

Załącznik nr 2 do wniosku

Autoreferat
Modelowanie tolerancji geometrycznych
części maszyn

dr inż. Zbigniew Humienny
Instytut Podstaw Budowy Maszyn
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
Politechnika Warszawska

Warszawa 15.04.2019

Spis treści

| | |
|--|----|
| 1. Imię i nazwisko | 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 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. 2017 r. poz. 1789) | 3 |
| 4a. Tytuł osiągnięcia naukowego | 3 |
| 4b. Wykaz prac naukowych dokumentujących osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego | 3 |
| 4c. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania | 5 |
| 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych | 14 |
| 5a. Wykaz wybranych publikacji przygotowanych po uzyskaniu stopnia doktora | 14 |
| 5b. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania dla wybranych publikacji przygotowanych po uzyskaniu stopnia doktora | 18 |

Autoreferat

1. Imię i nazwisko

Zbigniew Humienny

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

- doktor nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn, Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, 1992, rozprawa doktorska: *Koncepcja zapisu cyfrowego i analizy struktury wybranych układów łańcuchów wymiarowych*; promotor: prof. dr hab. inż. Sławomir Białas; recenzent: prof. dr hab. inż. Jan Szadkowski; recenzent: prof. dr hab. inż. Zdzisław Wójcik. Nagroda Indywidualna Rektora Politechniki Warszawskiej za osiągnięcia naukowe – 1993.
- magister inżynier mechanik, specjalność automatyka i metrologia, Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniki Precyzyjnej (obecnie Wydział Mechatroniki), 1979.
- Studia podyplomowe: Zarządzanie jakością, środowiskiem i bezpieczeństwem pracy, Politechnika Warszawska, Instytut Organizacji Systemów Produkcyjnych, 1998.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 1983 – 1992 asystent, Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Politechnika Warszawska.
- 1993 – obecnie adiunkt, Instytut Podstaw Budowy Maszyn, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych, Politechnika Warszawska.

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. 2017 r. poz. 1789)

4a) Tytuł osiągnięcia naukowego

Monotematyczny cykl publikacji pt.

Modelowanie tolerancji geometrycznych części maszyn

4b) Wykaz prac naukowych dokumentujących osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

- P1. Berta M., Humienny Z.: *Computer aided explanation of geometrical tolerancing*. XXII World Congress of the International Measurement Confederation (IMEKO 2018). Journal of Physics: Conf. Series 1065 142015,

- p. 1-6, 2018. **SJR Impact Factor 0,241** (Najnowszy opublikowany z 2017). Mój udział w tej publikacji szacuję na 70%.
- P2. Humienny Z., Berta M.: *Interactive multimedia learning environment for geometrical specification indication & verification rules*. 15th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing – CIRP CAT 2018. Procedia CIRP 75, p. 161-166, 2018. **SJR Impact Factor 0,668** (Najnowszy opublikowany z 2017). Mój udział w tej publikacji szacuję na 70%.
- P3. Humienny Z., Berta M.: *Using animations to support the understanding of geometrical tolerancing concepts*. Technisches Messen vol. 82(9); p. 422-431, 2015. Lista A MNiSW, punktów 15. **SJR Impact Factor 0,172**. Mój udział w tej publikacji szacuję na 80%.
- P4. Humienny Z., Berta M.: *Software tools and tricks used to develop application that explains geometrical tolerancing concepts*. XXI IMEKO World Congress Prague. Proceedings ed. J. Holub, p. 1442-1447, Czech Technical University, 2015. Mój udział w tej publikacji szacuję na 60%.
- P5. Humienny Z., Berta M.: *A digital application for geometrical tolerancing concepts understanding*. 13th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing – CIRP CAT 2014. Procedia CIRP 27, p. 264-269, 2015. **SJR Impact Factor 0,605**. Mój udział w tej publikacji szacuję na 70%.
- P6. Humienny Z., Berta M.: *Wizualizacja strategii pomiarowych wykorzystywanych do oceny odchyłek geometrycznych na współrzędnościowych maszynach pomiarowych*. Mechanik nr 11, s. 918-922, 2014. Lista B MNiSW, punktów 11. Mój udział w tej publikacji szacuję na 70%.
- P7. Humienny Z., Berta M.: *New multimedia geometrical tolerancing course*. 12th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing – CIRP CAT 2012. Procedia CIRP 10, p. 312-316, 2013. **SJR Impact Factor 0,530**. Mój udział w tej publikacji szacuję na 70%.
- P8. Humienny Z., Turek P.: *Animated visualization of the maximum material requirement*. Measurement, Vol. 45, l. 10, p. 2283–2287. December 2012. Lista A MNiSW, punkty 25. **SJR Impact Factor 0,748**. Mój udział w tej publikacji szacuję na 80%.
- P9. Humienny Z.: *Uogólnienie wymagań maksimum materiału i minimum materiału w tolerowaniu geometrycznym*. Archiwum technologii maszyn i automatyzacji. Komisja Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk Oddział w Poznaniu, v. 30 nr 2, s. 79-86, Poznań 2010. Lista B MNiSW, punktów 9. Mój udział w tej publikacji 100%.
- P10. Humienny Z.: *State of art in standardization in GPS area*. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology v. 2, i. 1, p. 1–7, 2009. **SJR Impact Factor 0,917**. Mój udział w tej publikacji 100%.
- P11. Humienny Z.: *Tolerowanie łączące wymagania funkcjonalne i cele ekonomiczne*. Mechanik 11, s. 940-945, 2008. W roku 2009: Lista B MNiSW, punktów 6. Mój udział w tej publikacji 100%.

Sumaryczny SJR Impact Factor 3,881.



4c) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Tolerancje geometryczno-wymiarowe, po zdefiniowaniu geometrii nominalnej każdej z części tworzących wyrób, powinny jednoznacznie określić dopuszczalne odchyłki od nominalnych wymiarów, kształtu, kierunku oraz położenia poszczególnych elementów geometrycznych części tworzących bryłę wyrobu, tak aby wyrób spełniał oczekiwane wymagania funkcjonalne. Wyspecyfikowane tolerancje powinny być precyzyjnie zdefiniowane przez konstruktora, aby były jednoznacznie zrozumiałe zarówno przez technologa jak i metrologa weryfikującego wyrób. Niestety aktualne ustalenia norm międzynarodowych z zakresu specyfikacji geometrii wyrobów, zwłaszcza wobec rosnących wymagań odnośnie jakości oraz potrzeb gwałtownie rozwijającej się techniki pomiarów współrzędnościowych są w wielu przypadkach zdecydowanie niewystarczające i niejednoznaczne. Ponadto są one niedostatecznie znane i rozumiane w przemyśle zarówno w Polsce jak i w pozostałych krajach europejskich oraz USA.

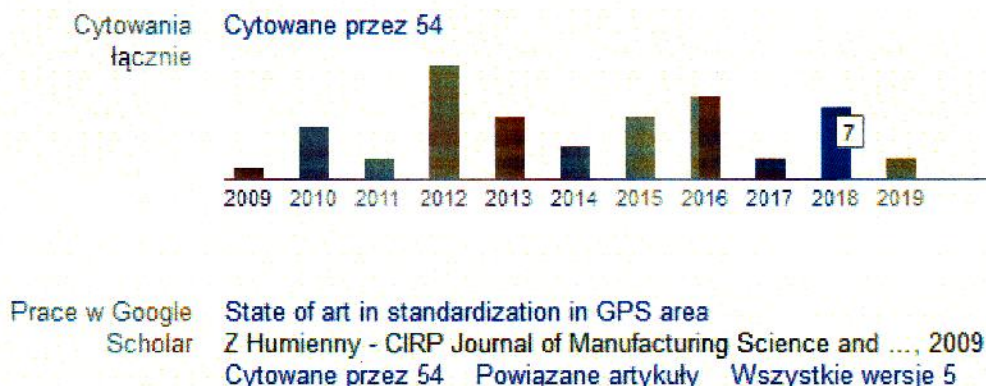
Wobec powyższego istnieje konieczność poszukiwania nowych i doskonalenia istniejących narzędzi specyfikacji geometrii wyrobów oraz ich międzynarodowej normalizacji. Prace prowadzone są w wielu ośrodkach na świecie, a ich rezultaty są wdrażane w nowych normach opracowywanych przez Komitet Techniczny ISO/TC 213 *Specyfikacje wymiarowe i geometryczne oraz weryfikacja wyrobów*, w którego pracach biorę czynny udział jako ekspert nominowany przez Polski Komitet Normalizacyjny. Ponadto przemysł zarówno w Polsce jak i za granicą oczekuje silnego wsparcia nie tylko w postaci nowych zasad, reguł i oznaczeń w obszarze tolerancji geometrycznych, ale również szkoleń oraz konsultacji w zakresie stosowania i interpretacji symboli specyfikacji dostępnych w aktualnych normach. Przedstawiony cykl wybranych publikacji *Modelowanie tolerancji geometrycznych części maszyn* pokazuje mój wkład w realizację tych celów.

