

Recenzja w postępowaniu habilitacyjnym dra inż. Jacka Wojtanowskiego

1. Uwagi wstępne

Formalną podstawą recenzji jest Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego nr 47/RDN AEE/2021 z dnia 14 lipca 2021 r., na podstawie której zostałem powołany przez RDN na członka Komisji Habilitacyjnej dra inż. Jacka Wojtanowskiego w charakterze recenzenta. Dokumentację związaną z procedurą habilitacyjną otrzymałem 20 lipca 2021 r.

Dokumentacja zawiera:

- Autoreferat,
- Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy (ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. poz. 1668, z późn. zm.)),
- Oświadczenia współautorów,
- Publikacje cyklu.

Podstawą prawną sporządzenia recenzji są: Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym” (Dz. U. poz. 1668, z późn. zm.) oraz § 25 ust. 1 pkt. 3 Statutu Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego stanowiącego załącznik do uchwały Senatu WAT nr 16/WAT/2019 z dnia 25 kwietnia 2019 r.

2. Sylwetka zawodowa Habilitanta

Habilitant po uzyskaniu tytułu zawodowego technika elektronika (w Technikum Elektronicznym w Bydgoszczy – ocena bardzo dobry) podjął studia w Wojskowej Akademii Technicznej, które ukończył w 2001 r. na kierunku *fizyka techniczna* z wynikiem bardzo dobrym z wyróżnieniem (2 lokata w Uczelni). W tej samej uczelni w 2009 r. ukończył również studia podyplomowe związane z zaawansowanymi technikami i metodami pracy dydaktycznej (z oceną bardzo dobry). Ukończył on również kursy specjalistyczne: *Optical Design using Zemax* (w Optima Research Ltd, Stansted, United Kingdom – 2008 r) oraz *Quality of Airborne Data* (w European Facility of Airborne Research, Toulouse, France – 2010 r.); posiada także certyfikat międzynarodowy *Prince2 Foundation Certificate* (nadany przez Axelos Global Best Practice – 2014 r.).

Stopień doktora Habilitant uzyskał w Instytucie Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej w 2011 r. w dyscyplinie elektronika, specjalność optoelektronika (z oceną bardzo dobry z wyróżnieniem).

W jednostce naukowej Habilitant pracuje od 2007 r., kiedy to został zatrudniony w Instytucie Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej jako asystent naukowo-dydaktyczny, a następnie, od 2011 r., jako adiunkt badawczo-dydaktyczny. W 2013 r. został kierownikiem Zakładu Technologii Optoelektronicznych tegoż Instytutu, którą to funkcję pełni do chwili obecnej.

3. Ocena dorobku naukowego, projektowego, konstrukcyjnego i technologicznego

Głównym obszarem naukowych zainteresowań dra inż. Jacka Wojtanowskiego są niekonwencjonalne, specjalistyczne systemy optoelektroniczne wykorzystujące wiązki laserowe w zastosowaniach wojskowych, które również mogą znaleźć zastosowania cywilne.

3.1. Ocena cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych

Jako osiągnięcie naukowe w rozumieniu Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym” (Dz. U. poz. 1668, z późn. zm.) – art. 219 ust. 1 pkt. 2 lit. b) Habilitant przedstawił cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych, zatytułowany:

„Optoelektroniczne systemy specjalnego przeznaczenia – metody projektowania torów optycznych z wykorzystaniem modelowania zasięgowego oraz nowatorskich metod kształtowania niesymetrycznych rozkładów promieniowania optycznego”

Cykl ten obejmuje:

- H1. J. Wojtanowski, M. Zygmunt, M. Traczyk, Z. Mierczyk, M. Jakubaszek: Beam forming optic aberrations' impact on maximum range of semiconductor laser based rangefinders. **Electronics Review**, vol. 22, no. 3, pp. 152–161, 2014. <https://doi.org/10.2478/s11772-014-0191-1> (IF=1,667).
- H2. J. Wojtanowski: Optimal Mass Transportation problem and freeform optics design – identity of optimization scheme and numerical solution method. **Optica Applicata**, vol. XLVIII, no. 3, pp. 399–412, 2018. <https://doi.org/10.5277/oa180306> (IF=1,054).
- H3. J. Wojtanowski: Efficient numerical method of freeform lens design for arbitrary irradiance shaping. **Journal of Modern Optics**, vol. 65, no. 9, pp. 1019–1032, 2018. <https://doi.org/10.1080/09500340.2017.1422563> (IF=1,657).
- H4. J. Wojtanowski, T. Drozd: Simplified geometric approach to freeform beam shaper design. **International Journal of Optics**, vol. 2020, ID 2896593, pp. 1–12, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/2896593> (IF=0,867).
- H5. J. Wojtanowski, M. Zygmunt, M. Kaszczuk, Z. Mierczyk, M. Muzal: Comparison of 905 nm and 1550 nm semiconductor laser rangefinders' performance deterioration due to adverse environmental conditions. **Opto-Electronics Review**, vol. 22, no. 3, pp. 183–190, 2014. <https://doi.org/10.2478/s11772-014-0190-2> (IF=1,667).
- H6. J. Wojtanowski, M. Traczyk, Z. Mierczyk, M. Zygmunt, B. Przybyszewski: Diffractive correction of remote sensing systems based on pulsed laser diodes. **Opto-Electronics Review**, vol. 23, no. 3, pp. 222–229, 2015. <https://doi.org/10.1515/oere-2015-0028> (IF=1,611).
- H7. J. Wojtanowski: Cancelling lidar echo signal $1/\text{range}^2$ dependence and geometrical form factor shaping by the application of freeform optics. **Optics & Laser**

