

## Wojciech JAŁMUŻNA<sup>1</sup>, Adrian ANTONIEWICZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> POLITECHNIKA ŁÓDZKA, KATEDRA MIKROELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMATYCZNYCH

<sup>2</sup> POLITECHNIKA WARSZAWSKA, INSTYTUT SYSTEMÓW ELEKTRONICZNYCH

# Rozproszona architektura systemu pomiarowo - sterującego opartego na układach FPGA dla eksperymentu FLASH

Mgr inż. Wojciech JAŁMUŻNA

Studia ukończył 02.2006. W czasie studiów magisterskich aktywnie współpracował z ośrodkiem DESY w Hamburgu nad projektami związanymi z akceleratorem FLASH i XFEL. W roku 2006 rozpoczął studium doktoranckie na wydziale EiT PW, które 05.2007 zostało przeniesione do Katedry Mikroelektroniki i Technik Informatycznych na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej.



e-mail: Wojciech.Jalmuzna@desy.de

Mgr inż. Adrian ANTONIEWICZ

Studia ukończył 04.2008. Temat pracy magisterskiej to "Rozproszony system akwizycji danych z wykorzystaniem linków optycznych dla projektu X-FEL". W czasie studiów magisterskich aktywnie współpracował z ośrodkiem DESY w Hamburgu nad projektami związanymi z akceleratorem FLASH i XFEL.



e-mail: Adrian.Antoniewicz@desy.de

### Streszczenie

Rosnące możliwości i dostępność układów FPGA na rynku elektronicznym sprawiają, że coraz częściej są one używane w aplikacjach wymagających dużych, równoległych mocy obliczeniowych oraz opóźnień rzędu kilkudziesięciu nanosekund. Systemy pomiarowo – sterujące w eksperymentach fizyki wysokich energii coraz częściej oparte są na systemach elektronicznych z tymi układami. Pełnią one nie tylko funkcje obliczeniowe i integrujące uruchamiane algorytmy, ale także umożliwiają łatwe użycie dostępnych urządzeń zewnętrznych. Oprócz dużej mocy obliczeniowej, aplikacje te wymagają również użycia kilkudziesięciu kanałów analogowych. Z tego powodu nie jest możliwe zintegrowanie kompletnego systemu na jednej płycie drukowanej (PCB). Prezentowany artykuł opisuje architekturę skalowalnego, rozproszonego systemu pomiarowo-sterującego opartego na układach FPGA, który wyposażony jest w kilkadziesiąt kanałów analogowych. Komunikacja między poszczególnymi elementami tego systemu wykorzystuje optyczne łącza światłowodowe. Został on przetestowany oraz użyty w akceleratorze liniowym będącym częścią lasera nadfioletowego FLASH (Free Electron Laser in Hamburg) jako szkielet sterownika LLRF (Low Level Radio Frequency) dla 24 wnek nadprzewodzących.

**Słowa kluczowe:** FPGA, laser FLASH, system sterowania akceleratora.

## The distributed architecture of the control and measurement system based on FPGA chips for FLASH experiment

### Abstract

The availability and the computation power provided by FPGA chips is constantly increasing. Currently it can be compared to a computation power of modern DSP chips. This makes FPGA chips natural choice for flexible applications which require large amounts of parallel computation power together with the low latency of executed algorithms. The control and measurement systems for high energy physics experiments (HEP) are executed on electronic boards based on these chips. FPGAs not only execute necessary algorithms, but also provide drivers for used peripherals and communication links. Additionally HEP experiments require usage of large number of analogue channels. Therefore it is not possible to create such a system using single PCB board. The paper describes the architecture of the flexible and scalable distributed system based on FPGA chips, which integrates tens of analogue input channels. The communication amongst the boards is using dedicated RocketIO blocks and optical fibre links. The system was tested and used in the linear accelerator which is part of FLASH experiment as the framework for LLRF (Low Level Radio Frequency) controller for 24 superconducting cavities.

