylowej oraz układu sprzężonych wiązań podwójnych w pierścieniu), jest chętnie wykorzystywany jako substrat do syntezy związków chemicznych, w tym „zielonych rozpuszczalników” i dodatków do paliw.

W realizowanych badaniach, podjęto próbę hydrolizy około dwudziestu rodzajów biomasy odpadowej, za pomocą kwasów nieorganicznych (HCl, H₂SO₄, H₃PO₄) i zoptymalizowano warunki jej prowadzenia pod kątem ilości dodawanego kwasu, doboru temperatury, obróbki wstępnej biomasy, a także działania mikrofal i ultradźwięków. Furfural wydzielany był ze środowiska reakcji za pomocą destylacji z parą wodną. Procesy optymalizacji warunków prowadzenia hydrolizy kwasowej biomasy zostały wykonane na próbkach młóta browarnianego. Dla zoptymalizowanych warunków hydrolizy wydajność furfuralu wynosi ok. 8% (m/m) w stosunku do suchej masy surowca. W destylacie po hydrolizie kwasowej młóta, oprócz furfuralu obecne są śladowe ilości innych związków organicznych, takich jak: aceton, 2-butanon, aldehyd octowy, itp. Zawartości furfuralu w destylatach hydrolizatów innych surowców roślinnych zależały od rodzaju użytej biomasy. Destylaty te różniły się również nieznacznie składem jakościowym.

Wybrane destylaty hydrolizatów roślinnych, bez wstępnego oczyszczania, zredukowano katalitycznie w warunkach podwyższonej temperatury (90°C) i ciśnienia wodoru (2,03 MPa), w celu otrzymania alkoholu furfurylowego, alkoholu tetrahydrofurfurylowego i innych związków chemicznych, użytecznych z przemysłowego punktu widzenia. Jednakże, przed przystąpieniem

do redukcji furfuralu otrzymanego z biomasy odpadowej przeprowadzono badania, dotyczące uwodorniania komercyjnej postaci tego związku, mające na celu optymalizację warunków procesu oraz dobór układów katalitycznych. W badaniach tych, użyto szeregu nośnikowych katalizatorów mono- i bimetalicznych na osnowie palladu, a także innowacyjnych katalizatorów nanokompozytowych, nie zawierających metali szlachetnych. Katalizatory typu Pd-M/nośnik (M = Cu, Au, Bi, In, Te, Tl, Fe) przebadane zostały wcześniej w Instytucie Chemii Ogólnej i Ekologicznej PŁ pod kątem ich aktywności w różnych reakcjach przenoszenia wodoru. Szczególną uwagę w badaniach zwrócono na układ 5%Pd-X%Cu/Al₂O₃ (X = 1,5-6% m/m), który przy zachowaniu wysokiej aktywności w procesie redukcji, pozwala na selektywną konwersję furfuralu do alkoholu furfurylowego. Na podstawie otrzymanych wyników badań destylatów hydrolizatów roślinnych ustalono, że możliwa jest efektywna konwersja zawartego w nich furfuralu do odpowiednich produktów chemicznych bez konieczności wstępnego oczyszczania preparatów.

Ważniejsze publikacje:

1. Witońska I., Walock M.J., **Dziugan P.**, Karski S., Stanishevsky A. : The structure of Pd-M supported catalysts used in the hydrogen transfer reactions (M = In, Bi and Te). Applied Surface Science, 2013, nr 273, s. 330-342 – IF= 2.538 (2013), IF= 2.469 (pięcioletni), MNIŚW= 30
2. Lesiak M., Binczarski M., Karski S., Maniukiewicz W., Szubiakiewicz E., Berłowska J., **Dziugan P.**, Witońska I.: Hydrogenation of furfural over Pd-Cu/Al₂O₃ catalysts. The role of interaction between palladium and copper on determining catalytic properties. Journal of Molecular Catalysis A – Chemical. 2014, vol. 395, s. 337-348 – IF= 3.615 (2014), IF= 3.732 (pięcioletni), MNIŚW= 30
3. Zgłoszenie patentowe nr P-412726 (2015) Rogowski J., Binczarski M., **Dziugan P.**, Karski S., Modelska M., Witońska I., Kubiak A.: Sposób wytwarzania katalizatora nanokompozytowego katalizującego reakcję redukcji furfuralu do alkoholu tetrahydrofurfurylowego w fazie wodnej. MNIŚW=2
4. Modelska M., Binczarski M., **Dziugan P.**, Karski S., Witońska I.: Waste biomass as a raw material for furfural production. Journal on Processing and Energy in Agriculture, 2015, nr 19, 3, s.120-122
5. Modelska M., Binczarski M., Dudkiewicz M., **Dziugan P.**, Karski S., Witońska I.: The influence of metallic promoters on activity and selectivity of palladium catalyst in furfural reduction Journal on Processing and Energy in Agriculture, 2015, nr 19, 4, s.183-185.

