

Autoreferat

1. Dane osobowe:

Andrzej Pawłowski

2. Posiadane tytuły, stopnie naukowe oraz dyplomy

- Doktorat z dziedziny informatyki, Katedra Inżynierii Sterowania i Systemów, Wydział Informatyki, Uniwersytet w Almerii (Hiszpania) doktorat międzynarodowy (Uniwersytet w Almerii i Uniwersytet w Lund), uzyskany z najwyższym wyróżnieniem "cum laude", Tytuł pracy doktorskiej: "*Predictive Control Strategies for Disturbance Compensation*", czerwiec 2012 r.
- Dyplom studiów podyplomowych „Advanced Techniques in Informatics”, Uniwersytet w Almerii, październik 2009 r.
- Dyplom studiów podyplomowych “Master in Solar Energy”, Uniwersytet w Almerii, czerwiec 2008 r.
- Magister inżynier (Elektronika i Telekomunikacja), Wydział Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, październik 2005 r.

3. Doświadczenie zawodowe

- 01.01.2014 – do chwili obecnej: pracownik naukowo badawczy, Wydział Informatyki i Automatyki, UNED, Madryt, Hiszpania.
- 01.09.2012 – 31.12.2013: Staż podoktorancki w ramach projektu “Modeling, Simulation, Optimization and Control of Microalgae Culture in Photobioreactors”, Uniwersytet w Almerii, Hiszpania.
- 01.09.2008 – 31.08.2012: Stypendium na realizację studiów doktoranckich, grant finansowany przez „Spanish Ministry of Science and Innovation”, numer referencyjny: BES-2008-007068, Uniwersytet w Almerii, Hiszpania.
- 01.03.2007 – 31.08.2008: Programista systemów wbudowanych, Cadia Ingeniería (Technology-Based Company), Almeria, Hiszpania.
- 01.06.2006 – 28.02.2007: Inżynier badawczo-rozwojowy, grupa badawcza „Electronics, Automatic Control and Robotics”, Uniwersytet w Almerii, Hiszpania.
- 01.11.2005 – 31.05.2006: Staż podyplomowy w grupie badawczej „Electronics, Automatic Control and Robotics” Uniwersytet w Almerii, Hiszpania.

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.):

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 jednotematyczny cykl publikacji naukowych.

4.A) Tytuł osiągnięcia naukowego

„Sterowanie oparte na zdarzeniach - efektywne wykorzystanie zasobów w procesach przemysłowych”

4.B) Cykl publikacji stanowiący podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego składa się z 6-iu pozycji o sumarycznym współczynniku wpływu JCR-IF = 19.216 (Journal Citation Report - JCR) i sumarycznej liczbie punktów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego - MNiSW równej 225:

[A1] **A. Pawlowski**, I. Frenández, J. L. Guzmán, M. Berenguel, F. G. Acién, J. E. Normey-Rico. Event-Based Predictive Control of pH in tubular Photobioreactors. Computers and Chemical Engineering, 65, pp. 28-39, 2014. (**JCR – IF₂₀₁₄: 2.784**)

Mój udział w tej pracy polegał na: projekcie i opracowaniu wstępnego koncepcji, identyfikacji uproszczonych modeli w celu zaprojektowania systemu sterowania, implementacji i opracowaniu symulacji w celu przeprowadzenia wstępnej analizy i walidacji systemu sterowania, implementacji systemu sterowania w pilotażowym procesie eksperymentalnym, nadzorze eksperymentów i rekaliibracji analizowanych strategii sterowania, analizie i weryfikacji danych eksperymentalnych, przygotowaniu tekstu artykułu, nadzorze procesu recenzji i publikacji jako główny autor. **Całkowity wkład szacowany jest na 75%.**

[A2] **A. Pawlowski**, J. L. Mendoza, J. L. Guzmán, M. Berenguel, F. G. Acién, S. Dormido. Effective Utilization of Flue Gases in Raceway Reactor with Event-Based pH Control for Microalgae Culture. Bioresource Technology, 170, pp. 1-9, 2014. (**JCR – IF₂₀₁₄: 4.494**)

W tym artykule mój udział był związany z: przeprowadzeniem analizy bibliograficznej strategii sterowania pH w reaktorach typu „Raceway”, projektem i opracowaniem wstępnej koncepcji, zaprojektowaniem i wykonaniem eksperymentów w celu uzyskania danych pomiarowych z analizowanego procesu do identyfikacji lokalnych modeli procesu, modelowaniem i walidacją otrzymanych modeli w procesie produkcyjnym biomasy przy

użyciu reaktora typu „Raceway”, opracowaniem koncepcji sterownika predykcyjnego opartego na zdarzeniach używając struktur systemów hybrydowych, zaprojektowaniem i implementacją algorytmu sterowania do kontroli poziomu pH, implementacją i integracją opracowanych sterowników z systemem SCADA analizowanego procesu, analizą i weryfikacją danych eksperymentalnych, opracowaniem konkluzji w oparciu o otrzymane wyniki, przygotowaniem tekstu publikacji, nadzorem procesu recenzji i publikacji jako główny autor. **Całkowity wkład szacowany jest na 75%.**

[A3] **A. Pawlowski**, J. L. Mendoza, J. L. Guzmán, M. Berenguel, F. G. Acién, S. Dormido. Selective pH and dissolved oxygen control strategy for a raceway reactor within an event-based approach. *Control Engineering Practice*, 44, pp. 209-218, 2015. (**JCR – IF₂₀₁₅: 1.814**)

W tej pracy mój udział polegał na: analizie bibliograficznej systemów subaktuowanych gdzie liczba zmiennych kontrolowanych jest większa niż liczba zmiennych kontrolujących, propozycji idei i rozwoju koncepcji strategii sterowania selektywnego i jego adaptacji do techniki sterowania opartego na zdarzeniach, projekcie i implementacji zmian w celu adaptacji procesu produkcji biomasy, umożliwiającą przetestowanie opracowanego sterownika selektywnego, modelowaniu podprocesów, poziomu pH i koncentracji zawartości tlenu przy użyciu danych pomiarowych z analizowanego procesu, modyfikacji systemu SCADA w celu implementacji techniki PWM do płynnej regulacji zmiennych wejściowych procesu, implementacji sterownika predykcyjnego opartego na zdarzeniach w środowisku Matlab, nadzorze procesu przemysłowego podczas wykonywanych eksperymentów, analizie i weryfikacji danych eksperymentalnych, opracowaniu konkluzji w oparciu o otrzymane wyniki, przygotowaniu tekstu publikacji, nadzorze procesu recenzji i publikacji jako główny autor. **Całkowity wkład szacowany jest na 75%.**

[A4] **A. Pawlowski**, M. Beschi, J. L. Guzmán, A. Visioli, M. Berenguel, S. Dormido. Application of SSOD-PI and PI-SSOD event-based controllers to greenhouse climatic control. *ISA Transactions*, 65, pp.525-536, 2016. (**JCR – IF₂₀₁₆: 3.394**)

Mój udział w tej publikacji skupiał się na: przeglądzie bibliograficznym technik sterowania stosowanych do kontroli temperatury wewnętrznej szklarni przemysłowych, opracowaniu idei oraz koncepcji wdrożenia algorytmu sterowania, wyborze struktury modelu reprezentującego temperaturę wewnątrz szklarni, zaprojektowaniu doświadczeń eksperymentalnych do identyfikacji oraz walidacji modeli dynamicznych, zaprojektowaniu i implementacji sterowników w środowisku Matlab/Simulink, szczegółowej ewaluacji i opracowaniu wytycznych do wyboru progu granicznego w technice SSOD (Symmetric Send On Delta), ewaluacji opracowanej techniki sterowania w rzeczywistym procesie przemysłowym, walidacji wyników symulacji na danych eksperymentalnych ze szklarni

przemysłowej, nadzorze eksperymentów, analizie i weryfikacji danych eksperymentalnych, opracowaniu konkluzji w oparciu o otrzymane wyniki, przygotowaniu tekstu publikacji, nadzorze procesu recenzji i publikacji jako główny autor. **Całkowity wkład szacowany jest na 75%.**

[A5] **A. Pawłowski**, J.A. Sánchez, J.L. Guzmán, F. Rodríguez, S. Dormido. Evaluation of Event-Based Irrigation System Control Scheme for Tomato Crops in Greenhouses. *Agricultural Water Management*, 183, pp. 16-25, 2017. (**JCR – IF₂₀₁₆: 2.848**)

W tej pracy mój udział polegał na: opracowaniu przeglądu bibliograficznego systemów sterowania przeznaczonych do systemów nawadniania roślin w środowisku szklarniowym, opracowaniu głównej idei w zaproponowanym schemacie, zaprojektowaniu nowego bloku generatora zdarzeń, który bazuje na danych estymowanych przez model jak również danych pomiarowych pochodzących z procesu, opracowaniu sterownika predykcyjnego opartego na zdarzeniach, implementacji modeli analizowanego procesu i systemu sterowania w środowisku Matlab/Simulink, opracowaniu studium wpływu parametrów systemu sterowania na wydajność procesu, optymalizacji parametrów sterowników zdarzeniowych, implementacji sterowników predykcyjnych opartych na zdarzeniach w systemie SCADA zarządzającym algorytmami sterowania szklarni przemysłowej, projekcie i modyfikacji instalacji sprzętowych procesu nawadniania mającej na celu adaptację zmiennych do płynnej regulacji, identyfikacji uproszczonych modeli procesu do zaprojektowania sterownika predykcyjnego, opracowaniu studium i porównaniu wyników otrzymanych podczas symulacji oraz testów eksperymentalnych, nadzorowaniu eksperymentów, opracowaniu konkluzji w oparciu o otrzymane wyniki, przygotowaniu tekstu publikacji, nadzorze procesu recenzji i publikacji jako główny autor. **Całkowity wkład szacowany jest na 75%.**

[A6] **A. Pawłowski**, J. L. Guzmán, M. Berenguel, J. E. Normey-Rico, S. Dormido. Event-Based GPC for Multivariable Processes: A Practical Approach with Sensor Deadband. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 0(99), pp. 1-13, 2017. (**JCR – IF₂₀₁₆: 3.882**)

W tej publikacji mój wkład był związany z: opracowaniem przeglądu bibliograficznego związanego z systemami liniowego sterowania predykcyjnego w procesach wielowymiarowych (Multiple-Input-Multiple-Output – MIMO), opracowaniem głównej koncepcji, stworzeniem ogólnego schematu sterowania predykcyjnego opartego na zdarzeniach przy wykorzystaniu algorytm GPC (Generalized Predictive Control), modyfikacją techniki interpolacji Lagrange-a mającej na celu kompensację asynchronicznego próbkowania sygnału i wykorzystanie jej w rekonstrukcji sygnału,

adaptacją schematu FSP (Filtered Smith Predictor) do opracowanej metodologii sterowania, identyfikacją modeli w procesie użytym do ewaluacji opracowanej strategii sterowania, implementacją opracowanego systemu sterowania w pakiecie TrueTime w środowisku Matlab/Simulink, zaprojektowaniem i implementacją sterownika predykcyjnego dla sieciowych systemów wielowymiarowych bazując na pilotażowym procesie przemysłowym, zaplanowaniu i nadzorze części eksperymentalnej, nadzorowaniu eksperymentów, opracowaniu studium i porównaniu wyników otrzymanych w wyniku symulacji oraz testów eksperymentalnych, opracowaniu konkluzji w oparciu o otrzymane wyniki, przygotowaniu tekstu publikacji, nadzorze procesu recenzji i publikacji jako główny autor. **Całkowity wkład szacowany na 80%.**

Tabela1. Impact Factor i punkty MNiSW dla poszczególnych publikacji z cyklu habilitacyjnego

Referencja	Rok publikacji	Całkowity wkład (%)	JCR Impact Factor	Punkty MNiSW (Grupa)
[A1]	2014	75	2.784	35 (A)
[A2]	2014	75	4.494	45 (A)
[A3]	2015	75	1.814	30 (A)
[A4]	2016	75	3.394	35 (A)
[A5]	2017	75	2.848	40 (A)
[A6]	2017	80	3.882	40 (A)
Razem			19.216	225

[A1-A6] Osiągnięcie naukowe przedstawione do procesu habilitacyjnego składa się z sześciu artykułów opublikowanych w czasopismach indeksowanych w JCR. Wszystkie pozycje powiązane są tematycznie, a ich główna myśl przewodnia związana jest z efektywnym wykorzystaniem zasobów w procesach przemysłowych przy użyciu technik sterowania opartego na zdarzeniach. Całkowita suma współczynnika JCR-IF wynosi 19.216 a skumulowana liczba punktów MNiSW wynosi 225 (szczegółowe informacje w Tabeli 1). We wszystkich przedstawionych pozycjach jestem pierwszym i głównym autorem. W wyżej wymienionych pracach jestem współautorem (szczegółowy opis wkładu pozostałych autorów zawarty jest w osobnych oświadczeniach dołączonych do wniosku) i mój wkład waha się między 75% a 80%. Biorąc pod uwagę indywidualny wkład współczynnik JCR-IF wynosi 14.606 a suma punktów MNiSW to 170.75.