W publikacji [P11] dokonałem analizy ustaleń określonych w czternastu regułach podanych w normie ISO 2692:2006. Na zaproponowanych modelach pokazałem, iż interpretacja powierzchniowa wymagań maksimum i minimum materiału (MMR/LMR) przyjęta w tej normie jest funkcjonalnie oraz ekonomicznie uzasadniona, gdyż dwa wymagania (tolerancja wymiaru i tolerancja geometryczna) są przekształcane w jedno wymaganie łączne. Znajduje to zastosowanie w przypadku, gdy ze względów funkcjonalnych nie jest istotne jaka część dopuszczalnego zakresu zmienności geometryczno-wymiarowej jest wykorzystana przez odchyłkę wymiaru, a jaka przez odchyłkę geometryczną. Ponadto w wyniku gruntownej analizy wykazałem, że uproszczona interpretacja osiowa często spotykana przy weryfikacji wymagania maksimum materiału za pomocą współrzędnościowej techniki pomiarowej nie powinna być wykorzystywana do skutecznej weryfikacji tolerancji z wymaganiem maksimum materiału, gdyż w wielu przypadkach prowadzi do błędnej oceny. Pokazałem, iż różnica w ocenie wyrobu za pomocą sprawdzianów wirtualnych realizowanych przez oprogramowanie współrzędno-

ściowych maszyn pomiarowych i sprawdzianów materialnych może prowadzić zarówno do odrzucenia wyrobów zgodnych z wymaganiami (błędów I rodzaju) jak i do przyjęcia wyrobów niezgodnych z wymaganiami (błędów II rodzaju).

W [P10] przedstawiłem krytyczną analizę aktualnego stanu normalizacji w zakresie specyfikacji geometrii wyrobów. Wykorzystałem m.in. moje doświadczenie zdobyte podczas kierowania projektem *Geometrical Product Specifications – Course for Technical Universities* zrealizowanym w ramach programu *Leonardo da Vinci* Komisji Europejskiej. Efektem projektu był podręcznik wraz z płytą CD, zatytułowany tak jak projekt, wydany w trzech językach angielskim, polskim i niemieckim. Jestem redaktorem i współautorem tego podręcznika. Po trzech latach z mojej inicjatywy na jego podstawie Wydawnictwa Naukowo-Techniczne wydały zaktualizowaną i przeredagowaną przez mnie monografię *Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Podręcznik europejski*. Przemyslenia podczas prac nad tą monografią wykorzystałem również w [P10]. Pokazałem, że rozwój i modelowanie nowych narzędzi specyfikacji geometrii wyrobów są niezwykle istotne, gdyż nadal popularne definiowanie geometrii wyrobów za pomocą wymiarów nominalnych z odchyłkami granicznymi jest zdecydowanie niejednoznaczne. Wskazałem, iż w związku z coraz szerszym stosowaniem współrzędnościowej techniki pomiarowej konieczna jest zmiana koncepcji tworzenia nowych norm. Normy powinny zwierać zestawy reguł, które z jednej strony pozwolą konstruktorowi na jednoznaczną specyfikację oczekiwanych wymagań funkcjonalnych, a z drugiej strony umożliwią jednoznaczne zdekodowanie zastosowanych oznaczeń przez technologa oraz metrologa. Ponadto w przyszłości takie nowe normy pozwolą na zalgorytmizowaną komputerową analizę i przetwarzanie rysunków dla potrzeb procesów wytwarzania i kontroli. Podkreśliłem, iż należy odrzucić dotychczasową praktykę tworzenia norm jako zbioru rysunków z przykładami zastosowań poszczególnych oznaczeń tolerancji geometrycznych i oczekiwaniem, że konstruktor będzie „interpolował” lub „ekstrapolował” podane przykłady w celu zapewnienia żądanych wymagań funkcjonalnych. Niestety nie zawsze technolodzy i metrologowie stosują tą samą myśl przy „interpolacji” lub „ekstrapolacji” tak otrzymanego rysunku, co może prowadzić do konfliktów przy kontroli odbiorczej podczas oceny zgodności wyrobu ze specyfikacją. Równocześnie sformułowałem tezę, że prace normalizacyjne powinny się toczyć równolegle w dwóch kierunkach. Z jednej strony, w perspektywie krótkoterminowej, aktualne normy powinny być doskonałe i rozszerzane poprzez uzupełnianie zbioru dostępnych oznaczeń oraz pokazanie nowych przykładów zastosowań tolerancji. Z drugiej zaś strony, w dłuższej perspektywie czasowej, konieczne jest opracowanie całkowicie nowych norm, które powinny w sposób zalgorytmizowany, poprzez sformułowanie w każdej z norm zbioru reguł, spójnie i jednoznacznie określać sposoby kodowania – przez konstruktorów oraz dekodowania – przez technologów i metrologów, specyfikacji tolerancji geometrycznych w dokumentacji technicznej wyrobu. Należy zaznaczyć, że [P10] jest dowodem uznania moich prac naukowych w zakresie specyfikacji geometrii wyrobów w skali międzynarodowej. W 2007 r.

zostałem zaproszony do wygłoszenia *Keynote paper State of art in standardization in GPS area* na renomowanej konferencji 10th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing CAT 2007 zorganizowanej przez University of Erlangen-Nuremberg (Niemcy). Prezentacja spotkała się z dobrym przyjęciem zaś po konferencji jej rozszerzona oraz uaktualniona wersja ukazała się jako [P10]. Artykuł [P10] był cytowany 54 razy przez autorów z wielu krajów, co pokazano na Rys. 1.



Rys. 1. Cytowania artykułu [P10] – łącznie 54; 7 cytowań w 2018 roku; źródło [<https://scholar.google.pl>]. Baza Scopus podaje 43 cytowania.

W [P9] zaproponowałem uogólnienie i rozszerzenie wymagania maksimum materiału (MMR) i wymagania minimum materiału (LMR) na elementy integralne, które nie są elementami wymiarowalnymi. MMR i LMR w normie międzynarodowej ISO 2692 są sformułowane tylko dla elementów wymiarowalnych (elementów typu wałek/otwór). Z wykorzystaniem specjalnie przygotowanych rysunków pokazałem, że wymagania maksimum materiału i wymagania minimum materiału określają dwa warunki. Zaobserwowany element tolerowany nie powinien przekraczać stanu wirtualnego maksimum /minimum materiału, którego usytuowanie jest określone względem bazy lub układu baz oraz na zaobserwowany element tolerowany są narzucone ograniczenia co do jego wymiarów dwu-punktowych. Następnie wskazałem, iż w zespołach i maszynach spotyka się wiele części, które formalnie nie są elementami wymiarowalnymi, co oznacza, że nie można ich zdefiniować z wykorzystaniem wymiarów. Tak więc norma ISO 2692 nie może zostać wykorzystana do ich tolerowania przy czym części te pełnią analogiczną funkcję jak elementy typu wałek/otwór. Wychodząc z tej przesłanki sformułowałem tezę, iż dla takich elementów potrzebne są nowe narzędzia do określenia ich stanu wirtualnego maksimum materiału. W tym celu zaproponowałem zastosowanie dwóch tolerancji geometrycznych ograniczających razem usytuowanie i postać współpracujących części. Postulowane łączne wykorzystanie tolerancji profilu powierzchni i tolerancji pozycji stwarza nowe możliwości funkcjonalnej specyfikacji geometrii wyrobów. Zaproponowałem również uogólnienie koncepcji wymagania minimum materiału, wykorzystywanego do zapewnienia minimalnej grubości ścianki, w sposób analogiczny – poprzez łączne zastosowanie tolerancji profilu powierzchni i tolerancji pozycji. W podsumo-

waniu podkreśliłem, iż zaproponowane uogólnienie wymagań MMR i LMR jest celowe i możliwe dzięki rozszerzonej interpretacji obecnie dostępnych symboli charakterystyk geometrycznych. Tak więc koncepcja ta powinna być łatwo zrozumiała i zaakceptowana przez tych konstruktorów w przemyśle, którzy umiejętnie wykorzystują ustalenia obecnie znormalizowane.