5.5. Przetwarzanie biomasy do celów energetycznych

Dotychczasowe doświadczenia dotyczące współspalania biomasy z węglem w kotłach energetycznych wykazały, że zadawalające rezultaty odnośnie sprawności spalania i zakresu emisji substancji szkodliwych do otoczenia uzyskano jedynie dla kotłów rusztowych. W przypadku powszechnie stosowanych w energetyce węglowej kotłów fluidalnych wystąpiły znaczne trudności eksploatacyjne w związku ze znacznym szlakowaniem komór spalania i powierzchni konwekcyjnych kotła. Występują również problemy z prawidłową pracą złoża fluidalnego w wyniku tworzenia się aglomeratów spieczonej szlaki. W wyniku powstających spieków, znaczna część palnego karbonizatu zostaje zatopiona w żużlu, powodując stratę niecałkowitego spalania, niekiedy znacznie przewyższającą dopuszczalną wartość 5%. Problemy eksploatacyjne pojawiające się w kotłach fluidalnych współspalających odnawialne źródła energii wynikają głównie ze składu substancji mineralnej biomasy, która zawiera dość znaczne ilości pierwiastków takich jak wapń, magnez, sód,

potas i chlor, znacznie obniżających temperaturę mięknięcia popiołu, powodując powstawanie spieków utrudniających pracę urządzenia kotłowego. Przy współspalaniu pyłu biomasy i węgla w komorze kotła występuje również duża tendencja do szlakowania komory kotła i pozostałych powierzchni ogrzewalnych, w wyniku czego rośnie ogólne zabrudzenie powierzchni ogrzewalnych, co powoduje wzrost temperatury wylotowej spalin, a przez to obniżenie ogólnej sprawności kotła nawet o 1-2%. Największą stratą jest niecałkowite spalanie koksiku. Jego strata w żużlu, w niektórych typach kotłów pyłowych, może dochodzić nawet do 25-30%, a strata w wyniku niecałkowitego spalania koksiku w lotnym popiele może wynosić 10-15%. W wyniku tego procesu, ogólna sprawność termiczna układu kotłowego może ulec obniżeniu o 2-4%, co stanowi znaczną stratę ekonomiczną. W efekcie niecałkowitego spalania koksiku w żużlu i lotnym popiele strata może dochodzić do 50% ilości podawanej biomasy. Rozwiązaniem tego problemu jest odpowiednie przygotowanie biomasy.

Biomasę przed wprowadzeniem do układu młynowego poddać należy procesowi suszenia i niskotemperaturowej karbonizacji w suszarni gazem o temperaturze od 300 do 860°C i zawartości tlenu poniżej 10% udziału objętościowego. Jednocześnie pył uzyskany z zwęglonej biomasy, w komorze spalania kotła energetycznego spalany jest samodzielnie w palniku usytuowanym powyżej palnika zasilanego pyłem węglowym. Można też pył z zwęglonej biomasy spalać razem z pyłem węglowym w tym samym palniku po łącznym przemieleniu zwęglonej biomasy i węgla. Powyższe rozwiązanie zostało opatentowane.

Badania były prowadzone w ramach projektu badawczo-rozwojowego pt. "Opracowanie i wdrożenie wzoru użytkowego układu kotłów do spalania biomasy" POIG Działanie 4.2 Stymulowanie działalności B+R oraz wsparcie w zakresie wzornictwa przemysłowego POIG.04.02.00-10-012/10-00. Projekt był realizowany we współpracy z ZBUS-TKW Combustion Sp. z o. o. Ul. Sikorskiego 120, 95-015 Głowno. Byłem kierownikiem i wykonawcą badań zadania pt. „Opracowanie własności fizycznych i kinetycznych spalanej biomasy”.