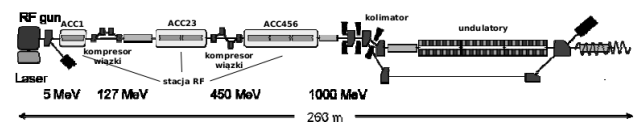
**Keywords:** FPGA, FLASH laser, accelerator control system.

## 1. Wstęp

Lasery na swobodnych elektronach FEL (Free Electron Laser) są to urządzenia pozwalające uzyskać femtosekundowe impulsy fali świetlnej o długości kilku nanometrów. Są one używane

w celach badawczych, zastosowaniach medycznych oraz militarnych. Podstawowym elementem takich laserów są akceleratory liniowe, których zadaniem jest dostarczyć wiązkę elektronów o odpowiedniej energii i stabilności. Wiązka ta jest następnie zamieniana w strumień fotonów przy pomocy undulatorów. Jednym z takich laserów jest 260 metrowy laser FLASH (Free Electron Laser in Hamburg) znajdujący się w ośrodku badawczym DESY w Hamburgu, który jest w tym momencie największym laserem tego typu na świecie.

Akcelerator liniowy będący częścią FLASH (rysunek 1) składa się z 6 modułów przyspieszających elektrony przy użyciu pola elektromagnetycznego. Podstawową strukturą przyspieszającą jest 9 komorowa nadprzewodząca wneka rezonansowa o dobroci rzędu  $10^6$ , zdolna uzyskać pole elektromagnetyczne o natężeniu rzędu kilkunastu MV/m. W skład każdego z modułów przyspieszających wchodzi 8 takich wnek, zasilanych z klistronu, który jest dla nich źródłem pola elektromagnetycznego. Aby uzyskać koherentne promieniowanie laserowe o zadanych parametrach należy zapewnić odpowiednią stabilność wiązki elektronów, a co za tym idzie stabilność amplitudy i fazy pola wewnątrz modułów przyspieszających. Zadanie to należy do systemu sterowania LLRF (Low Level Radio Frequency).



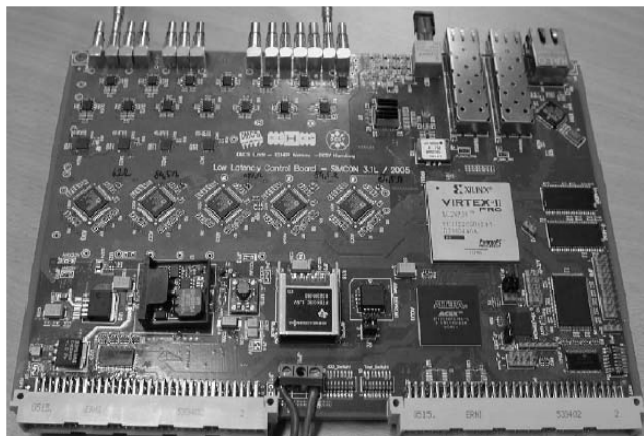
Rys. 1. Schemat lasera FLASH

Fig. 1. FLASH laser layout

## 2. System sterowania LLRF akceleratora FLASH

System sterowania LLRF monitoruje pole elektromagnetyczne we wnekach rezonansowych i dostarcza sygnał sterujący dla klistronu, który jest źródłem tego pola. Zadanie to wymaga dużej liczby analogowych kanałów wejściowych oraz dużej mocy obliczeniowej zapewniającej opóźnienie wykonania algorytmu sterowania rzędu kilkudziesięciu nanosekund. Szybko rozwijające się układy FPGA (Field Programmable Gate Array) wyposażone są w dedykowane bloki obliczeniowe, szybkie interfejsy do transmisji danych, wbudowane procesory oraz bloki pamięci wewnętrznej. Są one w stanie zapewnić wymaganą moc obliczeniową oraz opóźnienie. Projektowany system sterowania nowej generacji oparty jest na płytach elektronicznych wyposażonych właśnie w te układy.

