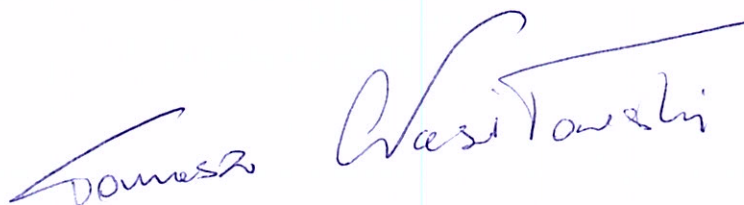


Załącznik 2.1 AUTOREFERAT – opis osiągnięcia

AUTOREFERAT

Dr inż. Tomasz Andrzej Nasiłowski

A handwritten signature in blue ink, reading "Tomasz Nasiłowski". The signature is written in a cursive style, with the first name "Tomasz" and the last name "Nasiłowski" clearly legible.

Osiągnięcia naukowe stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego

Jako osiągnięcie naukowe w rozumieniu 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.) przedstawiam cykl 11 publikacji pod wspólnym tytułem:

Badanie trójwymiarowych periodycznych struktur fotonicznych na przykładzie siatek Bragga w światłowodach mikrostrukturalnych

Spis publikacji stanowiących podstawę ubiegania się o habilitację

Tytuł osiągnięcia naukowego:

Badanie trójwymiarowych periodycznych struktur fotonicznych na przykładzie siatek Bragga w światłowodach mikrostrukturalnych

Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego:

P1	Autorzy	T. Nasiłowski , T. Martynkien, G. Statkiewicz, M. Szpulak, J. Olszewski, G. Golojuch, W. Urbańczyk, J. Wójcik, P. Mergo, M. Makara, F. Berghmans, H. Thienpont
	Data wydania	2005
	Tytuł	Temperature and pressure sensitivities of the highly birefringent photonic crystal fiber with core asymmetry
	Wydawca/Czasopismo	Applied Physics B, 81
	Strony	325-331
	Wkład merytoryczny	Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: 1. określeniu celu poznawczego, celu badawczego, planowaniu części badań umożliwiających sprawdzenie hipotezy badawczej – 25%; 2. częściowym prowadzeniu i nadzorowaniu prac badawczych – 10%, 3. wykonaniu części eksperymentów oraz napisaniu manuskryptu – 20%.
	Udział procentowy	Mój udział procentowy szacuję na 55 %.
	Liczba cytowań wg bazy WoS*	54
P2	Autorzy	T. Geernaert, T. Nasiłowski , K. Chah, M. Szpulak, J. Olszewski, G. Statkiewicz, J. Wójcik, K. Poturaj, W. Urbańczyk, M. Becker, M. Rothhardt, H. Bartelt, F. Berghmans, H. Thienpont
	Data wydania	2008
	Tytuł	Fiber Bragg Gratings in Germanium-doped Highly-

	Wydawca/Czasopismo Strony Wkład merytoryczny	Birefringent Microstructured Optical Fibers IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 20, No. 8 554-556 Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:
	Udział procentowy Liczba cytowań wg bazy WoS*	1. określeniu celu poznawczego, celu badawczego, większościowym planowaniu badań umożliwiających sprawdzenie hipotezy badawczej – 20%; 2. większościowym prowadzeniu i nadzorowaniu prac badawczych – 15%, 3. dyskusji wyników prac badawczych oraz nad kształtem artykułu – 10%. Mój udział procentowy szacuję na 45 %.
		43
P3	Autorzy Data wydania Tytuł Wydawca/Czasopismo Strony Wkład merytoryczny	T. Geernaert, G. Luyckx, E. Voet, T. Nasiłowski , K. Chah, M. Becker, H. Bartelt, W. Urbanczyk, J. Wojcik, W. De Waele, J. Degrieck, H. Terryn, F. Berghmans, H. Thienpont 2009 Transversal Load Sensing with Fiber Bragg Gratings in Microstructured Optical Fibers IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 21, No. 1 6-8 Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:
	Udział procentowy Liczba cytowań wg bazy WoS*	1. współokreśleniu celu poznawczego, celu badawczego, częściowym planowaniu badań umożliwiających sprawdzenie hipotezy badawczej – 20%; 2. współprowadzeniu i nadzorowaniu prac badawczych – 10%, 3. dyskusji wyników prac badawczych oraz nad kształtem artykułu – 10%. Mój udział procentowy szacuję na 40%.
		54
P4	Autor Data wydania Tytuł Wydawca/Czasopismo Strony Wkład merytoryczny	T. Nasiłowski 2009 Photonics Letters of Poland 1(3) Doped Core Microstructured Fibers for Bragg Grating Sensor Applications 112-114 Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie i opisanie rozważań teoretycznych oraz wniosków będących uzupełnieniem do prac P1-P3.
	Udział procentowy	Mój udział procentowy szacuję na 100%.
P5	Autorzy Data wydania	G. Luyckx, E. Voet, T. Geernaert, K. Chah, T. Nasiłowski , W. De Waele, W. Van Paepegem, M. Becker, H. Bartelt, W. Urbanczyk, J. Wójcik, J. Degrieck, F. Berghmans, H. Thienpont 2009

	Tytuł	Response of FBGs in microstructured and bow tie fibers embedded in laminated composite
	Wydawca/Czasopismo	IEEE Photonics Technology Letters Vol. 21, No. 18
	Strony	1290-1292
	Wkład merytoryczny	Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: 1. wspólnym określeniu celu poznawczego, celu badawczego, częściowym planowaniu badań umożliwiających sprawdzenie hipotezy badawczej – 20%; 2. częściowe prowadzenie i nadzorowanie prac badawczych – 10%, 3. dyskusji wyników prac badawczych oraz nad kształtem artykułu – 5%.
	Udział procentowy	Mój udział procentowy szacuję na 35%.
	Liczba cytowań wg bazy WoS*	28
P6	Autorzy	T. Geernaert, M. Becker, P. Mergo, T. Nasiłowski , J. Wójcik, W. Urbańczyk, M. Rothhardt, C. Chojetzki, H. Bartelt, H. Terryn, F. Berghmans, H. Thienpont
	Data wydania	2010
	Tytuł	Bragg Grating Inscription in GeO ₂ -doped Microstructured Optical Fibers
	Wydawca/Czasopismo	Journal of Lightwave Technology Vol. 28, No. 10
	Strony	1459-1467
	Wkład merytoryczny	Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: 1. Większościowym określeniu celu poznawczego, celu badawczego, częściowym planowaniu badań umożliwiających sprawdzenie hipotezy badawczej – 20%; 2. współprowadzeniu i nadzorowaniu prac badawczych – 15%, 3. dyskusji wyników prac badawczych oraz nad kształtem artykułu – 5%.
	Udział procentowy	Mój udział procentowy szacuję na 40%.
	Liczba cytowań wg bazy WoS*	23
P7	Autorzy	T. Geernaert, K. Kalli, C. Koutsides, M. Komodromos, T. Nasiłowski , W. Urbanczyk, J. Wojcik, F. Berghmans, H. Thienpont
	Data wydania	2010
	Tytuł	Point-by-point fiber Bragg grating inscription in free-standing step-index and photonic crystal fibers using near-IR femtosecond laser
	Wydawca/Czasopismo	Optics Letters Vol. 35, No. 10
	Strony	1647-1649
	Wkład merytoryczny	Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: 1. określeniu celu poznawczego, celu badawczego, częściowym planowaniu badań umożliwiających sprawdzenie hipotezy badawczej – 15%; 2. częściowym prowadzeniu i nadzorowaniu prac badawczych – 5%, 3. dyskusji wyników prac badawczych oraz nad