- Technology**, vol. 125, 106011, pp. 1–7, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.106011> (IF=3,233).
- H8. J. Wojtanowski, M. Traczyk, M. Zygmunt, Z. Mierczyk, P. Knysak, T. Drozd, Intensity distribution angular shaping – Practical approach for 3D optical beamforming. **Optics & Laser Technology**, vol. 64, pp. 220–226, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2014.08.013> (IF=1,647).
- H9. J. Wojtanowski, M. Traczyk: Optical design of transmitter lens for asymmetric distributed free space optical networks. **Optics & Laser Technology**, vol. 2018, pp. 319–327, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2017.11.036> (IF=3,319).
- H10. J. Wojtanowski, M. Jakubaszek, M. Zygmunt, Freeform Mirror Design for Novel Laser Warning Receivers and Laser Angle of Incidence Sensors. **Sensors**, vol. 20, no. 9, 2569, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20092569> (IF=3,275).

Ocena bibliometryczna cyklu artykułów

Cykl ten obejmuje dziesięć publikacji z lat 2014–2020 opublikowanych w czasopismach z listy Journal Citation Reports (tzw. listy filadelfijskiej), których *impact factor* (IF) zawiera się w przedziale od 0,867 do 3,319 (w tym trzech o IF>3,0). Sumaryczny IF przedstawionych prac wynosi 19,997, licząc rok publikacji (22,193 wg stanu aktualnego), a sumaryczna liczba punktów MNiSW wynosi 540, licząc rok publikacji (760 wg stanu aktualnego). W dwóch publikacjach Habilitant jest jedynym autorem, a w pozostałych jest pierwszym autorem. Z oświadczeń Habilitanta i współautorów wynika, że w publikacjach, gdzie Habilitant jest współautorem, jest on albo głównym pomysłodawcą hipotezy badawczej i opisu matematycznego, albo opisanej metody projektowania lub wykorzystania kluczowego elementu optycznego.

Z bibliometrycznego punktu widzenia **dorobek ten jest znaczny, ponadprzeciętny.**

Ocena merytoryczna osiągnięć naukowych opisanych w cyklu artykułów

Przedstawiony przez Habilitanta cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych dotyczy osiągnięć Habilitanta w zakresie metod projektowania systemów wykorzystujących propagację wiązki laserowej w wolnej przestrzeni do pozyskiwania informacji (systemy lidarowe, dalmierze, skanery optyczne itp.) lub przesyłania informacji (sieci optyczne wykorzystujące transmisję w wolnej przestrzeni). W tradycyjnych systemach tego typu wykorzystywane są wiązki, których poprzeczny rozkład amplitudy (i natężenia) jest opisywany funkcją Gaussa. Takie wiązki powszechnie znane są pod nazwą wiązek gaussowskich. Tego typu wiązki są stosowane nie tylko w systemach, o których przed chwilą była mowa, ale również w wielu innych urządzeniach i systemach optycznych i optoelektronicznych, np. w urządzeniach technologicznych do cięcia, drukowania 3D poprzez spiekanie proszków metali, w interferometrach pomiarowych, w sensorach światłowodowych z zewnętrzną przestrzenią pomiarową (ang. extrinsic fiber-optic sensors), w laserach jednomodowych itd. Popularność wykorzystywania wiązki gaussowskiej bierze się stąd, że rozbieżność oraz możliwość jej skupiania do małej plamki ogranicza jedynie zjawisko dyfrakcji (znane są też wiązki, których średnica nie zmienia się wraz z odległością, np. wiązki Bessela lub Bessela-Gaussa, jednak przy ograniczonej średnicy elementów optycznych średnica wiązki pozostaje stała jedynie do pewnej odległości; poza tym wiązki te charakteryzują się występowaniem tzw. listków bocznych (ang. sidelobes), w których znaczna część energii propaguje poza listkiem centralnym). Zainteresowanie Habilitanta i przedstawione osiągnięcia dotyczą głównie

projektowania systemów specjalistycznych, w których są wykorzystywane nietypowe i nowatorskie rozwiązania, gdzie wykorzystanie wiązki gaussowskiej nie musi być optymalne. Projektowanie tego typu urządzeń wymaga jakościowo innego podejścia do projektowania elementów optycznych formujących rozkład promieniowania wiązki laserowej. Zagadnienie te jest trudne, gdyż na rynku brakuje odpowiednich narzędzi, za pomocą których można byłoby projektować i analizować działanie elementów optycznych formujących tego typu wiązki (powszechnie znane i stosowane programy komputerowe wspomagające projektowanie systemów optycznych i analizy ich działania, takie jak np. *Zemax OpticStudio*, *Code V*, *Oslo* były projektowane i rozwijane głównie jako oprogramowanie do projektowania układów obrazujących, np. obiektywów fotograficznych, mikroskopowych, lornetek, teleskopów itp. i w zakresie wymagań do projektowania specjalistycznych układów do formowania wiązki możliwości tych programów są bardzo ograniczone). Zagadnienia związane z formowaniem wiązki laserowej poświęcone są prace [H1–H4, H6, H7, H9 i H10].