W ramach prac nad prototypem opisywanego systemu powstała rodzina urządzeń elektronicznych SIMCON wyposażona w układy FPGA firmy Xilinx. Platforma SIMCON DSP oprócz układu FPGA posiada procesor DSP zdolny wspierać obliczenia matematyczne, interfejs VME oraz nadajniki optyczne do szybkiej komunikacji między płytami wykonującymi algorytm sterowania. Urządzenie wyposażone zostało w 10 przetworników analogowo-cyfrowych o częstotliwości próbkowania 105 MHz umożliwiającą próbkowanie pola we wnękach rezonansowych oraz 8 przetworników cyfrowo-analogowych pozwalających dostarczyć sygnał sterowania dla klistronu.



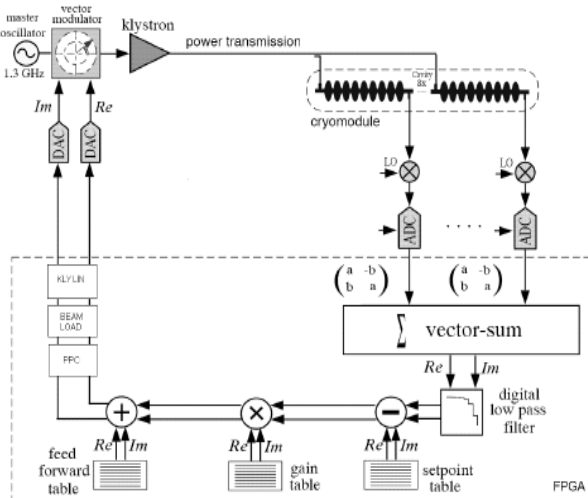
Rys. 2. Płyta elektroniczna SIMCON 3.1  
Fig. 2. SIMCON 3.1 PCB board

Podstawowy algorytm realizowany przez system zaprezentowany jest na rysunku 3. Sygnał z wnęki rezonansowej o częstotliwości 1.3 GHz poddawany jest konwersji częstotliwości (downconversion) do 250 kHz. Sygnał o częstotliwości 250 kHz jest próbkowany przez przetworniki ADC i przekazywany do układu FPGA. W celu uzyskania składowych I i Q pola elektromagnetycznego dokonywana jest demodulacja sygnału o częstotliwości 250 kHz. W przypadku stabilizacji pola elektromagnetycznego w całym module przyspieszającym, dokonywana jest kalibracja toru pomiarowego poprzez zastosowanie macierzy rotacji dla każdego kanału. Następnie liczona jest suma wektorów pola elektromagnetycznego zmierzonych w każdej z wnęk rezonansowych.

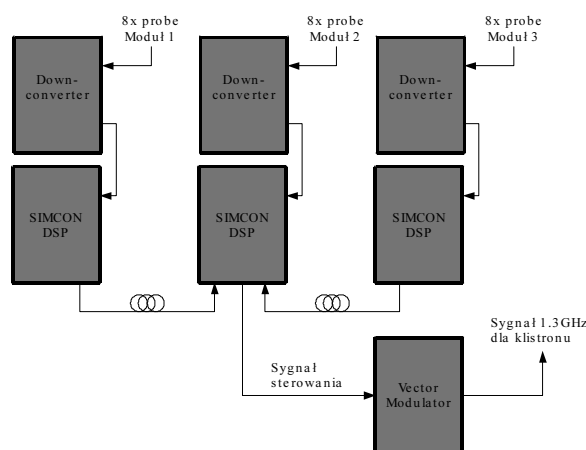
Otrzymany sumaryczny wektor odzwierciedlający pole elektromagnetyczne w jednym lub kilku modułach porównywany jest z wartością zadaną (set point) w celu obliczenia sygnału błędu. Wzmocniony sygnał błędu jest dodany do arbitralnego sygnału sterowania (Feed Forward - FF) oraz przetworzony przez dodatkowe bloki korekcji w skład których wchodzi blok kompensacji nieliniowości toru wyjściowego, kompensacja energii wiązki elektronów (beam load compensation) oraz system wbudowany (embedded system) wykorzystywany do dodatkowych obliczeń.