4.C) Omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników wraz z przedstawieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Wybrane prace odzwierciedlają ogólny kierunek linii badawczych realizowanych w okresie po obronie doktoratu, jak również przedstawiają obszar zastosowań opracowanych

algorytmów sterowania i otrzymane wyniki. Wybrana lista artykułów przedstawia zrównoważoną mieszankę pomiędzy rozwojem teoretycznym sterowników opartych na zdarzeniach, jak i ich praktycznej ewaluacji na rzeczywistych procesach przemysłowych. W związku z tematyką projektów badawczo-rozwojowych w których brałem udział, opracowane algorytmy były testowane na bioprocessach, w których idea sterowania opartego na zdarzeniach wpasowuje się w dynamikę procesu reprezentującego zachowanie żywych organizmów. Niemniej jednak opracowane metody mogą zostać wykorzystane w szerokim spektrum procesów przemysłowych, w których ważnym aspektem jest efektywne wykorzystanie zasobów. Omówienie poszczególnych prac, wymienionych jako osiągnięcie naukowe, przedstawione jest poniżej:

[A1] Praca ta jest poświęcona analizie zastosowania sterownika predykcyjnego opartego na zdarzeniach do regulacji współczynnika pH w procesie produkcyjnym mikroalg, którego celem jest wyprodukowanie biomasy. Głównym zadaniem systemu sterowania jest utrzymanie poziomu pH wewnątrz wyznaczonych granic z jednoczesnym ograniczeniem strat w użyciu CO₂, który jest jednym z głównych elementów niezbędnych do fotosyntezy. System sterowania oparty jest o algorytm GPC (Generalized Predictive Controller), w którym wykorzystany jest inteligentny czujnik z martwą strefą (próbki sygnału wyzwalane jest zdarzeniami – ang. „deadband sampling”). W opracowanym systemie sterowania częstotliwość wyzwalania sterownika dopasowywana jest do dynamiki procesu. Opracowany schemat oparty na zdarzeniach wyzwalany jest z niską częstotliwością, kiedy kontrolowana zmienna, (w tym przypadku pH) znajduje się wewnątrz wyznaczonej strefy. W przeciwnym razie, kiedy kontrolowana zmienna znajduje się poza pożądaną strefą, częstotliwość wyzwalania sterownika jest zwiększana, aby jak najszybciej osiągnąć referencje z ustaloną tolerancją (ustalona przez martwą strefę). W ten sposób sterownik oparty na zdarzeniach pozwala na uzyskanie kompromisu pomiędzy dokładnością sterowania (wydajnością) i liczbą zmian w zmiennej kontrolującej poprzez odpowiednie dobranie martwej strefy. Ta specyficzna cecha opracowanego systemu sterowania pozwala na zredukowanie czasu wstrzykiwania CO₂, co ma bezpośredni wpływ na całkowitą ilość strat gazu. W pierwszej części pracy, opracowany algorytm jest ewaluowany poprzez symulacje, gdzie proces produkcyjny zastąpiony jest nieliniowym modelem fotobioreaktora pionowo kolumnowego. Główna idea przedstawionej konfiguracji polega na aktualizacji zmiennej kontrolującej (objętość wstrzykiwanego CO₂) procesu tylko wtedy, kiedy wykryte zostanie znaczne odchylenie od referencji. Przedstawiony schemat sterowania umożliwia uzyskanie znacznych oszczędności w kosztach utrzymania procesu poprzez efektywne wykorzystanie zasobów CO₂ (redukując czas i liczbę wstrzyknięć). Opisana korzyść uzyskana jest kosztem nieznacznego pogorszenia precyzji sterowania. Pożądany

kompromis pomiędzy precyzją sterowania i stratami CO₂ może zostać uzyskany poprzez odpowiedni dobór martwej strefy w inteligentnym czujniku na etapie projektowania systemu sterowania. Niemniej jednak, wyniki eksperymentów przeprowadzonych na rzeczywistym fotobioreaktorze dowodzą, że zastosowanie opracowanego schematu sterowania pozwala na zaspokojenie (spełnienie) wszystkich stawianych wymagań, umożliwiając jednocześnie redukcję kosztów związanych z utrzymaniem procesu produkcyjnego biomasy. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu struktury opartej na zdarzeniach, która obniża zużycie zasobów kosztem nieznacznej degradacji precyzji sterowania. W tym przypadku, oprócz ewidentnych oszczędności w kosztach utrzymania procesu, dodatkowo redukuje się emisję nadwyżki CO₂ do atmosfery (zmniejszając ewentualne straty), co ma pozytywny wpływ na środowisko naturalne. Przedstawiona ewaluacja została przeprowadzana na systemie pilotażowym, lecz uzyskane wyniki mogą być łatwo ekstrapolowane do systemów skali przemysłowej.

[A2] W tej wybranej pracy zaproponowany został schemat sterowania do efektywnego użycia gazów spalinowych w fotobioreaktorze typu „Raceway”, poprzez właściwą regulację poziomu pH. Problem regulowania poziomu pH został opracowany przy użyciu strategii sterowania opartego na zdarzeniach bazującego na algorytmie GPC, z wirtualną martwą strefą na sygnale podawanym na wejściu regulowanego procesu. Aby osiągnąć pożądane cechy systemu sterowania, martwa strefa aktuatora została opisana używając metody modelowania hybrydowych układów dynamicznych. Została ona opisana przy użyciu ograniczenie wejścia regulowanego procesu i uwzględniona w wewnętrznej procedurze optymalizacji algorytmu GPC przy wykorzystaniu techniki programowania MIQP (Mixed Integer Quadratic Programming). Zaproponowana struktura regulatora zawiera dodatkowy parametr projektowy, który określa wielkość martwej strefy i pozwala dostroić relację pomiędzy wydajnością sterowania (precyzją) a liczbą zmian sygnału podawanego na wejściu regulowanego obiektu. W analizowanym systemie wyjście procesu monitorowane jest ze stałą częstotliwością a jego wejście jest aktualizowane w sposób asynchroniczny, w zależności od otrzymanej wartości sygnału sterującego. Zastosowanie tej strategii sterowania pozwala na zredukowanie ilości zasobów potrzebnych do osiągnięcia zadanej referencji. W przypadku regulacji poziomu pH, sterownik oparty na zdarzeniach z martwą strefą na aktuatorze zaprojektowany jest do dostarczenia wystarczającej ilości CO₂ pozwalającej na utrzymanie poziomu pH w obszarze jego wartości optymalnej. Ponadto, zaproponowany schemat sterowania pozwala znacznie poprawić dokładność sterowania (w porównaniu z powszechnie używanymi technikami), co wpływa na wzrost produkcji biomasy. Zastosowanie sterownika GPC z martwą strefą na aktuatorze pozwala na minimalizację czasu wstrzykiwania gazów spalinowych, przez co redukuje się ewentualne

zanieczyszczenie środowiska, powodowane przez emisję tych gazów do atmosfery. Biorąc pod uwagę tę zależność i oczekiwaną precyzję regulacji, wielkość martwej strefy musi zostać dobrana tak, aby zapewnić optymalne warunki wzrostu mikroagl. Jednocześnie zaproponowany system sterownia będzie dążył do jak najniższego zużycia zasobów (w tym przypadku gazów spalinowych) w celu zaspokojenia postawionych wymagań. Przedstawiony algorytm został przetestowany eksperymentalnie na reaktorze typu „Raceway” w skali przemysłowej, przy wykorzystaniu jego podstawowej konfiguracji sprzętowej. Analiza otrzymanych wyników pokazuje, że opracowany sterownik predykcyjny oparty na zdarzeniach, zmniejsza o 50% wskaźnik IAE (Integrated Absolute Error), w porównaniu do powszechnie stosowanego rozwiązania w procesie sterowania pH. Dodatkowo, średni czas wstrzykiwania gazów spalinowych został zredukowany o około 40% (redukcja całkowitej objętości zużytego gazu). Dzięki temu jest zwiększona precyzja sterowania uzyskana przy mniejszym zużyciu zasobów. Ten aspekt jest niezwykle ważny w funkcjonowaniu fotobioreaktorów wielkiej skali, gdzie ilość niepotrzebnie wyemitowanych gazów cieplarnianych może zostać znacznie zmniejszona. W rezultacie zastosowania analizowanej techniki poprawiło się wiązanie CO₂ w procesie produkcji biomasy, co znacznie usprawniło zarządzanie zasobami procesu. Biorąc pod uwagę wszystkie przedstawione zalety opracowanej techniki zostało udowodnione, że jest możliwe efektywne zarządzanie zasobami poprzez zastosowanie adekwatnej techniki sterowania, co wpłynęło pozytywnie na całkowitą wydajność produkcyjną analizowanego procesu.

[A3] W kolejnej przedstawionej publikacji opracowany został algorytm sterowania selektywnego poziomu pH i koncentracji tlenu w procesie produkcyjnym biomasy w fotobioreaktorze typu „Raceway”. W przedstawionym schemacie regulacja poziomu pH ma większy priorytet niż regulacja koncentracji tlenu, ze względu na krytyczny wpływ poziomu pH na wydajność produkcyjną procesu. Z drugiej strony, koncentracja rozpuszczonego tlenu wpływa również na produkcję biomasy i musi być utrzymana w granicach będących optymalnymi w procesie fotosyntezy. Zaproponowany schemat sterowania został zaimplementowany na pilotażowym fotobioreaktorze, gdzie został użyty do jednoczesnej regulacji poziomu pH i koncentracji rozpuszczonego tlenu. Wskaźniki wzrostu mikroalg pokazały, że zastosowanie techniki opartej na zdarzeniach ma pozytywny wpływ na wydajność produkcji biomasy. Podczas przeprowadzonych testów uśredniona produkcja i koncentracja mikroalg w okresie siedmiu dni wzrosła o około 15% (według badań laboratoryjnych) w porównaniu to tradycyjnego schematu sterowania. W związku z tym, opracowany schemat selektywnego sterowania oparty na zdarzeniach, zwiększa ogólną wydajność procesu produkcyjnego biomasy. Zastosowanie tej techniki pozwala na jednoczesne regulowanie poziomu pH i koncentracji rozpuszczonego tlenu, dostarczając

zunifikowane rozwiązanie dla procesu produkcji biomasy w fotobioreaktorach typu „Raceway”. Otrzymane wyniki pokazują, że opracowany algorytm umożliwia regulowanie obu zmiennych z pożądaną dokładnością. Rozwiązanie oparte na zdarzeniach, zaimplementowane w sterowniku selektywnym pozwala na dynamiczną adaptację systemu regulacji do aktualnego tempa procesu fotosyntezy. Ta specyficzna cecha umożliwia wykrycie zmian w stanie procesu i została użyta jako wyznacznik do wyboru sterowania pomiędzy poziomem pH i koncentracją rozpuszczonego tlenu. W tej konfiguracji sterownik predykcyjny GPC, z martwą strefą na aktuatorze utrzymuje poziom pH w zadanych limitach, efektywnie zarządzając zasobami CO₂. Ponadto, dwustanowy regulator zaspokaja zapotrzebowanie na sprężone powietrze (używane do ewakuacji nadmiaru tlenu) redukując zużycie energii. W rezultacie, opracowany sterownik selektywny oparty na zdarzeniach pozwala na zoptymalizowanie procesu produkcji biomasy w fotobioreaktorze „Raceway”.