W pracy [H1] Habilitant analizuje wpływ aberracji optycznych elementów formujących wiązkę na maksymalny zasięg półprzewodnikowych dalmierzy laserowych, w których zastosowano dwa tora optyczne: nadawczy i odbiorczy. W obu torach wykorzystano soczewki – albo do formowania wiązki laserowej (tor nadawczy), albo do efektywnego skupiania powracającego sygnału echa optycznego na powierzchni detektora (tor odbiorczy). W analizie uwzględniano laser półprzewodnikowy matrycowy trójpaskowy. Analizie podlega układ, w którym w torze nadawczym wykorzystano soczewki sferyczne o różnych aberracjach sferycznych: soczewki płasko-wypukłe, dwuwypukłe i typu *best-shape* (to jest o najmniejszej aberracji sferycznej przy określonej średnicy i ogniskowej soczewki) o różnym parametrze $f/\#$ (ang. f-number – stosunek ogniskowej do średnicy) oraz soczewki asferyczne. Dla każdej z typu soczewek przeanalizowano degradacyjny wpływ aberracji sferycznej na zasięg dalmierza w porównaniu z konfiguracją bez aberracji, w której rozbieżność wiązki laserowej jest związana jedynie ze zjawiskiem dyfrakcji. Ciekawym pomysłem była również analiza układu, w którym w torze nadawczym wykorzystano soczewkę stożkową. Taka soczewka pełni funkcję aksikonu, dzięki której można generować wiązki zbliżone do wiązek Bessela (wiązki o stałej średnicy). Przy wyznaczeniu zasięgu dalmierza uwzględniono to, że ze względu na rozdzielanie układów optycznych toru nadawczego i odbiorczego nie cała plamka laserowa na przedmiocie, na który padała wiązka laserowa, była odwzorowywana przez układ optyczny układu odbiorczego na fotodiodzie.

Problemowi formowania wiązki pochodzącej z kilku źródeł wiązek koherentnych pochodzących z lasera matrycowego trójpaskowego poświęcona jest również praca [H6]. Tym razem w układzie formującym wiązkę wykorzystany jest generowany komputerowo hologram (ang. computer generated hologram – CGH), którego zadaniem jest uzyskanie z trzech wiązek o prostokątnym rozkładzie natężenia promieniowania w kierunku poprzecznym do wiązki, pochodzących z tego lasera, pojedynczej wiązki o rozkładzie prostokątnym. W tej samej pracy pokazano również możliwość wykorzystania generowanego komputerowo hologramu w celu uzyskania wiązki o przekroju prostokątnym ze skolimowanej wiązki o rozbieżności wynikającej jedynie ze zjawiska dyfrakcji, uzyskanej z wiązki wychodzącej ze światłowodu o średnicy $10\ \mu\text{m}$ pobudzanego diodą elektroluminescencyjną ($\lambda = 850\ \text{nm}$) sprzęgniętą z tym światłowodem. (Zarówno w pracy, jak i w Autoreferacie, niestety, nie podano typu światłowodu. Można się domyślać, że chodzi tutaj o średnicę nie światłowodu, a o średnicę rdzenia światłowodu lub średnicę pola modu. Z kontekstu pracy można wywnioskować, że wykorzystany światłowód był światłowodem jednomodowym.) W celu uzyskania generowanych komputerowo

hologramów wykorzystano najpierw metodę dekonwolucji Lucy-Richardsona, aby otrzymać wiązkę o żądanym rozkładzie natężenia promieniowania. Aby taki rozkład natężenia występował w polu dalekim, w płaszczyźnie hologramu natężenie wiązki musiało mieć odpowiedni rozkład natężenia i odpowiedni rozkład fazy. Problem uzyskania właściwych rozkładów można rozwiązać iteracyjnie w procesie optymalizacji, wykorzystując iteracyjnie algorytm transformacji Fouriera (ang. Iterative Fourier Transform Algorithm – IFTA), generyczny algorytm symulowanego wyżarzania, siatki dyfrakcyjne Dammanna lub jakąś tradycyjną, wielozmienną metodę optymalizacji, np. metodę najmniejszych kwadratów. W pracy wykorzystano metodę IFTA ze względu na możliwość wykorzystania algorytmu szybkiej transformacji Fouriera (ang. Fast Fourier Transform – FFT). Wyniki prac zostały wykorzystane praktycznie w dalmierzu laserowym.

W dalszych pracach cyklu (prace [H2-H4, H7 i H9]) Habilitant analizuje pracę systemów, w których w torze nadawczym do formowania wiązki wykorzystano soczewki *freeform* (soczewki tego typu mogą mieć dowolny kształt powierzchni łamiącej, dobierany w wyniku złożonego procesu optymalizacji – kształt tej powierzchni bardzo często odbiega od kształtu „zwykłych” soczewek asferycznych); w pracy [H10] zamiast soczewki wykorzystano zwierciadło *freeform* – tym razem w torze odbiorczym. Prace [H2-H4] poświęcone są problemom obliczeń kształtu powierzchni łamiącej. Habilitant w procesie optymalizacji układu optycznego prowadzącego do uzyskania tego kształtu wykorzystał metodę Gasparda Monge’a (w wersji pierwotnej rozwiązującą tzw. problem optymalnego transportu masy). Pojawiające się w procesie optymalizacji z wykorzystaniem tej metody równania są nieliniowymi eliptycznymi równaniami różniczkowymi drugiego rzędu, które w literaturze noszą nazwę równań różniczkowych cząstkowych Monge’a-Ampère’a (ang. Monge-Ampère partial differential equations, lub krócej Monge-Ampère PDEs). W artykułach [H2 i H3] Habilitant wykorzystuje metodę opartą na tych równaniach do poszukiwania kształtu powierzchni łamiącej soczewki umożliwiającej otrzymanie wiązki laserowej o zadanym rozkładzie natężenia.