W [P8], której współautorem jest mój były dyplomant, mój udział szacuję na 80%. Moim pomysłem jest zastosowanie technik animacyjnych jako skutecznego sposobu modelowania i prezentacji koncepcji wymagania maksimum materiału (MMR). Zaprojektowałem krążek z szykiem kołowym trzech otworów dla których wyspecyfikowałem tolerancję pozycji względem układu baz. Układ trzech baz ustalają: baza główna – płaszczyzna, baza drugorzędna – otwór środkowy z wymaganiem maksimum materiału dla tolerancji prostokątności względem płaszczyzny oraz baza trzeciorzędna – rowek na brzegu krążka również z wymaganiem maksimum materiału dla jego tolerancji pozycji względem układu baz: płaszczyzny oraz otworu środkowego z MMR. Dla tego elementu opracowałem koncepcję sprawdzianu materialnego oraz zaproponowałem kolejność sekwencji scen animacji pokazujących sposób dochodzenia do ostatecznego rozwiązania konstrukcyjnego sprawdzianu, który powinien być wdrożony w warunkach produkcyjnych. Dzięki temu, iż umiejętnie zaprojektowałem przykładowy wyrób w tym artykule mogłem pokazać wszystkie aspekty zastosowania wymagania maksimum materiału. W szczególności wykazałem, że MMR dla bazy dopuszcza dodatkową ruchliwość stanu wirtualnego maksimum materiału dla elementu tolerowanego, gdy baza odbiega od stanu maksimum materiału, co tylko w nielicznych przypadkach pozwala zwiększyć tolerancję o różnicę wymiaru maksimum materiału bazy i wymiaru zaobserwowanego elementu skojarzonego z bazą. We wnioskach podkreśliłem, że opracowana animacja znalazła uznanie w oczach uczestników seminariów, które prowadziłem dla przemysłu, zaś zebrane doświadczenia są wykorzystywane do budowy aplikacji do komputerowego modelowania zasad i reguł stosowania tolerancji geometrycznych. Artykuł [P8] opublikowany w miesięczniku IMEKO *Measurement* był cytowany 11 razy wg Google Scholar, 12 razy wg Scopus i 6 razy wg Web of Science.

W [P7], której współautorem jest kolejny mój były dyplomant, z którym współpracuję do dziś, co potwierdzają kolejne wspólne publikacje o zasięgu krajowym i międzynarodowym mój udział szacuję na 70%. Obecnie M. Berta pracuje dla wiodącego światowego producenta centrów tokarskich i frezarskich sterowanych numerycznie. W [P7] pokazaliśmy nowatorską aplikację *Tolerancje geometryczne* opracowaną jako odpowiedź na zidentyfikowane przeze mnie w kontaktach z przemysłem zapotrzebowanie na ustawiczne dokształcanie i doskonalenie. Potrzeba skutecznego, nowoczesnego nauczania z wykorzystaniem technik multimedialnych jest również widoczna na wyższych uczelniach technicznych. Wykonane przeze mnie badania literaturowe oraz przegląd Internetu wykazały, że brak jest tego typu aplikacji pokazującej oznaczenia tolerancji geometrycznych i modyfikatory oraz ich interpretację zgodnie z systemem norm międzynarodowych ISO GPS. Moim pomysłem jest

koncepcja przejrzystej struktury aplikacji *Tolerancje geometryczne z Ekranem startowym* z którego poprzez kliknięcie wybranego symbolu tolerancji następuje przejście do *Ekranu wyboru* sformatowanego w postaci listy przycisków z przykładami zastosowania wybranej tolerancji. Kliknięcie *Przycisku przypadku* na tym ekranie otwiera *Ekran specyfikacji*. Po zapoznaniu się z regułami specyfikacji wybranej tolerancji użytkownik może przejść do *Ekranu interpretacji* za pomocą menu rozwijalnego dostępnego po prawej stronie każdego *Ekranu specyfikacji*. W każdym przypadku modelowanie tolerancji geometrycznej rozpoczyna się od pokazania elementów rzeczywistych, czyli elementów ze znacznymi odchyłkami geometrycznymi, które specjalnie indywidualnie opracowałem dla każdego z przypadków, aby ewidentnie pokazać wymagania wprowadzone przez poszczególne tolerancje i modyfikatory. Dla każdej z interpretacji zaproponowałem koncepcję sekwencji kilku animowanych scen uruchamianych przyciskami *Dalej/Wstecz*. W wielu scenach wprowadziłem uzupełniające informacje wyjaśniające, które są dostępne za pomocą dodatkowych przycisków *Pole informacyjne*. Dzięki temu uzyskałem lepszą organizację graficzną ekranów oraz mogłem zwrócić uwagę na istotne informacje dotyczące analizowanej tolerancji, a także uniknąłem przytłoczenia użytkownika przez nadmiar informacji równocześnie wyświetlanych na ekranie. Dla *Pól informacyjnych* aplikacji opracowałem szczegółowe opisy w formie tekstowej lub algebraiczno-tekstowej. Przy opracowaniu koncepcji aplikacji *Tolerancje geometryczne* wykorzystałem doświadczenie zdobyte przy eksploatacji pojedynczej animacji [P8] oraz wcześniejsze doświadczenia [9, 11, 13]. Jedną ze znaczących zmian było zastąpienie statycznych rysunków bitmapowych dynamicznymi rysunkami wektorowymi zapewniającymi znacznie lepszą jakość grafiki przy zdecydowanie mniejszej wielkości plików. Ponadto całą aplikację przygotowano z wykorzystaniem środowiska Adobe Flash Professional CS5 w postaci autonomicznej strony internetowej możliwej do instalacji i uruchomienia zarówno w sieci jak i lokalnie, bezpośrednio na komputerze użytkownika. Należy zaznaczyć, że na *Ekranie startowym* pokazanym w [P7], tylko część przycisków jest aktywna, gdyż opracowanie kompletnej aplikacji jest uwarunkowane wynikami badań, które konsekwentnie prowadzę w zakresie praktycznych zastosowań oraz doskonalenia tolerancji geometrycznych. Gdy pisałem artykuł opracowanie aplikacji *Tolerancje geometryczne* zostało perspektywicznie przewidziane na kolejne lata [P6-P1]. Mój wkład pracy w [P7] obejmuje ponadto opracowanie pokazanych na zrzutach ekranu koncepcji scen prezentacji specyfikacji i modelowania tolerancji prostopadłości płaszczyzny względem układu baz zdefiniowanego przez dwie płaszczyzny oraz scenariusza ekranów prezentacji i modelowania wymagania maksimum materiału dla elementu walcowego wewnętrznego z wymaganiami dotyczącymi wymiaru i kierunku (prostopadłości).

W [P6] mój udział szacuję na 70%. W [P6] stwierdziłem, że zadanie doboru właściwej strategii przy pomiarach z wykorzystaniem współrzędnościowej techniki pomiarowej składa się z wielu etapów przy czym aktualne normy systemu ISO GPS w wielu przypadkach pozostawiają nadmierną

swobodę operatorowi współrzędnościowej maszyny pomiarowej podczas pisania programu pomiarowego. Na podstawie moich prac naukowo-badawczych prowadzonych z wykorzystaniem współrzędnościowej maszyny pomiarowej stwierdziłem, że wybór różnych strategii pomiarowych, a nawet innych parametrów w ramach tej samej strategii może niejednokrotnie powodować, że ten sam wyrób zostanie różnie oceniony, co do jego zgodności/niezgodności ze specyfikacją. W [P6] przedstawiłem czytelnikowi krajowemu ustalone przez mnie zadania aplikacji *Tolerancje geometryczne* oraz syntetycznie intuicyjną strukturę tej aplikacji, której jestem pomysłodawcą. Następnie zaproponowałem strategię wg której mogą być zbierane punkty z powierzchni badanego wałka, sposób modelowania pola tolerancji oraz wyznaczenia odchyłki prostoliniowości tworzącej. Strategię pomiaru przedstawiłem wykorzystując sześć zrzutów ekranu z wybranymi klatkami z wieloklatkowych wizualizacji pokazanych w sekwencji scen animacji. Zaproponowana przeze mnie możliwość modelowania pól tolerancji oraz dynamiczne pokazanie sposobu wyznaczania odchyłek jest istotną zaletą aplikacji. Pozwala to obserwowającemu animację łatwiej zrozumieć sens techniczny ograniczeń wprowadzanych przez specyfikacje poszczególnych tolerancji geometrycznych.

W [P5] mój udział szacuję na 70%. W [P5] pokazałem przede wszystkim moją koncepcję jak można modelować cele i różnice między tolerancją wyspecyfikowaną w sposób klasyczny, bez modyfikatorów po wartości tolerancji definiującą walcowe pole tolerancji dla elementu pochodnego (osi zaobserwowanej) i tym samym symbolem tolerancji z wymaganiami maksimum materiału (MMR), umieszczonym po wartości tolerancji definiującym powłokę. Powłoki tej (stanu wirtualnego maksimum materiału) nie powinna naruszać powierzchnia zaobserwowana elementu tolerowanego integralnego. W szczególności dla zaprojektowanej sekwencji scen wieloklatkowych określiłem i wyjaśniłem różnice między tolerancją pozycji dla szyku dwóch otworów bez wymagania maksimum materiału i z wymaganiem maksimum materiału. W obu przypadkach układ baz wyznaczają trzy elementy bazowe – trzy nominalnie prostopadłe ścianki płytki z dwoma otworami. Sekwencję jedenastu scen dla modelowania tolerancji pozycji szyku dwóch otworów bez MMR kończą wizualizacje, w których walce reprezentujące pola tolerancji zmniejszają swoje średnice, tak aby uzyskać walce opisane najmniejsze dla osi każdego z tolerowanych otworów. Średnice tych walców wyznaczają odchyłki pozycji poszczególnych otworów. Sekwencję sześciu scen dla animacji tolerancji pozycji szyku dwóch otworów z MMR kończą wizualizacje, w których wyraźnie wskazałem, że celem funkcjonalnym zastosowania wymagania maksimum materiału jest montowalność tolerowanych elementów. Należy podkreślić, że strukturę aplikacji *Tolerancje geometryczne* zaprojektowałem tak, aby korzystając cały czas z jednego ekranu *Wybór przypadku* można było analizować różnorodne zastosowanie jednego z czternastu symboli charakterystyk geometrycznych, albo alternatywnie skoncentrować się na analizie różnych możliwości wykorzystania jednego z modyfikatorów.