	Udział procentowy Liczba cytowań wg bazy WoS*	kształtem artykułu– 5%. Mój udział procentowy szacuję na 25%. 35
P8	Autorzy Data wydania Tytuł Wydawca/Czasopismo Strony Wkład merytoryczny Udział procentowy	T. Nasiłowski 2011 Fiber Bragg Grating Sensors in Microstructured Optical Fibers Rozdział w książce "Fiber Bragg Grating Sensors: Recent Advancements, Industrial Applications and Market Exploitation", Bentham Science Publishers Ltd. 270-291 Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zebraniu i podsumowaniu moich dotychczasowych prac w tej tematyce w kontekście ówczesnego stanu literatury oraz napisaniu rozdziału zatytułowanego „Fiber Bragg Grating Sensors in Microstructured Optical Fibers” w książce, do czego zostałem zaproszony przez edytora. Mój udział procentowy szacuję na 100 %.
P9	Autorzy Data wydania Tytuł Wydawca/Czasopismo Strony Wkład merytoryczny Udział procentowy Liczba cytowań wg bazy WoS*	T. Tenderenda, K. Skorupski, M. Makara, G. Statkiewicz-Barabach, P. Mergo, P. Marć, L. R. Jaroszewicz, and T. Nasiłowski 2012 Highly birefringent dual-mode microstructured fiber with enhanced polarimetric strain sensitivity of the second order mode Optics Express Vol. 20, No. 24 26996–27002 Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: 1. określeniu celu poznawczego, celu badawczego, planowaniu badań umożliwiających sprawdzenie hipotezy badawczej – 30%; 2. prowadzeniu i nadzorowaniu prac badawczych – 15%, 3. dyskusji wyników prac badawczych oraz nad kształtem artykułu– 5%. Mój udział procentowy szacuję na 50 %. 16
P10	Autorzy Data wydania Tytuł Wydawca/Czasopismo Strony Wkład merytoryczny	T. Tenderenda, M. Murawski, M. Szymanski, L. Szostkiewicz, M. Becker, M. Rothhardt, H. Bartelt, P. Mergo, K. Skorupski, P. Marc, L. R. Jaroszewicz, T. Nasilowski 2013 Fiber Bragg grating inscription in few-mode highly birefringent microstructured fiber Optics Letters, Vol. 38, No. 13 2224-2226 Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: 1. określeniu celu poznawczego, celu badawczego, częściowym planowaniu badań umożliwiających

		sprawdzenie hipotezy badawczej – 20%; 2. współprowadzeniu i nadzorowaniu prac badawczych – 10%, 3. dyskusji wyników prac badawczych oraz nad kształtem artykułu– 5%. Mój udział procentowy szacuję na 35%.
	Udział procentowy Liczba cytowań wg bazy WoS*	7
P11	Autorzy	K. Stępień, M. Slowikowski, T. Tenderenda, M. Murawski, M. Szymanski, L. Szostkiewicz, M. Becker, M. Rothhardt, H. Bartelt, P. Mergo, L. R. Jaroszewicz, T. Nasilowski
	Data wydania	2014
	Tytuł	Fiber Bragg gratings in hole-assisted multicore fiber for space division multiplexing
	Wydawca/Czasopismo	Optics Letters, Vol. 39, No. 12
	Strony	3571- 3574
	Wkład merytoryczny	Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: 1. określeniu celu poznawczego, celu badawczego, częściowym planowaniu badań umożliwiających sprawdzenie hipotezy badawczej – 20%; 2. współprowadzeniu i nadzorowaniu prac badawczych – 5%, 3. dyskusji wyników prac badawczych oraz nad kształtem artykułu– 5%. Mój udział procentowy szacuję na 30 %.
	Udział procentowy Liczba cytowań wg bazy WoS*	9

* Stan na dzień 02.06.2016

Suma cytowań powyższych prac wg bazy Web of Science to 269.

Omówienie osiągniętych wyników - autoreferat

Przedstawiony przeze mnie monotematyczny dorobek naukowy będący podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego dotyczy fizycznych aspektów propagacji światła w modyfikowanych optycznych materiałach, które stanowią podstawę konstrukcji światłowodowych siatek Bragga.

Tematyką światłowodów mikrostrukturalnych i siatek Bragga zajmowałem się konsekwentnie od około 2005 roku w mojej karierze naukowej. Tematowi temu poświęconych jest bezpośrednio i pośrednio wiele z moich publikacji. Tematykę tę rozpocząłem od samodzielnych publikacji jako pierwszy autor, do których należą następujące artykuły:

- z publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego:

P1. **T. Nasiłowski**, T. Martynkien, G. Statkiewicz, M. Szpulak, J. Olszewski, G. Golojuch, W. Urbańczyk, J. Wójcik, P. Mergo, M. Makara, F. Berghmans, H. Thienpont, Temperature and pressure sensitivities of the highly birefringent photonic crystal fiber with core asymmetry, *Applied Physics B*, 81, pp. 325-331, 2005 - Wkład w powstanie pracy: czKA, czKB, czPE, czPM, czAD (55%);

- z publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie Journal Citation Reports (JCR):

21. **T. Nasilowski**, F. Berghmans, H. Thienpont, Investigation of highly birefringent microstructured fibres for Bragg gratings inscription, *Proc. of SPIE*, 5950, str. 59500R, 2005 - Wkład w powstanie pracy: KA, KB, OT, PM, czAD (80%)

31. **T. Nasiłowski**, G. Statkiewicz, M. Szpulak, J. Olszewski, T. Martynkien, W. Urbańczyk, P. Mergo, M. Makara, J. Wójcik, J. Van Erps, J. Vlekken, C. Chojetzki, F. Berghmans, H. Thienpont, Bragg grating in highly birefringent and single mode photonic crystal fibre *Proc. X Scientific Conference and School: Optical Fibres and their applications*, Krasnobród, Polska, 2006 - Wkład w powstanie pracy: czKA, czKB, czOT, czPM, czAD (50%)

36. **T. Nasiłowski**, T. Martynkien, G. Statkiewicz, M. Szpulak, J. Olszewski, G. Golojuch, J. Wojcik, P. Mergo, M. Makara, F. Berghmans, H. Thienpont, Metrological applications of PCFs, *Proc. OPERA symposium*, Wrocław, Poland, 2006 – **referat zaproszony** - Wkład w powstanie pracy: KA, czKB, PM, czAD (50%)

42. **T. Nasiłowski**, G. Statkiewicz, M. Szpulak, J. Olszewski, T. Martynkien, W. Urbańczyk, P. Mergo, M. Makara, J. Wójcik, J. Van Erps, J. Vlekken, C. Chojetzki, F. Berghmans, H. Thienpont, Sensing properties of Bragg grating in highly birefringent and single mode photonic crystal fiber, *Proc. of SPIE*, 6588, str. 6588-17, 2007 - Wkład w powstanie pracy: czKA, czKB, czPM, czAD (50%)

45. **T. Nasiłowski**, G. Statkiewicz, M. Szpulak, J. Olszewski, G. Golojuch, T. Martynkien, W. Urbanczyk, P. Mergo, M. Makara, J. Wojcik, J. Van Erps, J. Vlekken, C. Chojetzki, F. Berghmans, and H. Thienpont, Sensing applications of photonic crystal fibres, *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.* 6608, 2007 – **referat zaproszony** - Wkład w powstanie pracy: KA, czKB, PM, czAD (50%)