W pracy [H4] przedstawiona jest metoda poszukiwania kształtu powierzchni łamiącej soczewki *freeform* w problemie, w którym należy uzyskać nie tylko zadany rozkład natężenia wiązki laserowej, ale także zadany kształt frontu falowego. W celu utrzymania tych dwóch ustalonych wielkości jednocześnie wymagane jest stosowanie co najmniej dwóch powierzchni łamiących (lub odbijających, jeżeli wykorzystano by zwierciadła *freeform* zamiast soczewek). Aby kształt tych powierzchni uzyskać, Habilitant zaproponował nową metodę – metodę GATMA (z ang. geometric approach to Monge-Ampère equation). Metoda ta łączy zalety metody opartej na rozwiązywaniu równań różniczkowych Monge’a-Ampère’a z wydajnymi metodami opartymi na znajdowaniu promieni na wyjściu układu optycznego na podstawie znajomości biegu promieni na jego wejściu. Najpierw wyznaczony jest kształt pierwszej powierzchni, aby uzyskać żądany rozkład natężenia, a następnie drugiej, za pomocą której korygowana jest faza frontu falowego. W porównaniu z najnowocześniejszymi metodami projektowania powierzchni *freeform*, w metodzie GATMA nie musimy bezpośrednio rozwiązywać równania Monge-Ampère – równanie to jest wykorzystywane jako funkcja błędów. Takie podejście sprawia, że algorytm obliczeniowy jest prostszy, bardziej niezawodny i zbieżny. W artykule jako przykład pokazano, jak należy obliczyć kształt powierzchni łamiącej soczewki *freeform*, która skolimowaną jednorodną wiązkę laserową przekształcałaby na wiązkę o trójkątnym kształcie rozkładu natężenia wiązki i płaskim froncie falowym. Jak widać, rozwiązany problem mocno różni się od często spotykanego problemu polegającego na przekształcaniu wiązki gausowskiej posiadającej symetrię kołową, na wiązkę o jednorodnym rozkładzie natężenia (czyli

wiązki o stałym natężeniu do ustalonej odległości od osi wiązki. Ten problem rozwiązuje się za pomocą komercyjnie dostępnych elementów zwanych pod angielską nazwą *pi-shapers* (tego typu elementy stosuje się np. w laserowych drukarkach 3D).

Zastosowaniu soczewek *freeform* pozbawionych symetrii kołowej poświęcono prace [H7] i [H9]. Ciekawe zastosowanie takiej soczewki pokazane jest w pracy [H7]. W pracy [H7] przedstawionym problemem było takie uformowanie wiązki laserowej, aby w torze odbiorczym lidar dwuosiowego (tj. z osobnymi układami optycznymi dla toru nadawczego i odbiorczego) uzyskać sygnał optyczny powracającego echa o mocy niezależnej od odległości w szerokim zakresie od celu. W pracy przedstawiono rozwiązanie tego problemu w postaci znalezienia rozkładu kierunkowego i natężenia w kierunku poprzecznym wiązki laserowej, a w następnym kroku wyznaczenia kształtu powierzchni łamiącej soczewki *freeform* znajdującej się w torze nadawczym. Problem ten ani sposób jego rozwiązania nie był wcześniej dyskutowany w literaturze. Z tego względu pracę [H7] można uznać za pionierską. Z kolei w pracy [H9] przedstawiono możliwość przekształcenia za pomocą wysoce niesymetrycznej soczewki *freeform* pojedynczej wiązki laserowej w szereg wiązek o zadanych kierunkach oraz potencjalne zastosowanie tego rozwiązania do budowy optycznej sieci transmisji danych w wolnej przestrzeni.

Ostatnią pracą poświęconą projektowaniu elementów optycznych typu *freeform* i ich zastosowaniu jest pozycja [H10]. Tym razem nie jest to soczewka *freeform*, ale zwierciadło *freeform* wykorzystane w torze odbiorczym sensora wykrywającego kierunek padania wiązki laserowej – sensora AOI (z ang. angle-of-incidence sensor), który w zastosowaniach militarnych może być wykorzystany w systemach ostrzegających przed podświetleniem wiązką laserową. Zaproponowane w pracy podejście pozwala na uzyskanie stałej rozdzielczości kątowej sensora w całym zakresie kąta bryłowego działania sensora. Uzyskane rozwiązanie umożliwia zbudowanie sensora o kątach widzenia 90° i 120° , licząc w dwóch ortogonalnych kierunkach, przy dodatkowo (w stosunku do rozwiązań klasycznych) mniejszej czułości na światło rozproszone, większej dynamice oraz bardziej zwartej budowie sensora.

Ciekawy problem uzyskania wiązki o stosunkowo dużej (rzędu kilkunastu-kilkudziesięciu cm) i stałej średnicy w szerokim zakresie odległości od źródła przedstawiono w pracy [H8]. Przedstawione rozwiązanie problemu było zupełnie innym niż oparte na uzyskaniu wiązki wolnej od zjawiska dyfrakcji (np. wiązki Bessela). Habilitant rozwiązał ten problem, wykorzystując niekonwencjonalne podejście projektowe, poprzez zamodelowanie wiązki wychodzącej z nadajnika poprzez superpozycję „stożków świetlnych”, a następnie zaprojektowanie odpowiedniej soczewki asferycznej formującej taką wiązkę. W przedstawionym w pracy przykładzie zaprojektowana wiązka miała stałą średnicę 60 cm w przedziale odległości od 10 m do 300 m od nadajnika. Taką wiązkę można wykorzystać w laserowych symulatorach strzelań, w których nadajniki są zamontowane na broni strzeleckiej, a odbiorniki na ubraniu osób biorących udział w ćwiczeniach.