Patent i ważniejsze publikacje z tego zakresu:

1. Patent RP nr 216270 (2014), Karcz H., Butmankiewicz T., **Dziugan P.**:Sposób przygotowania i spalania biomasy organicznej w kotle energetycznym
2. Karcz H., Folga K., Kantorek M., **Dziugan P.**, Wierzbicki K.: Czy spalanie odpadów komunalnych w kotłach rusztowych jest właściwe. INSTAL. nr 10,2011, s. 24 – 30. MNiSW=6
3. Karcz H., Kosiorek-Herbuś A., Folga K., Komorowski W., **Dziugan P.**: Ciekłe biopaliwa roślinne i zwierzęce cennym surowcem energetycznym – część 1. INSTAL, nr 11, 2012, s. 16-20. MNiSW=6
4. Karcz H., Kosiorek-Herbuś A., Folga K., Komorowski W., **Dziugan P.**: Ciekłe biopaliwa roślinne i zwierzęce cennym surowcem energetycznym – część 2. INSTAL, nr 12, 2012, s. 19 – 24. MNiSW=6
5. **Dziugan P.**: „Sprawozdanie z wykonanych badań laboratoryjnych biomasy przewidzianej do energetycznego recyklingu, opracowanie własności fizycznych i kinetycznych spalanej biomasy” Do umowy nr I-31/377/B/2011 finansowego przez ZBUS-TKW Combustion Sp. z o. o. Ul. Sikorskiego 120, 95-015 Głowno w 2011r.– Praca niepublikowana do wiadomości ZBUS-TKW Combustion Sp. z o. o.

5.6. Otrzymywanie cennych biopreparatów z drożdży poprodukcyjnych

W latach 2007-2010 uczestniczyłem w pracach Rady Naukowej przy Inter Yeast Sp. z o.o. Krośniewice, Leiber GmbH z siedzibą w Bramsche, Niemcy - producencie suszonych drożdży piwowarskich przeznaczonych dla przemysłu spożywczego, a w szczególności dla przemysłu paszowego. Efektem współpracy przemysłowej był mój udział w opracowaniu nowatorskiej metody odgoryczania poprodukcyjnych drożdży browarniczych z przeznaczeniem na cele paszowe lub suplementy diety. Jestem współautorem zgłoszenia patentu RP nr 215442 „Sposób otrzymywania odgoryczonych preparatów z poprodukcyjnych drożdży piwowarskich”.

Patent:

1. Patent RP nr 215442 "Sposób otrzymywania odgoryczonych preparatów z poprodukcyjnych drożdży piwowarskich". Szopiński A., Kosakowski W., Podpora B., Ambroziak W. Kręgiel D., Kuchciak T., Dziugan P.

5.7 Technologia wytwarzania napoju typu Kwas Chlebowy w oparciu o procesy fermentacyjne

Kolejnym zagadnieniem, którym zajmowałem się w mojej pracy naukowej było opracowanie technologii produkcji kwasu chlebowego metodą nastawną z chleba żytniego. Innowacyjnym rozwiązaniem było zastosowanie tej samej kultury starterowej do fermentacji zakwasów piekarskich i fermentacji brzezki chlebowej. Badania przeprowadzone w skali laboratoryjnej i technicznej potwierdziły przydatność opracowanej w naszym Instytucie szczepionki piekarskiej także do fermentacji brzezki chlebowej i produkcji napoju - kwasu chlebowego. Klasyczna technologia produkcji kwasu chlebowego opiera się na fermentacji wodnych wyciągów z chleba. Jest to specjalnie przygotowane pieczywo. Wypieka się je z ciasta z jęczmiennego i żytniego słodu oraz mąki żytniej. W celu wytworzenia dużej ilości związków Maillarda nadających napojowi ciemnobrązowy kolor, chlebki wypieka się w temperaturze 140°C w ciągu kilku godzin. Po zakończeniu wypieku pieczywo jest schładzane i rozdrabniane. Kolejnym etapem w produkcji kwasu jest ekstrakcja. Rozdrobnione chlebki kieruje się do zbiornika z dekantatorem i zalewa wodą o temperaturze 80 – 90 °C. w ilości odpowiadającej 1/3 objętości przygotowywanego napoju. Ekstrakcję prowadzi się przez 1,5 godziny. Następnie, roztwór dekantuje się do zbiornika kupażowego. Operacje te powtarza się trzykrotnie. Wszystkie wody poekstrakcyjne miesza się, dodaje się 25% cukru z ilości przewidzianej recepturą i schładza do 27°C. Tak przygotowaną brzezkę poddaje się fermentacji skojarzoną kulturą bakterii fermentacji mlekowej i drożdży w ilości 2 - 4% w stosunku do całego nastawu. Fermentację prowadzi się w temperaturze 25 - 28°C do osiągnięcia kwasowości ok. 3 ml 1N NaOH na 100 ml napoju, co trwa około 24 godzin. Ilość alkoholu, która powstaje jest poniżej 0,5%. Po zakończeniu fermentacji, kwas chlebowy oddzielany jest od osadu, dodaje się pozostałą część cukru, ewentualnie karmel i schładza do 6°C. Zimny napój poddaje się filtracji i karbonizacji.