### 3. Struktura systemu rozproszonego

Do sterowania jednego modułu przyspieszającego podłączonego do klistronu (np. moduł ACC1 w laserze FLASH – rysunek 1) wymagane jest próbkowanie 8 sygnałów z wnęk rezonansowych (probe signals). W przypadku stacji RF (Radio Frequency) złożonej z 3 modułów przyspieszających podłączonych do jednego źródła pola (moduły ACC4, ACC5 i ACC6 – rysunek 1) należy monitorować 24 sygnały. Taka ilość sygnałów analogowych wymaga użycia kilku systemów monitorujących, przekazujących sobie obliczone częściowe sumy wektorów pola elektromagnetycznego. Struktura zaproponowanego systemu do sterowania w takiej konfiguracji przedstawiona jest na rysunku 4.



Rys. 3. Ogólny algorytm sterowania  
Fig. 3. General control algorithm



Rys. 4. Struktura rozproszonego systemu sterowania LLRF dla 3 modułów  
Fig. 4. Structure of the distributed LLRF control system for 3 modules

System składa się z 3 mieszaczy, do których podłączone jest po 8 sygnałów proporcjonalnych do natężenia pola elektromagnetycznego mierzonego we wnękach rezonansowych wchodzących w skład każdego ze sterowanych modułów. Sygnały konwertowane są do częstotliwości 250 kHz i próbkowane przez 3 systemy SIMCON DSP. Każda z nich oblicza częściową sumę wektorów pola elektromagnetycznego według algorytmu przedstawionego na rysunku 3. Następnie sumy obliczone przez 2 systemy przekazywane są przy użyciu światłowodowej transmisji optycznej do trzeciego systemu, który na podstawie dostarczonych danych oblicza sygnał sterowania. Sygnał ten dostarczany jest modulatora kwadraturowego i po modulacji jest wzmacniany i przekazywany do klistronu.

### 4. Moduły obliczeniowe

Do realizacji modułów obliczeniowych [1] przedstawionego systemu użyta została uniwersalna biblioteka matematyczna dla eksperymentów fizyki wysokich energii [2]. W jej skład wchodzi bloki umożliwiające wykonanie podstawowych operacji matematycznych w arytmetyce stałoprzecinkowej z nasyceniem. Przepiętnienie wartości wewnątrz sterownika może doprowadzić do nieprzewidywalnego zachowania modułu przyspieszającego, a nawet do jego uszkodzenia. Biblioteka pozwala również na operacje przy użyciu liczb zespolonych (wektorów I, Q), co znacznie ułatwia implementację operacji na składowych pola elektromagnetycznego.

## 5. Moduły do transmisji światłowodowej

Rozproszony system sterowania i akwizycji danych LLRF wymaga pasma przesyłowego o przepustowości co najmniej 200Mb/s oraz małego i stałego opóźnienia łącza danych. Jest to związane z wymaganiami stabilności zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego. Z tych powodów użyto łącza światłowodowego typu punkt-punkt (point-to-point).

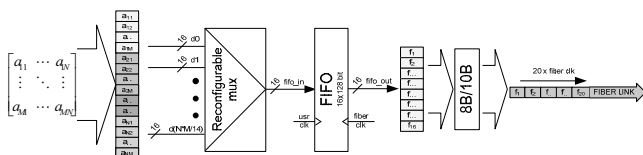
Moduł światłowodowy używa szybkiego interfejsu szeregowego RocketIO [3], który umieszczony jest w strukturze układu FPGA. Wspiera on wiele różnych interfejsów komunikacyjnych, jednak większość z nich oferuje funkcje nieprzydatne w opisywanym systemie sterowania, które dodatkowo zwiększają opóźnienie całego łącza. W celu optymalizacji wymienionych parametrów zalecane jest użycie modułu GT\_CUSTOM dostarczonego przez firmę Xilinx.