46. **T. Nasiłowski**, F. Berghmans, T. Geernaert, K. Chah, J. Van Erps, G. Statkiewicz, M. Szpulak, J. Olszewski, G. Golojuch, T. Martynkien, W. Urbańczyk, P. Mergo, M. Makara, J. Wójcik, C. Chojetzki, and H. Thienpont, Sensing with photonic crystal fibres, Proc. IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, Alcàla de Henares, Hiszpania, 2007 – **referat zaproszony** - Wkład w powstanie pracy: KA, czKB, PM, czAD (50%)

Były to pionierskie prace w tematyce siatek Bragga w dwójłomnych światłowodach mikrostrukturalnych, realizowane i kierowane bezpośrednio przeze mnie. Warto zauważyć, że na sześć publikacji konferencyjnych aż trzy to referaty zaproszone, co jednoznacznie wskazuje na wysoki poziom nowości oraz duże zainteresowanie środowiska naukowego zapoczątkowaną przeze mnie tematyką. Były to prace wstępne otwierające nową tematykę badań siatek Bragga w wysoko-dwójłomnych światłowodach mikrostrukturalnych, wskazujące nowe zagadnienia badawcze, stąd pierwsze rozpowszechnianie wyników odbywało się poprzez publikacje konferencyjne. Bardzo obiecujące wyniki tych wstępnych publikacji pozwoliły na utrwalenie lub zawiązanie silnej współpracy z grupami badawczymi zajmującymi się: technologią wytwarzania światłowodów mikrostrukturalnych na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej (UMCS) w Lublinie oraz technologią zapisu siatek Bragga w światłowodach w Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V. (IPHT) w Jenie. Współpraca pomiędzy moją grupą badawczą (najpierw na VUB a później na WAT) i wyżej wymienionymi grupami technologicznymi była przykładem idealnego uzupełnienia, pozwalając na osiągnięcie bardzo dobrych wyników na najwyższym światowym poziomie innowacyjności, czego dowodem są późniejsze publikacje przedstawione w moim dorobku (od P1 do P11). Konieczna współpraca tych grup skutkuje określoną liczbą współautorów, co dodatkowo dowodzi moich umiejętności kierowania i koordynacji współpracy badawczej różnych europejskich ośrodków naukowych w zaproponowanej i realizowanej przeze mnie tematyce. Należy również zaznaczyć, że w prowadzonych przeze mnie pracach badawczych uczestniczyły również inne grupy z Politechniki Wrocławskiej (głównie wspomagające symulacje numeryczne w początkowej fazie prac) czy z Uniwersytetu w Gandawie (głównie odpowiedzialne za pomiary mechaniczne struktur kompozytowych).

Istotnym argumentem świadczącym o samodzielnym prowadzeniu przeze mnie opisanych prac badawczych i moim niezbędnym do nich wkładzie merytorycznym jest fakt, że po zmianie miejsca pracy z Wolnego Uniwersytetu w Brukseli (VUB) na Wojskową Akademię Techniczną (WAT) kontynuowałem rozpoczętą tematykę badawczą w nowym zbudowanym przeze mnie zespole, nadal publikując w najlepszych dla danej tematyki czasopismach naukowych (P9, P10 i P11).

O samodzielności i istotnym wkładzie w przedstawione w publikacjach wyniki świadczy także formalne kierowanie przeze mnie badaniami w projektach belgijskich i europejskich (3.1. Uczestnictwo w projektach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych):

15.	Tytuł projektu	COST Action 299: Optical Fibres for New Challenges Facing the Information Society
	Czas trwania	2007-2011
	Organ przyznający fundusze	COST Action – Unia Europejska
	Charakter udziału	Leader - Study Group 4: Development of fiber gratings in

		photonic crystal fibers, 2007-2011
16.	Tytuł projektu	Flexible Artificial Optical Skin (FAOS), 060069, Code: IWT334 - Belgium national IWT-SBO Project
	Czas trwania	2007-2011
	Organ przyznający fundusze	IWT
	Charakter udziału	Leader of Work Package 1: Optical sensing technologies, 2007-2011
24.	Tytuł projektu	PHOSFOS—Photonic Skins For Optical Sensing (FP7-ICT-2007-2, number: 224058)
	Czas trwania	2008-2011
	Organ przyznający fundusze	EU FP7
	Charakter udziału	Leader Work Package 1 – Sensing structures in micro-structured silica optical fibres (2008-2010) Leader Work Package 5 – Assembly and validation of proof-of-concept systems (2008-2010)
30.	Tytuł projektu	COST TD1001: Novel and Reliable Optical Fibre Sensor Systems for Future Security and Safety Applications (OFSeSa)
	Czas trwania	2011-2014
	Organ przyznający fundusze	COST – Unia Europejska
	Charakter udziału	Study Group Leader - SG4.1: System Design strategies

Po rozpoczęciu prac nad siatkami Bragga (FBG – Fiber Bragg Gratings) w światłowodach mikrostrukturalnych (MSF – MicroStructured Fibers) i w trakcie kierowania wyżej wymienionymi projektami, rozpocząłem opieką naukową, jako profesor gościnny (co potwierdzają załączone dokumenty) na uniwersytecie w Brukseli (VUB), nad doktorantem - Thomas Geernaert, którego tematyka doktoratu dotyczyła rozpoczętego przeze mnie i nadal realizowanego oraz kierowanego zagadnienia FBG w MSF. Dlatego też w kilku następnych publikacjach wchodzących w skład osiągnięcia naukowego (P2, P3, P5, P6, P7) pierwszym lub jednym z pierwszych autorów był Thomas Geernaert.

Ważnym podkreśleniem mojego istotnego wkładu w rozwój tematyki siatek Bragga w światłowodach mikrostrukturalnych było zaproszenie mnie (list zapraszający w załączeniu do dokumentacji), przez międzynarodowe środowisko naukowe zajmujące się tym tematem, do napisania rozdziału (P8) w książce wydawanej na 30-to lecie pierwszego zapisu światłowodowej siatki Bragga. W rozdziale tym przedstawiłem rezultaty i znaczący postęp kierowanych przeze mnie badań na tle ówczesnych osiągnięć nauki w tej tematyce.

Po zmianie miejsca pracy, już na WAT, zbudowałem nowy zespół badawczy, z którym z sukcesami, niezależnie od wcześniejszych współpracowników z VUB, co jednoznacznie wskazuje na moją samodzielność, kontynuowałem prace nad tematyką siatek Bragga we włóknaх mikrostrukturalnych publikując kolejne artykuły (P9, P10 i P11). Moją rolę i istotny wkład w powstanie tych publikacji potwierdzają także załączone oświadczenia współautorów z kierowanego przeze mnie zespołu. W trakcie mojej pracy na WAT zaproponowałem zbudowanie infrastruktury w postaci układu do zapisu siatek Bragga, który to pomysł został

zrealizowany w postaci złożonego do Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego projektu. Celem przedsięwzięcia było stworzenie infrastrukturalnych podstaw do rozwoju tej tematyki badawczej w Polsce. Po przyznaniu projektu, do opracowania układu do zapisu siatek Bragga z ramienia mojej firmy InPhoTech zostały zatrudnione dwie osoby. Oświadczenia współpracowników potwierdzają mój merytoryczny nadzór nad tą tematyką.

Innymi konsekwentnie rozwijanymi przeze mnie tematykami są m.in. struktury światłowodowe do generacji efektów nieliniowych, w szczególności supercontinuum, światłowody mikrostrukturalne do zastosowań czujnikowych oraz światłowody specjalne, w tym mikrostrukturalne, do zastosowań telekomunikacyjnych, w szczególności do zastosowań typu FTTH (Fibre To The Home) czy telekomunikacji optycznej nowej generacji.