Chociaż w cyklu prac [H1–H10] problemom formowania wiązki laserowej poświęcono największą uwagę, gdyż jest to zagadnienie kluczowe w systemach, w których wiązka laserowa od nadajnika do odbiornika propaguje w wolnej przestrzeni, w cyklu tym Habilitant przedstawił również inne swoje osiągnięcia dotyczące tego typu systemów. Problemowi wpływu atmosfery na wiązkę laserową w zależności od długości wykorzystanej fali poświęcona jest praca [H5]. Przedstawiono w niej uzyskane wyniki badań wpływu deszczu i mgły, a także aerosolu oceanicznego, jaki może znajdować się nad powierzchnią wody, na degradację wraz z odległością

wiązki laserowej generowanej przez lasery półprzewodnikowe wykorzystywane w dalmierzach laserowych pracujących na zasadzie pomiaru czasu przelotu impulsów promieniowania optycznego. Uwzględniono tu dwie bardzo popularne długości fali, spotykane w tego typu laserach – mianowicie 905 nm i 1550 nm. W badaniach teoretycznych wykorzystano „Standardowy model atmosfery”, na podstawie którego obliczano współczynnik ekstynkcji w funkcji długości fali atmosfery w obecności opadów o różnej intensywności (2 mm/h lub 25 mm/h), mgły (ograniczającej widoczność do 0,2 km lub 0,5 km) lub aerosolu oceanicznego. W pracy wykazano, że przy obecności opadów, mgły lub aerosolu oceanicznego, ograniczający wpływ tych czynników na zasięg dalmierza jest większy dla wiązki o długości fali 1550 nm niż dla wiązki o długości fali 905 nm. Jak sam Habilitant zauważa, nie oznacza to, że w dalmierzach lepiej jest stosować lasery półprzewodnikowe generujące falę o długości 905 nm. Pomijając cenę i dostępność laserów o różnych długościach fali, należy również w dalmierzach laserowych uwzględniać bezpieczeństwo ich wykorzystania. Chociaż w obecności wspomnianych wyżej czynników atmosferycznych wiązka laserowa o długości fali 905 nm jest mniej tłumiona niż o długości 1550 nm, przy długości fali 1550 nm można stosować lasery o dużo większej mocy (w przeciwieństwie do fali o długości 905 nm, fala o długości 1550 nm jest znacznie bardziej tłumiona w wodzie, a przez to w znacznie mniejszym stopniu jej dociera do siatkówki oka, co oznacza możliwość wykorzystania wiązek laserowych o większej mocy przy tej długości fali, zachowując brak ryzyka uszkodzenia narządu wzroku).

Poza uwagami merytorycznymi dotyczącymi osiągnięć naukowych zawartych w przedstawionym cyklu, warto się odnieść do stosowanej przez Habilitanta nomenklatury – tym bardziej że odniósł się on do niej na str. 12 Autoreferatu. Wspomniał, że będzie stosował nazewnictwo usystematyzowane wg publikacji: A. Rogalski, Z. Bielecki: *Detekcja sygnałów optycznych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2020 r. Wysiłek stosowania w opracowaniach i publikacjach naukowych usystematyzowanej nomenklatury jest godne uwagi. Niemniej jednak wysiłek ten nie uchronił Habilitanta przed kilkoma „potknięciami” w zakresie jej stosowanej:

1. W pracach [H1] (s. 153) i [H6] (str. 222) zastosowano termin „micron” zamiast „micrometer”; jednostka „mikron”, zamiast „mikrometr”, została zastosowana również niewłaściwie w Autoreferacie (s. 13). Jednostka micron (i jej polska nazwa mikron) od 1967 roku przestała być jednostką SI.
2. W kilku pracach można spotkać wykorzystanie terminu “optical power” w znaczeniu mocy promieniowania optycznego, np. w sentencjach: “optical power spatial distribution” ([H1], s. 3), “background light optical power” ([H5], s. 183), “total optical power” ([H6], s. 225), “incident optical power” ([H6], s. 228), “the echo optical power” ([H7], s. 1), “implying a noisy background and optical power capable of saturating the detection unit” ([H8], s. 26), “optical power density” ([H9], s. 321), “the optical power on the target surface” ([H9], s. 326). W Autoreferacie (s. 28) natomiast mamy „moc optyczna sygnału”. Należy zaznaczyć, że formalnie zarówno termin “optical power” w języku angielskim, jak i „moc optyczna” w języku polskim definiuje zdolność skupiającą soczewek, zwierciadeł lub układów optycznych i oznacza odwrotność ogniskowej tych elementów lub układów. Właściwym terminem powinno być “power of optical radiation” albo „moc promieniowania optycznego”. Należy jednak zaznaczyć, że żargon “optical power” albo „moc optyczna” w znaczeniu „moc promieniowania optycznego” jest nagminnie wykorzystywany, zwłaszcza w literaturze anglosaskiej.
3. W Autoreferacie nagminnie błędnie stosowany jest termin „technologia” w znaczeniu „technika”, co wynika z wpływu języka angielskiego na język polski (z błędnego

tłumaczenia angielskiego wyrazu “technology”, który oznacza zarówno technikę, jak i technologię). W języku polskim, zgodnie ze Słownikiem języka polskiego PWN, wyraz „technologia” oznacza metodę przeprowadzania procesu produkcyjnego lub przetwórczego albo dziedzinę techniki zajmującą się opracowywaniem nowych metod produkcji wyrobów lub przetwarzania surowców. Dlatego w Autoreferacie w sformułowaniach: „technologia ta” (mowa o pomiarze prędkości – s. 19), „technologia radarowa” (s. 19), „technologia mobilnego pomiaru prędkości” (s. 30), „technologia GPS” (s. 35), „technologia dalmiercza” (s. 38) w miejscu wyrazu „technologia” powinien być wyraz „technika”.