[A4] W omawianej publikacji zostało przedstawione połączenie techniki próbkowania opartego o zdarzeniach SSOD (Symmetric Send-On-Delta) z regulatorem typu PID i zastosowanie otrzymanego schematu do sterowania temperatury wewnętrznej szklarni przemysłowej. W tym studium analiza zaproponowanego systemu została podzielona na dwa etapy. Pierwszy etap został poświęcony na określenie właściwych nastaw regulatora, jak i do sprawdzenia wpływu progu wyzwalania techniki SSOD w studium symulacyjnym. W tym celu przeprowadzono wyczerpujące analizy symulacyjne, aby określić wpływ progu wyzwalania na ogólną wydajność systemu sterowania. Na tym etapie zostało pokazane, że wydajność i precyzja systemu sterowania może zostać dostrojona przy użyciu wartości progu wyzwalającego w próbkowaniu SSOD. Dodatkowo zweryfikowano, że wartość progu wyzwalającego ma również wpływ na kompromis pomiędzy użyciem zasobów a wydajnością i jakością sterowania. Wykorzystując wyniki z pierwszego etapu, wybrane zostały interesujące konfiguracje dla schematów SSOD-PI i PI-SSOD, które zostały zakwalifikowane do testów w rzeczywistych warunkach. Drugi etap analizy systemu sterowania opartego na zdarzeniach skupia się na praktycznej ewaluacji w realnych warunkach szklarni przemysłowej. Analizowane strategie (SSOD-PI i PI-SSOD) dostarczyły szeregu interesujących właściwości oraz wniosków. Między innymi pozwalają na zredukowanie liczby komunikatów, przesyłanych pomiędzy różnymi członami rozproszonego systemu sterowania, w porównaniu do klasycznej implementacji, bez znaczącej utraty jakości i wydajności sterowania. Ponadto, obie analizowane konfiguracje udostępniają możliwość uzyskania kompromisu pomiędzy wydajnością sterowania a wykorzystaniem zasobów. Wspomniany kompromis może zostać dostosowany do potrzeb poprzez wybranie odpowiedniej wielkości progu wyzwalania w technice SSOD. W przypadku problemu regulacji klimatu szklarni, możliwe było zredukowanie energii

potrzebnej do osiągnięcia i utrzymania zadanych referencji. Dodatkowo, analizowany system oparty na zdarzeniach umożliwił zmniejszenie liczby zmian w sygnale sterującym, co ma wpływ na zużycie elektromechanicznych aktuatorów i koszty utrzymania procesu. Otrzymane wyniki pokazują, że zastosowanie opracowanej strategii sterowania opartej na zdarzeniach pozwala na sterowanie procesem z wymaganą precyzją, mając na uwadze efektywne wykorzystanie zasobów.

[A5] W tej pracy przedstawiono studium i ewaluację predykcyjnego systemu sterowania, zaprojektowanego do regulacji procesu nawadniania w szklarni przemysłowej. Głównym celem systemu sterowania jest zapewnienie pożądanego poziomu wilgotności podłoża utrzymując jak najmniejsze zużycie wody. Opracowany schemat sterownika opartego na zdarzeniach, używa modelu transpiracji uprawy i wirtualnego czujnika zawartości wody do generowania zdarzeń w systemie monitorowania procesu nawadniania. W analizowanym rozwiązaniu, regulator oparty na zdarzeniach określa ilość wody potrzebnej do kompensacji zakłóceń systemu (utruty wody) w oparciu o wielkość transpiracji uprawy. W pierwszej fazie zostały przeprowadzone testy oparte na symulacjach w celu analizy dynamiki przekazywania wody do podłoża, jej drenażu i odparowywania. Następnie, opracowany sterownik oparty na zdarzeniach został przetestowany w szklarni przemysłowej w rzeczywistych warunkach klimatycznych. Nowy system sterowania pozwala na dostosowanie szybkości zmian zmiennych sterujących do stanu roślin, co skutkuje efektywnym wykorzystaniem wody. Uzyskane wyniki pokazują, że zastosowanie proponowanego systemu sterowania do procesu nawadniania roślin w uprawie szklarniowej pozwala na zwiększenie wydajności sterowania i na redukcję zużycia wody, co jest poważnym zagadnieniem w rolnictwie przemysłowym. Otrzymały wzrost w precyzji sterowania uzyskany jest dzięki zastosowaniu techniki opartej na zdarzeniach oraz dzięki wykorzystaniu informacji o dynamice przekazywania wody i efekcie transpiracji. W analizowanym schemacie, sterownik GPC oparty na zdarzeniach zarządzany jest przez generator zdarzeń, który wykorzystuje model transpiracji roślin. Ta cecha pozwala na dopasowanie częstości aktualizacji systemu wykonawczego do dynamiki procesu, dzięki informacji otrzymanej z modelu transpiracji, która umożliwia określenie ilości utraconej wody. Analiza różnych konfiguracji pozwoliła również określić wpływ poszczególnych parametrów projektowych oraz ustalić najbardziej adekwatną konfigurację do osiągnięcia wyznaczonych celów systemu sterowania. Otrzymane wyniki pokazują, że zastosowanie systemu sterowania opartego na zdarzeniach do regulacji procesu nawadniania w szklarni przemysłowej redukuje zużycie zasobów kosztem nieznacznej utraty precyzji sterowania. Zależność ta może zostać dostrojona za pomocą odpowiedniego doboru martwej strefy wykorzystywanej w generatorze zdarzeń. Wyżej wymienione właściwości opracowanego

systemu sterowania są ważne, z punktu widzenia sterowania nawadnianiem w szklarni, ponieważ pozwalają na redukcję zużycia wody i utrzymują pożądaną wilgotność podłoża w ustalonych granicach. Zastosowanie analizowanego systemu opartego na zdarzeniach pozwala na zredukowanie o około 20% ilość zużytej wody, w celu osiągnięcia takiej samej wydajności jak powszednie używany regulator dwubiegunowy. Praktyczna ewaluacja na rzeczywistym systemie potwierdziła rezultaty uzyskane podczas symulacji i otrzymano obiecujące wyniki. Analizowany schemat pozwala na ustanowienie kompromisu pomiędzy precyzją sterowania a zużyciem wody, co jest bardzo pożądane w rolnictwie przemysłowym, gdzie dąży się do redukcji zużycia zasobów i obniżenia kosztów produkcji.

[A6] W ostatniej wybranej pozycji, struktura sterowania opartego na zdarzeniach została rozszerzona do systemów wielowymiarowych, aby zwiększyć pole zastosowań do bardziej złożonych procesów, gdzie niezbędne jest uwzględnienie wzajemnych interakcji pomiędzy podsystemami. Opracowany schemat sterowania bazuje na sterowniku predykcyjnym, który jest powszechnie stosowany w regulacji procesów wielowymiarowych. Największymi zaletami zaproponowanego systemu jest adaptowalność zmiennej sterującej do zakłóceń oddziałujących na proces, uwzględniającą interakcję pomiędzy podsystemami. Zastosowanie opracowanego systemu sterowania pozwala na zredukowanie ilości komunikatów wymienianych między poszczególnymi węzłami systemu sterowania, zmniejszając obciążenie sieci. Ponadto, struktura sterownika opartego na zdarzeniach umożliwia hierarchizację wybranych zmiennych, poświęcając więcej uwagi zmiennym o większym znaczeniu (z reguły związanych z bezpieczeństwem lub kosztami), pomijając te które nie mają krytycznego znaczenia. Taki sposób działania uzyskany jest poprzez odpowiednie dostrojenie martwej strefy sensora, umożliwiając kompromis pomiędzy użyciem zasobów a wydajnością sterownika. Używając tej struktury możliwe jest utrzymanie mniej ważnych zmiennych w określonym przedziale, skupiając uwagę systemu sterowania na zmiennych krytycznych dla poprawnego działania sterowanego procesu. Otrzymane wyniki pokazują, że można uzyskać redukcję zdarzeń, bez znaczącej utraty precyzji i wydajności sterowania. W rezultacie zastosowania opracowanego systemu uzyskuje się redukcję obciążenia sieci komunikacyjnej. Ma to istotne znaczenie z punktu widzenia sterowania przemysłowego, gdzie obserwuje się rosnące zainteresowanie bezprzewodowymi urządzeniami do zastosowań w inżynierii procesów. Ponadto, podczas analizy systemu zostało pokazane, że wielkość martwej strefy, używanej w inteligentnym sensorze do monitorowania zmiennych, może zostać użyta do ustanowienia kompromisu pomiędzy liczbą generowanych zdarzeń a wydajnością systemu sterowania. Jednocześnie zaobserwowano inną cechę pozwalającą na hierarchizację zmiennych kontrolowanych. W tym przypadku zmienne o większym znaczeniu mogą być sterowane z większą precyzją

ustawiając małą wartość martwej strefy. Z drugiej strony, mniej znaczące zmienne mogą być utrzymywane w ustalonym przedziale określonym przez martwą strefę. Wszystkie wyżej wymienione właściwości pokazują, że opracowany sterownik wielowymiarowy oparty na zdarzeniach jest w stanie zaspokoić wiele wymagań, które nie mogą być uwzględnione w rozwiązaniach klasycznych.

[A1-A6] Z przedstawionych tu sposobów sterowania można wywnioskować, że techniki sterowania oparte na zdarzeniach oferują wiele użytecznych właściwości, które mogą zostać zastosowane do szerokiego spektrum procesów przemysłowych, zwłaszcza tych, w których kładzie się nacisk na efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów. Jest to szczególnie ważne w systemach biologicznych i biotechnologicznych, systemach wykorzystujących energię lub też rozproszonych systemach sieciowych. Procesy te charakteryzują się stanem równowagi a ewentualne zmiany zachodzą sporadycznie np. na skutek: zakłóceń docierających do procesu, stymulacji elektrycznej, zapotrzebowania na energię lub też są wyzwalane komunikatem otrzymanym za pośrednictwem sieci. Ponadto w świecie realnym istnieje wiele sytuacji, w których synchroniczny monitoring nie ma właściwego uzasadnienia. Znaczy to, że nie zawsze konieczna jest akwizycja danych i obliczanie wartości sygnału sterującego w sposób ciągły, głównie dlatego, że zmiany w systemach rzeczywistych z reguły nie posiadają okresowego wzorca. W tego rodzaju procesach próbkowanie i sterowanie zdarzeniowe przedstawiane są jako najrozsądniejsze rozwiązania, i z tego powodu w ostatnich latach stają się one coraz bardziej popularne w dziedzinie inżynierii sterowania systemów. W schematach tych próbkowanie i w konsekwencji obliczenie nowej wartości sygnału sterującego wyzwalane jest asynchronicznie, co pozwala na zarządzanie systemem sterowania przez zdarzenia, które powiązane są z ważnymi zmianami w sterowanym procesie. Główne zalety systemów sterowania opartych na zdarzeniach są szczególnie istotne z praktycznego punktu widzenia. Z jednej strony pozwalają na obniżenie zużycia zasobów (energii, paliwa, produktów chemicznych, itd.), a z drugiej strony pozwalają na zmniejszenie zużycia systemów mechanicznych czy też elektromechanicznych. Kiedy akcje sterownika wyzwalane są za pomocą zdarzeń, potrzebne modyfikacje zmiany stanu sterowanego obiektu są realizowane wówczas, kiedy są one niezbędne. Fakt ten jest również ważny w systemach komunikacyjnych, gdzie sieć komputerowa współdzielona jest pomiędzy wiele zadań, co jest powszechną sytuacją w rozległych procesach przemysłowych.