W [P4] mój udział szacuję na 60%. Przeprojektowałem ekran startowy aplikacji *Tolerancje geometryczne*, tak aby zapewnić łatwy dostęp do nowych opcji, m.in. wprowadziłem nowe przyciski *Bazy* oraz *Wymiar*, ponadto zmieniłem kolumnę przycisków *Modyfikatory* przy lewej krawędzi ekranu. *Ekran interpretacji* w aplikacji *Tolerancje geometryczne* wykorzystuję – w zależności potrzeb – do modelowania pola/pól tolerancji dla prezentowanej specyfikacji albo do wizualizacji metody weryfikacji zgodności wyrobu z analizowaną specyfikacją. Przy modelowaniu pola/pól tolerancji pokazuję ich stopnie swobody, które nie zostały odebrane przez bazę lub układ baz. W scenach z odtwarzaną w powtarzanym cyklu sekwencją klatek wizualizowane jest możliwe przechylenie, obrót i/lub przesunięcie pola/pól tolerancji. Pierwszą animacją, którą zaprezentowałem w [P4] jest animacja tolerancji pozycji z modyfikatorem zewnętrzne pole tolerancji względem układu trzech baz zastosowana w celu zapewnienia przecinania się osi dwóch otworów. W tej animacji pokazałem, jak zewnętrzne pole tolerancji jest usytuowane w weryfikowanym wyrobie. Drugą modelowaną tolerancją, jest tolerancja nachylenia płaszczyzny względem płaszczyzny bazowej. Ponadto zaproponowałem, jak za pomocą klasycznego wyposażenia pomiarowego można zweryfikować zgodność wyrobu ze specyfikacją.

W [P3] mój udział szacuję na 80%. Artykuł [P3] jest podsumowaniem kolejnego etapu moich prac naukowo-badawczych nad tolerancjami geometrycznymi oraz potrzebą i możliwościami ich modelowania z wykorzystaniem technik animacyjnych. We wstępie w oparciu o własne doświadczenie ze współpracy z konstruktorami, technologami i metrologami stwierdziłem, że w przemyśle można zaobserwować wzrastającą świadomość konieczności stosowania tolerancji geometrycznych, jak również pojawiło się zwiększające się zapotrzebowanie na seminaria z tej tematyki. Sformułowane spostrzeżenia potwierdza cytowana literatura. Zrealizowana przeze mnie analiza literatury poświęconej *e-learningowi* ze szczególnym uwzględnieniem metodyki budowy i wykorzystania animacji wykazała, że analogiczne rozwiązania, do tych które zastosowałem są akceptowane i wykorzystywane w świecie jako skuteczne narzędzia wzrostu przyswojenia wielu prezentowanych treści. Wszystkie okna aplikacji zaprojektowałem tak, aby aplikacja mogła być wykorzystana w sposób intuicyjny, przez każdego użytkownika, który choć raz korzystał ze strony internetowej. Dzięki zaprojektowanemu przeze mnie interfejsowi graficznemu obsługa aplikacji jest łatwa, ponieważ użytkownik może korzystać z umiejętności już nabytych i nie musi przyswajać nowych. Przyjazny i intuicyjny interfejs ułatwia korzystanie z aplikacji oraz pozwala użytkownikowi skoncentrować się na zagadnieniu modelowanych tolerancji geometrycznych. Moim pomysłem jest zaprezentowana w [P3] sekwencja animowanych scen pokazujących sposób wyznaczania odchyłki bicia obwodowego promieniowego z wykorzystaniem czujnika zegarowego i obrotu sprawdzanej powierzchni wokół osi bazowej. Wizualizowana jest również tarcza czujnika, na której ruchomy sektor reprezentuje wartość tolerancji. Animację kończy ekran na którym dynamicznie pokazują, że odchyłka bicia obwodowego promieniowego jest wypadkową

odchyłki okrągłości i współśrodkowości profilu w badanym przekroju. W końcowej części tekstu zaprezentowałem moją koncepcję modelowania wymagania wzajemności jako wymagania uzupełniającego do wymagania maksimum materiału dla elementu walcowego zewnętrznego z wymaganiami dotyczącymi wymiaru i prostopadłości. W tym celu zaprojektowałem sprawdzian funkcjonalny.

W [P2] mój udział szacuję na 70%. Artykuł [P2] odzwierciedla część moich prac naukowo-badawczych związanych z przygotowaniem i publikacją najnowszego czwartego wydania normy ISO 1101, która została ustanowiona w 2017 roku oraz realizacją projektu europejskiego Erasmus+ *Geometrical Product Specification and Verification as toolbox to meet up-to-date technical requirements – GPS&V Toolbox*. Należy zwrócić uwagę, że norma ISO 1101 została w znacznym stopniu znowelizowana. Wprowadzono nowe oznaczenia i definicje, które pozwalają konstruktorowi lepiej opisać charakterystyki wyrobu zapewniające spełnienie oczekiwanych wymagań funkcjonalnych. Zmieniono, w celu doprecyzowania, nazwy i definicje wielu elementów języka graficznego specyfikacji geometrii wyrobów systemu ISO GPS. Dopracowano narzędzia specyfikacji geometrii wyrobów w dokumentacji 3D. Wprowadzono możliwość wyboru typu elementu tolerowanego oraz typu elementu odniesienia, a także określono zasady definiowania filtracji. Przykładowo dla tolerancji okrągłości dotychczasowym ustaleniem było tylko to, że domyślnie wartość odchyłki okrągłości powinna być wyznaczona za pomocą okręgów odniesienia najmniejszej strefy. Moim pomysłem przedstawionym w [P2] jest sposób wizualizacji pomiaru odchyłki okrągłości na okrągłościomierzu z pokazaniem możliwości wyboru takich parametrów jak typ filtru i jego pasmo przenoszenia zastosowane do filtracji surowego wyniku pomiaru, wyspecyfikowany okrąg odniesienia oraz wskazany parametr określający wartość odchyłki. Zaproponowałem bardzo realistyczną koncepcję wizualizacji pomiaru z mierzonym elementem ustawionym na animowanym obracającym się stoliku okrągłościomierza oraz ruchomą końcówką pomiarową czujnika animowaną w czasie pomiaru. Czujnik zamocowany jest w karetku przesuwanej po kolumnie okrągłościomierza. Mierzony profil jest dynamicznie wyświetlany w funkcji kąta obrotu stolika. Pomiar poprzedza animowana procedura pionowania i centrowania mierzonego elementu. Ponadto w końcowej scenie wprowadziłem odwołanie do reguł orzekania o zgodności lub niezgodności ze specyfikacją określonych w normie ISO 14253-1:2017. W podsumowaniu podkreśliłem, że efektywność i skuteczność aplikacji *Tolerancje geometryczne* została wielokrotnie potwierdzona w sposób jakościowy, m.in. poprzez pozytywne opinie w ankietach, natomiast nie realizowałem badań ilościowych, gdyż wymagało by to utworzenia grupy referencyjnej nie mającej dostępu do aplikacji, co byłoby nieetyczne w stosunku do studentów.

W [P1] mój udział szacuję na 70%. Obecnie aplikacja *Tolerancje geometryczne* zawiera ponad sto zaprojektowanych przeze mnie animacji różnych tolerancji geometrycznych bez modyfikatorów lub z modyfikatorami. Aplikację opracowałem na podstawie wyników moich prac naukowo-

badawczych w zakresie modelowania specyfikacji geometrii wyrobów, współpracy z przemysłem oraz analiz wykonanych na rzecz Komitetu Technicznego ISO/TC 213 *Specyfikacje wymiarowe i geometryczne oraz weryfikacja wyrobów*, jak również doświadczenia zdobytego w Polskim Komitecie Normalizacyjnym w Komitecie Technicznym KT 48 ds. *Podstaw Budowy Maszyn*, którego jestem obecnie przewodniczącym. Moje przemyślenia wielokrotnie prezentowałem na posiedzeniach grup roboczych ISO/TC 213. Każda analizowana specyfikacja składa się z kilku lub kilkunastu scen z których znaczna część to animowane sceny wieloklatkowe. W [P1] przeanalizowałem specyfikację z wymaganiem maksimum materiału dla elementu walcowego wewnętrznego z wymaganiami dotyczącymi wymiaru i położenia (pozycji) względem układu trzech baz: bazy głównej płaszczyzny, bazy drugorzędnej elementu walcowego zewnętrznego (trzcienia) z wymaganiami dotyczącymi wymiaru i kierunku (prostopadłości) oraz bazy trzeciorzędnej elementu przyrządkowego wewnętrznego (rowka) z wymaganiami dotyczącymi wymiaru i położenia (symetrii). Do wizualizacji weryfikacji tak zdefiniowanej specyfikacji zaprojektowałem materialny sprawdzian funkcjonalny oraz kilka rzeczywistych wyrobów z odchyłkami pozwalającymi w sekwencji animowanych wieloklatkowych scen modelować najbardziej interesujące przypadki graniczne. Przykładowo, gdy zaobserwowany element bazowy o wymiarze minimum materiału przy wymaganiu maksimum materiału wyspecyfikowanym dla tego elementu nie pozwala na powiększenie tolerancji dla elementu tolerowanego. Zastosowanie zaproponowanego sposobu tolerowania pozwala jednoznacznie opisać żądane właściwości funkcjonalne części współpracujących w zespole z możliwie największymi tolerancjami, co zapewnia producentom znaczne korzyści ekonomiczne.