Opracowaną technologię wdrożyłem w 2006 roku w przedsiębiorstwie PPHU Pianox w Łasku.

Ważniejsze publikacje:

1. **Dziugan P.**, Wilkowska E.: Stan i perspektywy rozwoju rynku kwasu chlebowego. Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny. 2008, nr 6, s. 22-23.
2. **Dziugan P.**: Kwas chlebowy – napój na nowo odkrywany (1). Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny. 2006, nr 6, s. 21-22.
3. **Dziugan P.**: Kwas chlebowy – napój na nowo odkrywany (2). Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny. 2006, nr 7-8, s. 74-76.
4. **Dziugan P.**: Kwas chlebowy. Przegląd Piekarski i Cukierniczy. 2008, nr 6, s 58-62.

6. Inne osiągnięcia związane z pracą naukową

Zagadnienia związane z mechanizmami współpracy uczelnia-przemysł, realizacją wspólnych prac badawczych, tworzeniem konsorcjów naukowych oraz zarządzaniem projektami były na tyle interesujące i niezbędne w mojej pracy, że odbyłem szereg kursów, oraz ukończyłem studia podyplomowe z zarządzania projektami oraz uzyskałem certyfikat IPMA:

1. „Tworzenie wartości ekonomicznej w projektach badawczych”, Łódź, 2006.
2. „Ochrona własności przemysłowej w Polsce oraz narzędzia pomocne do wyceny wartości patentów” organizator - Urząd Patentowy RP i Politechnika Łódzka, 03. 2008.
3. „Ogólnodostępne bazy patentowe” - Urząd Patentowy RP 11.2007.
4. „Komercjalizacja Nauk Innowacyjnych – Warszawa 07. 2011
5. Ukończone studia podyplomowe „Zarządzanie projektem badawczym i komercjalizacja wyników badań”. Studia podyplomowe dla pracowników jednostek naukowych i podmiotów działających na rzecz nauki”, w 2012r Politechnika Łódzka, Wydział Organizacji i Zarządzania
6. Uzyskany certyfikat „Project Management Associate IPMA” organizacji międzynarodowej International Project Management Association (IPMA) nr 451/2012

Doświadczenie z prowadzonych prac badawczych, znajomość mechanizmów transferu innowacji i zasad współpracy uczelnia-przemysł pozwoliła mi na podjęcie współpracy z Jednostkami Otoczenia Biznesu:

1. od 2002 roku z Centrum Zrównoważonego Rozwoju, Łódź, ul. Legionów 2, jako ekspert,
2. od 2008 roku z Narodowym Centrum Badań i Rozwoju, ul. ks. Ignacego Jana Skorupki 4, 00-546, Warszawa, jako ekspert zewnętrzny.
3. od 2008 roku z Polską Agencją Rozwoju Przedsiębiorczości, Warszawa, ul. Pańska 81/83, jako ekspert, członek komisji konkursowej, oceniający wnioski o dofinansowanie w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka – **działanie 4.2** Stymulowanie działalności B+R przedsiębiorstw oraz wsparcie w zakresie wzornictwa przemysłowego, **działanie 4.4** Nowe

inwestycje o wysokim potencjale innowacyjnym, **działanie 5.1** Wspieranie powiązań kooperacyjnych o znaczeniu ponadregionalnym,