Przedstawiony cykl publikacji dotyczy światłowodów mikrostrukturalnych oraz zapisanych w nich siatek Bragga. Ponieważ badane światłowody są strukturami periodycznymi, a zapisane w nich siatki Bragga również cechują się okresowością, mamy tu do czynienia z trójwymiarowymi periodycznymi strukturami, do czego nawiązuje tytuł przedstawionego osiągnięcia. Światłowody te otwierają wachlarz możliwości projektowania ich parametrów materiałowych i geometrycznych propagacji światła, co skutkuje szerokim spektrum sposobności projektowania, sterowania, przestrajania czy adaptacji ich parametrów, niedostępny dla światłowodów konwencjonalnych.

Z drugiej strony, możliwość dodatkowej modyfikacji światłowodów poprzez zapis w ich strukturze światłowodowych siatek Bragga (ang. Fibre Bragg Grating, w skrócie FBG) daje kolejny stopień swobody w projektowaniu elementów światłowodowych, co może być efektywnie wykorzystane, w szczególności w zastosowaniach czujnikowych.

Zasadniczą fizyczną przyczyną, dla której połączenie tych technologii (światłowodów mikrostrukturalnych i FBG) jest szczególnie interesujące jest fakt możliwości znaczącego zwiększenia czułości elementów światłowodowych. Wykorzystując siatki Bragga zapisane na światłowodach mikrostrukturalnych, korzystamy z faktu, że długość fali Bragga zależy nie tylko od stałej siatki, ale także od efektywnego współczynnika załamania modu. W światłowodach mikrostrukturalnych, w przeciwieństwie do światłowodów klasycznych, efektywny współczynnik załamania może znacząco zmieniać się wraz z przyłożonym oddziaływaniem zewnętrznym. Tym samym, przesunięcie pików Bragga (lub odseparowanie pików w przypadku światłowodów dwójłomnych) jest efektem dwóch zjawisk następujących w wyniku oddziaływań zewnętrznych: zmiany efektywnego współczynnika załamania modu i zmiany długości okresu siatki. Poprzez umiejętne zaprojektowanie struktury światłowodu tak, żeby efektywny współczynnik załamania był bardzo czuły na wybrane oddziaływanie zewnętrzne (lub nieczuły, czego zazwyczaj żądamy w przypadku eliminacji czułości krzyżowych np. temperatury podczas pomiaru naprężenia), możemy uzyskać czujnik typu braggowskiego o znacznie zwiększonej czułości lub o znacząco wyeliminowanej czułości krzyżowej. Chciałbym w tym miejscu podkreślić, że znajomość niuansów wpływania na czułość światłowodów mikrostrukturalnych jest absolutnie kluczowa do stworzenia czujników typu FBG na nich opartych.

Niezwykle ważnym, z badawczego punktu widzenia propagacji światła w światłowodach specjalnych, jest wykorzystanie siatek Bragga do monitorowania i analizy struktury modowej propagowanego światła i jej zmian.

Przedstawiony przeze mnie cykl publikacji w zakresie połączenia technologii światłowodów mikrostrukturalnych z siatkami Bragga jest pionierski dla rozwoju tej tematyki, o czym świadczą wyniki badań przedstawione w poszczególnych artykułach. Publikacje te są dobrze znane i rozpoznawalne w międzynarodowym środowisku naukowym, w szczególności związanym z technologią światłowodów specjalnych w tym mikrostrukturalnych, oraz zapisem w nich siatek Bragga, a ogólniej fotoniką, o czym bezpośrednio świadczy znacząca liczba cytowań.

Badania, na których podstawie opublikowany został przedstawiony cykl prac, zostały wykonane w kierowanych przeze mnie zespołach badawczych. Publikacje P1-P8 powstały w czasie, gdy byłem zatrudniony na stanowisku profesora gościnnego Vrije Universiteit Brussel, gdzie kierowałem badaniami nad światłowodami. W tym czasie byłem również szefem grupy zajmującej się siatkami Bragga w akcji COST. Natomiast publikacje P9-P11 powstały w okresie mojego zatrudnienia na stanowisku adiunkta na Wojskowej Akademii Technicznej. We wszystkich publikacjach pełniłem rolę pomysłodawcy badań oraz nadzorowałem prowadzenie eksperymentów. Samodzielne prowadzenie badań poprzez inicjowanie tematów badawczych oraz kierowanie zespołami badawczymi świadczy o dojrzałości i samodzielności pracownika naukowego, wymaganej do zdobycia stopnia doktora habilitowanego.

Publikacje P1-P11 wiążą aspekty: teoretycznego modelowania, technologii wytwarzania światłowodów, technologii zapisu FBG, technologii materiałów kompozytowych, pomiarów i charakteryzacji światłowodów i FBG. Interdyscyplinarna wiedza zawarta w ww. pracach łączy liczne dziedziny: fizykę teoretyczną i fizykę eksperymentalną, chemię, inżynierię materiałową, a także mechanikę, co stanowi wartość dodaną i jest jednocześnie powodem liczby autorów publikacji.

W załączeniu do wniosku znajduje się wkład merytoryczny poszczególnych współautorów każdej z publikacji. Jest to wkład określony przez nich samych. W tym miejscu, chciałbym podkreślić, że wymóg podawania procentowego udziału habilitanta w poszczególnych pracach nie jest trywialny, a przede wszystkim wprowadza niepotrzebne zjawiska do naszego środowiska naukowego, jak zachęcanie do izolacji badawczej czy zniechęcanie do współpracy badawczej, a więc rozdrobnienia prowadzącego do osłabienia polskiej nauki. Udział każdego z autorów był niezbędny do przedstawienia całości prac w ramach publikacji. Osiągnięcia przedstawione w ramach publikacji nie powstałyby, gdyby nie wyteżona współpraca kilku jednostek naukowych. W każdej z jednostek po kilka osób było odpowiedzialnych za kolejno: opracowanie modeli teoretycznych, wykonanie obliczeń, opracowanie technologii wytwarzania światłowodów, pomiary światłowodów mikrostrukturalnych, opracowanie technologii zapisu siatek Bragga w poszczególnych strukturach, pomiary eksperymentalne zmodyfikowanych struktur. W przypadku tak zaawansowanych technologii nie zdarza się, żeby prace te były wykonywane przez te same osoby. O ile bardzo istotny wkład miały wszystkie zespoły badawcze uczestniczące w pracach, to również moja osoba, jako koordynatora wskazującego i wyznaczającego poszczególne zadania i podzadania badawcze konieczne do osiągnięcia rozwiązania oraz określenia przeze mnie istotnych osiąganych wyników i na tej podstawie wskazania dalszych kierunków prac, było

niezbędne do realizacji badań i ich publikacji. Skład autorów publikacji odzwierciedla pracę wszystkich zaangażowanych osób, w tym doktorantów i studentów uczestniczących w prowadzonych pracach. Jest niestety częstą złą praktyką w środowiskach naukowych, że nie uwzględnia się niektórych współpracowników, ze względów pseudopolitycznych. Niestety, w naszym środowisku, publikacje z mniejszą liczbą autorów widziane są jako bardziej „prestżowe”. W tym samym czasie, zachodni świat nauki docenia interdyscyplinarność badań i współpracę zespołów. Zaproponowany system wymagający podawania procentowego wkładu w publikację poszczególnych autorów często nie pozwala docenić ich znaczącej wiedzy merytorycznej i oddać istoty ich wkładu w powstanie publikacji. Tym samym, publikacja procentowych wkładów udziału współautorów powoduje tworzenie niezdrowej atmosfery, a w szczególności konkurencji pomiędzy poszczególnymi osobami i zespołami naukowymi. W związku z niemożliwością pozostania jedynie przy określeniu wkładu merytorycznego do publikacji, w opisie wkładu procentowego do publikacji postanowiłem zastosować następującą metodologię podziału punktów procentowych:

1. Pierwszym etapem prowadzonych prac badawczych jest szeroko rozumiana idea badań, z uwzględnieniem celu poznawczego i badawczego. Badania prowadzone w kierunku, któremu nie został nadany sens nie będą prowadziły do wartościowych publikacji. Za tę inicjację i koncepcję prac za zasadne uważam przyznawanie 30% wkładu (co może także być dzielone z innym współautorem).
2. Drugi etap to prowadzenie prac: koordynowanie prac poszczególnych zespołów, zaplanowanie badań prowadzących do osiągnięcia wyznaczonego celu, bieżąca dyskusja wyników, podejmowanie decyzji o dalszych krokach badań, eliminacji „ślepych uliczek”. Za tę część uważam za zasadne przyznawanie 20% wkładu (co może także być dzielone z innym współautorem).
3. Etap trzeci dotyczy wykonania prac: obliczeń, opracowanie technologii, przeprowadzenie pomiarów, konstrukcji układów, itd. ale też np. dyskusji wyników i napisania manuskryptu. Ta część to łącznie 50% wkładu do publikacji, którą uważam za zasadne do podzielenia pomiędzy współwykonawców koniecznych do publikacji prac badawczych.

Habilitant to z natury rzeczy osoba, która doskonale sprawdza się w roli osoby odpowiedzialnej za etap pierwszy i drugi, który bezpośrednio świadczy o dojrzałości i samodzielności naukowej. Szerokie uczestnictwo habilitanta w etapie trzecim jest oczywiście możliwe i bardzo częste, ale nie jest celem pracy na tym etapie rozwoju naukowego – możliwość wykazywania się na tym polu jest charakterystyczna dla studentów i doktorantów oraz pracowników pracujących na stanowiskach Post-Doc o mniejszej samodzielności naukowej. Warto podkreślić, że z punktu widzenia osób będących na początku swojej ścieżki naukowej lub pomimo dłuższego stażu nie posiadających doświadczenia w samodzielnym publikowaniu w dobrych międzynarodowych czasopiśmie, określenie własnego wkładu merytorycznego jest zdominowane poprzez analizę poświęconego czasu na daną tematykę jak i również emocjonalne związanie z tematem. Z perspektywy doświadczenia kilkunastoletniej pracy w wielu zespołach badawczych widać, że znaczący wkład jest trudny do wyrażenia przez procenty, nie sposób także pogodzić metodologii przyznawania procentów przez osoby na różnym etapie ścieżki naukowej. W początkowej fazie pracy nad daną tematyką przez doktorantów i studentów nie zauważane są dyskusje i kierowanie tematyki na dany tor, które realnie pozwalają zaoszczędzić tygodnie pracy na przecieraniu wytartych szlaków lub brnięcie

w ślepe uliczki. Tym samym, utożsamianie się z tematem pracy (charakterystyczne dla osób zaangażowanych w zdefiniowany powyżej etap III) nie może być mylone z wagą wkładu współautorów, który to nie ocenia się poprzez nakład godzin pracy, ale realne kierowanie badaniami. Aspektem budzącym wiele emocji w środowiskach naukowych jest także kolejność współautorów w publikacji. Zasadniczo, według międzynarodowych standardów, pierwsze miejsce na liście współautorów jest zarezerwowane dla osoby wykonującej najwięcej prac w etapie trzecim i często piszącej manuskrypt. Następnie są osoby zaangażowane w etap trzeci, potem osoby bezpośrednio zaangażowane w kierowanie i nadzór nad pracami badawczymi, potem współautorzy mniej zaangażowani, aż wreszcie na końcu są szefowie zaangażowanych zespołów/zakładów/institutów, czyli często osoby organizujące i nadzorujące finansowanie i niezbędną infrastrukturę do badań. Najczęściej, ta umowna kolejność jest przestrzegana przede wszystkim w odniesieniu do pierwszego i ostatniego autora. Warto zwrócić uwagę, że nie należy utożsamiać osoby będącej na ostatnim miejscu na liście z osobą odpowiedzialną za etap pierwszy (choć może to być oczywiście ta sama osoba).

Opis osiągnięć poszczególnych publikacji

Publikacja P1 stanowi załączek do dalszych badań nad zapisem siatek Bragga w strukturach światłowodów mikrostrukturalnych. W artykule poddano badaniu szczególnie typ światłowodu mikrostrukturalnego wysokodwójłomnego, charakteryzujący się asymetrycznym rdzeniem - rdzeń struktury stanowił potrójny defekt sieci krystalicznej. Światłowod ten był jednym z pierwszych mikrostrukturalnych światłowodów dwójłomnych, a ponadto pierwszym tego typu światłowodem wytworzonym w obecnej Pracowni Technologii Światłowodów UMCS w Lublinie. Moim bezpośrednim wkładem było zaproponowanie wykorzystania charakterystyki podstawowych parametrów oraz czułości temperaturowej i mechanicznej dwójłomnego światłowodu mikrostrukturalnego do zbadania możliwości projektowania czujników wykorzystujących takie światłowody. W artykule prezentowane są wyniki prac numerycznych i eksperymentalnych, dotyczące fazowej i grupowej dwójłomności a także czułości ciśnieniowej i temperaturowej włókna. Część tych wyników była realizowana na Politechnice Wrocławskiej (PWr) a część przeze mnie na Uniwersytecie w Brukseli (VUB). Kierując tymi pracami, porównałem i złożyłem otrzymane wyniki oraz wyciągnąłem przedstawione w artykule wnioski. W napisanej przeze mnie publikacji, pokazałem, że czułości ciśnieniowa i temperaturowa wykazują przeciwne znaki – stwarza to możliwość zaprojektowania odpowiedniego światłowodu i konstrukcji czujnika naprężeń mechanicznych nie wymagającego kompensacji temperaturowej. W pracy nie przedstawiłem jeszcze zapisu siatki Bragga w strukturze, ale wnioski z tej pracy stanowiły kluczowe ogniwo przed dodaniem struktur periodycznych do włókien. Badania te były w owym czasie pionierskie na skalę światową – były to jedne z pierwszych badań na świecie dotyczące możliwości adaptacji mikrostrukturalnych światłowodów dwójłomnych do zastosowań czujnikowych. Poznanie mechanizmów czułości światłowodów mikrostrukturalnych umożliwiło mi zaplanowanie dalszej metodologii badawczej dla nowego typu czujników, wykorzystujących dodatkowo FBG.

Moim badaniom w tej tematyce poświęconych jest wiele z moich kolejnych publikacji. Tematykę tę rozpocząłem od samodzielnych publikacji jako pierwszy autor, do których należą artykuły konferencyjne i artykuły zaproszone (3.4.2. Publikacje naukowe w czasopiśmie międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie Journal Citation Reports (JCR): 21, 31, 36, 42, 45 i 46) cytowane w poprzednim podrozdziale. W artykułach tych przedstawiam, pionierskie zapisy siatek Bragga w dwójłomnych światłowodach mikrostrukturalnych oraz ich charakterystyki czy pomiary czułości. W pracach tych zaprezentowałem zapis FBG po raz pierwszy w dwójłomnym światłowodzie mikrostrukturalnym w konfiguracji interferometru Talbota. Światłowod poddany eksperymentom charakteryzował się asymetrią w geometrii struktury płaszcza, która została przeze mnie zaproponowana. Należy podkreślić, że w tym okresie szczególnie utrwaliłem współpracę z zespołem opracowującym technologię włókien mikrostrukturalnych na UMCS w Lublinie oraz nawiązałem bardzo owocną współpracę z zespołem opracowującym technologię zapisu światłowodowych siatek Bragga w IPHT w Jenie. Współpraca ta, jak również współpraca z zespołami z PWr, gdzie dokonano symulacji numerycznych badanego światłowodu, oraz Uniwersytetu w Gandawie, gdzie wykonywano pomiary mechaniczne materiałów kompozytowych ze zintegrowanymi światłowodami, przyniósł bardzo dobre rezultaty w kolejnych latach.