5.1 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych.

5.1.A) Aktywność naukowo-badawcza przed obroną doktoratu

Tytuł magistra inżyniera uzyskałem na Wydziale Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Wrocławskiej w 2005 roku. Studia te zostały uzupełnione stażem, w ramach programu „Leonardo da Vinci” finansowanym przez program Unii Europejskiej, na Uniwersytecie w Almerii. Następnie ukończyłem studia podyplomowe “Master in Solar Energy” rozszerzające moją wiedzę na temat odnawialnych systemów energetycznych. W roku 2008 otrzymałem stypendium na realizację studiów doktoranckich, finansowane przez hiszpańskie Ministerstwo Nauki i Innowacji, dzięki któremu uzyskałem tytuł doktora na Uniwersytecie w Almerii w 2012 roku. Obroniona praca doktorska została wyróżniona najwyższą kwalifikacją “cum laude”, dodatkowo został mi nadany tytuł doktora międzynarodowego, ponieważ przedstawiona praca została częściowo zrealizowana na Uniwersytecie w Lund (Szwecja). W roku 2016 praca ta została nagrodzona nadzwyczajnym wyróżnieniem Rektora Uniwersytetu w Almerii i uznana za najlepszą rozprawę w dziedzinie nauk technicznych w roku akademickim 2011/2012. Moja praca doktorska wniosła wkład w tematykę związaną ze sterowaniem predykcyjnym (ang.: MPC - Model Predictive Control), w którym wykorzystuje się wewnętrzny mechanizm do kompensacji zakłóceń mierzalnych. Opracowane strategie sterowania zostały podzielone na dwie linie badawcze, które miały na celu zwiększenie skuteczności mechanizmu kompensacji zakłóceń, jak i zmniejszenie potrzebnego nakładu środków do redukcji efektu zakłóceń na zmiennych kontrolowanych. Mając na uwadze wspomniane cele, szczególną uwagę poświęciłem wyzwaniom związanym z zastosowaniem techniki sterowania predykcyjnego, która była obiektem badań. W rezultacie opracowałem nowe schematy, których właściwości są użyteczne z perspektywy sterowania procesami przemysłowymi. W tak zdefiniowanych ramach moje linie badawcze, podczas realizacji studiów doktoranckich były skoncentrowane na następujących etapach:

- W pierwszej linii badawczej rozwijane były techniki estymacji zakłóceń i ich wykorzystanie w mechanizmie predykcyjnym algorytmu GPC. W pierwszym etapie została przeprowadzona analiza technik przewidywania zakłóceń, a następnie informacja o przyszłym stanie zakłóceń została dodana do algorytmu GPC. Ponadto, zostało pokazane, jak nieograniczony algorytm GPC (bez określenia obszaru dopuszczalnego w procesie optymalizacji) z wbudowanym systemem kompensacji może zostać zinterpretowany jako typowy układ ze sprzężeniem zwrotnym, rozszerzony o sprzężenie wyprzedzające, gdzie głównym atrybutem jest to, że system sprzężenia wyprzedzającego zawiera estymacje przyszłego stanu zakłóceń mierzalnych. Następnie zostało

udowodnione, że klasyczny algorytm GPC nie zawsze może wyeliminować efekt zakłóceń, nawet jeśli dysponuje się idealnymi modelami i posiada się znane wartości zakłóceń na całej długości horyzontu przewidywania. Aby skompensować przedstawiony problem, zaproponowana została nowa metoda strojenia algorytmu GPC, pozwalająca na eliminację efektu zakłóceń. Metoda ta w zmodyfikowanym algorytmie GPC pozwala na kompensację zakłóceń, nawet jeśli pojawiają się problemy przyczynowości czy też niestabilności w zależności pomiędzy dynamiką procesu a dynamiką zakłóceń. Ponieważ zaproponowana metoda strojenia, mająca na celu kompensację zakłóceń, zwiększa pasmo przenoszenia w układzie zwrotnym, zaproponowano układ sterownia z dwoma stopniami swobody. Dodatkowo w schemacie tym zastosowano strukturę Filtrowanego Predyktora Smitha (FPS – Filtered Smith Predictor), aby zwiększyć odporność zaproponowanego sterownika predykcyjnego. Opracowany schemat został przetestowany na wielu konfiguracjach systemów, które używane są do modelowania procesów przemysłowych.

- Studium i analiza asynchronicznych technik próbkowania i ich wpływ na systemy sterowania zostały uwzględnione w drugiej linii badawczej. Przeprowadzone badania pokazały, że jest możliwe znaczne zredukowanie ilości próbek magazynowanych w systemie akwizycji oraz ilości komunikatów wymienianych pomiędzy poszczególnymi węzłami systemu sterowania, jeśli zastosuje się techniki próbkowania adaptacyjnego. W rezultacie zastosowania takich technik wywnioskowano, że szybkość próbkowania w systemie monitorującym może zostać dostosowana tak, aby uzyskać kompromis pomiędzy wiernością odwzorowania mierzonego sygnału a ilością transmisji. We wszystkich analizowanych technikach próbkowania możliwe było ustanowienie bezpośredniej relacji pomiędzy jakością śledzenia sygnału i wartością limitu wyzwalającego pomiar. Większy limit skutkował większą utratą informacji o mierzonym sygnale a przy mniejszym limicie odzwierciedlenie sygnału było dokładniejsze. Analiza otrzymanych wyników pokazała, że najlepszy stosunek, pomiędzy ilością zdarzeń (ilość próbek i/lub ilość transmisji) a jakością próbkowanego sygnału, został otrzymany dla techniki próbkowania adaptacyjnego znanego jako „level-crossing”. Metoda ta jest również powszechnie używana w systemach sterowania opartego o zdarzenia. Podczas tej fazy badań zostało udowodnione, że próbkowanie wyzwalane zdarzeniami charakteryzuje się wieloma zaletami, które mogą zostać wykorzystane do poprawy efektywności komunikacji i do obniżenia czułości system sterowania np. w stosunku do zakłóceń zewnętrznych. W tym kontekście zostało pokazane, że obniżona czułość w kanale sprzężenia wyprzedzającego ma pozytywny wpływ na ogólną sprawność systemu sterowania. Niemniej jednak, adaptacyjne techniki próbkowania prowadzą do wielu problemów,

stanowiących wyzwanie z punktu widzenia sterownia automatycznego i muszą zostać przeanalizowane, aby zaproponować realne praktyczne rozwiązania i schematy.

5.1.B) Aktywność naukowo-badawcza po obronie doktoratu

W ramach mojej pracy po uzyskaniu stopnia doktora, opracowałem wiele schematów i algorytmów sterowania. Zostały one sprawdzone na rzeczywistych procesach przemysłowych w celu oceny ich właściwości wraz z potencjalnymi zaletami i wadami. Konfiguracje te łączą algorytmy sterowania predykcyjnego z technikami próbkowania opartymi na zdarzeniach. W pierwszej konfiguracji algorytm GPC został zaimplementowany w schemacie, gdzie węzeł czujnika wykorzystuje próbkowanie z martwą strefą. Główną zaletą tej konfiguracji jest znaczna redukcja ilości zmian sygnału sterującego, przy jednoczesnym zachowaniu wydajności systemu kontroli na akceptowalnym poziomie. W drugiej konfiguracji uwzględniono martwą strefę w węźle aktuatora, która została uwzględniona na etapie projektowym algorytmu GPC. Głównym celem tej konfiguracji jest ograniczenie liczby zmian sygnału sterującego i minimalizacja zużycia zasobów. Aby osiągnąć pożądane właściwości opracowanego systemu sterowania, stosuje się schemat modelowania systemów hybrydowych. W układzie tym martwa strefa modelowana jest jako ograniczenie sygnału wejściowego systemu i uwzględniona jest w procedurze optymalizacji algorytmu GPC. Dodatkowo opracowano strukturę sterownika GPC opartego na zdarzeniach, gdzie jednocześnie uwzględnia się martwą strefę w węźle sensora oraz aktuatora. Powstały algorytm jest relatywnie prosty w obsłudze i pozwala na ustalenie kompromisu pomiędzy wydajnością systemu sterowania a wykorzystaniem zasobów potrzebnych do osiągnięcia zadanych celów. Ponadto opracowany system sterowania oparty na zdarzeniach umożliwia zmniejszenie zużycia zasobów minimalnym kosztem wydajności i dokładności sterowania. Opracowano również kilka nowych rozwiązań dla systemów sterowania opartych na zdarzeniach w celu rozszerzenia istniejących schematów, a tym samym rozwiązywania różnych problemów związanych ze sterowaniem konkretnych procesów przemysłowych. Na tym etapie mojej kariery naukowej, wysiłek badawczy został ukierunkowany na analizy i zastosowania systemów sterowania w bioprocessach, gdzie idea zdarzeń pasuje do systemu dynamicznego, reprezentującego zachowanie żywych organizmów. Główna działalność tego etapu mojej kariery została zrealizowana w ramach projektów badawczo-rozwojowych: "Modeling, simulation, control and optimization of photobioreactors" oraz "Control and optimization for biomass production from microalgae as a renewable energy source". Najistotniejsze cele tych projektów polegają na osiągnięciu optymalnego środowiska do wzrostu mikroalg, ich rozmnażania i produkcji biomasy. Istotna jest także ocena relacji pomiędzy energią potrzebną do utrzymania optymalnego wzrostu mikroalg,

ilością wstrzykiwanego CO₂ a stosunkiem odzyskanych kosztów poprzez zamianę biomasy na biopaliwo. Ponadto, opracowane systemy sterowania oparte na zdarzeniach oraz uzyskane specyficzne zalety wpasowują się w ogólne cele centrum badawczego „Solar Energy Research Center – CIESOL”, gdzie wspomniane wcześniej projekty zostały zrealizowane. Dodatkowe informacje na temat opracowanych układów i uzyskanych wyników zostały opisane poniżej:

- Ocena opracowanych systemów sterowania poprzez symulacje i rzeczywiste eksperymenty w celu przetestowania opracowanych konfiguracji w scenariuszach przemysłowych. Przeprowadzone badania pokazują, że można uzyskać znaczne oszczędności w zarządzaniu procesami przemysłowymi, dzięki zastosowaniu zaproponowanych schematów opartych na zdarzeniach. Badania przeprowadzone w szklarni przemysłowej pokazują, że energia wykorzystywana do osiągnięcia celów systemu sterowania może zostać znacznie zmniejszona w stosunku do rozwiązań klasycznych. Dodatkowo w pracach związanych z problemami sterowania szklarni przemysłowej pokazano, że można ustalić szybkość transmisji danych w celu uzyskania kompromisu pomiędzy skutecznością sterowania a liczbą zdarzeń, co zostało zweryfikowane z wykorzystaniem sieci czujników bezprzewodowych. Ponadto sterowniki oparte na zdarzeniach zmniejszają liczbę komutacji sygnału sterującego o około 80% w porównaniu z sterownikami tradycyjnymi. Wynik ten jest bardzo ważny, ponieważ pozwala obniżyć koszty energii elektrycznej/paliwa i wydłużyć żywotność siłowników. Z drugiej strony, analizowane konfiguracje zostały zastosowane do procesu produkcji mikroalg, gdzie zmniejszają zużycie CO₂ i pozwalają na zmniejszenie zużycia energii, co w rezultacie ogranicza zanieczyszczenie środowiska. Zastosowanie opracowanego systemu sterowania zapewnia oszczędności w kosztach utrzymania instalacji, jednocześnie minimalizując straty CO₂. Uzyskane korzyści osiąga się kosztem wydajności sterowania poprzez degradację precyzji regulacji. Pożądany kompromis między wydajnością sterowania a stratami CO₂ można łatwo dostroić, dostosowując wartość martwej strefy czujnika na etapie projektowania układu sterowania. Dodatkowo, zastosowano selektywną strategię sterowania opartą na zdarzeniach do regulacji parametrów fotobioreaktora typu „Raceway”, gdzie zarządza ona procesami: poziomem pH i stężeniem rozpuszczonego tlenu. Parametry wzrostu mikroalg wykazują bardzo dobre wyniki produkcji, dzięki wykorzystaniu selektywnego systemu sterowania opartego na zdarzeniach. W tym przypadku, średnia wartość wydajności reaktora i stężenia mikroalg została zwiększona o około 15% w porównaniu do powszechnie stosowanych technik sterowania. Podejście oparte na zdarzeniach, które wykorzystywane jest do selektywnego sterowania, umożliwia też dynamiczne dostosowanie się sterownika do aktualnego tempa

procesu fotosyntezy mikroalg. Wyniki tych badań są krokiem naprzód w kierunku uzyskania bardziej wydajnego i ekonomicznie przystępnego procesu produkcji biopaliw oraz zwiększenia wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych.

- Opracowanie algorytmu sterownika predykcyjnego opartego na zdarzeniach do wielowymiarowych procesów przemysłowych, który łączy wszystkie zalety metodyki predykcyjnej oraz systemów opartych na zdarzeniach, a także umożliwia określenie priorytetu wybranych zmiennych w stosunku do tych mniej ważnych dla konkretnego procesu. Wykorzystanie schematu opartego na zdarzeniach do sterowania procesów wielowymiarowych, pozwala znacznie ograniczyć zużycie dostępnych zasobów. W schemacie tym każde wyjście sterowanego procesu jest monitorowane ze stałą częstotliwością próbkowania, a stan procesu jest przesyłany do węzła sterownika tylko wtedy, gdy w jednym z wyjść wystąpi znaczna zmiana (zdarzenie). W zaproponowanym systemie każdy podproces jest próbkowany z wykorzystaniem techniki próbkowania adaptacyjnego z martwą strefą, gdzie wartość strefy może zostać ustalona indywidualnie dla każdej zmiennej sterowanej. W ten sposób wielowymiarowy algorytm GPC oparty na zdarzeniach umożliwia ustalenie kompromisu między dokładnością sterowania a generowaną liczbą zdarzeń. Co więcej, kompromis ten może być również wykorzystywany do nadania priorytetów zmiennym, koncentrując uwagę systemu sterowania na tych, które są najistotniejsze z globalnego punktu widzenia, przy jednoczesnym zachowaniu mniej ważnych w ustalonych granicach. W rezultacie, zastosowanie opracowanego schematu sterowania pozwala na zarządzania procesami w bardziej efektywny sposób, co będzie powodować mniejsze zapotrzebowanie na używane zasoby (energia, paliwo itp.).

W trakcie mojej kariery naukowej opracowałem: 40 wysokiej jakości prac naukowych (32 z nich jako pierwszy autor), które dzielą się na: - 13 publikacji w czasopismach międzynarodowych (11 jako pierwszy autor, 12 z nich w JCR - 75% w pierwszym kwartylu, Q1 - JCR), - 3 rozdziały książek i 24 referaty na konferencjach (per-reviewed). Uzyskany poziom merytoryczny moich prac naukowych zweryfikowany jest wartością indeksu Hirscha, h_{index} , równym 6 (z 133 cytowania), 8 (z 230 cytowań) i 11 (z 370 cytowań), odpowiednio na podstawie baz danych Web of Science, Scopus i Google Scholar (stan z dnia 15.06.2017 r.). Powyższe wyniki zostały osiągnięte dzięki uczestnictwu w 8 projektach badawczych, finansowanych przez agencje hiszpańskie i międzynarodowe oraz 7 kontraktach badawczych, finansowanych przez sektor prywatny. Ponadto byłem promotorem pomocniczym kilku projektów studenckich na poziomie magisterskim i inżynierskim. Dodatkowo posiadam też patent na zarejestrowaną własność intelektualną z obszaru automatyki przemysłowej.

Moja działalność zawodowa została zrealizowana zarówno w hiszpańskich jak i kilku międzynarodowych placówkach, dzięki czemu mogłem współpracować z licznymi naukowcami. Moje międzynarodowe prace były prowadzone głównie w trzech instytucjach:

- Federal University of Santa Catarina (UFSC, Florianopolis, Brazylia),
- Lund University (LU, Lund, Szwecja)
- University of Brescia (UB, Brescia, Włochy).

Wszystkie pobyty zostały dotowane z funduszy otrzymanych w drodze konkursowej. Łączny czas spędzony przeze mnie na stażach badawczych w opisanych wcześniej międzynarodowych jednostkach badawczych to okres piętnastu miesięcy. Oprócz tego opublikowałem artykuły w czasopiśmie z listy JCR we współpracy z wszystkimi ośrodkami badawczymi, z którymi pracowałem. Pobyty te pozwoliły mi rozpocząć, a następnie kontynuować i konsolidować kilka linii badawczych:

- Rozwój i udoskonalenie techniki sterowania predykcyjnego opartego na zdarzeniach, jak również opracowanie udoskonalonych technik sterowania wyprzedzającego z użyciem sterowników predykcyjnych. Tematy te były analizowane i rozwijane we współpracy z prof. Julio E. Normey-Rico z UFSC, dzięki czemu powstały cztery artykuły JCR i kilka prac konferencyjnych (z których wszystkie zostały opublikowane w bazie danych WOS)
- Analiza i opracowanie algorytmu sterowania predykcyjnego przy wykorzystaniu modelowania hybrydowego i systemów optymalizacji nieliniowej. Tematyka ta była studiowana we współpracy z prof. Anton Cervin z LU (wyniki tych badań zostały opublikowane w czasopiśmie IEEE Transactions on Industrial Informatics)
- Analiza i rozwój schematów sterowania opartego na sterowniku typu PID. Studium na wyżej wymieniony temat zostało przeprowadzone we współpracy z prof. Antonio Visioli (i członkami jego grupy badawczej) z UB. Dzięki tej współpracy opublikowano szereg prac, włączając artykuł w czasopiśmie indeksowanym w JCR (obecnie przygotowywane są kolejne publikacje).

Dodatkowo aktywnie współpracuję z wieloma naukowcami, oraz biorę aktywny udział w organizacji międzynarodowych konferencji i wydarzeń związanych z rozwijanymi przeze mnie liniami badawczymi.

Jeśli chodzi o transfer technologii, to brałem udział w projektach badawczych dotyczących energii odnawialnych, mających na celu opracowanie i wdrożenie skutecznej strategii

sterowania systemami. Byłem też odpowiedzialny za opracowanie i wdrożenie rozproszonego systemu akwizycji danych przy użyciu sieci komputerowej, dla pilotażowego procesu szklarni przemysłowej znajdującej się na stacji doświadczalnej 'Las Palmerillas'-CAJAMAR Foundation (El Ejido, Hiszpania). Dodatkowo, jako rezultat wspólnego projektu pomiędzy Uniwersytetem w Almerii, UNED i firmą „ALGAENERGY, S.A” opracowałem modułowe oprogramowanie SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) do fotobioreaktora eksperymentalnego typu „Raceway”. Brałem również udział w projekcie finansowanym przez firmę „PRIMA-RAM, S.A.”, którego głównym celem była poprawa wydajności produkcji szklarni przemysłowej za pomocą nowych systemów monitorowania i sterowania.

Ponadto, od 2007 roku jestem członkiem grupy badawczej “Automatic Control, Robotics and Mechatronics” z Uniwersytetu w Almerii (UAL). Grupa ta kierowana jest przez prof. Manuel Berenguel Soria, jednego z wiodących ekspertów w dziedzinie technik sterowania procesami energii odnawialnych. Stanowi ona część andaluzyjskiego planu rozwoju badań i innowacji (PAIDI), i jest jedną z najprężniej działających grup w dziedzinie technologii produkcji. Od stycznia 2014 roku, zatrudniony jestem jako pracownik badawczo-naukowy na „Department of Computer Science and Automatic Control” w UNED (Madryt, Hiszpania), gdzie współpracuje z członkami grupy badawczej „Modeling, Simulation and Process Control” pod kierunkiem prof. Sebastian Dormido, wybitnego naukowca i pioniera w dziedzinie sterowania opartego na zdarzeniach.

Moje aktualne badania koncentrują się na nowatorskim systemie sterowania hierarchicznego opartego na zdarzeniach mającego na celu optymalizację procesu na różnych poziomach abstrakcji. Rozwiązanie to będzie korzystać z systemu kompensacji zakłóceń, który obejmuje metody estymacji zakłóceń i połączone będzie z technikami sterowania opartymi na zdarzeniach, tak aby uzyskać kompleksowe rozwiązanie sterowania z efektywnym wykorzystaniem dostępnych zasobów.

5.II Wykaz innych (nie wchodzących w skład osiągnięcia wymienionego w pkt 4) opublikowanych prac naukowych oraz wskaźniki dokonań naukowych

5.II.A) Publikacje w czasopismach naukowych znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)

Przed obroną doktoratu:

[J1] **A. Pawlowski**, J.L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, J. Sánchez, S. Dormido. Simulation of Greenhouse Climate Monitoring and Control with Wireless Sensor Network and Event-Based Control. *Sensors*, 9, pp. 232-252, 2009. (JCR – IF: 1.821).

Mój udział w tej pracy polegał na: przygotowaniu przeglądu bibliograficznego na temat asynchronicznych technik pomiarowych, wdrożeniu systemu sterowania adaptacyjnego opartego na zdarzeniach w środowisku Matlab/Simulink, ewaluacji techniki sterowania w oparciu o wyniki symulacji, oraz danych eksperymentalnych ze szklarni, przygotowaniu tekstu artykułu. **Całkowity udział: 50 %.**

[J2] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, J. E. Normey-Rico, M. Berenguel. Improving Feedforward Disturbance Compensation Capabilities in Generalized Predictive Control. *Journal of Process Control*, 22(3), pp. 527-539, 2012. (JCR – IF: 1.805).

W tej pracy mój wkład związany był z: opracowaniem studium stanu rozwoju technik kompensacji zakłóceń, opracowaniem koncepcji i przedstawieniem idei, analizą wbudowanego sterownika wyprzedzającego w algorytmie GPC, identyfikacją modeli analizowanego procesu szklarni przemysłowej, wdrożeniem modeli systemu i opracowaniem systemu sterowania w środowisku Matlab/Simulink, analizą symulacji i weryfikacją danych, przygotowaniem treści artykułu, nadzorem procesu publikacji jako główny autor i komunikacją z edytorem na etapie recenzji. **Całkowity udział: 80%.**

[J3] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, J. E. Normey-Rico, M. Berenguel. A Practical Approach for Generalized Predictive Control within an Event-Based Framework. *Computers and Chemical Engineering*, 41(6), pp. 52-66, 2012. (JCR – IF: 2.091).