Aplikacja *Tolerancje geometryczne* jest jednym z wdrożonych rezultatów moich prac naukowo-badawczych w obszarze modelowania tolerancji geometrycznych. Przydatność aplikacji zweryfikowałem w praktyce. Zarówno w warunkach przemysłowych, głównie w przemyśle samochodowym i lotniczym, jak i na uczelniach technicznych oraz we współpracy w projekcie europejskim Erasmus+, w którym kierowałem zespołem realizatorów z Politechniki Warszawskiej. Aplikacja została opracowana w wersjach polskojęzycznej oraz anglojęzycznej.



5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

5a) Wykaz wybranych publikacji przygotowanych po uzyskaniu stopnia doktora

W ostatnich kilkunastu latach przygotowałem wiele artykułów, prezentacji konferencyjnych, skryptów, podręczniki oraz materiały edukacyjne i informacyjne, w których przedstawiłem wyniki moich badań w zakresie modelowania specyfikacji geometrii wyrobów mające wyraźnie aplikacyjny charakter. Mój dotychczasowy dorobek naukowy w postaci artykułów opublikowanych w czasopiśmie międzynarodowych, w ogólnokrajowych czasopiśmie naukowych oraz referatów wygłoszonych na konferencjach zagranicznych, konferencjach międzynarodowych organizowanych w Polsce i konferencjach krajowych obejmuje łącznie blisko 150 pozycji (indywidualne i zespołowe). Poniżej podałem wybrane publikacje, z ponad 130 pozycji, które przygotowałem po uzyskaniu stopnia doktora oraz syntetycznie przedstawiłem główne kierunki moich badań na podstawie których powstały niniejsze publikacje.

1. Płowucha W., Humienny Z., Mathieu L., Savio E.: *GPS&VToolbox – project that facilitates professional training in ISO GPS system*. Proceedings 18th International Conference & Exhibition, euspen 2018. European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, p. 517-518. Mój udział w tej publikacji szacuję na 30%.
2. Humienny Z.: *New tools for unique geometrical tolerancing implemented in recently published GPS standards*. Plenary presentation XIII International Scientific Conference Coordinate Measuring Technique. CMT 2018, Abstracts p. 24. ATH Bielsko-Biała, 2018. Mój udział w tej publikacji 100%.
3. Gzowski Ł., Siemiński P., Grygoruk R., Humienny Z.: *Badanie dokładności drukarek 3D poprzez ocenę odchyłek okrągłości i walcowości nowego wyrobu wzorcowego*. Mechanik 12, s. 1902-1903, 2016. Lista B MNiSzW, punktów 11. Mój udział w tej publikacji szacuję na 20%.
4. Humienny Z., Berta M.: *Datum system establishment on CMM versus datum system indication on drawing*. XII International Scientific Conference Coordinate Measuring Technique. CMT 2016, Abstracts p. 14. ATH Bielsko-Biała, 2016. Mój udział w tej publikacji szacuję na 70%.
5. Humienny Z.: *Badania odbiorcze i okresowe współrzędnościowych systemów pomiarowych*. Wiadomości PKN – Normalizacja. s. 20-21, 3/2016. Mój udział w tej publikacji 100%.
6. Płowucha W., Jakubiec W., Humienny Z., Hausotte T., Savio E., et al.: *Geometrical Product Specification & Verification as toolbox to meet up-to-date technical requirements*. XI International Scientific Conference Coordinate Measuring Technique. CMT 2014. Proceedings p. 131-139, ATH Bielsko-Biała, 2015. Mój udział w tej publikacji szacuję na 15%.
7. Humienny Z., Berta M.: *Animation as efficient and effective tool for dissemination of the tolerance combination concept for profile tolerance of a surface*. Didactics in coordinate metrology. Ed. W. Płowucha. p. 15-24. ATH. Bielsko-Biała, 2012. Mój udział w tej publikacji szacuję na 70%.
8. Dudziak M., Humienny Z., Kołodziej A.: *Znaczenie specyfikacji geometrii wyrobów w procesie konstruowania i wytwarzania części maszyn*.

- Mechanik nr 5/6, s. 356-366, 2010. Lista B MNiSW, punktów 9. Mój udział w tej publikacji szacuję na 50%.
9. Humienny Z., Bonarowski J., Stańczuk R., Urbaniak P., Wojtczak K.: *Wykorzystanie języka Visual Basic w programie Tolerancje geometryczne – definicje i wyznaczanie odchyłek*. Przegląd Mechaniczny, zeszyt 7-8, s. 23-26, 2008. Mój udział w tej publikacji szacuję na 30%.
 10. Humienny Z.: *Nowe możliwości tolerowania funkcjonalnego*. Współrzędnościowa technika pomiarowa. Problemy i zastosowania. (red. E. Ratajczyk, W. Jakubiec). s. 147-154. ATH, Bielsko-Biała 2008. Mój udział w tej publikacji 100%.
 11. Humienny Z., Bonarowski J., Stańczuk R., Urbaniak P., Wojtczak K.: *New multimedia training course in geometrical tolerancing*. Proceedings 9th International Symposium on Measurement & Quality Control, p. 335-338, Indian Institute of Technology, Madras 2007. Mój udział w tej publikacji szacuję na 40%.
 12. Humienny Z.: *Tolerancje geometryczne – jak mierzyć zgodnie z nowymi normami ISO*. KM'2007 Kraków. Pomiar – Automatyka – Kontrola, vol. 53, nr 9 bis, s. 497-498, 2007. Mój udział w tej publikacji 100%.
 13. Humienny Z., Bonarowski J., Stańczuk R., Urbaniak P., Wojtczak K.: *Edukacyjny program multimedialny Tolerancje Geometryczne – definicje i wyznaczanie odchyłek*. Przegląd Mechaniczny, 9S, v. LXVI, s. 18-23, 2007. Mój udział w tej publikacji szacuję na 40%.
 14. Humienny Z.: *Tolerancje kształtu, kierunku, położenia i bicia – ustalenia nowej Polskiej Normy*. cz. 1 Mechanik nr 3, s. 160-164; cz. 2 Mechanik nr 4, s. 295-297, 2007. Mój udział w tej publikacji 100%.
 15. Humienny Z.: *Nowe spojrzenie na tolerancje geometryczno-wymiarowe*. *Pomiary – Automatyka – Kontrola*, nr 1, s. 27-30, 2007. Mój udział w tej publikacji 100%.
 16. Humienny Z., Wilhelm R.: *Evaluation of CMM According to ISO and ASME Standards*. VIIth International Scientific Conference Coordinate Measuring Technique. Zeszyty Naukowe ATH, Konferencje Nr 7, z. 22, s. 133-144, Bielsko-Biała, 2006. Mój udział w tej publikacji szacuję na 70%.
 17. Białas S., Humienny Z., Kiszka K., Leśniewicz A.: *Układ tolerancji i pasowań ISO wspomagany komputerowo*. XV Kon. Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo. IPBM, Politechnika Warszawska. Zbiór referatów, s. 23-30, 2005. Mój udział w tej publikacji szacuję na 20%.
 18. Humienny Z., Wilhelm R., Raja J.: *Metrology of Geometrical Quantities at the University of North Carolina at Charlotte*, XI Krajowa II Międzynarodowa Konferencja Techniczna Metrologia w Technikach Wytwarzania, Politechnika Lubelska, Materiały konferencyjne, s. 175-182, 2005. Mój udział w tej publikacji szacuję na 60%.
 19. Humienny Z. (red.), Osanna P.H., Tamre M., Weckenmann A., Blunt L., Jakubiec W. i inni: *Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – Podręcznik europejski*. s. 540. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004. Mój udział w tej publikacji szacuję na 18%.
 20. Białas S., Humienny Z., Żach P.: *Verification errors due to elasticity of gap gauges*. 8th International Symposium on Measurement & Quality Control