W celu zapewnienia właściwej synchronizacji odbiornika i nadajnika konieczne jest użycie wspólnego sygnału zegarowego. Uzyskuje się to poprzez użycie sygnału odzyskanego ze strumienia danych. Zostało to zaimplementowane przy użyciu kodowania sygnału metodą 8B/10B, która dodaje do strumienia nadmiarowe informacje umożliwiające zarówno przekazanie zegara jak również podstawową detekcję błędów transmisji danych. Dzięki temu nie jest potrzebne używanie skomplikowanych algorytmów CRC (cyclic redundancy check).

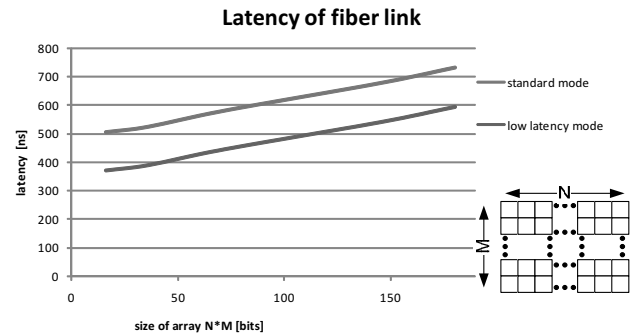
Bloki szybkiego interfejsu szeregowego optymalizowane są do transmisji strumienia danych składającego się z 16-bitowych słów. Każde słowo przesyłane jest w jednym cyklu zegara odniesienia. W systemie takim jak system sterowania LLRF wymagane jest przesyłanie skomplikowanych struktur danych, takich jak wektory i tablice o szerokościach dostosowanych do modułów obliczeniowych (w tym wypadku 18 bitów). Omawiane moduły do transmisji szeregowej zaimplementowane zostały w sposób pozwalający na przesyłanie tablic danych o dowolnej szerokości między użytkownikiem, a blokami RocketIO.

W pierwszym kroku tablica o rozmiarze  $N \times M$  przekształcana jest w wektor o długości  $N \times M$  (Rysunek 1). Następnie 16 bitowe porcje tego wektora transmitowane są do bloku kolejki FIFO przy użyciu rekonfigurowalnego multipleksera. Ilość jego wejść zależy od rozmiaru przetwarzanej tablicy. Strumień słów 16 bitowych przepływa przez blok kodowania 8B/10B i trafia na wejście szybkiego serializatora danych podłączonego do nadajnika optycznego. Kolejka FIFO używa 2 różnych zegarów: zegar użytkownika oraz zegar odniesienia dla nadajnika optycznego. Dzięki temu nie jest wymagana dodatkowa synchronizacja danych między różnymi domenami zegarowymi.

Dodatkowo zaimplementowany został tryb pracy charakteryzujący się zmniejszonym opóźnieniem transmisji danych. Uzyskano to dzięki skróceniu wewnętrznego bufora odbiorczego [4]. Rysunek 2 prezentuje porównanie 2 trybów pracy: normalnego i o niskim opóźnieniu. Zastosowanie trybu pracy redukującego opóźnienie pozwala zmniejszyć je o 135 ns. Wielkość ta jest niezależna od rozmiaru przesyłanych tablic. W przypadku włączenia modułu transmisji do kolejki obliczeniowej używanej w pętli sprzężenia zwrotnego sterownika modułu akceleratora rozmiar przesyłanej tablicy wynosi  $2 \times 18$  bitów. Wówczas zastosowanie trybu o zmniejszonym opóźnieniu redukuje je z 525 ns (tryb normalny) do 390 ns.