4. Odpowiednikiem angielskiego terminu “Snell’s law” w języku polskim powinien być raczej termin „prawo Snelliusa”, a nie „prawo Snella”, jak mamy w Autoreferacie (s. 29). Nazwisko holenderskiego astronoma i matematyka Willebrorda Snella już dawno zostało spolszczone, tak jak wielu innych sławnych ludzi nauki, np. jak włoskiego astronoma, matematyka i fizyka Galileo Galilei (na Galileusz), szwedzkiego fizyka i astronoma Andersa Celsiusa (na Celsjusz)). Podobnie jest z ludźmi kultury, np. z Michelangelo di Lodovico Buonarroti Simonim (Michał Anioł), z Tiziano Vecellim lub Vecellio (Tycjan), z Williamem Shakespeare (Szekspir) i innymi sławnymi ludźmi, np. z René Descartesem (Kartezjusz).

Przytoczone uwagi natury semantycznej oczywiście w żaden sposób nie umniejszają osiągnięć naukowych, a mają jedynie wyczulić Habilitanta do jeszcze większej uwagi na wypadek kontaktów ze studentami w czasie zajęć akademickich.

Podsumowując, przedstawiony przez Habilitanta cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych [H1–H10] w sposób kompleksowy opisuje kluczowe problemy związane z projektowaniem systemów wykorzystujących propagację wiązki laserowej w wolnej przestrzeni w celu pozyskiwania informacji (systemy lidarowe, dalmierze, skanery optyczne itp.) lub przesyłania informacji (sieci optyczne wykorzystujące transmisję w wolnej przestrzeni). Podejście i metody rozwiązywania tych problemów są bardzo innowacyjne, daleko odbiegające od rutynowego postępowania. Pokazano, że wykorzystanie wiązek optycznych o nietypowym rozkładzie przestrzennym promieniowania i elementów optycznych formujących takie wiązki w znaczący sposób polepszają parametry tych systemów. W celu formowania takich wiązek wykorzystano w torze nadawczym soczewki *freeform* lub generowane komputerowo hologramy. Wpływ na poprawienie parametrów systemów ma również staranne zaprojektowanie układów optycznych w torze odbiorczym, gdzie również można zastosować podobne elementy (w jednym z artykułów opisano rozwiązanie, w którym w torze odbiorczym wykorzystano zwierciadło *freeform*). W przedstawionym cyklu nie zabrakło również rozważań nad doбором długości fali, aby zminimalizować wpływ niekorzystnych czynników atmosferycznych na propagację wiązki w wolnej przestrzeni. Do najważniejszych osiągnięć opisanych w cyklu można zaliczyć:

1. Analizę wpływu aberracji elementów optycznych na parametry omawianych systemów.
2. Zaproponowanie metod doboru optymalnego rozkładu wiązki laserowej i elementów optycznych formujących te wiązki z wykorzystaniem soczewek lub generowanych komputerowo hologramów. Za wręcz pionierskie podejście można uznać metody projektowania lidarów, w których moc sygnału optycznego powracającego echa jest niezależna od odległości od celu w szerokim zakresie.

3. Przebadanie wpływu niekorzystnych czynników atmosferycznych na degradację wraz z odległością wiązki laserowej generowanej przez lasery półprzewodnikowe w funkcji długości fali.
4. Praktyczne wykorzystanie opracowanych, innowacyjnych metod projektowych w rzeczywistych systemach.

Przedstawione osiągnięcia naukowe przedstawione w cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych **w pełni można uznać, że stanowią znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej automatyka, elektronika i elektrotechnika** w myśl Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym” (Dz. U. poz. 1668, z późn. zm.) – art. 219 ust. 1 pkt. 2 lit. b).

3.2. Ocena pozostałego dorobku naukowego, projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego

Poza artykułami wchodzącymi do cyklu publikacji przedstawionego w punkcie 3.1, Habilitant jest autorem lub współautorem 31 innych publikacji opublikowanych w czasopismach naukowych, w tym 20 po uzyskaniu stopnia doktora. Wśród tych ostatnich cztery artykuły zostały opublikowane również w czasopismach z listy Journal Citation Reports (dwa w Opto-Electronics Review i po jednym w Bulletin of the Polish Academy of Sciences – Technical Science oraz w Optics & Laser Technology).

Artykuły te opisują naukowe osiągnięcia Habilitanta dotyczące optoelektroniki, w tym kształtowaniu wiązki laserowej, systemów transmisyjnych w wolnej przestrzeni wykorzystujących lasery impulsowe, detekcji zagrożeń biologicznych i chemicznych, sensorów do pomiarów pól elektrycznych o dużym natężeniu, dalmierzy laserowych, skanerów laserowych, laserowych mierników prędkości pojazdów czy systemów sensorowych zabezpieczeń schronów. Habilitant brał udział i prezentował swoje osiągnięcia w licznych krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych; po uzyskaniu stopnia doktora na 12 z nich osobiście prezentował swoje osiągnięcia, a na 9 kolejnych osiągnięcia te były prezentowane przez innych współautorów.