- in Production, VDI-Berichte 1860, p. 457-469, VDI Verlag GmbH Dusseldorf, 2004. Mój udział w tej publikacji szacuję na 30%.
21. Humienny Z.: *Niepewność specyfikacji i niepewność weryfikacji w metrologii wielkości geometrycznych – uogólnienie terminu niepewność*. Kongres Metrologii KM'2004. Materiały konferencyjne, s.177-180, Wrocław, 2004. Mój udział w tej publikacji 100%.
 22. Humienny Z.: *Operacja konstruowanie w dokumentach ISO i oprogramowaniu pomiarowym PCDMIS CAD++*. VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa WTP. Zeszyty Naukowe ATH Bielsko-Biała, Konferencje Nr 6, z. 10, s. 101-108, Bielsko-Biała, 2004. Mój udział w tej publikacji 100%.
 23. Bonarowski J., Galas P., Humienny Z.: *Wirtualny Mikrometr*. XIV Konf. Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo. IPBM, Politechnika Warszawska. Zbiór referatów, s. 93-101, Warszawa, 2003. Mój udział w tej publikacji szacuję na 40%.
 24. Humienny Z., Iwańczuk M.: *Wykorzystanie modelowania przestrzennego w systemie CATIA do wizualizacji możliwości pomiarowych suwmiarki*. IX Konferencja Metrologia w Technikach Wytwarzania. Kraków, t.1, s. 189-195, 2003. Mój udział w tej publikacji szacuję na 60%.
 25. Humienny Z., Johansson G., Kulesza W.: *Application of Vectorial Dimensioning and Tolerancing to an unique 3-D stackup analysis*. Proceedings XVII IMEKO World Congress. ed. D. Ilić, p. 1790-1793, Dubrownik, 2003. Mój udział w tej publikacji szacuję na 50%.
 26. Humienny Z.: *Pomiary współrzędnościowe i normalizacja*. Normalizacja vol. LXX, nr 7, s. 13-18, 2002. Mój udział w tej publikacji 100%.
 27. Humienny Z.: *Wspomaganie komputerowe w metrologii wielkości geometrycznych*. Mechanik, vol. 75, nr 3, s. 204-207, 2002. Mój udział w tej publikacji 100%.
 28. Weckenmann A. (ed.), Humienny Z. (ed.), Białas S., et al: *Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Kurs für Technische Universitäten*. s. 274. Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf, Germany, 2001, ISBN 3-9805911-6-6. Mój udział w tej publikacji szacuję na 12%.
 29. Humienny Z. (red.), Białas S. i inni: *Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS) – wykład dla uczelni technicznych*. s. 382. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2001. ISBN 83-912190-7-0. Mój udział w tej publikacji szacuję na 12%.
 30. Humienny Z. (ed.), Białas S., et al: *Geometrical Product Specifications – Course for Technical Universities*. p. 382. Warsaw University of Technology Printing House, Warsaw, 2001. ISBN 83-912190-8-9. Mój udział w tej publikacji szacuję na 12%.
 31. Białas S., Humienny Z., Kiszka K.: *Tolerowanie statystyczne – nowe narzędzie do specyfikacji geometrii wyrobów*. Krajowy Kongres Metrologii KKM 2001. Materiały kongresu T.1, s. 79-82, Warszawa 2001. Mój udział w tej publikacji szacuję na 40%.
 32. Humienny Z.: *Geometrical Product Specifications – Joint Approach for Teaching at Technical Universities in Europe*. Polish-French Seminar, p. 47-54. Warsaw, 2000. Mój udział w tej publikacji 100%.

33. Białas S., Humienny Z., Kiszka K.: *Metrology Education at Machinery Engineering Faculty*. Proc. XVI IMEKO World Congress. ed. P.H. Osanna, vol. II, p. 15-20, Wien, 2000. Mój udział w tej publikacji szacuję na 40%.
34. Humienny Z., Thome O., Weber Ch.: *Vectorial Dimensioning and Tolerancing in Computer Aided Tolerancing*. Proceedings of International Conference Mechatronic 2000, p. 447-450, Warsaw, 2000. Mój udział w tej publikacji szacuję na 40%.
35. Humienny Z., Kiszka K.: *Wymiarowanie i tolerowanie wektorowe w analizie wymiarowej*. IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa Współrzędnościowa Technika Pomiarowa, Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej Filia w Bielsku-Białej, seria Budowa i Eksploatacja Maszyn z. 33, s. 95-103, Bielsko-Biała, 2000. Mój udział w tej publikacji szacuję na 70%.
36. Humienny Z.: *Vectorial Dimensioning and Tolerancing – Implementation Problems*. Proceedings XV IMEKO World Congress. Ed. H. Imai, vol. IX, p.115-122, Osaka, 1999. Mój udział w tej publikacji 100%.
37. Humienny Z., Kiszka K.: *Implementation of Vectorial Dimensioning and tolerancing to CAD Systems*. Proc. of International Conference Computer Integrated Manufacturing CIM'99, v. I, p. 188-195, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. 1999. Mój udział w tej publikacji szacuję na 70%.
38. Humienny Z.: *Analiza baz w tolerowaniu geometrycznym*. VII Konferencja Naukowo-Techniczna. Metrologia w Technikach Wytwarzania Maszyn. vol. I. s. 35-43, Politechnika Szczecińska. Szczecin 1999. Mój udział w tej publikacji 100%.
39. Humienny Z.: *Tolerowanie geometryczne w nauczaniu metrologii na wydziale mechanicznym*. Pomiar – Automatyka – Kontrola, vol. XLIV, nr 9, s. 333-338, 1998. Mój udział w tej publikacji 100%.
40. Humienny Z.: *Vectorial Dimensioning and Tolerancing – Integration with CAD Systems*. 6th ISMQC IMEKO TC14 Symposium Metrology for Quality Control in Production, TU Wien, Abteilung Austauschbau und Messtechnik, p. 265-269, Wien, Austria, 1998. Mój udział w tej publikacji 100%.
41. Białas S., Humienny Z.: *Conversion of GD&T into VD&T – Application Problems*. Proceedings IV International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, Miskolc-Lillafured, p. 198-195, ed. I. Dudas, Springer Hungarica Kido Kft., Budapest, Hungary 1998, ISBN 963 8455 578. Mój udział w tej publikacji szacuję na 60%.
42. Białas S., Humienny Z., Kiszka K.: *Relations Between ISO 1101 Geometrical Tolerances and Vectorial Tolerances – Conversion Problems*. in Geometric Design Tolerancing: Theories, Standards and Applications, Ed. Dr. Hoda A. ElMaraghy, Chapman & Hall. 1998, ISBN 0412 83000 0. Mój udział w tej publikacji szacuję na 40%.
43. Białas S., Humienny Z., Kiszka K.: *Vectorial Dimensioning & Tolerancing – Challenge for Designers or Dead End*. Proceedings XIV IMEKO World Congress. vol. VIII, p. 82-87, Tampere, Finland, 1997. Mój udział w tej publikacji szacuję na 40%.
44. Humienny Z., Kozicki B.: *Metodyka automatyzacji procesu budowy łańcuchów wymiarowych płaskich*. XI Konf. Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo. IPBM, Politechnika Warszawska. Zbiór referatów, s. 159-166, Warszawa, 1997. Mój udział w tej publikacji szacuję na 60%.

45. Humienny Z.: *System komputerowo wspomaganej analizy wymiarowej części maszyn*. Przegląd Mechaniczny, vol. LV, s. 7-8, zeszyt 16/96. Mój udział w tej publikacji 100%.
46. Humienny Z.: *New Methodology Towards the Integration of Dimensional Analysis in CAD Systems*. Proceedings XIII IMEKO World Congress, vol. 3, p. 1763-1768, Turyn, 1994. Mój udział w tej publikacji 100%.
47. Humienny Z.: *Perspektywy komputeryzacji analizy wymiarowej części maszyn*. Technologia i automatyzacja montażu. nr 3, s. 16-18, 1994. Mój udział w tej publikacji 100%.
48. Humienny Z.: *Language for Dimensional Analysis*. Proceedings of 3rd CIRP Seminar on Computer Aided Tolerancing, Ecole Normale Superieure of Cachan (Paris), p. 249-266, Editions Eyrolles, Paryż, 1993. Mój udział w tej publikacji 100%.
49. Humienny Z.: *Koncepcja języka formalnego zapisu struktury wybranych układów łańcuchów wymiarowych i system użytkowania tego języka*. Postępy Technologii Maszyn i Urządzeń, Polska Akademia Nauk, Komitet Budowy Maszyn, Sekcja Podstaw Technologii, v. 17, nr 3, s. 45-62, 1993. Mój udział w tej publikacji 100%.

5b) Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania dla wybranych publikacji przygotowanych po uzyskaniu stopnia doktora

W pierwszym okresie mojej pracy naukowej moje zainteresowania skoncentrowały się na rozwoju metod generowania i rozwiązywania łańcuchów wymiarowych. Kierunek moich badań wpisywał się w zakres prac naukowych poświęconych problematyce analizy geometrycznej, zwłaszcza w aspektach komputeryzacji i aplikacji w systemach CAD prowadzonych na Wydziale SiMR PW w zespole prof. dr hab. inż. S. Białasa. Podsumowaniem badań była praca doktorska *Koncepcja zapisu cyfrowego i analizy struktury wybranych układów łańcuchów wymiarowych*. Opracowaną metodę analizy łańcuchów wymiarowych zaprezentowałem syntetycznie w kwartalniku PAN [49]. Prace nad zautomatyzowanym generowaniem łańcuchów wymiarowych i komputerowo wspomaganą analizą tak uzyskanych łańcuchów wymiarowych kontynuowałem przez następnych kilka lat, czego dowodem jest łącznie kolejne 19 publikacji (w tym 6 samodzielnych) m.in. [44-48]. Wyniki prac uzyskały akceptację międzynarodową, o czym świadczy przyjęcie 7 artykułów na konferencje międzynarodowe, w tym na tak uznane jak 3rd CIRP Seminar on Computer Aided Tolerancing [48] oraz XIII IMEKO World Congress [46].