W publikacji P2 podsumowałem osiągnięte przeze mnie dotąd wyniki zapisu siatek Bragga w dwójłomnym światłowodzie mikrostrukturalnym o zaproponowanej przeze mnie strukturze. W obecnym czasie panowało przekonanie, że w mikrostrukturach powietrzno-szklanych, zapis FBG jest znacząco utrudniony, a wręcz praktycznie nie możliwy na akceptowalnym użytkowo poziomie, ponieważ mikrostruktura zakłóca powstawanie prążków interferencyjnych w fotoczułym rdzeniu światłowodu. Dlatego zaproponowałem strukturę światłowodu, charakterystyczną „linijkę” o minimalnej liczbie otworów stojących na drodze interferującym wiązkom UV zapisującym siatkę w rdzeniu światłowodu. Struktura ta miała ułatwić zapis siatki Bragga a jednocześnie jej wysoka asymetria geometryczna, pozwoliła na kompleksową analizę zależności kąta padania wiązki zapisującej FBG na reflektancję powstałej siatki. Wskazana przeze mnie metodologia badań, zapisu FBG pod różnymi kątami do struktury przekroju światłowodu, pozwoliła stwierdzić bardzo mały (znikomy) wpływ kąta zapisu na reflektancję siatki. Był to przełomowy wynik obalający dotychczasowe podejrzenia środowiska naukowego o braku efektywnej możliwości zapisu FBG we włóknach posiadających asymetrię mikrostruktury oraz o konieczności właściwej orientacji struktury światłowodu podczas zapisu FBG. Wynik ten otworzył drogę do badań połączenia technologii światłowodów mikrostrukturalnych i siatek Bragga z myślą o zastosowaniach czujnikowych. Poprzez pokazanie braku zasadniczego wpływu mikrostruktury na reflektancję zapisanej FBG, można było zacząć projektować włókna mikrostrukturalne stricte pod kątem wykorzystania ich w połączeniu z siatkami Bragga. Ponadto, w pracy pokazano możliwość skutecznego zapisu szeregu FBG w jednej strukturze, co stanowiło przedpole do koncepcji tego typu układów czujników. Jednocześnie było to oryginalną (zastosowana po raz pierwszy) metodą weryfikacji wpływu kąta padania promieniowania UV (zapisującego siatkę Bragga) do geometrii struktury światłowodu na reflektancję FBG. W artykule tym wskazałem bardzo uproszczoną mikrostrukturę światłowodu, która miała ułatwiać zapis FBG. Często jednak konieczność zaprojektowania struktury włókna tak by spełniała określone założenia co do czułości wymaga bardziej złożonych konstrukcji, stąd opracowana w tej publikacji metoda badawcza była wykorzystywana w kolejnych badaniach nad bardziej skomplikowanymi strukturami, np. w publikacji P6.

Publikacja P3 stanowi kontynuację myśli badawczej zaprezentowanej w artykule P2. W badaniach uwieńczonych tą publikacją zaproponowałem weryfikację możliwości zastosowania wykonanych siatek Bragga z publikacji P2 jako elementy czujnikowe. W tej samej strukturze światłowodowej z zapisaną siatką Bragga zaproponowałem badania czułości naprężeniowej i temperaturowej. W ramach pracy pokazano możliwość umieszczenia elementu światłowodowego z zapisaną siatką Bragga w materiale kompozytowym. Prezentowane obliczenia i eksperymenty, których byłem współwykonawcą, pokazały zależność czułości naprężeń materiału kompozytowego od orientacji umieszczonego w niej światłowodu mikrostrukturalnego. Wysoka liczba cytowań artykułu potwierdza wyrażone w artykule przekonanie autorów o braku wiedzy na temat przeprowadzonych podobnych badań w przeszłości. Artykuł ten jest oryginalnym wkładem badawczym demonstrującym po raz pierwszy wykorzystanie FBG w wysoko dwójłomnym światłowodzie mikrostrukturalnym do monitorowania naprężeń w materiałach kompozytowych, co potwierdziło stawianą przeze mnie tezę. Osiągnięte wyniki pozwoliły również na postawienie przeze mnie kolejnego zagadnienia badawczego, dotyczącego porównania czujników FBG na dwójłomnych światłowodach mikrostrukturalnych i klasycznych oraz weryfikacji tezy o minimalizacji temperaturowej czułości krzyżowej w światłowodach mikrostrukturalnych.

Publikacja P4 to artykuł poświęcony rozważaniom i analizie nad propagacją światła w światłowodach mikrostrukturalnych z domieszkowanym (fotouczulonym) obszarem rdzenia do zapisu siatek Bragga. W takim światłowodzie występują dwa niezależne zjawiska umożliwiające prowadzenie światła w rdzeniu. Jednym z nich jest zwiększenie współczynnika załamania światła poprzez domieszkę, co nazywam materiałowym prowadzeniem, a drugim wprowadzenie określonej mikrostruktury z defektem jako rdzeniem, co nazywam geometrycznym prowadzeniem. Oba mechanizmy propagacji mają często bardzo odmienne własności (np. dyspersyjne), więc ich rozumienie i analiza są niezbędne przy projektowaniu i badaniu światłowodów mikrostrukturalnych z domieszkowanym rdzeniem do zapisu siatek Bragga.

W artykule zaprezentowałem możliwość rozważania zarówno mechanizmu propagacji „index guiding” jak i mechanizmu opartego na fotonicznej przerwie wzbronionej jako geometrycznego mechanizmu propagacji w światłowodach. Wykorzystywane do zapisu FBG światłowodów mikrostrukturalnych z domieszkowanym rdzeniem charakteryzują się zwiększoną koncentracją modu podstawowego w rdzeniu (w zależności od parametrów domieszki), aż do skrajnego przypadku kiedy domieszka w rdzeniu bez wpływu struktury otworów niezależnie ‘prowadzi światło’. To oznacza, że większość charakterystycznych dla światłowodów mikrostrukturalnych właściwości (np. silne zależności dyspersyjne, jednomodowość w szerokim zakresie) ulegają zmianie w zależności od parametrów zastosowanej domieszki szkła. Publikacja ta stanowiła wyraz przeprowadzonych przeze mnie prac teoretycznych, niezbędnych dla dalszego efektywnego projektowania światłowodów mikrostrukturalnych przeznaczonych do zapisu FBG.