W tym artykule mój udział wiązał się z: przygotowaniem przeglądu technik sterowania opartego na zdarzeniach, opracowaniem idei koncepcji, oraz schematu implementacji, projektem zestawu ewaluacyjnego, sporządzeniem wytycznych projektowych dla proponowanych algorytmów, analizą i weryfikacją danych, przygotowaniem i złożeniem rękopisu do czasopisma, korespondencją podczas procesu edytorskiego (włączając proces recenzji). **Całkowity udział: 80%.**

Po obronie doktoratu:

[J4] R. González, **A. Pawlowski**, C. Rodríguez, J. L. Guzmán, J. Sánchez-Hermosilla. Design and Implementation of an Automatic Pressure-Control System for a Mobile Sprayer for Greenhouse Applications. Spanish Journal of Agricultural Research, 10(4), pp. 939-949, 2012. (JCR – IF:0.659).

Mój udział w tej pracy polegał na: projekcie i opracowaniu warstwy sprzętowej do systemu sterowania ciśnieniem, wdrożeniu strategii sterowania na dedykowanym systemie wbudowanym, analizie i ocenie techniki sterowania w układzie doświadczalnym, opracowaniu danych doświadczalnych z przeprowadzonych eksperymentów, przygotowaniu artykułu. **Całkowity udział: 40%**.

[J5] **A. Pawlowski**, A. Cervin, J.L. Guzmán, M. Berenguel , 2013. Generalized Predictive Control with Actuator Deadband for Event-Based Approaches. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 10(1), pp. 523 – 537. (Czasopismo czasowo usunięte z JCR w 2014 roku, JCR-IF₂₀₁₃=8.785 i przywrócone w 2015 roku z JCR IF₂₀₁₅=4.7). Ten artykuł został zrecenzowany, zaakceptowany i opublikowany w 2013 roku, załączony do tomu w 2014 roku.

W tym artykule mój udział wiązał się z: opracowaniem wstępnej koncepcji projektu, identyfikacją i implementacją hybrydowych modeli w celu zaprojektowania systemu sterowania, implementacją systemu sterowania w celu wykonania badań symulacyjnych, wdrożeniem opracowanej strategii sterowania do procesu produkcji szklarni eksperymentalnej, nadzorem eksperymentów i ponownym dostrojeniem strategii sterowania, analizą i weryfikacją danych doświadczalnych, przygotowaniem i złożeniem tekstu do czasopisma jako główny autor, korespondencją podczas procesu edytorskiego (włączając proces recenzji). **Całkowity udział: 80%**.

[J6] F. Rodríguez, M. Castilla, J.A. Sánchez, **A. Pawlowski**, J.C. Moreno. Architecture to develop Semi-virtual industrial laboratories for the interactive learning of process automation. Computer Applications in Engineering Education, 2015. (JCR – IF: 0.3).

Mój udział w tej pracy polegał na: opracowaniu wstępnej koncepcji projektu, analizie wykonalności technicznej dla różnych metod sterowania, przygotowaniu artykułu, udziale w procesie recenzyjnym. **Całkowity udział: 20%**.

5.II.B) Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne

[OS1] **A. Pawlowski**, 2010, Rozproszony system akwizycji danych w szklarni przemysłowej: projekt, wykonanie i implementacja. Cajamar Foundation Facilities "Las Palmerillas", El Ejido, Hiszpania.

[OS2] **A. Pawlowski**, 2012, Projekt i implementacja systemu sterowania do regulacji ciśnienia w procesie opryskiwania dla pojazdu prototypowego. Uniwersytet w Almerii, Hiszpania.

[OS3] **A. Pawlowski**, 2013, Projekt, rozwój i implementacja systemu SCADA dla przemysłowego fotobioreaktora typu „Raceway”. Cajamar Foundation Facilities "Las Palmerillas", El Ejido, Hiszpania.

5.II.C) Udzielone patenty międzynarodowe i krajowe

[P1] F. Rodríguez Díaz, J. García, R. González, **A. Pawlowski**, J. Sánchez-Hermosilla, J. L. Guzmán, M. Berenguel. Guidance system for autonomous movement of vehicles in structured environments. Patent No: P201101119, 2016.

Mój udział w tym patencie polegał na: opracowaniu wstępnego projektu koncepcyjnego, zaprojektowaniu i opracowaniu prototypu sprzętu, implementacji oprogramowania wbudowanego, analizie i weryfikacji danych doświadczalnych, przygotowaniu dokumentacji technicznej, uczestnictwie w procedurze patentowej. **Całkowity udział: 30%**.

5.II.D) Monografie, publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie, o której mowa w pkt 5.II.A:

[BC1] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, M. Berenguel, F. G. Acién, S. Dormido. Event-based control systems for microalgae culture in industrial reactors. Chapter on Prospects and Challenges in Algal Biotechnology, Edited by Bhumi Nath Tripathi and Dhananjay Kumar. Publisher: Springer. ISBN 978-981-10-1950-0, In press, 2017.

Mój udział w tej publikacji polegał na: wstępnym opracowaniu koncepcji, identyfikacji i walidacji uproszczonych modeli procesu wymaganych do zaprojektowania systemów sterowania, implementacji systemu sterowania i przeprowadzeniu badań symulacyjnych, wdrożeniu strategii kontroli w pilotażowym procesie eksperymentalnym, nadzorze przebiegu eksperymentów, porównaniu analizowanych strategii sterowania, analizie i weryfikacji danych eksperymentalnych, przygotowaniu treści artykułu i korespondencji podczas procesu edytorskiego (włączając proces recenzji). **Całkowity udział: 75%**.

[BC2] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, M. Berenguel, S. Dormido. Event-Based Generalized Predictive Control. Chapter on Event-Based Control and Signal Processing, Edited by Marek Miskowicz. Publisher: CRC Press/ Taylor & Francis. ISBN: 9781482256550, pp. 151-176, 2015.

Mój udział polegał na: opracowaniu wstępnej koncepcji sterownika predykcyjnego z adaptacyjnym próbkowaniem na wyjściu i wejściu procesu, identyfikacji i walidacji uproszczonych modeli niezbędnych do zaprojektowania systemów sterowania, implementacji systemu sterowania i przeprowadzeniu badań symulacyjnych, analizie i weryfikacji danych eksperymentalnych, przygotowaniu treści artykułu i korespondencji podczas procesu edytorskiego (włączając proces recenzji). **Całkowity udział: 80%**.

[BC3] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, J. Sánchez, S. Dormido. Study of event-based sampling techniques and their influence on greenhouse climate control with Wireless Sensors Network. Chapter on Factory Automation, In-Tech, ISBN 978-953-7619-42-8, 2010.

Mój udział w tym opracowaniu polegał na: przygotowaniu przeglądu technik próbkowania adaptacyjnego, opracowywaniu wskaźników oceny wydajności systemów sterowania w celu porównania wyników między klasycznymi systemami sterowania i opartymi na zdarzeniach, implementacji systemu sterowania do przeprowadzania badań symulacyjnych, ocenie różnych scenariuszy sterowania połączone z asynchronicznymi technikami próbkowania, analizie i weryfikacji danych symulacyjnych, przygotowaniu treści artykułu i korespondencji podczas procesu edytorskiego. **Całkowity udział: 80%**.

[J7] **A. Pawlowski**, C. Rodriguez, J. L. Guzman, M. Berenguel, S. Dormido. 2016 Measurable disturbances compensation: Analysis and tuning of feedforward techniques for dead-time processes. MPDI – Processes, 4(12), (JCR – Emerging Source Citation Index).

Mój udział w tej pracy polegał na: przeanalizowaniu najnowszych osiągnięć w zakresie sterowników wyprzedzających, wstępnym opracowaniu koncepcji analizy opóźnienia czasowego w zakresie kompensacji zakłóceń, identyfikacji i walidacji uproszczonych modeli do projektowania systemów sterowania, wdrożeniu systemu sterowania do wykonania badań symulacyjnych, porównaniu wyników z klasycznym kompensatorem wyprzedzającym, analizie i weryfikacji danych, przygotowaniu treści artykułu i korespondencji podczas procesu edytorskiego. **Całkowity udział: 40%**.

5.II.E) Sumaryczny Impact Factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania oraz sumaryczna liczba punktów MSNiW

Sumaryczny Impact Factor wszystkich moich publikacji wynosi 34.698, natomiast sumaryczna liczba punktów MNiSW - 409 (szczegółowe dane w Tabeli 2).

Tabela 2. Impact Factor i punkty MNiSW dla poszczególnych publikacji w czasopismach naukowych

	Nr.	Referencja	Rok publikacji	Całkowity udział (%)	Impact factor	Punkty MNiSW (Grupa)	
Przed obroną doktoratu	1	[J1]	2009	50	1.821	24 (A)	
	2	[J2]	2012	80	1.805	35 (A)	
	3	[J3]	2012	80	2.091	35 (A)	
Po obronie doktoratu	4	[J4]	2012	40	0.659	30 (A)	
	5	[J5]	2013	80	8.785	40 (A)	
	6	[J6]	2015	20	0.312	20 (A)	
	7	[J7]	2016	40	-	-	
	Cykl habilitacyjny	8	[A1]	2014	75	2.784	35 (A)
		9	[A2]	2014	75	4.494	45 (A)
		10	[A3]	2015	75	1.814	30 (A)
		11	[A4]	2016	75	3.394	35 (A)
		12	[A5]	2017	75	2.848	40 (A)
		13	[A6]	2017	80	3.882	40 (A)
Razem					34.698	409	

5.II.F) Indeks Hirscha i liczba cytowań publikacji według naukowych baz danych (stan na 15.06.2017)

Dane bibliometryczne zawarte w bazach Web of Science, Scopus oraz Google Scholar przedstawione są w Tabeli 3.

Tabela 3. Zestawienie danych bibliometrycznych

Baza danych	h _{index}	Liczba publikacji	Liczba cytowań		Identyfikator
			Wszystkie	Bez autocytowań	
Web of Science	6	30	133	-	L-1644-2014
Scopus	8	28	230	177	35787277800
Google Scholar	11	40	370	-	wAaGBAYAAAAJ

ORCID: **0000-0002-0631-724X**

5.II.G) Kierowanie międzynarodowymi i krajowymi projektami badawczymi oraz udział w takich projektach

[RP7] Control and optimization of biomass production using microalgae as a source of renewable energy, Ref: DPI2014-55932-C2-2-R. Okres realizacji: 01.01.2015 – 31.12.2017. Finansowany przez: Spanish Ministry of Economy and Competitiveness and EU-ERD. Rola: **Wykonawca**.

[RP6] Crop growth control in greenhouses optimizing sustainability, economic criteria and energy efficiency (CONTROLCROP), Ref: P10-TEP-06174. Okres realizacji: 15.03.2011 – 14.03.2016. Finansowany przez: Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo – Junta de Andalucía. Rola: **Wykonawca**.

[RP5] Event-based control for distributed and collaborative systems, Ref: DPI2012-31303. Okres realizacji: 01.01.2012 – 31.12.2015. Finansowany przez: Spanish Ministry of Economy and Competitiveness and EU-ERDF funds. Rola: **Wykonawca**.

[RP4] Modelling, simulation, control and optimization of photobioreactors, Ref: DPI2011-27818-C02-01. Okres realizacji: 01.01.2012 – 31.12.2014, Finansowany przez: Spanish Ministry of Economy and Competitiveness and EU-ERDF funds. Rola: **Główny wykonawca**.