Moje zaangażowanie w tematykę dotyczącą tolerancji geometrycznych [41, 42] spowodowało, że w roku 1996 zostałem powołany przez Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego na członka Normalizacyjnej Komisji Problemowej NKP 48 ds. *Podstaw Budowy Maszyn PKN* (obecnie Komitet Techniczny KT 48 ds. *Podstaw Budowy Maszyn*, którego aktualnie jestem przewodniczącym). W roku 1998 zostałem nominowanym ekspertem Polskiego Komitetu Normalizacyjnego w Komitecie Technicznym ISO/TC 213 *Specyfikacje wymiarowe i geometryczne oraz weryfikacja wyrobów*.

Wyrazem uznania dla moich prac w tym okresie było zakwalifikowanie mnie w maju roku 1997 na tygodniowe seminarium *Summer Academy Tolerancing and Measuring of Geometrical Deviations* w ramach programu Komisji Europejskiej *Training and Mobility of Researches*. Należy podkreślić, iż Polska w tym czasie dopiero starała się o przyjęcie do Unii Europejskiej, tak więc było to znacznym wyróżnieniem. Seminarium prowadzili prof. M. Dietzsch oraz prof. H. Trumpold z Institute for Production Measuring Technology and Quality Assurance z Technical University Chemnitz-Zwickau.

W drugiej połowie lat 90 moje zainteresowanie zwróciły się ku nowoczesnym metodom tolerowania stereometrii części maszyn w pierwszym etapie ku tolerowaniu wektorowemu m.in. [25, 34-37, 40-43], a następnie ku różnym aspektom modeli tolerancji geometrycznych w budowie maszyn m.in. [31, 38, 39]. Przemyslenia dotyczące zalet i granic zastosowań tolerowania wektorowego przedstawiłem w 16 publikacjach (w tym 2 samodzielnych oraz 9 na konferencjach międzynarodowych). W roku 1999 otrzymałem stypendium Niemieckiej Centrali Wymiany Akademickiej DAAD. Dzięki temu stypendium nad tematem tolerowania wektorowego mogłem pracować w listopadzie 1999 roku z zespołem prof. Ch. Webera, Department of Engineering Design/CAD na Uniwersytecie Saarland w Saarbruecken (Niemcy) [34]. Kolejne badania dotyczące wykorzystania wymiarowania i tolerowania wektorowego w analizie wymiarowej [25] prowadziłem przez 2 tygodnie 2002 r. dzięki grantowi Svenska Institutet wraz z zespołem prof. W. Kuleszy (Department of Technology) na Uniwersytecie Kalmar (Szwecja). Koncepcja tolerowania wektorowego wydawała się atrakcyjna, szczególnie z tego względu, że jest spójna matematycznie, co pozwalało przypuszczać, iż tolerowanie wektorowe znajdzie zastosowanie tam, gdzie przewiduje się weryfikację wyrobów za pomocą współrzędnościowej techniki pomiarowej. Niestety w zestawieniu z dotychczasową praktyką przemysłową koncepcja tolerowania wektorowego okazała się zbyt trudna w praktycznym wdrażaniu przez konstruktorów w przemyśle. W szczególności nie można określić oczywistych, prostych, zasad transformacji wymagań funkcjonalnych dla rozważanych części na specyfikacje w ujęciu wektorowym, co spowodowało, że zaprzestałem kontynuowania badań w tym zakresie.

Dalsza moja działalność naukowa skoncentrowała się na rozwoju metod opisu i modelowania dopuszczalnej zmienności geometrii wyrobów bazujących na ujęciu wykorzystującym koncepcję pola tolerancji geometrycznej m.in. [14, 15] oraz problemach niepewności specyfikacji i niepewności weryfikacji m.in. [20, 21]. Moja praca w Komitetach ISO/TC 213 i KT 48, liczne publikacje w obiegu międzynarodowym oraz kontakty z naukowcami z europejskich ośrodków akademickich nawiązane podczas mojego aktywnego udziału w konferencjach międzynarodowych, umożliwiły mi zbudowanie konsorcjum (utworzonego przez 6 partnerów z 5 państw [32]), na czele którego wystąpiłem do Komisji Europejskiej z wnioskiem o przyznanie grantu w ramach *Programu Leonardo da Vinci* na realizację projektu *Geometrical Product Specifications – Course for Technical Universities*. W wyniku badań i prac prowadzonych w ramach tego projektu w latach 2000-2001 powstała pod moją redakcją licząca blisko czterysta stron monografia *Geometrical Product Specifications – Course for Technical Universities* [30] (Rys. 2), wraz z multimedialną interaktywną płytą CD. Do tej zredagowanej przez mnie monografii, napisałem dwa rozdziały

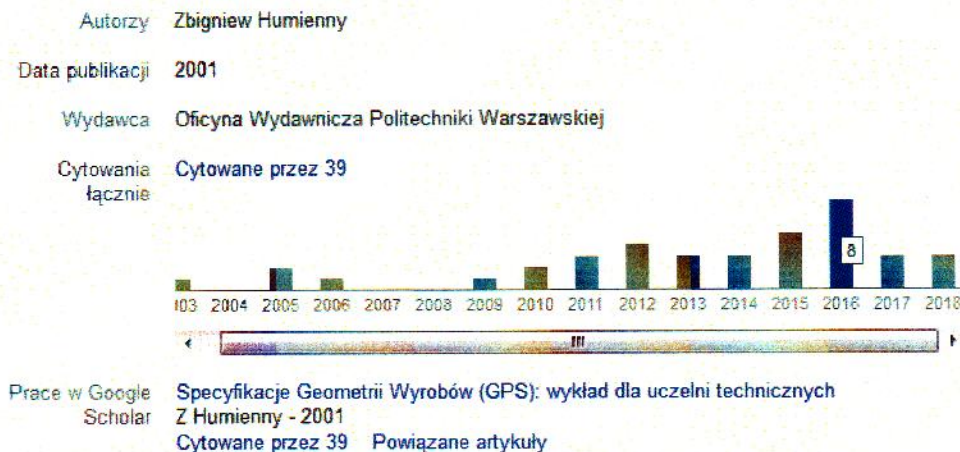
Vectorial Dimensioning and Tolerancing (samodzielnie) oraz jako współautor *Computer Aided Tolerancing and Verification*. Powstały również dwie edycje regionalne. W polskim wydaniu [29] (Rys. 3) zredagowałem wszystkie rozdziały. Wydanie niemieckie [28] zredagowałem wraz z prof. A. Weckenmannem z Uniwersytetu Erlangen-Norymberga.

Geometrical product specifications: course for technical universities



Rys. 2. Cytowania [30] – łącznie 47; 5 cytowań w 2013 roku;
źródło [https://scholar.google.pl].

Specyfikacje Geometrii Wyrobów (GPS): wykład dla uczelni technicznych



Rys. 3. Cytowania [29] – łącznie 39; 8 cytowań w 2016 roku;
źródło [https://scholar.google.pl].

Za monografię [30] w roku 2002, wraz z kierowanym przez ze mnie zespołem autorów, otrzymałem *Nagrodę Zespołową Ministra Edukacji i Sportu*. Monografia wzbudziła zainteresowanie i uznanie na całym świecie, o czym świadczy m.in. 47 cytowań odnotowanych w Google Scholar (Rys. 2) oraz fakt, iż jeden z egzemplarzy został zakupiony przez największego brazylijskiego producenta samolotów – firmę Embraer – Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A. Na najnowsze przywołanie tej monografii, marzec 2019, natknąłem się

w podręczniku *Ispitivanje geometrijskih karakteristika proizvoda* (N. Zaimović-Uzunović, A. Talić-Čikmiš, S. Lemeš, A. Manduka, University of Zenica, Bośnia i Hercegowina).

Koniec lat dziewięćdziesiątych i początek nowego wieku to z jednej strony wzrastające zrozumienie dla konieczności powszechnego stosowania tolerancji geometrycznych oraz implementacji wspomaganie komputerowego w obszarze metrologii wielkości geometrycznych, a z drugiej strony restrukturyzacja planów studiów, co stało się źródłem wielu pytań i wątpliwości. W [32, 39] pokazałem wyzwania związane z kształtowaniem nowych programów nauczania metrologii wielkości geometrycznych oraz wskazałem możliwość wykorzystania doświadczeń czołowych uczelni zagranicznych [18, 32]. W [27] dokonałem przeglądu technik komputerowych i pakietów oprogramowania w zakresie wspomaganie tolerowania geometrii wyrobów i pomiarów odchyłek geometrycznych oraz przedstawiłem możliwości wykorzystania multimedialnej płyty CD, którą współtworzyłem wraz z [30]. W [23, 24] przedstawiłem wirtualny mikrometr oraz wirtualną suwmiarkę, które współprojektowałem na potrzeby dydaktyki. W obszar rozwoju narzędzi wspomaganie komputerowego wpisuje się również mój udział w pracach związanych z komputeryzacją układu kodowania ISO wymiarów liniowych (ISO 286) umożliwiającą obliczanie wskaźników pasowania lub dobór odchyłek granicznych wałka i otworu w zależności od wybranej zasady tworzenia pasowania [17].