W publikacji P5 zawarto opis kontynuacji badań przedstawionych w ramach artykułu P3. Jako cel badań wskazałem porównanie dwóch typów światłowodów z zapisanymi siatkami Bragga jako czujnikami, umieszczonymi w strukturach kompozytowych. Światłowodami porównawczymi był światłowod mikrostrukturalny prezentowany w artykule P3 oraz standardowy światłowod dwójłomny typu bow-tie. Przedstawione i analizowane przeze mnie wyniki czułości naprężeniowej włókien wskazały na podobnego rzędu wartość czułości, przy czym projekt światłowodu mikrostrukturalnego nie był tu specjalnie optymalizowany pod maksymalizację czułości naprężeniowej. Zasadnicza różnica działania dwóch typów czujników uwidoczniła się w pomiarach temperaturowych, które wykazały o ponad rząd wielkości mniejszą czułość temperaturową światłowodu mikrostrukturalnego z FBG. Było to zgodne ze stawianą przeze mnie tezą badawczą i w tym artykule zostało pozytywnie zweryfikowane. Dodatkowo, czułość temperaturowa światłowodu mikrostrukturalnego ma przeciwny znak do czułości naprężeniowej. Wykazano tym samym, że czujniki FBG oparte na światłowodach mikrostrukturalnych stanowią istotną alternatywę dla FBG na klasycznych włóknach, ponieważ możliwe jest mierzenie naprężeń bez kompensacji temperaturowej czyli wyeliminowanie czułości krzyżowych, co znowu potwierdza stawianą przeze mnie tezę. Istotnym i oryginalnym osiągnięciem przedstawionym w tej publikacji było wykazanie znacznie zmniejszonej czułości temperaturowej w stosunku do znaczącej wartości czułości naprężeniowej zastosowanego czujnika FBG w wysoko-dwójłomnym światłowodzie mikrostrukturalnym.

Artykuł P6 był związany z realizowanym projektem PHOSPHOS (Photonic Skins For Optical Sensing), w którym byłem odpowiedzialny za *Work Package* dotyczący opracowania struktury światłowodu czujnikowego oraz zapisu w nim siatki Bragga jako elementu

czujnikowego. W artykule prezentowane są badania, których cel określiłem jako badanie wpływu szklano-powietrznej mikrostruktury na parametry technologiczne zapisu siatek Bragga oraz własności ostatecznie zapisanej FBG. W publikacjach P2, P3 i P5 zaproponowana przeze mnie struktura miała w minimalnym stopniu zaburzać interferujące wiązki światła UV w rdzeniu włókna. W sytuacji jednak, gdy w realizowanym projekcie konieczne było zaprojektowanie struktury aby maksymalnie zwiększyć czułość polarymetryczną światłowodu na ciśnienie przy jednoczesnym osiągnięciu jak najmniejszej czułości temperaturowej, należało znacznie bardziej skomplikować strukturę światłowodu. Dlatego pierwszym zagadnieniem badawczym jakie postawiłem, było zbadanie wpływu skomplikowanych struktur przy różnym poziomie domieszkowania na proces zapisu siatek Bragga. Przez wpływ struktury rozumiem różnicowanie: poziomu domieszkowania i wielkości rdzenia, poziomu wypełnienia płaszcza otworami (air filling factor), odległości między otworami (stałej sieci) – łącznie w ramach projektu przebadano ok. 20 rodzajów tego typu struktur światłowodowych. Osiągnięciem artykułu była m.in. realizacja zapisu siatki Bragga przy bardzo małym domieszkowaniu rdzenia uzyskując użyteczny poziom pików Bragga, przy bardzo zróżnicowanej strukturze wielu zarówno małych jak i dużych otworów w płaszczu. Warto podkreślić, że umiejętność zapisu siatek Bragga w skomplikowanych strukturach o niskim domieszkowaniu rdzenia pozwala na szersze skorzystanie z możliwości włókien mikrostrukturalnych (gdzie zdecydowanie dominującym jest prowadzenie geometryczne – por. P4). Efektem artykułu było potwierdzenie mojego przekonania i stawianej tezy, że zapis siatki Bragga jest możliwy niemal w każdej strukturze światłowodowej – mikrostruktura „nie blokuje” powstawania prążków interferencyjnych w rdzeniu. Wnioski z tego artykułu pozwoliły na eksperymentalne potwierdzenie, że nawet niski poziom domieszkowania rdzenia pozwala zapisać siatkę Bragga po wcześniejszej optymalizacji technologii zapisu (w szczególności wydłużenie czasu zapisu). Jest to o tyle istotne, że w tym czasie w środowisku naukowym panowało całkowicie odmienne przekonanie – powszechnie sądzono, że mikrostruktura światłowodów w zasadzie uniemożliwia zapis siatek Bragga poprzez skuteczne zaburzenie interferencji promieniowania UV służącego do zapisu FBG. Publikacja ta jest oryginalną i pierwszą systematyczną analizą procesów powstawania siatek Bragga w światłowodach mikrostrukturalnych w zależności od parametrów ich struktury.

W badaniach prowadzących do publikacji P7 zaproponowałem przeprowadzenie eksperymentów w zakresie zapisu siatki Bragga inną, wówczas bardzo nietypową, metodą niż w pozostałych prezentowanych publikacjach. W tym przypadku wskazałem wykorzystanie zapisu metodą punkt po punkcie (*point-by-point*) realizowaną na Politechnice na Cyprze, z którą nawiązałem współpracę poprzez projekt europejski COST Action 299 (gdzie pełniłem rolę lidera grupy roboczej badającej zapis siatek Bragga w światłowodach mikrostrukturalnych). Była to pionierska propozycja wykorzystania tej metody po raz pierwszy do zapisu siatek Bragga w światłowodach mikrostrukturalnych, co stanowi bardzo oryginalną wartość tej publikacji. Możliwość zapisu siatki tą techniką, po zastosowaniu optymalizacji tej technologii, otwiera możliwości produkcji siatek Bragga na dowolnego typu włóknach, gdyż nie wymagana jest foto-czułość w obszarze rdzenia.

Publikacja P8 to rozdział pt. „Fiber Bragg Grating Sensors in Microstructured Optical Fibers” w książce wydanej na 30-to lecie pierwszego zapisu światłowodowej siatki Bragga zatytułowanej “Fiber Bragg Grating Sensors: Recent Advancements, Industrial Applications and Market Exploitation”, Bentham Science Publishers Ltd. Do napisania tego rozdziału, w

uznaniu za moje dokonania, zostałem osobiście zaproszony przez międzynarodowe środowisko naukowe zajmujące się tym tematem reprezentowane przez edytora (list zapraszający w załączeniu do dokumentacji). Publikacja ta, mająca charakter monografii, stanowi podsumowanie mojego ówczesnego dorobku skutkującego rozwojem tematyki siatek Bragga w światłowodach mikrostrukturalnych wraz z szerokim odniesieniem do ówczesnego stanu badań w tej tematyce.