Pełny wykaz tych artykułów, konferencji i komunikatów konferencyjnych został zamieszczony w „Wykazie osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny”.

Ogólny dorobek naukometryczny Habilitanta w zakresie cytowań wynosi: 85 (w tym 80 bez autocytowań, wg bazy Web of Science, 113 (101) wg bazy Scopus oraz 148 wg bazy Google Scholar. Index Hirscha we wszystkich trzech bazach wynosi 5.

Habilitant po uzyskaniu stopnia doktora jest współautorem dwóch rozdziałów w monografiach krajowych oraz jednego rozdziału „Detecting hazardous particles in the sky with LIDAR” w monografii zagranicznej (w Newsletter of LASERLAB-EUROPE – Laserlab Forum, tom 20, Rozdz. Lasers for the Environment, Max Born Institute, Niemcy, 2015). Jest też współautorem dwóch patentów (krajowego PL225266 i europejskiego EP2942567).

Do istotnego dorobku Habilitanta należy zaliczyć kilkadziesiąt wykonanych projektów i konstrukcji systemów optoelektronicznych, w których zaimplementowano tory optyczne autorstwa Habilitanta, zrealizowanych głównie w licznych projektach badawczych (omówionych w następnym punkcie recenzji). Do tych systemów należą: dalmierze laserowe, lidary

(fluorescencyjny, depolaryzacyjny oraz rozproszeniowy), skanery mobilne, systemy obrony aktywnej lub inteligentnej, system identyfikacji swój-obcy i czujnik impulsu HPM (high-power microwave).

Habilitant ma również szereg osiągnięć technologicznych, wdrożonych w Zakładzie Technologii Optoelektronicznych Instytutu Optoelektroniki WAT w postaci stanowisk przeznaczonych do specjalistycznych procesów technologicznych (np. do napyłania cienkich warstw, cięcia, szlifowania i polerowania powierzchni optycznych, wykonywania mikropołączeń struktur elektronicznych) oraz wdrożeń: prędkościomierz laserowy RAPID – L (ZURAD Sp. z o.o.), sensor optoelektroniczny dla systemu obrony aktywnej (Instytut Optoelektroniki WAT), zapalnik zbliżeniowy (Telesystem-Mesco Sp. z o.o.), ręczny fotoradar laserowy (ZURAD Sp. z o.o.), wielospektralny skaner reflektancyjny (KenBIT Koenig i Wspólnicy SpJ), moduł dalmierza laserowego (Telesystem-Mesco Sp. z o.o.) oraz sensor optoelektroniczny do inteligentnego antypocisku do zwalczania pocisków przeciwpancernych (Instytut Optoelektroniki WAT).

Przedstawione osiągnięcia pozostałego dorobku naukowego, projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego w pełni można uznać za wystarczające (w myśl Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym” (Dz. U. poz. 1668, z późn. zm.) – art. 219 ust. 1 pkt. 2 lit. a i c).

4. Ocena aktywności naukowej

Do osiągnięć związanych z aktywnością naukową związaną z uczelniami i instytucjami naukowymi można zaliczyć współpracę Habilitanta z:

1. Uniwersytetem Technicznym w Dreźnie,
2. Centrum Promieniowania Synchrotronowego przy Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie.

Należy jednak podkreślić, że głównie aktywność naukowa Habilitanta wyraża się w udziale w licznych projektach finansowanych w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, których realizacja nie byłaby możliwa bez współpracy z wieloma uczelniami lub instytucjami naukowymi, o których Habilitant w swojej dokumentacji nie wspomina. Do 26 ukończonych projektów można zaliczyć:

1. Projekt Europejskiej Agencji Obrony pt. „Air Defence High Energy Laser Weapon – ADHELW”,
2. Projekt Europejskiej Agencji Obrony pt. „Sniper Positioning and Detection”,
3. Projekt finansowany przez NCBiR nr PBS1/B3/10/2012 pt. „Ręczny radar laserowy”, w którym Habilitant był **kierownikiem projektu**,
4. 7 innych projektów finansowanych przez NCBiR,
5. 11 projektów finansowanych przez MNiSW,
6. 3 projekty finansowane przez MNiSW,
7. 3 projekty realizowane we współpracy z przemysłem (z Designers Sp z o.o., PCO S.A. i Zakładami Urządzeń Radiolokacyjnych „ZURAD”).

Obecnie Habilitant bierze udział w realizacji czterech projektów: w projekcie niejawnym („FERO”), w projekcie NCBiR oraz w dwóch projektach w ramach współpracy z Designers Sp. z o.o.

Pełny wykaz listy projektów został zamieszczony w „Wykazie osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny”.

Habilitant jest również uczestnikiem w programach międzynarodowych:

1. **Laserlab-Europe** (The integrated initiative of European laser research infrastructures),
2. **ELI** (Extreme Light Infrastructure),
3. **EDF** (European Defense Fund),
4. **TaCBRD** (Transatlantic Collaborative Biological Resiliency Demonstration Programme).

Podsumowując, aktywność naukową Habilitanta w postaci uczestnictwa w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, w tym w licznych projektach badawczych realizowanych we współpracy międzynarodowej (głównie pod auspicjami Europejskiej Agencji Obrony), można uznać za imponującą.