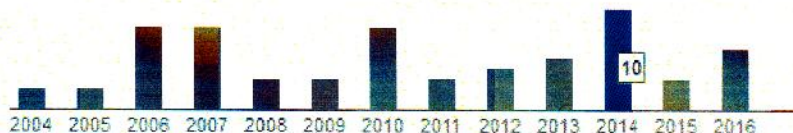
W roku 2004 z mojej inicjatywy i pod moją redakcją Wydawnictwa Naukowo-Techniczne wydały ponad pięciuset stronicową monografię *Specyfikacje Geometrii Wyrobów (GPS) – Podręcznik europejski* [19] (Rys. 4). Należy zaznaczyć, iż nie jest to przedruk polskojęzycznej wersji książki *Geometrical Product Specifications – Course for Technical Universities*. Nowy tytuł podkreśla, że tekst rozszerzyłem, uaktualniłem i zdecydowanie przeredagowałem (ponad 150 stron więcej). Samodzielnie opracowałem dwa rozdziały oraz jako współautor przygotowałem dwa kolejne rozdziały.

Specyfikacje Geometrii Wyrobów (GPS): podręcznik europejski

Autorzy Zbigniew Humienny

Data publikacji 2004

Cytowania łącznie Cytowane przez 65



Prace w Google Scholar Specyfikacje Geometrii Wyrobów (GPS): podręcznik europejski
Z Humienny - 2004
Cytowane przez 65 Powiązane artykuły

Rys. 4. Cytowania [19] – łącznie 65; 10 cytowań w 2014 roku; źródło [<https://scholar.google.pl>].

Cały nakład 2500 egzemplarzy monografii *Specyfikacje Geometrii Wyrobów (GPS) – Podręcznik europejski* [19] został wyczerpany w drugiej połowie 2010 r. Należy podkreślić, że do dziś nadal otrzymuję zapytania z przemysłu, od konstruktorów, technologów i metrologów z prośbą o egzemplarz, co świadczy o trafności i przydatności przedstawionych rozwiązań.

Prace [16, 18] są owocem mojego dwumiesięcznego stypendium na University of North Carolina at Charlotte (USA), gdzie z prof. R. Wilhelmem prowadziłem badania w Centre for Precision Metrology w zakresie metod specyfikacji geometrii wyrobów i pomiarów współrzędnościowych. W [16] przedstawiłem istotne dla laboratoriów wzorcujących krytyczne porównanie metod wzorcownia współrzędnościowych maszyn pomiarowych wg norm amerykańskiej i międzynarodowej. Wyniki moich badań dotyczących problematyki pomiarów współrzędnościowych i normalizacji w tym zakresie przedstawiłem również w [26]. Moje kompetencje dotyczące wzorcowania współrzędnościowych maszyn pomiarowych zostały docenione przez Polskie Centrum Akredytacji, gdyż w 2007 roku zostałem zaproszony do oceny pierwszego w Polsce laboratorium, które ubiegało się o akredytację na wzorcowanie współrzędnościowych maszyn pomiarowych. Z Polskim Centrum Akredytacji współpracuję do dzisiaj jako auditor techniczny. W [5] zwróciłem uwagę na najnowsze ustalenia dotyczące badań odbiorczych i okresowych współrzędnościowych systemów pomiarowych.

W artykułach [8, 14] w miesięczniku *Mechanik* zademonstrowałem konieczność stosowania tolerancji geometrycznych w procesie konstruowania i wytwarzania części maszyn. W [12, 15] zwróciłem uwagę na jedno z wyzwań stojących przed przemysłem w Polsce. Ze względu na globalizację w wielu firmach równocześnie powinny być znane i stosowane normy międzynarodowe systemu ISO GPS oraz norma amerykańska ASME Y14.5. Z drugiej strony należy zauważyć, że znaczna część kadry inżynierskiej ma niewystarczającą wiedzę z zakresu tolerancji geometrycznych i niestety uważa, że specyfikacja wymiarów nominalnych z odchyłkami granicznymi w pełni definiuje geometrię wyrobu. Ponadto, brak jest świadomości, że w obu systemach różne są ustalenia domyślne, zaś niektóre te same symbole charakterystyk geometrycznych powinny być inaczej interpretowane. Dodatkową trudność powoduje bagaż z poprzednich lat – ustalenia wycofanej normy PN-78/M-02137, również wykorzystującej identyczne symbole charakterystyk geometrycznych, które w wielu przypadkach definiują inne wymagania. Niestety nadal zdarzają się wznowienia podręczników omawiających ustalenia starej wycofanej normy PN-78/M-02137 i, jak zauważyłem, wciąż można spotkać firmy, w których inżynierowie sięgają po nieaktualne opracowania. W [10] zaproponowałem nowy sposób wykorzystania wymagania maksimum materiału.

W ostatniej dekadzie w ramach prac własnych oraz statutowych w Instytucie Podstaw Budowy Maszyn PW kontynuuję prace nad modelowaniem tolerancji geometrycznych oraz problematyką specyfikacji wymagań funkcjonalnych w dokumentacji technicznej wyrobów. Wyniki moich kolejnych badań i analiz sformułowałem i przedstawiłem w ponad 30 publikacjach w czasopiśmie naukowych oraz w materiałach konferencyjnych międzynarodowych i krajowych. Najważniejsze z tych prac tworzą monotematyczny cykl publikacji *Modelowanie tolerancji geometrycznych części maszyn*. Poniżej syntetycznie scharakteryzowałem kilka innych wybranych prac.

Wraz z zespołem moich dyplomantów przygotowałem [9, 11, 13], gdzie pokazałem opracowany przez nas program *Tolerancje geometryczne – definicje i wyznaczanie odchyłek*. Doświadczenia zdobyte przy pisaniu i użytkowaniu tego programu, w szczególności dotyczące ograniczeń programistycznych oraz percepcji grafiki i prostych animacji okazały się nieocenione przy projektowaniu, budowie, utrzymaniu i rozwijaniu aplikacji *Tolerancje geometryczne* [4, 7].

W [3] wsparłem od strony metrologicznej użytkowników drukarek 3D przy projektowaniu i badaniu wyrobu wzorcowego, tak aby w sposób obiektywny można było porównać dokładność trzech różnych drukarek przy wydrukach z dwóch różnych materiałów.

W wystąpieniu plenarnym [2], dla użytkowników CMM oraz prowadzących badania nad rozwojem i wdrażaniem współrzędnościowej techniki pomiarowej, przedstawiłem wyniki i kierunki najnowszych prac Komitetu Technicznego ISO/TC 213 *Specyfikacje wymiarowe i geometryczne oraz weryfikacja wyrobów*, w którego pracach biorę czynny udział jako reprezentant Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.

W [6] wraz z grupą współautorów zidentyfikowałem potrzebę pogłębienia współpracy między uczelniami w zakresie badań, rozwoju i wykorzystania narzędzi e-learningu w obszarze nowoczesnych metod specyfikacji i weryfikacji geometrii wyrobów. W wyniku tej inicjatywy nasz projekt *Geometrical Product Specification and Verification as toolbox to meet up-to-date technical requirements – GPS&V Toolbox* został zaakceptowany do realizacji w ramach programu europejskiego Erasmus+. W czerwcu 2018 r. na 18 Międzynarodowej Konferencji euspen 2018 (European Society for Precision Engineering and Nanotechnology) wraz z zespołem współautorów podsumowałem wyniki tego projektu [1] oraz współorganizowałem *GPS&V Toolbox Dissemination workshop Venice 2018* podczas którego miałem dwie 1,5 godzinne prezentacje (*Recent developments in ISO GPS standards* oraz *Use of animation to show concept of MMR verification*) dla blisko 100 słuchaczy z całego świata.

W Tab. 1 przedstawiłem syntetycznie mój dorobek naukowy – podałem liczbę publikacji notowanych w bazach Google Scholar, Scopus, Web of Science oraz liczbę cytowań i wartości indeksu Hirscha.

Tab.1. Wskaźniki charakteryzujące mój dorobek naukowy.

| Źródło dostęp 2018.04.10 | Liczba publikacji w bazie | Liczba cytowań | h-index | i-10 index |
|-----------------------------|---------------------------------|-------------------|---------|---------------|
| Google Scholar | 38 | 277 | 7 | 5 |
| Scopus | 13 | 76 | 4 | – |
| Web of Science | 5 | 14 | 2 | – |