Artykuły P9 i P10 powstały już w zespole badawczym kierowanym przeze mnie w okresie pracy na Wojskowej Akademii Technicznej i w założonej przeze mnie spółce badawczej InPhoTech. Przed moim zatrudnieniem w Instytucie Fizyki Technicznej WAT, jak i po moim odejściu z tej uczelni, nie prowadzono tam prac w obszarze światłowodowych siatek Bragga. W zaproponowanej przeze mnie serii badań postanowiłem zweryfikować tezę wykorzystania światłowodów mikrostrukturalnych z siatkami Bragga jako czujnikami naprężeń podłużnych – rozciągania (w odróżnieniu od wcześniej badanych czujników ciśnienia) wraz z minimalizacją temperaturowej czułości krzyżowej. Wskazany przeze mnie przedmiotem badań w publikacjach P9 i P10 jest przeprojektowane przeze mnie i wykonane na UMCS włókno mikrostrukturalne o silnie asymetrycznym płaszczu. Przedstawiony światłowod jest dwójłomny i kilkumodowy. W publikacji P9 uwaga skupiona jest na analizie właściwości zaprojektowanych i wytworzonych włókien przed zapisem siatek Bragga. Przeprowadzone obliczenia i pomiary wykazały, że polarymetryczna czułość naprężeniowa modu drugiego rzędu jest o dwa rzędy wielkości większa od czułości modu podstawowego. Badania pozwoliły na rozpoznanie, w jaki sposób naprężenia rozkładają się w okolicy rdzenia w trakcie rozciągania włókna. Ponieważ mod drugiego rzędu jest zlokalizowany bliżej otworów, wpływ naprężeń na jego propagację jest dużo większy niż na mod podstawowy. Ta wysoka czułość naprężeniowa modu drugiego rzędu oraz bardzo niska czułość temperaturowa pozwoliła ocenić projekt jako bardzo obiecujący w zastosowaniu czujnikowym, dlatego w następnym kroku w światłowodzie zapisano siatkę Bragga. Artykuł P10 dotyczy technologii zapisu FBG oraz wyników pomiarów badanych światłowodów. W manuskrypcie prezentowane są pomiary czułości dla czterech modów. Ponadto, przedstawione są wyniki obliczeń numerycznych dla realnej struktury (ze zdjęcia SEM), które porównano z pomiarami – świadczy to o bardzo dobrej zgodności wykorzystanych metod numerycznych w zastosowaniu do projektowania światłowodów. Dodatkowym wątkiem rozwiniętym w artykule jest porównanie wpływu długości czasu zapisu FBG na parametry wytworzonej siatki. Badania nad włóknem prezentowanym w ramach artykułów P9 i P10, zgodnie z postawionym i kierowanym przeze mnie zadaniem badawczym, analizą rezultatów i formułowaniem wniosków, niosą ze sobą dużą wiedzę poznawczą w zakresie wpływania na zwiększanie czułości światłowodów mikrostrukturalnych dedykowanych zapisowi FBG. Ponadto, publikacje te stanowiły podstawę do rozpoczęcia przewodu doktorskiego mgr inż. Tadeusza Tenderendy (w którym jestem promotorem pomocniczym). Częściowo zostały one zrealizowane w ramach projektu Preludium Tadeusza Tenderendy, którego także jestem opiekunem naukowym.

Publikacja P11 dotyczy postawionego przeze mnie zadania badawczego zapisu siatek Bragga w zaproponowanym przeze mnie mikrostrukturalnym światłowodzie wielordzeniowym. Włókno to, dedykowane zastosowaniom telekomunikacyjnym, było projektowane wg moich założeń pod kątem uzyskania maksymalnej zgodności charakterystyk każdego z rdzeni ze standardowym światłowodem telekomunikacyjnym (np: SMF-28). Sformułowany przeze mnie celem badań było sprawdzenie, czy możliwe jest zapisanie w

jednym procesie technologicznym siatki Bragga o tych samych właściwościach we wszystkich 7 rdzeniach, znajdujących się na relatywnie dużym obszarze, a nie tylko w pojedynczym rdzeniu. W publikacji tej po raz pierwszy dokonano próby zapisu siatki Bragga w mikrostrukturalnym światłowodzie wielordzeniowym. Otrzymane parametry siatek charakteryzowały się pożądaną jednorodnością. Ponadto uzyskane wyniki potwierdziły obliczenia numeryczne wskazując na poprawność użytego modelu teoretycznego. Zmierzone czułości temperaturowe i naprężeniowe zapisanych siatek Bragga są porównywalne z czułościami FBG na standardowych światłowodach telekomunikacyjnych, co potwierdza materiałowe (standardowe) prowadzenie w każdym z rdzeni w badanym włóknie. FBG w takich światłowodach mogą znaleźć zastosowanie m.in. w filtrach pasmowych lub czujnikach zgięcia czy kształtu. Publikacja ta stanowi wstępne pole do dalszych badań nad czujnikami FBG w światłowodach wielordzeniowych o różnych rdzeniach, co stanowi zaproponowany przeze mnie ważny wniosek z otrzymanych wyników badawczych. W takim przypadku zapis takiej samej siatki na rdzeniach o takich samych efektywnych współczynnikach załamania prowadzonego modu pozwoliłyby na równoległy pomiar kilkukanałowy tej samej wielkości fizycznej, lub co ciekawsze w przypadku różnicowania właściwości rdzeni – pomiar kilku parametrów równocześnie (wieloparametrowy czujnik).

Przedstawione publikacje, które powstały na skutek stawianych przeze mnie poszczególnych zagadnień badawczych, tworzą spójną całość, prezentującą kompleksowy rozwój zaproponowanej oraz realizowanej i kierowanej przeze mnie tematyki badań w zakresie projektowania periodycznych struktur przestrzennych (światłowodowych siatek Bragga) w światłowodach mikrostrukturalnych. W publikacjach tych kierowałem także analizą rezultatów przeprowadzonych badań oraz formułowaniem wniosków. Prace powstałe do roku 2011 zostały podsumowane rozdziałem w książce *Fiber Bragg Grating Sensors: Recent Advancements, Industrial Applications and Market Exploitation*, przedstawiającej osiągnięcia w dziedzinie czujnikowych zastosowań światłowodowych siatek Bragga.

Do najważniejszych moich osiągnięć przedstawionego cyklu prac należą:

- pokazanie możliwości zapisu siatek Bragga w szeregu struktur światłowodów mikrostrukturalnych:
 - zapisanie po raz pierwszy siatki Bragga w światłowodzie mikrostrukturalnym o wysokiej dwójłomności,
 - zapisanie po raz pierwszy siatki Bragga w kilkumodowym światłowodzie mikrostrukturalnym o wysokiej dwójłomności,
 - opracowanie oryginalnej metody badawczej umożliwiającej gruntowne przebadanie zjawiska zależności kąta zapisu siatki dla światłowodów o asymetrycznej strukturze płaszcza,
 - wykonanie po raz pierwszy zapisu siatki Bragga metodą *point-by-point* w światłowodzie mikrostrukturalnym,
 - pierwszy raz zapis siatki Bragga w kilkurdzeniowym światłowodzie mikrostrukturalnym,
 - uzyskanie zapisu siatki Bragga w strukturze światłowodu mikrostrukturalnego o bardzo niskim domieszkowaniu rdzenia;
- zbadanie wpływu mikrostruktury na zapis siatek Bragga:
 - pokazanie wpływu wartości domieszki, współczynnika wypełnienia i stałej sieci na parametry uzyskanej siatki,

- zbadanie zależności między czasem zapisu siatki a poziomem refleksyjności uzyskanego piku Bragga,
 - analiza wpływu naprężeń na mod podstawowy i mod drugiego rzędu poprzez analizę pików Bragga;
- pokazanie możliwości wykorzystania mikrostrukturalnych światłowodów dwójłomnych do zastosowania w czujnikach typu FBG:
 - zaprezentowanie możliwości uzyskania znacznego ograniczenia czułości temperaturowej w badanych elementach (dodatkowo uzyskanie czułości temperaturowej o przeciwnym znaku w stosunku do czułości naprężeniowej);
- zaproponowanie modelu materiałowego i geometrycznego mechanizmu propagacji światła, który efektywnie tłumaczy zjawiska związane z projektowaniem światłowodów mikrostrukturalnych i zapisem w nich siatek Bragga.

Łączna liczba cytowań prac świadczy o znacznym wkładzie w rozwój dziedziny czujników światłowodowych. Wyniki prac, dzięki zdobytej wiedzy o wielu subtelnościach w zakresie mechanizmów propagacji w różnego typu światłowodach mikrostrukturalnych, umożliwiły znaczny rozwój mojego dorobku naukowego, ale także osób pracujących w moich zespołach czy współpracujących ze mną. Ze względu na niesłabnące od lat zainteresowanie czujnikami światłowodowymi, w tym w szczególności opartymi na światłowodach mikrostrukturalnych, jestem przekonany, że wyniki tych prac posłużą jeszcze wielu badaczom, w tym także osobom pracującym nad przemysłowym wykorzystaniem prezentowanych przeze mnie zagadnień.

Łukasz Wasilowski