Rys. 5. Przepływ danych poprzez moduł transmisji optycznej  
Fig. 5. Fiber optic transmission data flow scheme

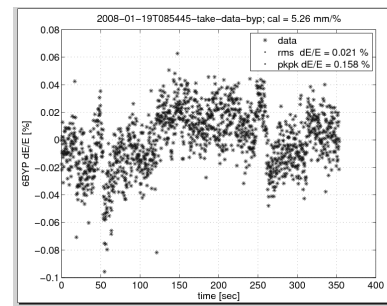


Rys. 6. Opóźnienie łącza optycznego  
Fig. 6. Latency of fiber link

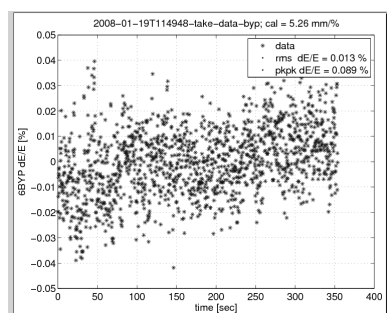
Moduły komunikacyjne zostały poddane 10 godzinnym testom. W tym czasie nie zaobserwowano błędów transmisji. Parametr BER (bit error rate) łącza wynosi  $10^{-14}$ .

## 6. Rezultaty testów w laserze FLASH

Moduły ACC4, ACC5 i ACC6 sterowane są przy użyciu systemu poprzedniej generacji opartego na procesorach DSP. System ten jest u granic swych możliwości zarówno pod względem czasu wykonania algorytmów, jak i dostępnych zasobów. W celu porównania tego systemu z systemem opisywanym, dokonane zostały pomiary stabilności energii przyspieszanej wiązki elektronów podczas stabilizacji pola elektromagnetycznego wewnątrz modułów przyspieszających kolejno przy użyciu obu systemów. Pomiar polega na monitorowaniu kształtu i położenia wiązki przy użyciu kamery CCD. Rezultaty pomiarów przedstawione są na rysunkach 7 i 8.



Rys. 7. Pomiar stabilności energii - DSP  
Fig. 7. Energy stability measurement - DSP



Rys. 8. Pomiar stabilności energii - FPGA  
Fig. 8. Energy stability measurement - FPGA

Użycie opisywanego systemu pozwoliło uzyskać znaczącą poprawę parametrów wiązki elektronów. Widoczne jest to zarówno na odchyleniu standardowym mierzonej energii (rms) jak również na wartości szczytowej (pk-pk), która była dwukrotnie mniejsza niż uzyskana dla systemu poprzedniej generacji.

## 7. Podsumowanie

Artykuł prezentuje architekturę systemu pomiarowo-sterującego. W omawianym przykładzie posłużyła ona do zaimplementowania wielokanałowego sterownika pola wewnątrz wnęk rezonansowych, który poprawił osiągane parametry stabilizacji wiązki elektronów. Możliwość skalowania systemu pod względem ilości kanałów daje możliwość zastosowania tej architektury w wielu innych aplikacjach, nie związanych bezpośrednio ze sterowaniem polem elektromagnetycznym [5, 6].

## 8. Literatura

[1] Wojciech Jalmuzna et al.: "FPGA-based implementation of a cavity field controller for FLASH and X-FEL" 2007 Meas. Sci. Technol. 18 2365-2371 doi:10.1088/0957-0233/18/8/010