Niezależnie od działalności eksperckiej, doradczej i pogłębiania własnych kompetencji, współpracowałem z zakładami przemysłowymi jako wykonawca zleconych prac badawczych i ekspertyz. Ważniejsze prace to:

1. Praca w ramach programu Bon na innowację - Inter Yeast- 18 300 zł
2. Praca w ramach programu Bon na innowację Piekarnia Grabowski - 18 300 zł
3. Praca w ramach programu Bon na innowację - ZBUS - 18 300 zł
4. Projekt pt. "Opracowanie i wdrożenie wzoru użytkowego układu kotłów do spalania biomasy" POIG Działanie 4.2 Stymulowanie działalności B+R oraz wsparcie w zakresie wzornictwa przemysłowego POIG.04.02.00-10-012/10-00. Zadanie pt. Wykonanie badań laboratoryjnych biomasy przewidzianej do energetycznego recyklingu, opracowanie własności fizycznych i kinetycznych spalanej biomasy. Budżet zadania 159 900 zł. (kierownik zadania)
5. Projekt "Wstępna ocena możliwości wytwarzania wybranych aminokwasów paszowych tj. treoniny i tryptofanu - ze szczególnym uwzględnieniem tryptofanu". nr I-31/394/B/2013 budżet 70 000 zł, Zleceniodawca Grupa Azoty S.A., z siedzibą w Tarnowie (wykonawca)
6. Autorstwo 10 opinii o innowacyjności dla różnych podmiotów gospodarczych

Konsekwencją podjęcia współpracy z Krajową Spółką Cukrową SA było utworzenie przeze mnie 2 konsorcjów, w których pełniłem funkcję kierownika projektu i koordynatora oraz menadżera. Konsorcja powołano w celu prowadzenia wspólnych projektów badawczo – rozwojowych:

1. Konsorcjum naukowo-przemysłowe Politechnika Łódzka i Krajowa Spółka Cukrowa S.A. z dnia 17.05.2012 – **kierownik konsorcjum**. Celem konsorcjum jest prowadzenie badań przemysłowych w celu opracowania i wdrożenia nowej technologii wytwarzania syropów cukrowych do wybranych zastosowań w przemyśle spożywczym.
2. Konsorcjum naukowo-przemysłowe Politechnika Łódzka i Krajowa Spółka Cukrowa S.A. z dnia 05.10.2012– **menager konsorcjum**. Celem konsorcjum jest prowadzenie badań przemysłowych w celu opracowania i wdrożenia nowej technologii wytwarzania hydrolizatów wysłodkowych jako podłoż fermentacyjnych do produkcji etanolu i kwasów organicznych (mlekowy).

7. Sumaryczne zestawienie dorobku naukowego

Mój dorobek naukowy obejmuje 51 artykułów w tym 38 doświadczalnych. Sumaryczny *impact factor* publikacji naukowych według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania **IF= 38,606, 61 cytowań, indeks Hirscha H=5**. Liczba punktów **MNiSW = 651**. Byłem Kierownikiem 1 konsorcjum naukowo-przemysłowego, kierownikiem 2 grantów NCBiR, menadżerem 1 grantu NCBiR, kierownikiem zadań w 2 grantach POiG (PARP), wykonawcą w 3 grantach krajowych (KBN) i 5 grantach międzynarodowych (2 Unii Europejskiej, 3 Chińskich), odbyłem 9 staży zagranicznych w tym 2 w zakładach przemysłowych. Jestem autorem i współautorem 6 patentów. W dorobku mam 5 wdrożeń przemysłowych w tym jedno w USA. Współpracuję z koncernami PKN Orlen i KSC SA oraz szeregiem małych i średnich przedsiębiorstw w tym 3 zagranicznych, dla których zrealizowałem 11 projektów.

Podkreślić jednak należy, że mój najbardziej wartościowy dorobek naukowy przypada na lata 2012-2016.

Po wyłączeniu 8 prac stanowiących szczególne osiągnięcie naukowe, wartość mojego pozostałego dorobku naukowego osiąga 451 pkt. MNiSW, IF= **20,878** na rok publikacji.

Piotr Dziugan
Dr inż. Piotr Dziugan