Habilitant był członkiem zespołów eksperckich lub konkursowych:

1. w przydzielaniu funduszy europejskich z EDF (European Defense Fund),
2. w przydzielaniu nagród Ministra Obrony Narodowej systemów związanych z obronnością i bezpieczeństwem Państwa,
3. w grupie nadzorującej (Executive Management Group) projektu MICLID (Mid-Infrared Chemical LIDAR) realizowanego w ramach Europejskiej Agencji Obrony.

Do aktywności naukowej Habilitanta zaliczyć należy również sporządzone recenzje artykułów publikowanych w renomowanych, międzynarodowych czasopismach naukowych. Po uzyskaniu stopnia doktora sporządził 9 takich recenzji, z czego 4 w ostatnich dwóch latach. Zapraszanie redakcji tych czasopism do wykonywania recenzji świadczy o uznaniu, jakim się On cieszy w środowisku naukowym. Jest też członkiem międzynarodowych stowarzyszeń naukowych OSA i SPIE.

Habilitant pełnił funkcję promotora pomocniczego przy realizacji pracy doktorskiej.

Biorąc pod uwagę współpracę z Uniwersytetem Technicznym w Dreźnie oraz z Centrum Promieniowania Synchronicznego przy Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie, a także współpracę z wieloma ośrodkami naukowymi, do których musiało dochodzić w trakcie realizacji projektów badawczych, Habilitant **spełnia kryteria dotyczące aktywności naukowej** w myśl Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym” (Dz. U. poz. 1668, z późn. zm.) – art. 219 ust. 1 pkt. 3.

5. Inne osiągnięcia, nagrody

Jako pracownik uniwersytecki swoją wiedzą naukową Habilitant mógł się dzielić nie tylko w czasie aktywności wydawniczej, na konferencjach lub sympozjach (publikacje, wystąpienia konferencyjne itp.), ale również w działalności dydaktycznej. Jest on koordynatorem i głównym prowadzącym sześciu przedmiotów akademickich związanych z optyką, optoelektroniką i techniką laserową (podstawy projektowania układów optycznych, optyka instrumentalna, podstawy laserowej teledetekcji, optoelektronika w systemach bezpieczeństwa, instrumentalna analiza skażeń, rozpoznanie optoelektroniczne), a także jednego przedmiotu (wykorzystanie

optoelektronicznych urządzeń rozpoznania pola walki) kursu przeznaczanego dla zawodowej kadry wojskowej. Sprawował lub sprawuje funkcję promotora trzech studenckich prac dyplomowych. Jest on również popularyzatorem nauki, w tym, co cenne, wśród młodzieży w czasie Festiwalu Nauki i Pikniku Naukowego w Warszawie, których był współorganizatorem.

Habilitant ma również spore osiągnięcia organizacyjne: był członkiem Senatu Wojskowej Akademii Technicznej, jak również pełnił tam funkcję przewodniczącego Senackiej Komisji ds. Kadr i Etyki Zawodowej. Od 2013 roku jest kierownikiem Zakładu Technologii Optoelektronicznych w Instytucie Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej.

Do innych osiągnięć organizacyjnych Habilitanta można zaliczyć pełnienie funkcji: Mediatora z ramienia Wojskowej Akademii Technicznej w ramach offsetu po zakupie myśliwców F-16 oraz oficera łącznikowego dla Szefa Sztabu Generalnego Gruzji w czasie szczytu NATO w Warszawie.

Za swoje osiągnięcia naukowe, dydaktyczne i organizacyjne Habilitant uzyskał wiele cennych nagród. Do nich należą: Nagrody I i III stopnia Ministra Obrony Narodowej w konkursie Innowacje dla Sił Zbrojnych RP2016; Nagroda Ministra Edukacji i Badań Rumunii, 2011 r.; Nagroda Federacji Kosmonautyki Rosji, 2011 r.; Złoty Medal z wyróżnieniem oraz dwa Złote Medale w czasie Międzynarodowej Wystawy Innowacji Technologicznych „Brussels Eureka!”, 2011 r.; Srebrny Medal Międzynarodowych Targów iENA 2011; Dyplom Międzynarodowych Targów iENA 2011; Złoty Medal AMAT VICTORIA CURAM I Międzynarodowych targów Optoelektroniki i Fotoniki OPTON – 2020; Puchar Grand Prix Stowarzyszenia Wynalazców z Rumunii przyznany na Światowej Wystawie Innowacji, Badań Naukowych i Nowoczesnej Techniki Brussels Innova; List gratulacyjny Ministerstwa Obrony Narodowej z tytułu nagrodzenia pracy inżynierskiej realizowanej pod opieką Habilitanta w ramach Konkursu Ministra Obrony Narodowej na najlepszą pracę inżynierską, magisterską i rozprawę doktorską z zakresu technologii, technik i inżynierii kosmicznej i satelitarnej oraz systemów autonomicznych (trzecie miejsce w I Kategorii Konkursu), 2020 r.

6. Konkluzja

Biorąc pod uwagę bardzo wysoką ocenę przedstawionego wyżej dorobku naukowego, projektowego, konstrukcyjnego i technologicznego oraz aktywności naukowej, stwierdzam, że dr inż. Jacek Wojtanowski spełnia wszystkie wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym” (Dz. U. poz. 1668, z późn. zm.) do uzyskania stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika. Wnoszę zatem o dopuszczenie dra inż. Jacka Wojtanowskiego do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego. Jeżeli procedura nadawania stopnia doktora habilitowanego w Wojskowej Akademii Technicznej przewiduje wyróżnienie, będę o nie wnioskował.

J. Pluciński