- [2] Wojciech Jalmuzna: "Design and Implementation of Universal Mathematical Library Supporting Algorithm Development for FPGA Based Systems in High Energy Physics Experiments" - TESLA note 2006-01 – tesla.desy.de
- [3] Xilinx Virtex 2 Pro RocketIO Transceiver user Guide, 2004, Xilinx, Inc., <http://www.xilinx.com>.
- [4] Jeremy Kowalczyk "Minimizing Receiver Elastic Buffer Delay in the Virtex-II Pro RocketIO Transceiver", Xilinx Application Note Xapp670, 2003, <http://www.xilinx.com>.
- [5] Wojciech Jalmuzna, Andrzej Napieralski, Stefan Simrock: "Performance of 24 Cavity Vector Sum Controller with Distributed Architecture" EPAC2008 Proceedings
- [6] Konrad Przygoda, Tomasz Poźniak: "Oparty o cyfrowe układy reprogramowalne i analogowe wzmacniacze mocy system kompensacji odkształceń wnęk nadprzewodzących w akceleratorach liniowych" - RUC08

Artykuł recenzowany

## INFORMACJE

# Powstało Polskie Stowarzyszenie Fotoniczne



Obecnie występuje w kraju bardzo wyraźna konieczność silnej konsolidacji i przebudowy środowisk naukowo-technicznych. Muszą one dostosowywać się do potrzeb zmieniającego się społeczeństwa wiedzy. Wyraźnym odzwierciedleniem tych dynamicznych procesów jest powstanie Polskiego Stowarzyszenia Fotonicznego.

Od połowy roku 2007 trwały formalne starania krajowego środowiska naukowego i technicznego fotoniki związane z przekształceniem istniejącej od 1988 roku Polskiej Sekcji SPIE – The International Society for Optical Engineering (SPIE-PL) [[spie.org](http://spie.org)] oraz [[www.spie.pl](http://www.spie.pl)] w Polskie Stowarzyszenie Fotoniczne (PSP) [[www.photonics.pl](http://www.photonics.pl)]. Na początku roku 2008 Sąd Administracyjny w Warszawie zatwierdził statut stowarzyszenia. Siedzibą PSP jest Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej. Stowarzyszenie wystąpiło o nadanie uprawnień do prowadzenia działalności gospodarczej oraz zamierza wystąpić o nadanie statusu organizacji pożytku publicznego. Obecnie PSP posiada ponad 200 członków, głównie ze środowisk uczelnianych i instytutów naukowych, a ciągle jeszcze w mniejszym stopniu ze środowisk przemysłowych, businessowych i administracyjnych. Członkowie PSP pochodzą z całego kraju. PSP otwarte jest na członków zagranicznych i korporacyjnych. Celem PSP jest integracja krajowego środowiska naukowo-technicznego fotoniki i podejmowanie istotnych z punktu widzenia naukowego, technicznego, finansowego i organizacyjnego akcji w imieniu całego środowiska krajowego w stosunku do przemysłu, administracji lokalnej i państwowej, partnerów zagranicznych, programów europejskich, konsorcjów i platform technologicznych.

W zamierzeniu, działalności PSP jest współpraca krajowa. Gromadząc reprezentantów wszystkich krajowych środowisk, PSP ma znaczne szanse wypracować sobie rolę wspólnej platformy wielu działań takich pokrewnych tematycznie organizacji jak (za ich zgodą): Polski Komitet Optoelektroniki SEP, Sekcja Optoelektroniki Komitetu Elektroniki i Telekomunikacji PAN, Sekcja Optyki Polskiego Towarzystwa Fizycznego, Polskie Towarzystwo Techniki Sensorowej, Polskie Platformy Technologiczne Zaawansowanych Materiałów oraz Opto i Naoelektroniki, Konsorcjum Polska Optoelektronika.

Współpraca międzynarodowa Polskiego Stowarzyszenia Fotonicznego obejmuje SPIE, i towarzystwa o zasięgu światowym jak OSA, IEEE, LEOS, EOS, narodowe stowarzyszenia fotoniki w krajach sąsiednich. Współpraca międzynarodowa obejmuje także optyczne organizacje przemysłowe działające w skali europejskiej. Ważną rolą PSP jest wspomaganie SPIE w budowie rodzaju globalnej federacji stowarzyszeń naukowo-technicznych fotoniki.