[RP3] Nonlinear control strategies with delay compensation in solar plants for power generation, Ref: PHB2009-0008-PC. Okres realizacji: 09.01.2010 – 31.12.2013. Finansowany przez: Ministry of Education – Spanish-Brazilian Cooperation Program. Rola: **Wykonawca**.

[RP2] Analysis and evaluation of the application techniques of plant protection products in greenhouses: reduction of environmental impact and technical-economic optimization, Ref: P07-AGR-02995. Okres realizacji: 01.02.2008 – 31.12.2012. Finansowany przez: Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo – Junta de Andalucía. Rola: **Wykonawca**.

[RP1] Hierarchical process control with switching operation mode: Applications to solar plants and greenhouses, Ref: DPI2007-66718-C04-04. Okres realizacji: 01.10.2007 – 30.09.2010. Finansowany przez: Spanish Ministry of Economy and Competitiveness and EU-ERDF funds. Rola: **Główny wykonawca**.

5.II.H) Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową albo artystyczną

[INA1] Nadzwyczajne wyróżnienie pracy doktoranckiej w dziedzinie „Inżynieria” w roku akademickim 2011/2012, Uniwersytet w Almerii, 2016 r.

[INA2] Przyznanie stypendium na realizację badań podoktoranckich przez UNED, uzyskane z najlepszym wynikiem w 2014 r.

[INA3] Otrzymanie akredytacji na stanowisko „Associate Professor” z „National Agency for Quality Assessment and Accreditation of Spain (ANECA)” w 2014 r.

[INA4] Wyróżnienie „Elsevier & ScienceDirect” za najczęściej pobierany artykuł w czasopiśmie „Journal Process Control” w okresie 01.01.2012 – 31.12.2012.

[INA5] Praca doktorska obroniona z najwyższym wyróżnieniem „cum laude por unanimidad” i z tytułem doktora międzynarodowego (Uniwersytet w Almerii, Hiszpania i Uniwersytet w Lund, Szwecja), 2012 r.

[INA6] Przyznanie stypendium na realizację studiów doktoranckich finansowane przez Spanish Ministry of Development and Competitiveness poprzez grant: BES-2008-007068, 2008 r.

5.II.I) Wygłoszenie referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych

Przed uzyskaniem doktoratu:

[C1] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, F. Rodríguez, J. Sánchez-Hermosilla. Sistema empotrado para el control de la presión de pulverización de productos fitosanitarios en invernaderos sobre robots móviles. XXVII Jornada de Automática. Almería, Spain, 2006.

Główny prezydent.

[C2] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, J. Sánchez, S. Dormido. Control Basado en Eventos de la Temperatura de un Invernadero. XXIX Jornada de Automática. Tarragona, Spain, 2008.

[C3] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, J. Sánchez, S. Dormido. Event-Based Control and Wireless Sensor Network for Greenhouse Diurnal Temperature Control: A Simulated Case Study. In 13th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. Hamburg, Germany, 2008. **Główny prezydent.**

[C4] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel. Event-Based Packet Scheduling for Wireless Sensor Networks. In 4th International Conference on Broadband Communication, Information Technology and Biomedical Applications. Wroclaw, Poland, 2009. **Główny prezydent**.

[C5] J. A. Muñoz, J. L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, **A. Pawlowski**. Virtual Lab for Programmable Logic Controllers. In 14th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. Palma de Mallorca, Spain, 2009. **Główny prezydent**.

[C6] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, J. Sánchez, S. Dormido. The Influence of Event-Based Sampling Techniques on Data Transmission and Control Performance. In 14th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. Palma de Mallorca, Spain, 2009. **Główny prezydent**.

[C7] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, J. Sánchez. Application of Time-Series Methods to Disturbance Estimation in Predictive Control Problems. In IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Bari, Italy, 2010. **Główny prezydent**.

[C8] J. A. Ferre, **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel. A Wireless Sensor Network for Greenhouse Climate Monitoring. In 5th International Conference on Broadband Communication, Information Technology and Biomedical Applications. Málaga, Spain, 2010. **Główny prezydent**.

[C9] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, J. E. Normey-Rico. Predictive Control with Disturbance Forecasting for Greenhouse Diurnal Temperature Control. In 18th IFAC World Congress. Milán, Italy, 2011. **Główny prezydent**.

[C10] R. González, J. García, F. Rodríguez, **A. Pawlowski**. Guiding Strategy based on Laser and Template Matching for Autonomous Vehicles in Greenhouses. International Conference on Agricultural Engineering – Ageng 2012. Valencia Spain, 2012

[C11] F. Rodríguez, M. Castilla, J. A. Sánchez, **A. Pawlowski**, A. Pérez, J. Agüero. Estrategias de control y supervisión para la gestión integrada de instalaciones en entornos energéticamente eficientes. X Simposio CEA Ingeniería de Control. ETSEIB, UPC, Barcelona, 2012.

Po obronie doktoratu:

[C12] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, M. Berenguel, I. Fernández, F. G. Acien, J. E. Normey-Rico. Control de pH en Fotobiorreactores Utilizando un GPC Basado en Eventos. XI

Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente – SBAI e XI Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações –DINCON. Fortaleza, Brazil, 2013.

[C13] M. Beschi, **A. Pawlowski**, J. L. Guzman, M. Berenguel, A. Visioli, Symmetric send-on-delta PI control of a greenhouse system. In 19th IFAC World Congress. Cape Town, South Africa, 2014.

[C14] **A. Pawlowski**, J. L. Guzman, M. Berenguel, S. Dormido, I. Fernandez. Event-based predictive control triggered by input and output deadband conditions. In 19th IFAC World Congress. Cape Town, South Africa, 2014. **Główny prezydent**.

[C15] **A. Pawlowski**, J. L. Guzman, M. Berenguel, S. Dormido. Lagrange interpolation for signal reconstruction in event-based GPC. In 19th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2014, Workshop on Event-Based Systems. Barcelona, Spain, 2014. **Główny prezydent**.

[C16] **A. Pawlowski**, J. L. Guzmán, M. Berenguel, J. E. Normey-Rico, S. Dormido. Event-Based GPC for Multivariable Processes. In 1st IEEE International Conference on Event-Based Control, Communication, and Signal Processing, EBCCSP. Krakow, Poland, 2015. **Główny prezydent**.

[C17] **A. Pawlowski**, F. Rodríguez, J. Sánchez-Hermosilla, S. Dormido. Fast nonstationary filtering for adaptive weighing system. In 20th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2015. Luxembourg City, Luxembourg, 2015. **Główny prezydent**.

[C18] F. Rodríguez, M. Castilla, J.A. Sánchez, **A. Pawlowski**. Semi-virtual Plant for the Modelling, Control and Supervision of Batch-Processes. An example of a greenhouse irrigation system. In the 3rd IFAC Workshop on Internet Based Control Education, IBCE 2015. Brescia, Italy, 2015.

[C19] **A. Pawlowski**, I. Frenández, J. L. Guzmán, M. Berenguel, F. G. Acién, S. Dormido. Event-Based Selective Control Strategy for Raceway Reactor: A simulation study. In 11th IFAC Symposium on Dynamics and Control of Process Systems, including Biosystems – DYCOPS-CAB 2016. Trondheim, Norway, 2016.

[C20] **A. Pawlowski**, J.A. Sánchez-Molina, J.L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, S. Dormido. Control predictivo basado en eventos con banda muerta del sensor para riego en invernadero. II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola – Automatización y TICs en Agricultura, Almería, Spain, 2016. **Główny prezydent**.

[C21] J. Cantón, **A. Pawlowski**, F. Rodríguez, J. Sánchez-Hermosilla, S. Dormido. Sistema de visión de bajo coste para clasificación de productos hortícolas. II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola – Automatización y TICs en Agricultura, Almería, Spain, 2016. **Główny prezenter.**

[C22] **A. Pawlowski**, J.A. Sánchez, J.L. Guzmán, F. Rodríguez, M. Berenguel, S. Dormido. Event-Based Control for a Greenhouse Irrigation System . In 2nd IEEE International Conference on Event-Based Control, Communication and Signal Processing, EBCCSP16. Krakow, Poland, 2016. **Główny prezenter.**

[C23] **A. Pawlowski**, J.L. Guzmán, M. Berenguel, J. E. Normey-Rico, S. Dormido. Multivariable GPC for Processes with Multiple Time Delays: Implementation Issues. In 21st IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2016. Berlin, Germany, 2016. **Główny prezenter.**

[C24] **A. Pawlowski**, L. Merigo, J. L. Guzmán, A. Visioli, S. Dormido. Event-Based GPC for Depth of Hypnosis in Anesthesia. In 3rd IEEE International Conference on Event-Based Control, Communication and Signal Processing, EBCCSP17. Funchal, Portugal, 2017. **Główny prezenter.**

5.III) Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz informacja o współpracy międzynarodowej habilitanta

5.III.A) Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych

[OR1] XXVII Jornada de Automática. Almería, Spain, 2006. **Członek komitetu organizacyjnego.**

[OR2] 1st IEEE International Conference on Event-Based Control, Communication, and Signal Processing, EBCCSP. Krakow, Poland, 2015. **Organizator sesji tematycznej: Industrial Event-Based Control.**

[OR3] 2nd IEEE International Conference on Event-Based Control, Communication and Signal Processing, EBCCSP16. Krakow, Poland, 2016. **Organizator sesji tematycznej: Applications of Event-Based Control Approaches.**

[OR4] II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola – Automatización y TICs en Agricultura, University of Almería, 2016. **Członek komitetu organizacyjnego.**

[OR5] 3rd IEEE International Conference on Event-Based Control, Communication and Signal Processing, EBCCSP17. Funchal, Portugal, 2017. **Organizator sesji tematycznej: Applications of Event-Based Control Approaches.**

[OR6] 3rd IEEE International Conference on Event-Based Control, Communication and Signal Processing, EBCCSP17. Funchal, Portugal, 2017. **Członek komitetu organizacyjnego: Special Session Co-Chair.**

5.III.B) Udział w komitetach naukowych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych

[IPC1] 19th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2014, Barcelona, Spain, 2014. **Członek międzynarodowej rady programowej.**

[IPC2] 20th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2015. Luxembourg City, Luxembourg, 2015. **Członek międzynarodowej rady programowej.**

[IPC3] 1st IEEE International Conference on Event-Based Control, Communication, and Signal Processing, EBCCSP15. Kraków, Poland, 2015. **Członek międzynarodowej rady programowej.**

[IPC4] 6th International Renewable Energy Congress, IREC15, Sousse, Tunisia, 2015. **Członek międzynarodowej rady programowej.**

[IPC5] 21st IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2016. Berlin, Germany, 2016. **Członek międzynarodowej rady programowej.**

[IPC6] 7th International Renewable Energy Congress, IREC16, Hammamet, Tunisia, 2016, **Członek międzynarodowej rady programowej.**

[IPC7] 2nd IEEE International Conference on Event-Based Control, Communication and Signal Processing, EBCCSP16. Kraków, Poland, 2016. **Członek międzynarodowej rady programowej.**

[IPC8] 8th International Renewable Energy Congress, IREC17, Amman, Jordan, 2017. **Członek międzynarodowej rady programowej.**

[IPC9] International Conference on Green Energy Conversion Systems, GECS'2017, Hammamet, Tunisia, 2017. **Członek międzynarodowej rady programowej.**

[IPC10] 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies And Factory Automation, ETFA17, Limassol, Cyprus, 2017. **Członek międzynarodowej rady programowej.**

[IPC11] 3rd IEEE International Conference on Event-Based Control, Communication and Signal Processing, EBCCSP17. Funchal, Portugal, 2017 **Członek międzynarodowej rady programowej.**

5.III.C) Współpraca międzynarodowa:

[IC1] Członek grupy badawczej "Automatics, Robotics and Mechatronics" (TEP197), Uniwersytet w Almerii, Hiszpania, od 2007 r.