PSP zamierza uruchomić publikację internetową Photonics Letters [[www.photonics.pl/PL](http://www.photonics.pl/PL)]. To czasopismo Internetowe będzie korzystało z bazy danych MYSPIE [[myspie.org](http://myspie.org)], SPIEDL [[spiedl.org](http://spiedl.org)]. Wymienione systemy są analogami interaktywnych baz danych OpticsInfoBase, Xplore,

Versita. Całkowicie internetowe wydawnictwo, bez wersji drukowanej, posiadające numer identyfikacyjny on-line ISSN, będzie publikować bardzo szybko, krótkie recenzowane komunikaty o objętości nie przekraczającej 4 stron, ale o strukturze pełnego artykułu.

Obszarem działalności PSP jest organizacja i współ-organizacja lub sponsoring konferencji naukowo technicznych z dziedziny optyki, optoelektroniki i fotoniki oraz obszarów pokrewnych np. zjawisk fizycznych, symulacji i projektowania elementów, metrologii, konstrukcji aparatury, czujników, materiałów, automatyzacji systemów, zastosowań, itp.

Jednym z ważnych zadań dla PSP jest inicjowanie konsorcjów realizacyjnych, platform technologicznych i uczestnictwo w prowadzeniu programów badawczych celowych, zamawianych, operacyjnych, strukturalnych i innych finansowanych z funduszy krajowych i programów europejskich w dziedzinie fotoniki.

Obszarem działalności PSP jest doradztwo naukowo-techniczne, działalność gospodarcza, współpraca z biznesem, przemysłem, administracją. W miarę rozwoju PSP rozważane jest powołanie izby rzeczoznawców, współpraca z krajowymi izbami gospodarczymi oraz z przemysłem i handlem.

PSP jest bliskie spraw studenckich i rozwoju młodych uczonych. PSP zamierza podejmować w tym zakresie inicjatywy na rzecz studentów, doktorantów i młodych uczonych aktywnych w obszarze optyki, optoelektroniki i fotoniki. Zostanie powołana własna organizacja studencka i doktorancka. PSP uważa, że konieczne jest rozszerzenie programów studiów na uczelniach technicznych w zakresie fotoniki i blisko związanej z nią nanotechnologii.

W dniach 30 maja - 01 czerwca br. odbyło się oficjalne, uroczyste Sympozjum otwarcia działalności przez PSP. Program naukowy Sympozjum obejmował szereg referatów wygłoszonych przez najwybitniejszych specjalistów światowych na najbardziej aktualne problemy fotoniki. Po sesjach plenarnych odbyła się uroczystość wręczenia nagród PSP dla wybitnych działaczy SPIE i Polskiej Sekcji SPIE, którzy przyczynili się do zasadniczego rozwoju współpracy międzynarodowej.

Polskie Stowarzyszenie Fotoniczne jest gotowe podjąć współpracę z każdą organizacją pożytku publicznego, administracji lokalnej i państwowej, przemysłową, biznesową, lobbystyczną, której celem jest rozwój nauki w Polsce. Dla PSP rozwój nauki oznacza stworzenie szans realizacji własnej kariery naukowej dla młodych uzdolnionych ludzi, stworzenie godziwych warunków pracy dla uczonych, budowa infrastruktury naukowej i zapewnienie jej ciągłego odnawiania, stworzenie realnych i silnych mechanizmów rozwoju przemysłu korzystającego aktywnie z rozwoju nauki stosowanej. PSP zachęca indywidualne osoby zainteresowane optyką, optoelektroniką i fotoniką do wstępowania w swoje szeregi [[psp@photonics.pl](mailto:psp@photonics.pl)].

Tomasz R. Woliński, Ryszard S. Romaniuk, w imieniu Zarządu PSP  
Politechnika Warszawska