[IC2] Współpraca z "Department of Automatic Control" Uniwersytet w Lund, Szwecja, od 2011 r.

[IC3] Współpraca z "Department of Mechanical and Industrial Engineering" Uniwersytet w Brescii, Włochy, od 2011 r.

[IC4] Współpraca z "Department of Automatic Control and Systems" UFSC, Florianopolis, Brazylia, od 2010 r.

[IC5] Współpraca z grupą badawczą "Biotechnology for Marine Microalgae" Uniwersytet w Almerii, Hiszpania, od 2012 r.

[IC6] Współpraca z grupą badawczą "Modeling, Simulation and Process Control", UNED, Madryt, Hiszpania, od 2012 r.

[IC7] Współpraca z grupą badawczą "Agrarian Production Technology of Semi-Arid Zones" Uniwersytet w Almerii, Hiszpania, od 2008 r.

5.III.D) Aktywność dydaktyczna

Moja aktywność dydaktyczna obejmuje: praktyki laboratoryjne, ćwiczenia praktyczne i wykłady teoretyczne. Łącznie zgromadziłem 355 godzin dydaktycznych, które rozkładają się na następujące przedmioty:

[DA1] Rok akademicki 2008/2009, łącznie: **60 godzin, 8 kredytów ECTS**, przedmioty:

- Real Time Systems – 30 godzin
- Industrial Informatics and Automation – 30 godzin

[DA2] Rok akademicki 2009/2010, łącznie: **60 godzin, 8 kredytów ECTS**, przedmioty:

- Control and Programming of Robots - 30 godzin
- Computer Programming: Fundamentals – 20 godzin
- Factory System Automation – 10 godzin

[DA3] Rok akademicki 2010/2011, łącznie: **60 godzin, 8 kredytów ECTS**, przedmioty:

- Real Time Systems - 30 godzin
- Industrial Informatics and Automation – 30 godzin

[DA4] Rok akademicki 2011/2012, łącznie: **75 godzin, 10 kredytów ECTS**, przedmioty:

- Real Time Systems - 30 godzin
- Industrial Informatics and Automation – 30 godzin
- Advanced Control of Chemical Processes – 15 godzin

[DA5] Rok akademicki 2012/2013, łącznie: **41 godzin, 5.5 kredytów ECTS**, przedmioty:

- Advanced Control of Industrial Processes - 19 godzin
- Computer Aided Fabrication - 22 godzin

[DA6] Rok akademicki 2013/2014, łącznie: **59 godzin, 8 kredytów ECTS**, przedmioty:

- Control and Instrumentation of Chemical Processes - 19 godzin
- Advanced Control of Chemical Processes – 40 godzin

5.III.E) Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione w pkt 5.II.H

[PD1] Pierwsza nagroda za innowacje w nauczaniu akademickim za pracę “Design and Development of Virtual and Remote Laboratories for Teaching Engineering Studies” – Jornadas Andaluzas de Innovación Docente Universitaria, 2009, Cordoba, Hiszpania.

[PD2] Pierwsza nagroda za doskonalenie technik dydaktycznych za projekt „Teaching Projects for the design of Didactic Materials in Digital Support”, 2009, Uniwersytet w Almerii, Hiszpania.

[PD3] Nagroda za działalność dydaktyczną, rok akademicki 2010/2011, Uniwersytet w Almerii, Hiszpania.

5.III.F) Kontrakty badawczo-rozwojowe, inne niż wymienione w punkcie 5.II.G

[RD1] Prototype Development of self-propulsion machine for fumigation and transportation tasks in horticulture production. Finansowany przez: Carretillas Amate, S.L., Rola: **Wykonawca**.

[RD2] Efficiency Improvements in Greenhouse Production in Semi-arid Climate. Finansowany przez: Fundación CAJAMAR, Rola: **Wykonawca**.

[RD3] Counseling on Development of Greenhouse Biomass Exploitation System with thermal energy and CO₂ Recovery. Finansowany przez: BESEL, S.A., Rola: **Wykonawca**.

[RD4] Research on advanced technologies for overall algae evaluation. VIDA Project. Finansowany przez: ALGAENERGY, S.A.. Rola: **Wykonawca**.

[RD5] Counseling on Design and Development of Control System for Portable Circular Fruit Sorting Machine, Finansowany przez: CADIA INGENIERÍA, S.L., Rola: **Wykonawca**.

[RD6] Energetic rehabilitation of didacting buildings in Andalusia Region. Part of REDUCA Project. Finansowany przez: TINO STONE GROUP, S.A., Rola: **Wykonawca**.

[RD7] BIOGREEN: Advanced Modeling of Greenhouse Production. Finansowany przez: PRIMA-RAM, S.A., Rola: **Wykonawca**.

5.III.G) Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism

[EB1] Journal of Green Engineering (ISSN: 1904-4720, indeksowana w bazach: Scopus i SciMago). **Członek komitetu redakcyjnego**, od września 2016 r.

5.III.H) Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki lub sztuki

[TAS1] Udział w projekcie europejskim "Researchers Night" poświęconym popularyzacji nauki i rozpowszechnieniu wyników badań naukowych, wrzesień 2014 r.

[TAS2] Udział w projekcie na temat innowacji dydaktycznych: „Design and Development of Virtual and Remote Laboratories for teaching in Engineering Studies”, rok akademicki 2008/2009 i 2009/2010.

[TAS3] Udział w projekcie na temat innowacji dydaktycznych: „Development of Virtual Industrial Plants for Interactive Teaching in Automation”, rok akademicki 2012/2013 i 2013/2014.

[TAS4] Udział w projekcie na temat innowacji dydaktycznych: “Development Architecture Optimization of Virtual Industrial Plants for Teaching in Automation: Development of Case Studies”, rok akademicki 2014/2015 i 2015/2016.

5.III.I) Opieka naukowa nad studentami

[ST1] Andrés Aranda Andújar, tytuł pracy magisterskiej: “Design and Optimization of Tele-Operation System for Fitorobot Remote Control”. Obroniona z wyróżnieniem, Uniwersytet w Almerii, Hiszpania.

[ST2] José Antonio Cantón Claro, tytuł pracy magisterskiej: “Control system development for fruit sorting machine using color and weight criteria”. Obroniona z wyróżnieniem, Uniwersytet w Almerii, Hiszpania.

[ST3] David Castillo Sáez, tytuł pracy magisterskiej: “Design and Implementation of Control System for a Magnetic Levitation Process” Obrona przewidziana na lipiec 2017, Uniwersytet w Almerii, Hiszpania.

5.III.J) Staże w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich

[RS1] 01.07.2016-31.21.2016. Staż badawczy, **6 miesięcy**, “Department of Mechanical and Industrial Engineering”, Uniwersytet w Brescii, Włochy.

[RS2] 01.08.2011-31.10.2011. Staż badawczy, **3 miesiące**, „Department of Automatic Control”, Uniwersytet w Lund, Szwecja.

[RS3] 01.07.2010-06.12.2010. Staż badawczy, **6 miesięcy**, Department of Automatic Control and Systems, UFSC, Florianopolis, Brazylia.

[RS4] 01.02.2009-28.02.2009. Staż badawczy, **1 miesiąc**, Department of Computer Science and Automatic Control, UNED, Madryt, Hiszpania.

[RS6] 01.11.2005-30.06.2006 Staż podyplomowy, **7 miesięcy**, Grupa badawcza: „Automatics, Robotics, Mechatronics”, zrealizowany w ramach programu „Leonardo da Vinci” finansowanego przez środki UE, Uniwersytet w Almerii, Hiszpania.

5.III.K) Recenzowanie projektów międzynarodowych i krajowych

[PR1] Narodowe Centrum Nauki, panel Nauk Technicznych, **Recenzent**.

5.III.L) Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

Podczas mojej działalności podoktoranckiej w ostatnich 5-iu latach recenzowałem szereg recenzji prac zgłoszonych do publikacji w czasopismach naukowych (indeksowanych w JCR), gdzie liczba recenzji przekracza 37 (szczegóły w Tabeli 4).

Tabela. 4. Zrealizowane recenzje publikacji w czasopismach indeksowanych w JCR

Rok	Czasopismo	Indeks	Ilość
2012	Journal of Process Control	JCR	2
2012	Revista Iberoamericana de Informática y Automática Industrial	JCR	1
2013	Journal of Process Control	JCR	1
2013	Control Engineering Practice	JCR	1
2013	Journal of Control, Automation and System	JCR	1
2013	MDPI Electronics	JCR	1
2013	Revista Iberoamericana de Informática y Automática Industrial	JCR	1
2014	IEEE Transactions on Industrial Informatics	JCR	1
2014	Journal of Control, Automation and System	JCR	2
2014	International Journal of Electrical Power and Energy Systems	JCR	1
2014	Revista Iberoamericana de Informática y Automática Industrial	JCR	2
2015	Journal of Franklin Institute	JCR	3
2015	Journal of Control, Automation and System	JCR	2
2015	Revista Iberoamericana de Informática y Automática Industrial	JCR	1
2015	IEEE Transactions on Automatic Control	JCR	1
2015	MDPI, Sensors	JCR	2
2016	Journal of Franklin Institute	JCR	2
2016	IEEE Transactions on Automatic Control	JCR	1
2016	IEEE Access	JCR	1
2016	Revista Iberoamericana de Informática y Automática Industrial	JCR	2
2016	Journal of Green Engineering	Scopus	1
2016	Computers & Industrial Engineering	JCR	1
2016	Measurements	JCR	1
2017	Revista Iberoamericana de Informática y Automática Industrial	JCR	1
2017	Computers & Industrial Engineering	JCR	1
2017	Measurements	JCR	1
2017	Journal of Process Control	JCR	1
2017	Optimal Control, Applications and Methods	JCR	1

Dodatkowo zrealizowałem liczne recenzje prac proponowanych do prezentacji na prestiżowych konferencjach naukowych związanych z automatyką i inżynierią sterowania. Między innymi recenzowałem prace dla: 'IFAC World Congress', 'The American Control Conference', 'European Control Conference', 'Conference on Emerging Technologies and Factory Automation', 'Mediterranean Conference on Control and Automation'.

5.III.M) Inne osiągnięcia, nie wymienione w pkt 5.III A – 5.III L

Odbyte kursy i szkolenia:

- [STC1] Teaching Coordination and Interdisciplinary Projects
- [STC2] Motivation and Time Management in Class Room
- [STC3] Introduction to Digital Board Use
- [STC4] Project Management with Microsoft Project
- [STC5] University Generic Competences: International Competency Guide
- [STC6] Formation Course for Novel Professors
- [STC7] Influence of IT in Teaching: Practical Focus
- [STC8] Dynamic System Identification
- [STC9] Model Based Predictive Control
- [STC10] Actual Robotics: What can do a robot for you now?
- [STC11] Robust Control System: Fundamentals and Applications
- [STC12] Modeling and Dynamic Control of Robot Manipulators
- [STC13] Workshop on Teaching Innovation –Virtual Laboratories Repository of Agro-alimentary Processes for Teaching of Automatics in Engineering Studies
- [STC14] Assistant Robotics
- [STC15] Workshop on Automatic Control for Engineers
- [STC16] Robot Operating System: Introduction
- [STC17] What we can do with technical data? : LabView and Diadem – National Instruments
- [STC18] Control and Sustainable Building Engineering: From Automatic Control and Energetic Micro-Grid Point of View

Wszystkie wskazane w niniejszym autoreferacie osiągnięcia są poświadczone dokumentami umieszczonymi na załączonej płycie DVD-ROM.

Aleksander Pustowski